

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

**VI00 – ELABORATI GENERALI**

**Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario**

**Relazione di Calcolo Impalcato**

SCALA:

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

RS3U 40 D 09 CL VI0007 008 A

| Rev. | Descrizione          | Redatto        | Data         | Verificato | Data         | Approvato  | Data         | Aut. e Data |
|------|----------------------|----------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|-------------|
| A    | Emissione definitiva | M.Franchinotti | Gennaio 2020 | A. Ferri   | Gennaio 2020 | A. Baracca | Gennaio 2020 | Aut. e Data |
|      |                      |                |              |            |              |            |              |             |
|      |                      |                |              |            |              |            |              |             |
|      |                      |                |              |            |              |            |              |             |

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

File: RS3U40D09CLVI0007008A.doc

n. Elab.: 09\_004\_6

## INDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>Caratteristiche dei materiali .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| 3.1      | Calcestruzzo per travi in c.a.p. e traversi.....                             | 8         |
| 3.2      | Calcestruzzo per getti in opera impalcato e predalles .....                  | 8         |
| 3.3      | Acciaio per c.a. ....  | 9         |
| 3.4      | Acciaio per c.a.p. ....  | 9         |
| <b>4</b> | <b>Analisi dei carichi .....</b>   | <b>10</b> |
| 4.1      | Pesi propri (G1t e G1s).....   | 10        |
| 4.2      | Permanententi portati (G2).....  | 12        |
| 4.3      | Viscosità e ritiro.....  | 12        |
| 4.4      | Carichi verticali da traffico (Qvk) .....                                    | 13        |
| 4.4.1    | Treni di carico .....  | 13        |
| 4.4.2    | Carichi sui marciapiedi .....  | 17        |
| 4.4.3    | Forza centrifuga.....  | 17        |
| 4.4.4    | Serpeggio .....  | 19        |
| 4.4.5    | Avviamento e frenatura .....   | 19        |
| 4.5      | Azioni dinamiche .....   | 20        |
| 4.6      | Azioni dovute al deragliamentto .....  | 22        |
| 4.7      | Vento (Q5q) .....  | 25        |
| 4.8      | Azione sismica (SX,SY,SZ).....   | 26        |
| <b>5</b> | <b>Simbologia e convenzioni .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>6</b> | <b>Analisi impalcato .....</b>   | <b>29</b> |
| 6.1      | Modello di calcolo.....  | 29        |
| 6.2      | Sollecitazioni.....  | 35        |
| 6.3      | Combinazioni .....   | 38        |
| 6.4      | Effetti globali sull'impalcato – Verifica tensionale trave in mezzzeria..... | 41        |
| 6.5      | Verifiche a fessurazione .....   | 50        |
| 6.6      | Effetti globali sull'impalcato – Verifiche agli SLU .....                    | 51        |
| 6.6.1    | Sollecitazioni.....  | 51        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 6.6.2      | Verifiche .....                                       | 53        |
| <b>6.7</b> | <b>Traversi – Verifiche Tensionali agli SLE .....</b> | <b>57</b> |
| <b>6.8</b> | <b>Verifica soletta .....</b>                         | <b>63</b> |
| 6.8.1      | Inviluppo sollecitazioni .....                        | 63        |
| 6.8.2      | <i>Verifiche SLU</i> .....                            | 66        |
| 6.8.3      | <i>Verifiche SLE</i> .....                            | 69        |
| <b>7</b>   | <b>VERIFICA AL SOLLEVAMENTO .....</b>                 | <b>72</b> |
| <b>8</b>   | <b>VERIFICHE DI DEFORMAZIONE .....</b>                | <b>74</b> |
| 8.1        | Verifica deformazioni torsionali (sghembo) .....      | 74        |
| 8.2        | Verifica stato limite di confort .....                | 74        |
| <b>9</b>   | <b>Riepilogo appoggi e giunti .....</b>               | <b>75</b> |

## 1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Nel presente documento di calcolo è riportata l'analisi strutturale relativa agli impalcati ferroviari in c.a.p., costituiti da 4 travi a cassoncino accostate e soletta di completamento gettata in opera. Le analisi strutturali anzidette involuppano cautelativamente le peggiori condizioni di impiego, in termini di della tipologia strutturale in questione.

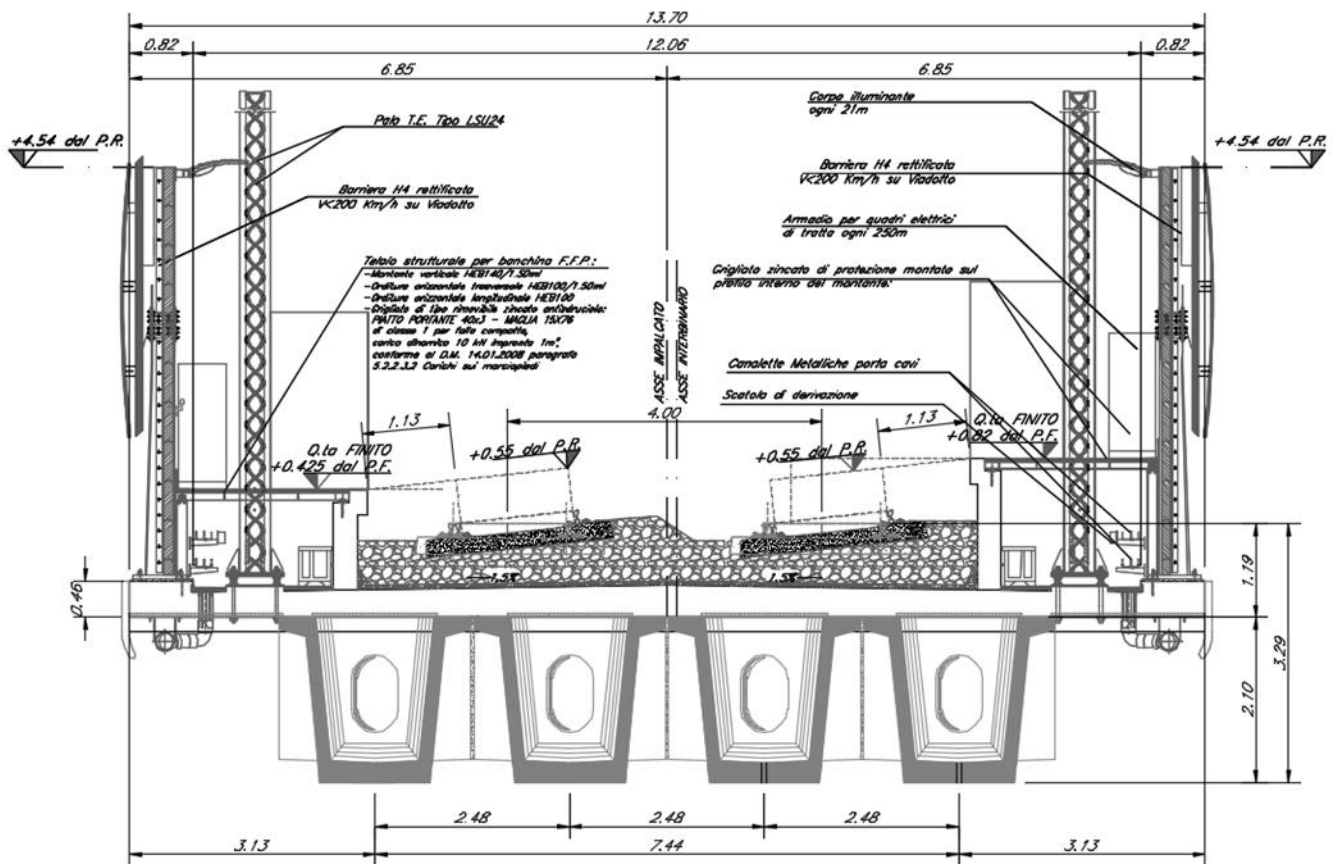


Figura 1 – sezione trasversale

La luce è pari a 25.00 m misurata dall'asse delle pile. La lunghezza complessiva delle travi prefabbricate è pari a 24.30 m. La luce tra gli appoggi (portata teorica) è pari a 22.80 m. Lo schema di calcolo è di trave in semplice appoggio. Lo schema degli appoggi, riportato di seguito, prevede un dispositivo sotto ogni trave. La larghezza dell'impalcato è pari a 13.70 m, necessaria al fine di ospitare il *tipologico RFI* per le barriere antirumore. L'armamento è di tipo tradizionale su ballast e l'interasse tra i binari è pari a 4.0 m. Oltre i traversi di testata, sono previsti due traversi intermedi; i traversi saranno solidarizzati mediante trefoli post-tesi iniettati. Di seguito si

riportano delle viste in pianta, prospetto e sezione dell'impalcato tipologico, oltre che lo schema di disposizione dei vincoli previsto.

Su entrambi i lati della sezione dell'impalcato è presente una banchina F.F.P. (Fire Fighting Point) con relativo telaio strutturale.

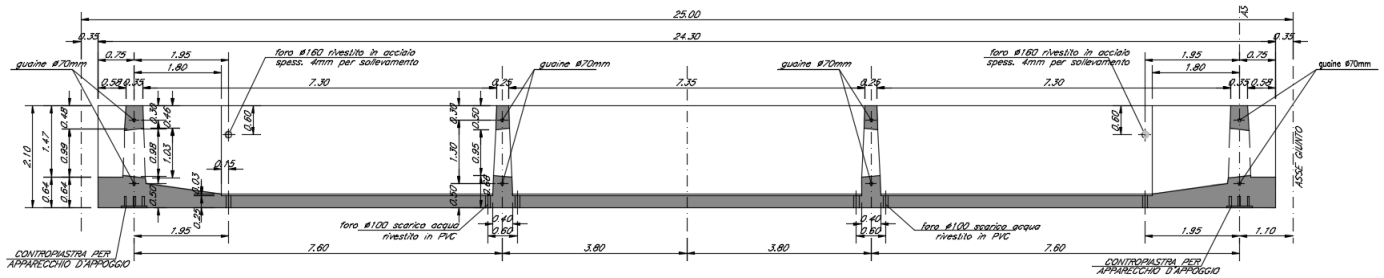





Figura 2 –sezione longitudinale

Lo schema appoggi prevede la presenza di 2 appoggi fissi su un lato e 1 unidirezionale longitudinale sul lato opposto. Tutti gli altri sono appoggi multidirezionali.

-  Appoggio fisso a rigidità variabile
-  Appoggio unidirezionale
-  Appoggio multidirezionale

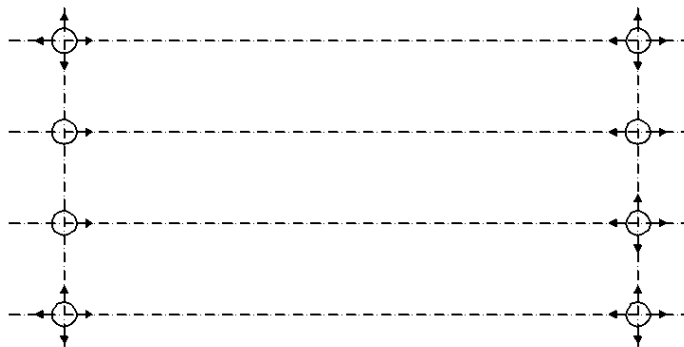


Figura 3 –Schema appoggi

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- [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 17 gennaio 2018:** *Nuove norme tecniche per le costruzioni;*
- [N4] **C.M. 21/01/2019 n.7:** *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";*
- [N5] **RFI DTC SI PS MA IFS 001 C:** *Manuale di progettazione delle Opere Civili. Emissione per applicazione del 21/12/2018;*
- [N6] **RFI DTC SI PS SP IFS 001 C del 21/12/2018:** *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:

- [N1] **UNI EN 1991-1-4:2005:** *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;*
- [N2] **UNI EN 1992-1-1:2005:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- [N3] **UNI EN 1992-2:2006:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;*
- [N4] **UNI EN 1993-1-1:2005:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- [N5] **UNI EN 1993-2:2007:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;*
- [N6] **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;*
- [N7] **UNI EN 1998-2:2006:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;*
- [N7] **STI 2014 – REGOLAMENTO UE N.1299/2014** *della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*

Tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in accordo al capitolato generale tecnico delle opere civili di RFI 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).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. | DOC.   | PROG. | REV. | FOGLIO  |
|----------|-------|------|------|------|--------|-------|------|---------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL   | VI0007 | 008   | A    | 7 di 75 |

### 3 Caratteristiche dei materiali

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

#### 3.1 Calcestruzzo per travi in c.a.p. e traversi

Classe C45/55

|                 |       |     |   |
|-----------------|-------|-----|---|
| $R_{ck} =$      | 55    | MPa | resistenza caratteristica cubica            |
| $f_{ck} =$      | 45    | MPa | resistenza caratteristica cilindrica        |
| $f_{cm} =$      | 53    | MPa | valor medio resistenza cilindrica           |
| $\alpha_{cc} =$ | 0,85  |     | coeff. rid. Per carichi di lunga durata     |
| $g_M =$         | 1,5   | -   | coefficiente parziale di sicurezza SLU      |
| $f_{cd} =$      | 25,50 | MPa | resistenza di progetto                      |
| $f_{ctm} =$     | 3,80  | MPa | resistenza media a trazione semplice        |
| $f_{ctm} =$     | 4,55  | MPa | resistenza media a trazione per flessione   |
| $f_{ctk} =$     | 2,66  | MPa | valore caratteristico resistenza a trazione |
| $E_{cm} =$      | 36283 | MPa | Modulo elastico di progetto                 |
| $\nu =$         | 0,2   |     | Coefficiente di Poisson                     |
| $G_c =$         | 15118 | MPa | Modulo elastico Tangenziale di progetto     |

#### 3.2 Calcestruzzo per getti in opera impalcato e predalles

Classe C32/40

|                 |       |     |   |
|-----------------|-------|-----|---|
| $R_{ck} =$      | 40    | MPa | resistenza caratteristica cubica            |
| $f_{ck} =$      | 32    | MPa | resistenza caratteristica cilindrica        |
| $f_{cm} =$      | 40    | MPa | valor medio resistenza cilindrica           |
| $\alpha_{cc} =$ | 0,85  |     | coeff. rid. Per carichi di lunga durata     |
| $g_M =$         | 1,5   | -   | coefficiente parziale di sicurezza SLU      |
| $f_{cd} =$      | 18,13 | MPa | resistenza di progetto                      |
| $f_{ctm} =$     | 3,02  | MPa | resistenza media a trazione semplice        |
| $f_{ctm} =$     | 3,63  | MPa | resistenza media a trazione per flessione   |
| $f_{ctk} =$     | 2,12  | MPa | valore caratteristico resistenza a trazione |
| $E_{cm} =$      | 33346 | MPa | Modulo elastico di progetto                 |
| $\nu =$         | 0,2   |     | Coefficiente di Poisson                     |
| $G_c =$         | 13894 | MPa | Modulo elastico Tangenziale di progetto     |



### 3.3 Acciaio per c.a.

B450C

|                              |        |     |  |
|------------------------------|--------|-----|--|
| $f_{yk} \geq$                | 450    | MPa | tensione caratteristica di snervamento |
| $f_{tk} \geq$                | 540    | MPa | tensione caratteristica di rottura     |
| $(f_t/f_y)_k \geq$           | 1,15   |     |  |
| $(f_t/f_y)_k <$              | 1,35   |     |  |
| $\gamma_s =$                 | 1,15   | -   | coefficiente parziale di sicurezza SLU |
| $f_{yd} =$                   | 391,3  | MPa | tensione caratteristica di snervamento |
| $E_s =$                      | 200000 | MPa | Modulo elastico di progetto            |
| $\epsilon_{yd} =$            | 0,196% |     | deformazione di progetto a snervamento |
| $\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$ | 7,50%  |     | deformazione caratteristica ultima     |

### 3.4 Acciaio per c.a.p.

Trefoli

$\Phi 0.6'' A=140\text{mm}^2$

|  |         |     |   |
|--|---------|-----|---|
| $f_{pk} \geq$                              | 1860    | MPa | tensione caratteristica di rottura                |
| $f_{p(0,1)k} \geq$                         | -       | MPa | tensione caratteristica allo 0,1% di def. Residua |
| $f_{p(1)k} \geq$                           | 1670    | MPa | tensione caratteristica allo 1% di def. Totale    |
| Allung. Per carico max.                    | 3,50%   | -   |   |
| $E_p =$                                    | 195.000 | MPa | Modulo elastico di progetto                       |
| $\gamma_s =$                               | 1,15    | -   | coefficiente parziale di sicurezza SLU            |
| $f_{pd} =$                                 | 1456    | MPa | tensione caratteristica di snervamento            |
| $\epsilon_{ypd} = f_{pd} / E_p$            | 0,75%   |     | deformazione di progetto a snervamento            |
| $\epsilon_{ud} = 0,9 \times \epsilon_{uk}$ | 3,15%   |     | deformazione caratteristica ultima                |

## 4 Analisi dei carichi

### 4.1 Pesì propri (G1t e G1s)

#### Travi impalcato

|                    | Parti simili | Ripetizioni | Spessore | Larghezza | Area   | Lunghezza    | Volume (KN/mc-mq) | Peso (kN)     |
|--------------------|--------------|-------------|----------|-----------|--------|--------------|-------------------|---------------|
| Sezione corrente   | 4            |             |          |           | 1.0932 | 18.9         | 82.65             | 2066.1        |
| Sezione in testata | 4            |             |          |           | 1.9730 | 1.50         | 11.84             | 296.0         |
| Sezione media      | 4            |             |          |           | 1.5331 | 3.90         | 23.92             | 597.9         |
| <b>sommano</b>     |              |             |          |           |        | <b>24.30</b> | <b>118.40</b>     | <b>2960.0</b> |

#### Trasversi

|                                   | Parti simili | Ripetizioni | Spessore | Larghezza | Area   | Lunghezza | Volume (KN/mc-mq) | Peso (kN)    |
|-----------------------------------|--------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------|-------------------|--------------|
| Trasversi interni                 | 2            |             | 0.325    | 2.48      |        | 9.88      | 15.93             | 398.2        |
| Trasversi di testata              | 2            |             | 0.425    | 2.48      |        | 9.88      | 20.83             | 520.7        |
| Fori a detrarre trasversi interni | -4           | 2           | 0.325    |           | 0.5167 |           | -1.34             | -33.6        |
| Fori a detrarre trasversi testata | -4           | 2           | 0.425    |           | 0.5167 |           | -1.76             | -43.9        |
| <b>sommano</b>                    |              |             |          |           |        |           | <b>33.65</b>      | <b>841.3</b> |

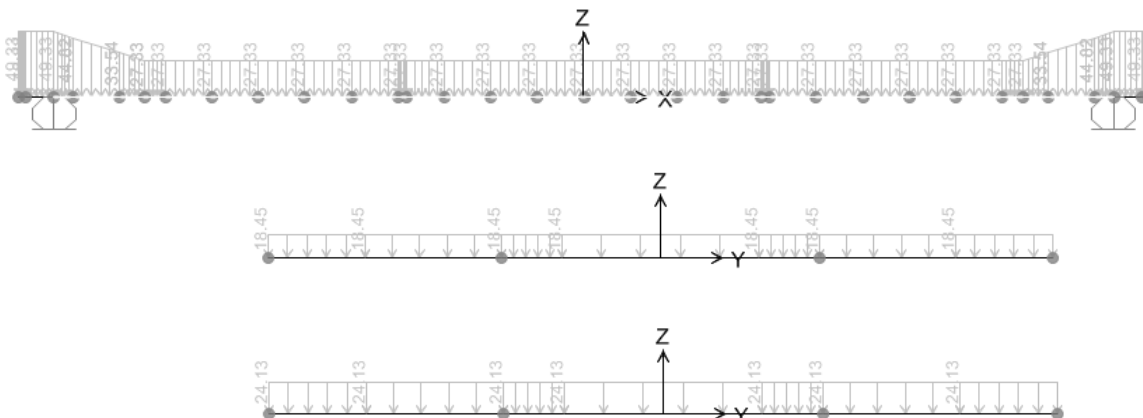
#### Soletta

|                | Parti simili | Ripetizioni | Spessore | Larghezza | Area | Lunghezza | Volume (KN/mc-mq) | Peso (kN)     |
|----------------|--------------|-------------|----------|-----------|------|-----------|-------------------|---------------|
| Soletta        | 1            |             | 0.365    | 13.7      |      | 25.00     | 125.01            | 3125.3        |
| <b>sommano</b> |              |             |          |           |      |           | <b>125.01</b>     | <b>3125.3</b> |

#### Riepilogo

|                | Peso (kN)       | ez (m)      | Sz (kNm/m) | L(m)  | Peso (kN/ml) |
|----------------|-----------------|-------------|------------|-------|--------------|
| Travi          | 2960.0          | 0.00        | 0.0        | 25.00 | 118.40       |
| Trasversi      | 841.3           | 0.00        | 0.0        | 25.00 | 33.65        |
| Soletta        | 3125.3          | 0.00        | 0.0        | 25.00 | 125.01       |
| <b>sommano</b> | <b>6926.7</b>   | <b>0.00</b> | <b>0.0</b> |       | <b>277.1</b> |
|                | <b>≈ 6927.0</b> |             |            |       |              |

I carichi derivanti dal peso proprio di travi e traversi (G1t) sono stati schematizzati secondo carichi uniformemente distribuiti lungo i frame.



I carichi derivanti dalla soletta (G1s) sono stati schematizzati secondo carichi e momenti uniformemente distribuiti lungo i frame delle travi, secondo le aree di influenza di ogni trave.

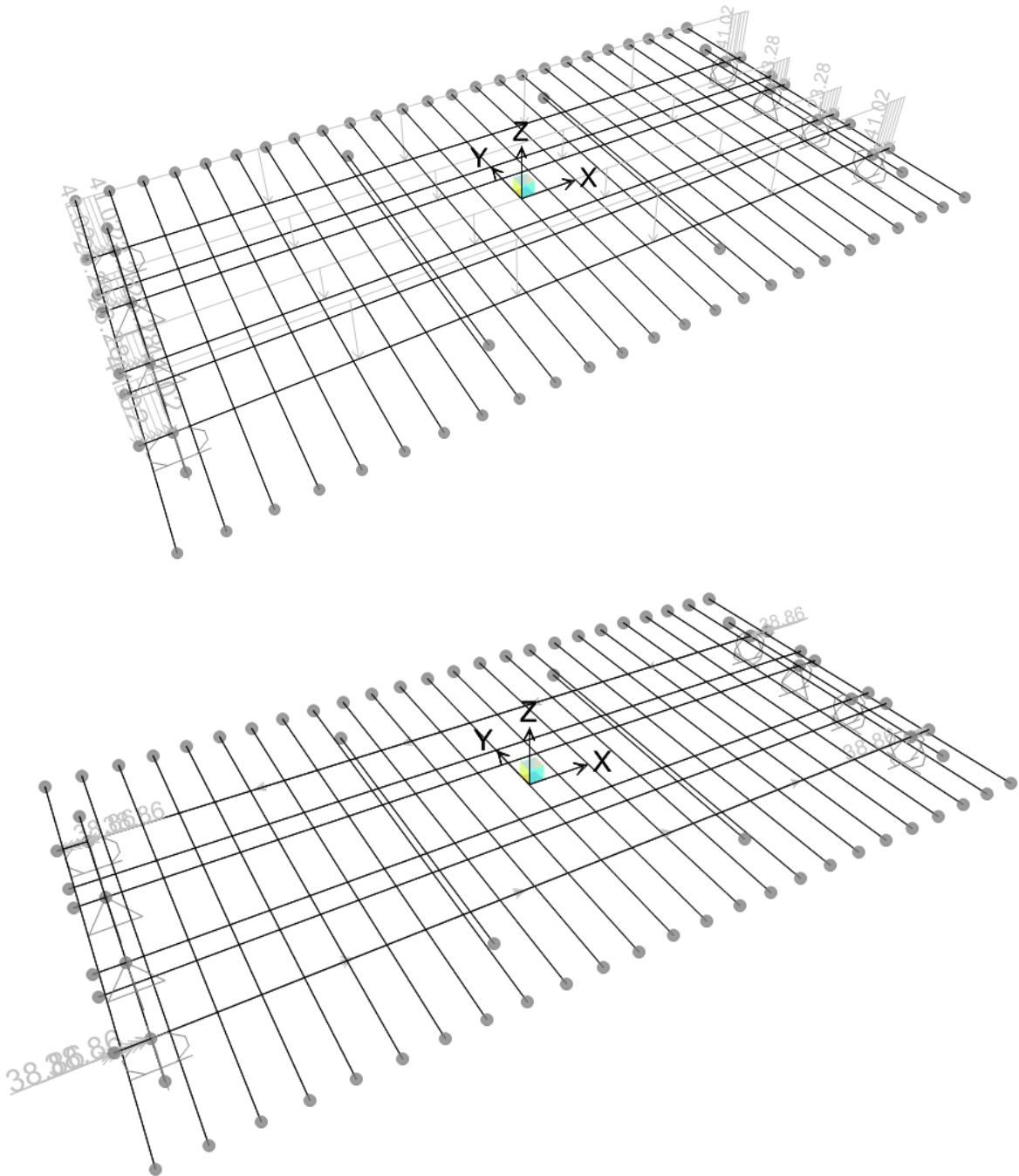


Figura 4 – Carichi soletta

## 4.2 Permanenti portati (G2)

Si assumono i seguenti valori di pesi portati in accordo con la sezione trasversale dell'impalcato.

| Permanenti portati                          | Ripetizioni | Spessore<br>m | Larghezza<br>m | Area<br>mq | Lunghezza<br>m | Volume<br>mc | $p$<br>kN/mc-mq | Peso<br>kN/ml |
|---|-------------|---------------|----------------|------------|----------------|--------------|-----------------|---------------|
| Muri parballast                             | 0           |               |                | 0.1433     |                | 0.0000       | 25.0            | 0.0           |
| Muri banchina FFPP - in sx                  | 1           |               |                | 0.4000     |                | 0.4000       | 25.0            | 10.0          |
| Muri banchina FFPP - in dx                  | 1           |               |                | 0.5000     |                | 0.5000       | 25.0            | 12.5          |
| Muri banchina stazione                      | 0           |               |                | 1.8100     |                | 0.0000       | 25.0            | 0.0           |
| Cordolo in sx                               | 1           | 0.14          | 0.82           |            |                | 0.1148       | 25.0            | 2.9           |
| Cordolo in dx                               | 1           | 0.14          | 0.82           |            |                | 0.1148       | 25.0            | 2.9           |
| Velette                                     | 2           |               |                | 0.09       |                | 0.1800       | 25.0            | 4.5           |
| Ballast+ impermab. sottoballast + armamento | 1           | 0.8           | 7.9            |            |                | 6.3200       | 18.0            | 113.8         |
| Incremento per rialzo in curva              | 2           |               |                | 0.250      |                | 0.5000       | 20.0            | 10.0          |
| Canalette                                   | 2           |               |                | 0.085      |                | 0.1700       | 25.0            | 4.3           |
| Impermeabilizzazione marciapiedi            | 2           | 0.05          | 1.78           |            |                | 0.1780       | 20.0            | 3.6           |
| Impermeabilizzazione banchina stazione      | 0           | 0.05          | 4.47           |            |                | 0.0000       | 20.0            | 0.0           |
| Impermeabilizzazione soletta sotto banchina | 0           | 0.05          | 3.67           |            |                | 0.0000       | 20.0            | 0.0           |
| Barriere antirumore                         | 2           | 1             | 4              |            |                | 8.0000       | 4.0             | 32.0          |
| Telaio FFPP                                 | 2           |               |                |            |                | 2.0000       | 1.5             | 3.0           |
| Impianti                                    | 2           |               |                |            |                | 2.0000       | 1.5             | 3.0           |
| Impianti banchina stazione                  | 0           |               |                |            |                | 0.0000       | 3.0             | 0.0           |
| Totale permanenti portati G2                |             |               |                |            |                |              |                 | <b>202.3</b>  |

I carichi puntuali e distribuiti dei permanenti portati sono stati posizionati sui frame di soletta di larghezza unitaria.

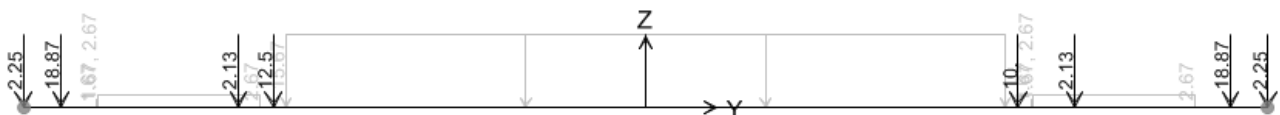


Figura 5 – Permanenti portati

## 4.3 Viscosità e ritiro

Gli effetti della viscosità e del ritiro sono stati calcolati considerando un'umidità relativa del 75% ed un tempo di applicazione del carico  $t_0=7$  giorni.

E' stato considerato inoltre un ritiro differenziale trave – soletta pari al 10% del ritiro totale della sola trave.

## 4.4 Carichi verticali da traffico (Qvk)

### 4.4.1 Treni di carico

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente "α" che deve assumersi come da tabella seguente:

| MODELLO DI CARICO | COEFFICIENTE "α" |
|-------------------|------------------|
| LM71              | 1.1              |
| SW/0              | 1.1              |
| SW/2              | 1.0              |

Tabella 1 – coefficienti α per modelli di carico

Non si considera il modello di carico SW/0 perché l'impalcato non è continuo.

#### 4.4.1.1 Treno di carico LM71

Il Treno di carico LM71 è schematizzato nella figura seguente.

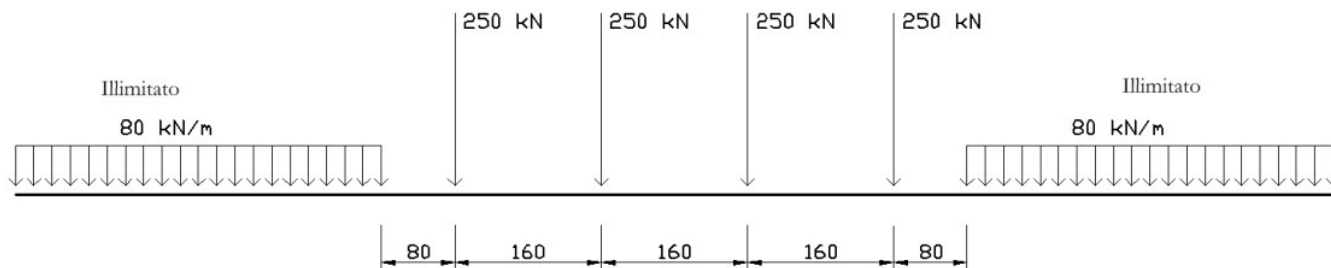


Figura 6 – Treno di carico LM71

Per questo modello di carico è prevista una eccentricità del carico rispetto all'asse del binario pari a  $s/18$ , con  $s=1435$  mm. Quindi, l'eccentricità considerata nel modo più sfavorevole per le strutture è pari a:

$$e = \sim 80 \text{ mm}$$

#### 4.4.1.2 Treno di carico SW/2

Il Treno di carico SW/2 è schematizzato nella figura seguente.

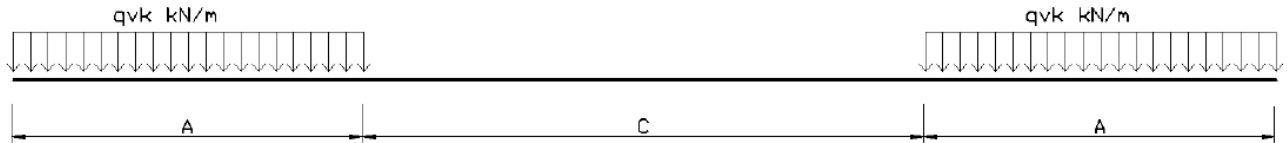


Figura 7 – Treno di carico SW

| Tipo di carico | Qvk [kN/m] | A [m] | C [m] |
|----------------|------------|-------|-------|
| SW/0           | 133        | 15.0  | 5.3   |
| SW/2           | 150        | 25.0  | 7.0   |

Tabella 2 – caratterizzazione treni di carico SW

**Nel presente documento, si è considerato solo il modello di carico SW/2.**

#### 4.4.1.3 Ripartizione locale dei carichi

##### 4.4.1.3.1 Ripartizione longitudinale

Nelle analisi si sono considerati i seguenti meccanismi di ripartizione longitudinale dei carichi.

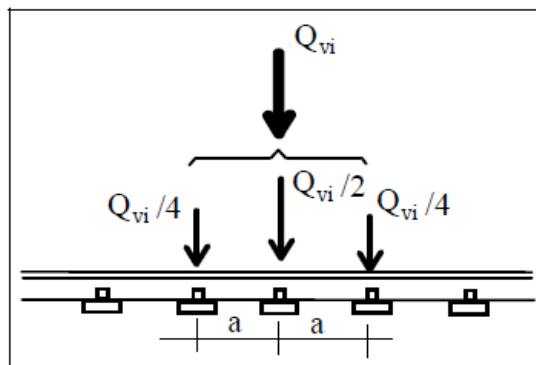


Figura 8 – meccanismo di ripartizione longitudinale per mezzo del binario

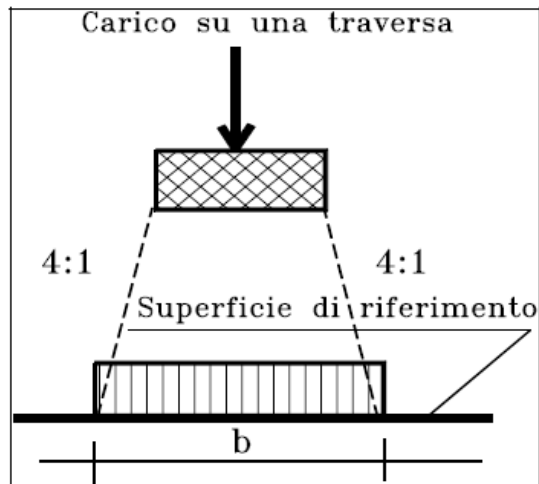


Figura 9 – meccanismo di ripartizione longitudinale per mezzo di traversa e ballast

La superficie di riferimento è la superficie di appoggio del ballast.

Nel caso specifico, la ripartizione viene valutata a partire dai seguenti parametri medi:

Larghezza traversine:  $B = 0.26$  m

Interasse traversine:  $i = 0.60$  m

Altezza di diffusione:  $h = 0.40$  m

Larghezza di diffusione:  $b = B + 2 \times h/4 = 0.46$  m <  $i$

Il valore appena calcolato per la larghezza di ripartizione sarà impiegato per la valutazioni degli effetti locali trasversali.

#### 4.4.1.3.2 Ripartizione trasversale

Nelle analisi si sono considerati il seguenti meccanismi di ripartizione trasversale dei carichi.

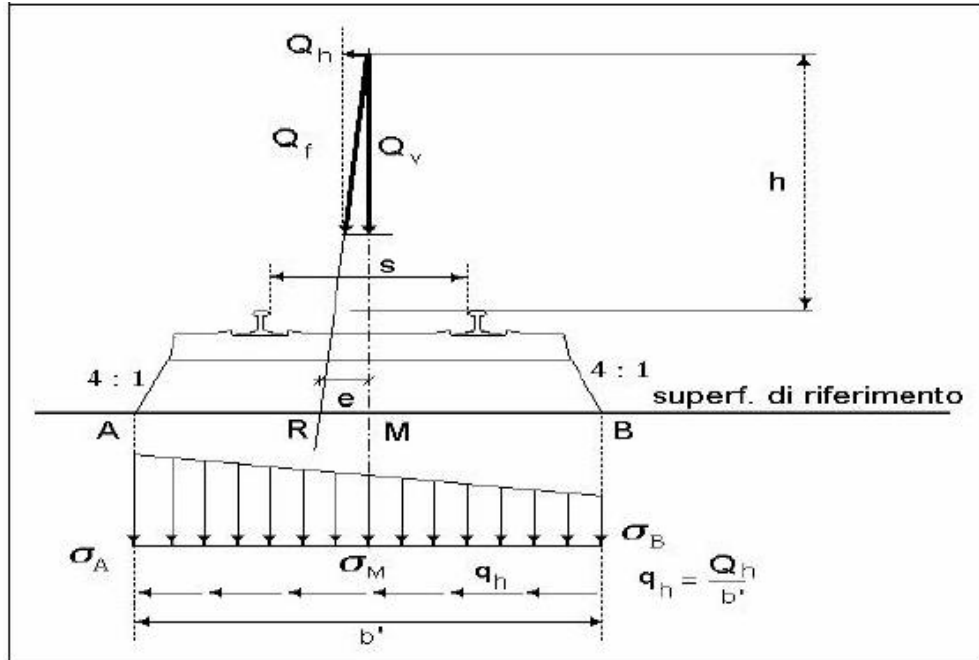


Figura 10 – meccanismo di ripartizione longitudinale per mezzo di traversa e ballast – ponte in rettilineo

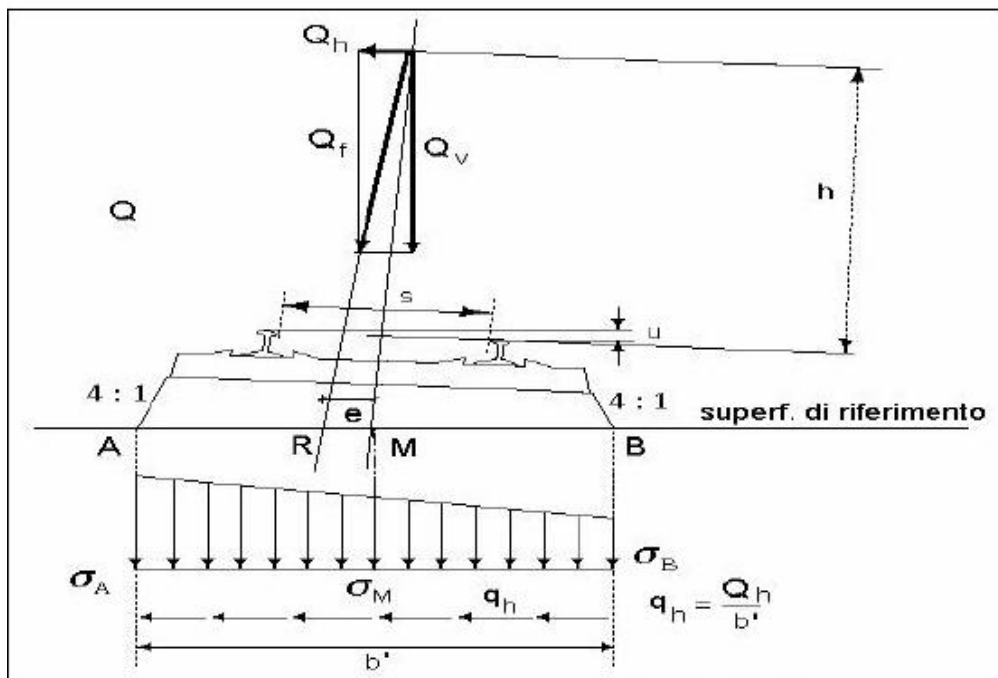


Figura 11 – meccanismo di ripartizione longitudinale per mezzo di traversa e ballast – ponte in curva

La superficie di riferimento è la superficie di appoggio del ballast.



Nel caso specifico, la ripartizione viene valutata a partire dai seguenti parametri medi. A vantaggio di sicurezza si adotta lo schema di ponte in rettilineo.

Larghezza traversine:  $B = 2.40$  m

Altezza di diffusione:  $h = 0.40$  m

Larghezza di diffusione:  $b = B + 2 \times h/4 = 2.60$  m

Il valore appena calcolato per la larghezza di diffusione sarà impiegato per la definizione del modello di calcolo globale e per la valutazioni degli effetti locali trasversali.

#### 4.4.2 Carichi sui marciapiedi

I marciapiedi non aperti al pubblico sono utilizzati solo dal personale autorizzato. I carichi accidentali sono schematizzati da un carico uniformemente ripartito del valore di 10 kN/mq.

Questo carico non deve considerarsi contemporaneo al transito dei convogli ferroviari e deve essere applicato sopra i marciapiedi in modo da dare luogo agli effetti locali più sfavorevoli. Per questo tipo di carico distribuito non deve applicarsi l'incremento dinamico.

#### 4.4.3 Forza centrifuga

La forza 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.

Le azioni centrifughe sono state valutate secondo le seguenti espressioni:

$$Q_{ik} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot Q_{vk})$$

$$q_{ik} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot q_{vk})$$

Le azioni centrifughe sono state valutate secondo quanto riportato nella seguente tabella.

| Valore di $\alpha$ | Massima velocità della linea [Km/h] | Azione centrifuga basata su: |          |   |   | traffico verticale associato                            |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------|---|---|---|
|                    |                                     | V                            | $\alpha$ | f |   |   |
| SW/2               | $\geq 100$                          | 100                          | 1        | 1 | $1 \times 1 \times SW/2$                    | $\Phi \times 1 \times SW/2$                             |
|                    | $< 100$                             | V                            | 1        | 1 | $1 \times 1 \times SW/2$                    |   |
| LM71 e SW/0        | $> 120$                             | V                            | 1        | f | $1 \times f \times (LM71^{''} + SW/0)$      | $\Phi \times 1 \times 1 \times (LM71^{''} + SW/0)$      |
|                    |                                     | 120                          | $\alpha$ | 1 | $\alpha \times 1 \times (LM71^{''} + SW/0)$ | $\Phi \times \alpha \times 1 \times (LM71^{''} + SW/0)$ |
|                    | $\leq 120$                          | V                            | $\alpha$ | 1 | $\alpha \times 1 \times (LM71^{''} + SW/0)$ |   |

Tabella 3 – Parametri per determinazione della forza centrifuga

Si ottengono quindi i seguenti valori caratteristici dell'azione centrifuga. I valori massimi sono impiegati nelle analisi.

| AZIONE CENTRIFUGA          |         |          |      |                      |                 |                  |           |                              |  |
|----------------------------|---------|----------|------|----------------------|-----------------|------------------|-----------|------------------------------|--|
| Categoria ponte            |         | A        |      |                      |                 |                  |           |                              |  |
| Lunghezza di influenza     |         | 25 m     |      |                      |                 |                  |           |                              |  |
| Velocità di progetto       |         | 160 Km/h |      |                      |                 |                  |           |                              |  |
| Raggio planimetrico minimo |         | 1300 m   |      |                      |                 |                  |           |                              |  |
|                            |         |          |      | assi (kN)            |                 | uni (kN)         |           |                              |  |
|                            |         |          |      | Modello LM 71        |                 | 250              |           | 80                           |  |
|                            |         |          |      | Modello SW 2         |                 |                  |           | 150                          |  |
| <b>centrifuga per LM71</b> |         |          |      | <b>V&gt;120</b>      |                 | forza centrifuga |           | traffico verticale associato |  |
| caso                       | V(Km/h) | alfa     | f    | $C=V^2/127/r*f*alfa$ | Qtk(assi)=C*250 | qtk(uni)=C*80    | Qvk(assi) | qvk(uni)                     |  |
| 1                          | 160     | 1        | 0.82 | 0.127                | 31.8            | 10.2             | 250       | 80                           |  |
| 2                          | 120     | 1.1      | 1    | 0.096                | 24.0            | 7.7              | 275       | 88                           |  |
| <b>centrifuga per LM71</b> |         |          |      | <b>V≤120</b>         |                 | forza centrifuga |           | traffico verticale associato |  |
| caso                       | V(Km/h) | alfa     | f    | $C=V^2/127/r*f*alfa$ | Qtk(assi)=C*250 | qtk(uni)=C*80    | Qvk(assi) | qvk(uni)                     |  |
| 4                          | 160     | 1.1      | 1    | 0.174                | 42.6            | 13.6             | 275       | 88                           |  |
| <b>centrifuga per SW2</b>  |         |          |      |                      |                 | forza centrifuga |           | traffico verticale associato |  |
|                            | V(Km/h) | alfa     | f    | $C=V^2/127/r*f*alfa$ |                 | qtk(uni)=C*150   |           | qvk(uni)                     |  |
|                            | 100     | 1        | 1    | 0.061                |                 | 9.1              |           | 150                          |  |

Al fine di massimizzare gli effetti sulle travi, il carico verticale caratteristico, così moltiplicato per il relativo coefficiente C, è stato disposto, per il carico LM71, su due configurazioni differenti al fine di massimizzare gli effetti all'appoggio e in mezzera

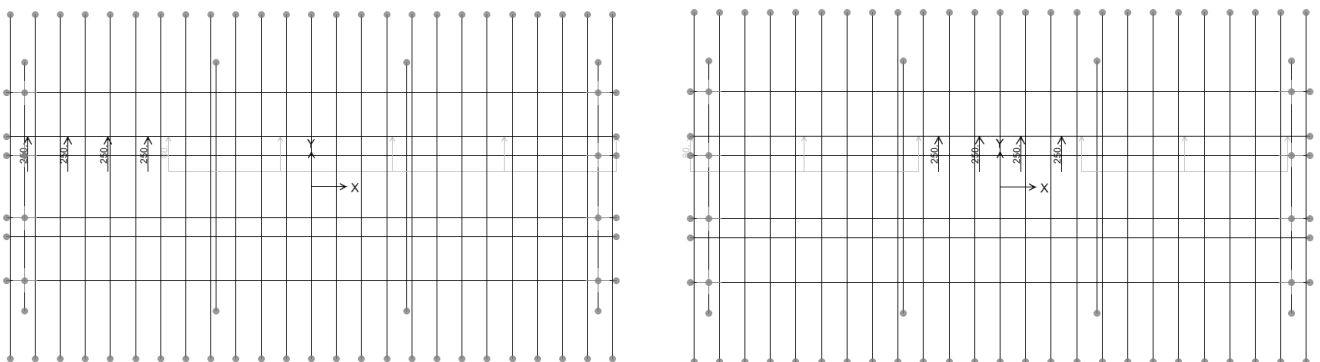


Figura 12 – Forza Centriuga nelle due configurazioni (LM71)

#### 4.4.4 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva.

Il valore caratteristico di tale forza è stato assunto pari a  $Q_{sk}=100$  kN. Tale valore deve essere moltiplicato per  $\alpha$ , ma non per il coefficiente di incremento dinamico.

Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Al fine di massimizzare gli effetti sulle travi, il carico, è stato disposto, su due configurazioni differenti, si veda ad esempio le posizioni per il serpeggio derivante dal modello di carico LM71.

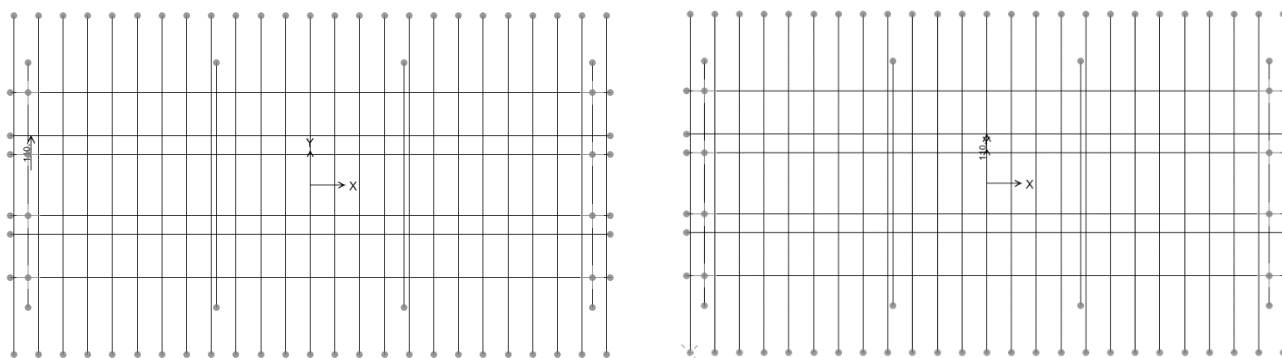


Figura 13 – Serpeggio nelle due configurazioni (LM71)

#### 4.4.5 Avviamento e frenatura

Le forze di frenatura e di avviamento si considera come azione agente sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso, come carico uniformemente distribuito. A vantaggio di sicurezza si trascurano gli effetti di interazione binario struttura.

Si considerano i seguenti valori delle azioni:

### FRENATURA / AVVIAMENTO

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Categoria ponte          | A    |
| numero binari            | 2    |
| Lunghezza parte caricata | 25 m |

#### avviamento

|       | (kN/m) | L(m)  | Q <sub>la</sub> ,k (kN) | $\alpha$ | Q <sub>la</sub> ,k (kN) |
|-------|--------|-------|-------------------------|----------|-------------------------|
| LM 71 | 33x    | 25.0= | 825x                    | 1.10=    | 908                     |
| SW 0  | 33x    | 19.7= | 650x                    | 1.10=    | 715                     |
| SW 2  | 33x    | 25.0= | 825x                    | 1.00=    | 825                     |

#### frenatura

|       | (kN/m) | L(m)  | Q <sub>lb</sub> ,k (kN) | $\alpha$ | Q <sub>lb</sub> ,k (kN) |
|-------|--------|-------|-------------------------|----------|-------------------------|
| LM 71 | 20x    | 25.0= | 500x                    | 1.10=    | 550                     |
| SW 0  | 20x    | 19.7= | 394x                    | 1.10=    | 433                     |
| SW 2  | 35x    | 25.0= | 875x                    | 1.00=    | 875                     |

#### Combinazioni

|                         | aw | LM 71          | LM 71 | LM 71 | SW 0  | SW 0 | SW 0 | SW 2  | SW 2 | SW 2 |
|-------------------------|----|----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| fren                    |    | LM 71          | SW 0  | SW 2  | LM 71 | SW 0 | SW 2 | LM 71 | SW 0 | SW 2 |
| Q <sub>la</sub> ,k (kN) |    | 908            | 908   | 908   | 715   | 715  | 715  | 825   | 825  | 825  |
| Q <sub>lb</sub> ,k (kN) |    | 550            | 433   | 875   | 550   | 433  | 875  | 550   | 433  | 875  |
| Q <sub>l</sub> ,k (kN)  |    | 1458           | 1341  | 1783  | 1265  | 1149 | 1590 | 1375  | 1258 | 1700 |
| Q <sub>lk,max</sub>     |    | <b>1783</b> kN |       |       |       |      |      |       |      |      |

Come previsto dalla normativa, si considerano due treni in transito in versi opposti, uno in fase di avviamento, l'altro in fase di frenatura. Le azioni di frenatura ed avviamento si combinano con i relativi carichi da traffico verticali.

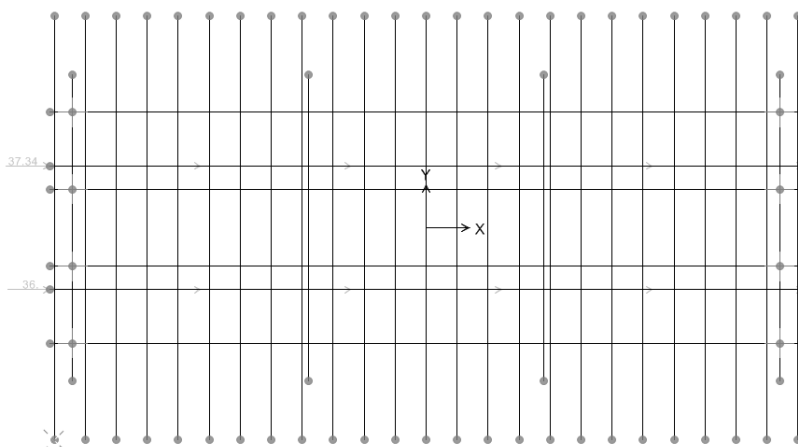


Figura 14 – Avviamento e frenatura

## 4.5 Azioni dinamiche

In riferimento a quanto previsto per linee a normale standard manutentivo, si calcolano i seguenti coefficienti di amplificazione dinamica:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73 \text{ con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Per effetti globali  $L_\phi=22.80\text{m}$  da cui  $\phi_3=$  **1.202**

Pe effetti locali  $L_\phi=3*1.5=4.50\text{m}$  da cui  $\phi_3=$  **1.854**

avendo considerato per gli effetti globali la luce tra gli appoggi delle travi principali, mentre per gli effetti locali la luce della soletta tra le nervature delle travi principali pari a 1.50 m.

## 4.6 Azioni dovute al deragliamento

In alternativa ai modelli di carico verticale da traffico ferroviario, ai fini della verifica della struttura si dovrà tenere conto della possibilità che un locomotore o un carro pesante deragli. La normativa propone due diverse situazioni di progetto;

### Caso 1

Si considerano due carichi verticali lineari  $q_{A1d} = 60$  kN/m (comprensivo dell'effetto dinamico) ciascuno. Trasversalmente i carichi distano fra loro di  $S$  (scartamento del binario) e possono assumere tutte le posizioni comprese entro i limiti indicati in Fig. 5.2.12.

Per questa condizione sono tollerati danni locali, purché possano essere facilmente riparati, mentre sono da evitare danneggiamenti delle strutture portanti principali.

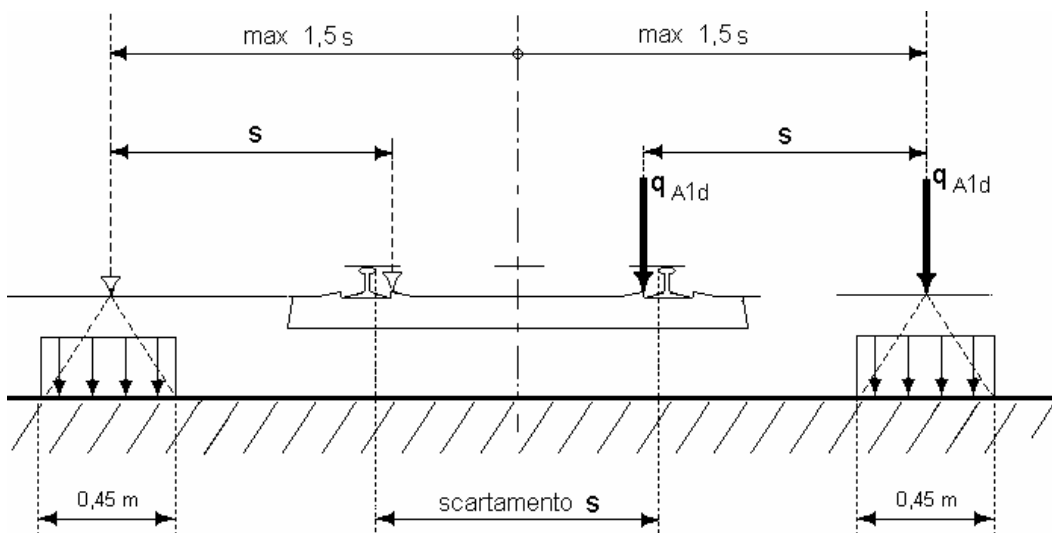


Figura 15 – posizione azioni da deragliamento – caso 1

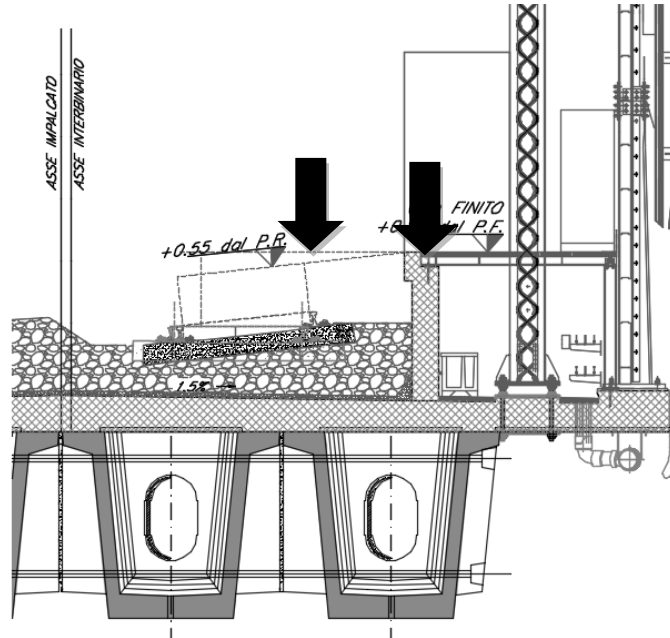


Figura 16 – posizione azioni da deragliamento – caso 1

### Caso 2

Si considera un unico carico lineare  $q_{A2d}=80 \times 1.4$  kN/m esteso per 20 m e disposto con una eccentricità massima, lato esterno, di 1.5 s rispetto all'asse del binario. Tale caso deve essere applicato solo per effetti globali.

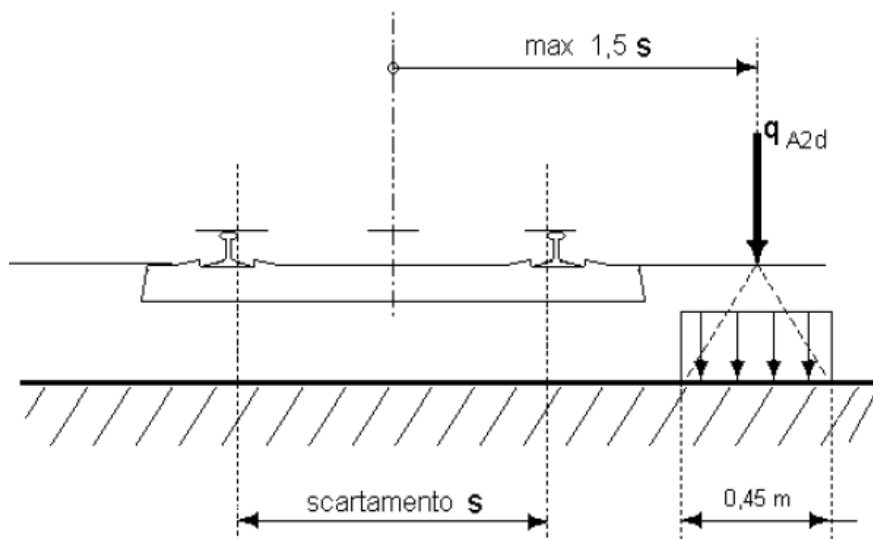


Figura 17 – posizione azioni da deragliamento – caso 2

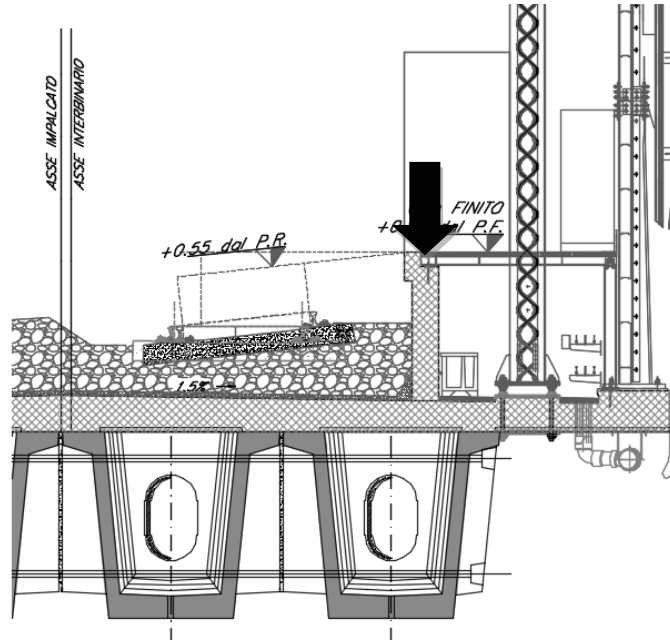


Figura 18 – posizione azioni da deragliamento – caso 2



## 4.7 Vento (Q5q)

Viene effettuato un calcolo del vento a ponte carico (Q5q). La velocità di riferimento del vento a ponte carico viene calcolata con la normativa nazionale viene assunta pari a 25 m/s.

### Azione del vento - generale - NTC08 e EC 1-1-4:2005

|                                      |                                     |                        |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Condizione (ponte carico o scarico)  |                                     | carico                 |
| Altitudine sul livello del mare      | as                                  | 30 m                   |
| Zona                                 | Z                                   | 4 -                    |
| Parametri                            | $v_{b,0}$                           | 25 m/s                 |
| Parametri                            | $a_0$                               | 500 m                  |
| Parametri                            | $k_a$                               | 0.020 1/s              |
| Velocità di riferimento (Tr=50 anni) | $v_b = v_{b,0} + k_a * (a_s - a_0)$ | 25 m/s                 |
| Periodo di ritorno considerato       | $T_R$                               | 75 anni                |
|                                      | $\alpha_r$                          | 1.02 -                 |
| Velocità di riferimento              | $v_b$                               | 25.6 m/s               |
| Densità dell'aria                    | $\rho$                              | 1.25 kg/m <sup>3</sup> |
| pressione cinetica di riferimento    | $q_b = 0.5 * \rho * v_b^2$          | 0.41 kN/m <sup>2</sup> |
| Classe di rugosità del terreno       |                                     | D                      |
| Distanza dalla costa                 |                                     |                        |
| Altitudine sul livello del mare      |                                     | < 500 m                |
| Categoria di esposizione del sito    | Cat                                 | 2                      |

### Vento su impalcato

|  |                |        |
|--|----------------|--------|
| Altezza di riferimento per l'impalcato (EC punto 8.3.1(6)) | z              | 13 m   |
| parametri  | $k_r$          | 0.19   |
| parametri  | $z_0$          | 0.05 m |
| parametri  | $z_{min}$      | 4 m    |
| parametri  | $z_{max}$      | 200 m  |
| Coefficiente di topografia                                 | $c_t$          | 1      |
| coefficiente di esposizione ( $z \leq z_{min}$ )           | $c_e(z_{min})$ | 1.80 - |
| coefficiente di esposizione (z)                            | $c_e(z)$       | 2.52 - |
| Coefficiente di esposizione                                | $c_e$          | 2.52 - |
| Larghezza impalcato  | b              | 13.7 m |
| Altezza totale impalcato (comprese le barriere o treno)    | dtot           | 7.83 m |
| Rapporto di forma  | b/dtot         | 1.75 - |
| Coefficiente di forza (figura 8.3 EC)                      | cfx            | 1.91 - |

### Riepilogo

|   |       |                        |
|---|-------|------------------------|
| Pressione cinetica di riferimento                 | $q_b$ | 0.41 kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di esposizione                       | $c_e$ | 2.52 -                 |
| Coefficiente di forza                             | cfx   | 1.91 -                 |
| Altezza di riferimento (EC punto 8.3.1 (4) e (5)) | d     | 7.83 -                 |

$$F_w = 0.41 \text{ kN/m}^2 * 2.52 = 1.033 \text{ kN/m}$$

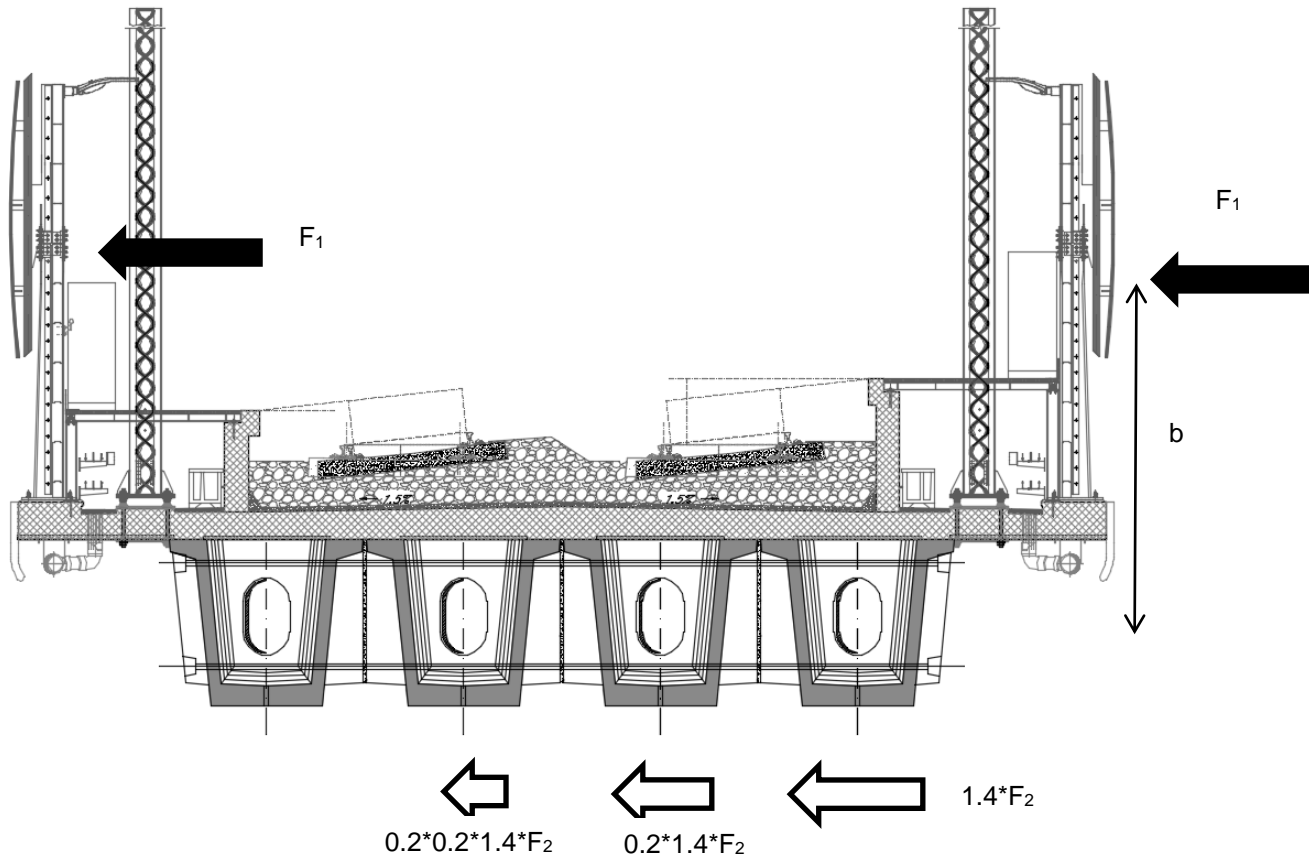
L'azione del vento viene applicata considerando due distinte risultanti. La prima applicata a metà dell'altezza delle strutture dell'impalcato, la seconda a metà dell'altezza di barriera considerata, secondo lo schema riportato

di seguito. Per semplicità di calcolo, è stata trascurata l'eccentricità della forza  $F_1$  rispetto al baricentro dell'impalcato.

$$F_1 = F_w \cdot h_{\text{barriera+cordolo+soletta}} = 1.033 \cdot 5.73 = 5.91 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_w \cdot h_{\text{trave}} = 1.033 \cdot 2.1 = 2.17 \text{ kN}$$

Il contributo dell'azione del vento incidente sulla prima trave è moltiplicato per un fattore 1.4 (travi isolate) in accordo con quanto descritto al punto "C3.3.10.4.1 Travi isolate" della Circolare Esplicativa 2 febbraio 2009, n. 617. Analogamente il contributo così calcolato viene considerato anche sulle rimanenti travi in una percentuale pari al 20% rispetto alla trave precedente, in direzione del vento incidente, considerata. Si trascura il contributo del vento della trave opposta alla direzione del vento incidente.



Figura

zione dell'azione del vento

#### 4.8 Azione sismica (SX,SY,SZ)

Le azioni sismiche non sono dimensionanti ai fini delle verifiche relative all'impalcato e non vengono quindi considerate nelle analisi dello stesso. Le azioni sismiche considerate per la progettazione delle sottostrutture (pile, spalle e fondazioni) sono riportate nelle corrispondenti relazioni di calcolo.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. | DOC.   | PROG. | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|------|--------|-------|------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL   | VI0007 | 008   | A    | 27 di 75 |

## 5 Simbologia e convenzioni

Se non diversamente specificato, nel seguito le sollecitazioni e le tensioni rispondono ai seguenti simboli e convenzioni:

- Sollecitazioni
  - P = sforzo assiale
  - V2 = sforzo di taglio longitudinale
  - M3 = momento flettente longitudinale
  - V3 = sforzo di taglio trasversale
  - M2 = momento flettente trasversale
  - T = momento torcente

Le sollecitazioni sono espresse in kN,m e le tensioni in MPa.

## 6 Analisi impalcato

### 6.1 Modello di calcolo

E' stato realizzato un modello di calcolo agli elementi finiti con elementi tipo frame. Il modello costituisce il graticcio dell'impalcato realizzato con le quattro travi, i quattro traversi e gli elementi della soletta posti ad interasse 1m.

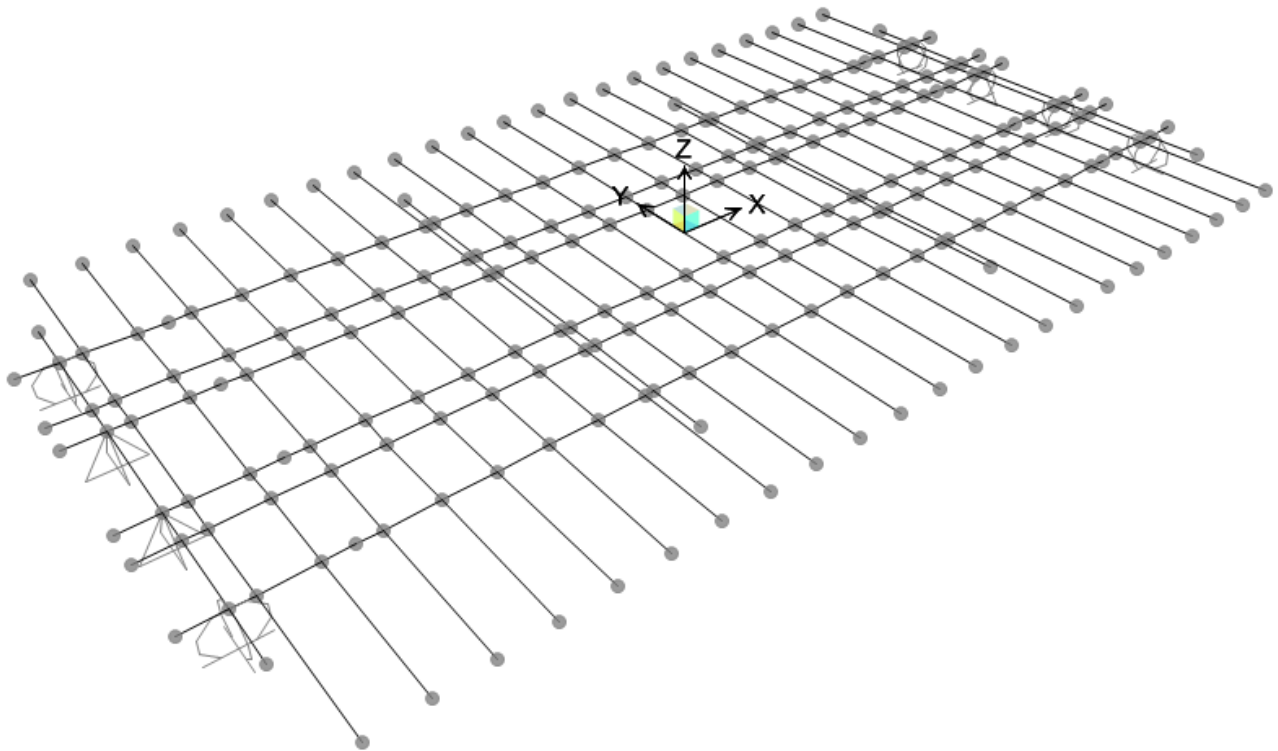
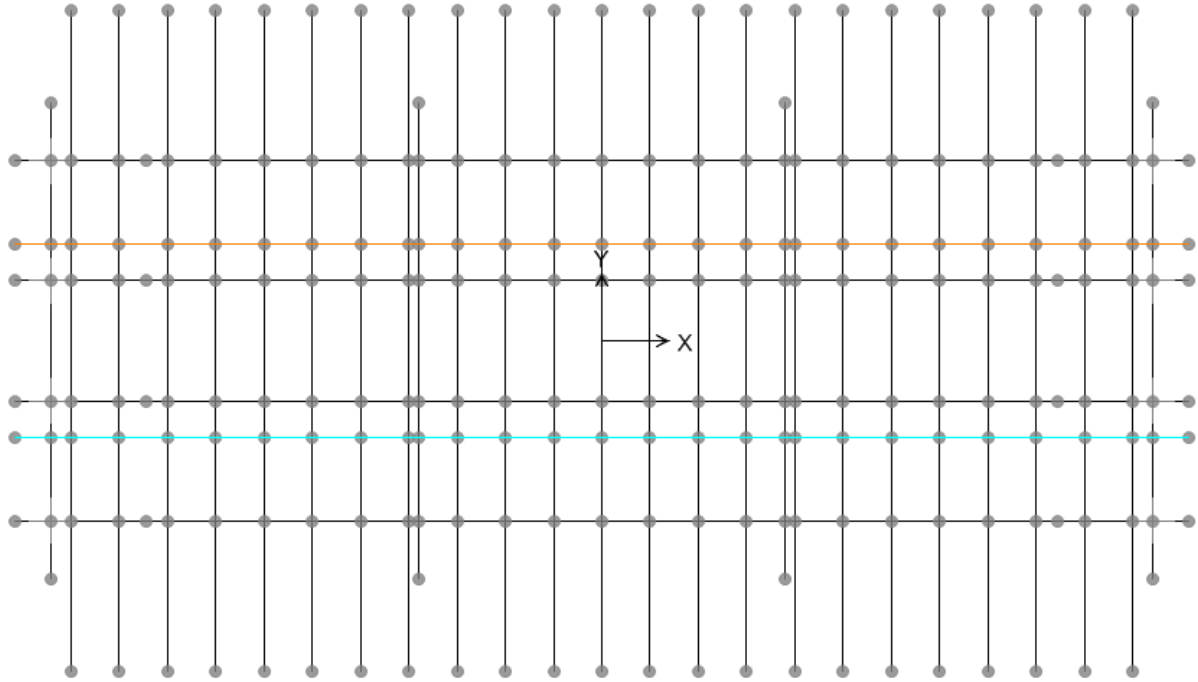
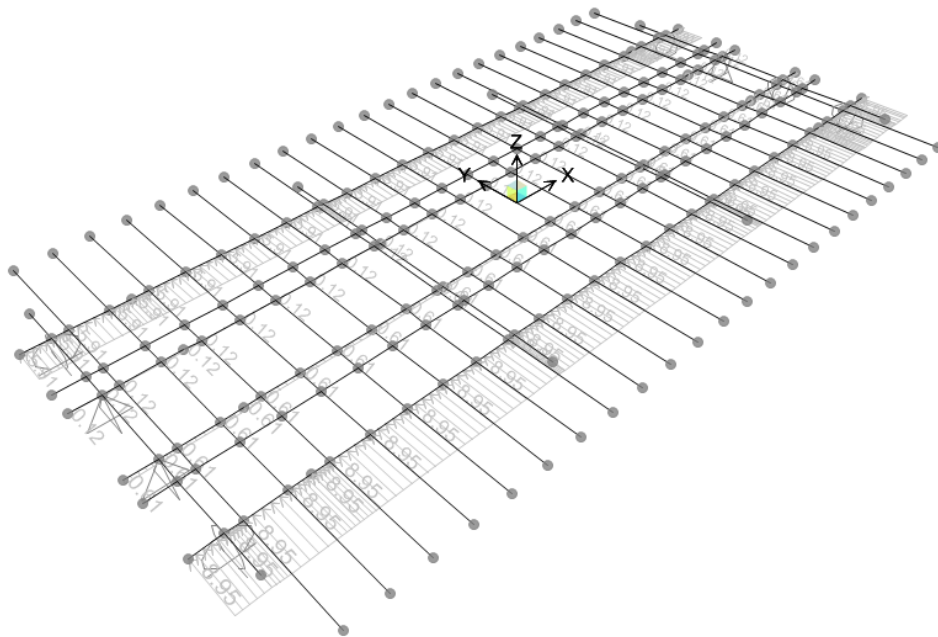


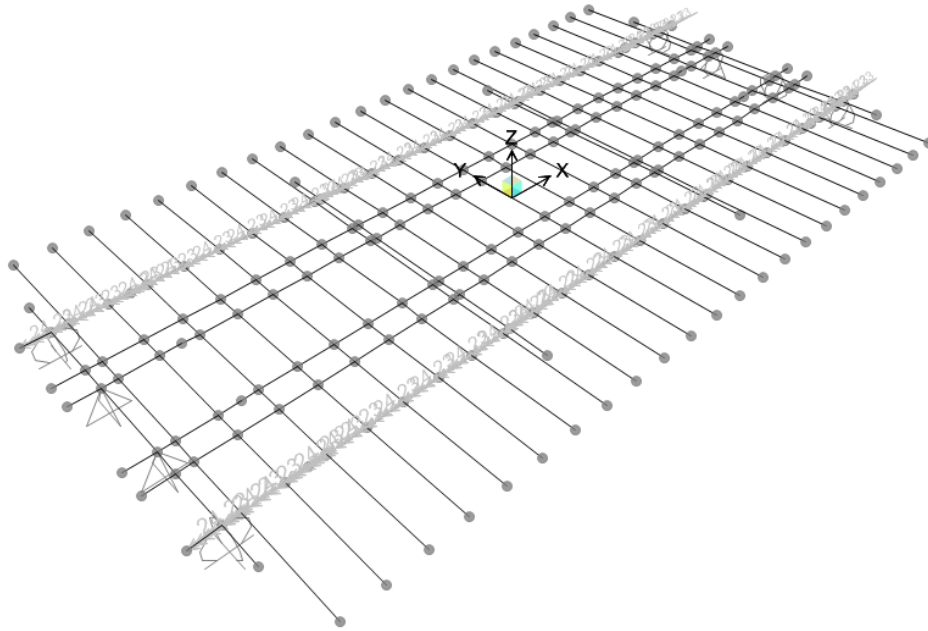
Figura 20 – Modello a graticcio

Si riportano le linee di applicazione del carico mobile.



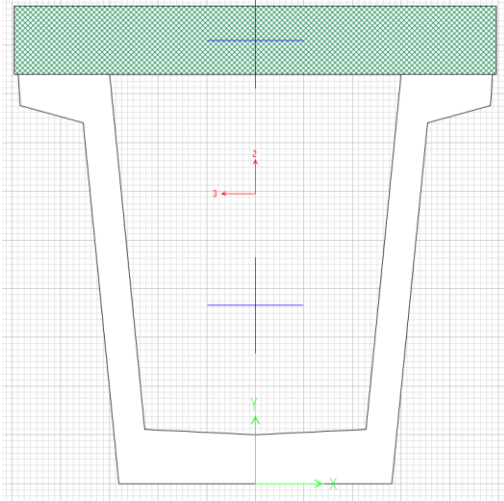
Il vento è stato applicato come carichi e momenti uniformemente distribuiti sulle travi.



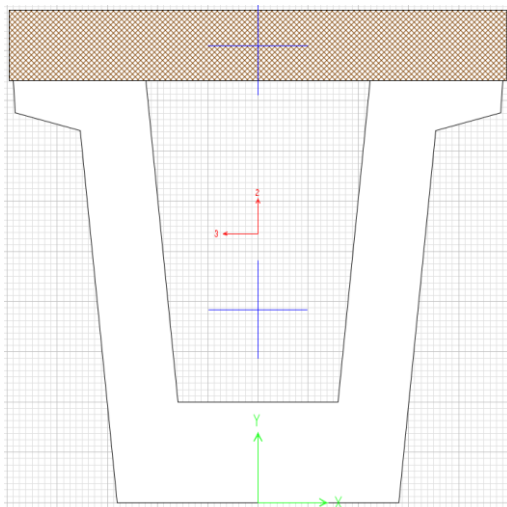


Di seguito si riportano le caratteristiche inerziali degli elementi. Come da prassi, agli elementi frame della soletta è stata dimezzata la rigidità torsionale.

Sezione corrente



| Property Data                  |        |                                 |        |
|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| Section Name                   |        | C                               |        |
| <b>Properties</b>              |        |                                 |        |
| Cross-section (axial) area     | 1.8909 | Section modulus about 3 axis    | 0.9747 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 1.4511 | Section modulus about 2 axis    | 0.7561 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 0.9375 | Plastic modulus about 3 axis    | 1.339  |
| Product of inertia about 2-3   | 0.     | Plastic modulus about 2 axis    | 1.0863 |
| Shear area in 2 direction      | 0.8306 | Radius of Gyration about 3 axis | 0.876  |
| Shear area in 3 direction      | 1.2362 | Radius of Gyration about 2 axis | 0.7041 |
| Torsional constant             | 1.2966 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.     |



| Property Data                  |        |                                 |        |
|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| Section Name                   |        | A                               |        |
| <b>Properties</b>              |        |                                 |        |
| Cross-section (axial) area     | 2.7707 | Section modulus about 3 axis    | 1.3995 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 1.8738 | Section modulus about 2 axis    | 0.9444 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 1.1711 | Plastic modulus about 3 axis    | 1.8979 |
| Product of inertia about 2-3   | 0.     | Plastic modulus about 2 axis    | 1.5129 |
| Shear area in 2 direction      | 1.6944 | Radius of Gyration about 3 axis | 0.8224 |
| Shear area in 3 direction      | 1.7564 | Radius of Gyration about 2 axis | 0.6501 |
| Torsional constant             | 1.8321 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.     |

Sezione di testata

Caratteristiche dell'elemento di soletta B=1.00m



**Rectangular Section**

Section Name:  Display Color:

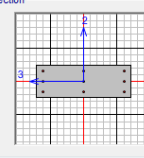
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3):

Width (t2):

Section



Properties

Material:

Property Modifiers:

**Property Data**

Section Name:

Properties

|                                |           |                                 |        |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|--------|
| Cross-section (axial) area     | 0.35      | Section modulus about 3 axis    | 0.0204 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 3.573E-03 | Section modulus about 2 axis    | 0.0583 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 0.0292    | Plastic modulus about 3 axis    | 0.0306 |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 0.0875 |
| Shear area in 2 direction      | 0.2917    | Radius of Gyration about 3 axis | 0.101  |
| Shear area in 3 direction      | 0.2917    | Radius of Gyration about 2 axis | 0.2887 |
| Torsional constant             | 0.0111    | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.     |

Traversi intermedi

**Rectangular Section**

Section Name:  Display Color:

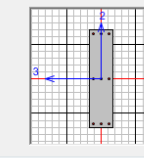
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3):

Width (t2):

Section



Properties

Material:

Property Modifiers:

**Property Data**

Section Name:

Properties

|                                |        |                                 |        |
|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| Cross-section (axial) area     | 0.8099 | Section modulus about 3 axis    | 0.2457 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 0.2236 | Section modulus about 2 axis    | 0.0601 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 0.0134 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.3685 |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.     | Plastic modulus about 2 axis    | 0.0901 |
| Shear area in 2 direction      | 0.6749 | Radius of Gyration about 3 axis | 0.5254 |
| Shear area in 3 direction      | 0.6749 | Radius of Gyration about 2 axis | 0.1285 |
| Torsional constant             | 0.0452 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.     |

Traversi di testata

**Rectangular Section**

Section Name: T\_T      Display Color: ■

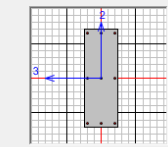
Section Notes:

**Dimensions**

Depth (t3): 1.82

Width (t2): 0.63

**Section**



**Material**: C32/40

**Property Modifiers**:

**Property Data**

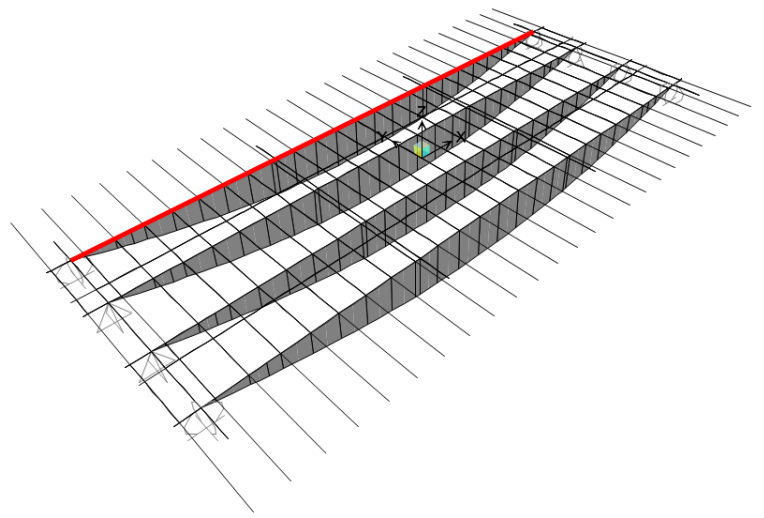
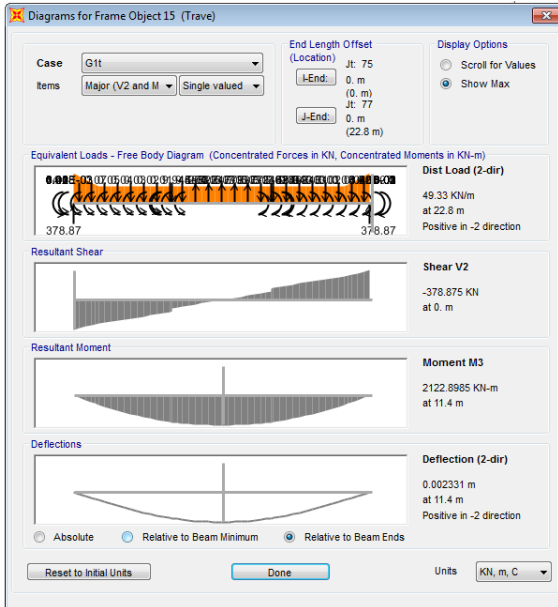
Section Name: T\_T

**Properties**

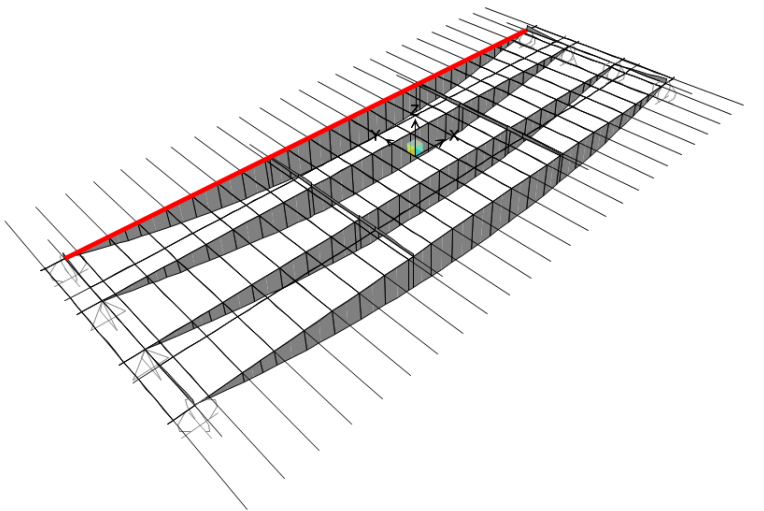
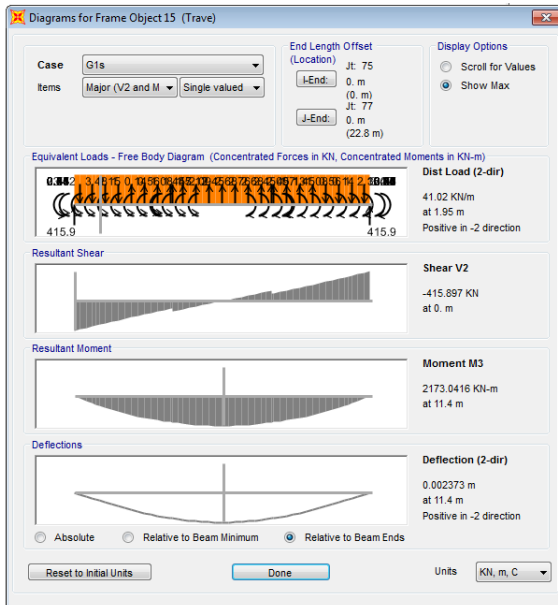
|                                |        |                                 |        |
|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| Cross-section (axial) area     | 1.1466 | Section modulus about 3 axis    | 0.3478 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 0.3165 | Section modulus about 2 axis    | 0.1204 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 0.0379 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.5217 |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.     | Plastic modulus about 2 axis    | 0.1806 |
| Shear area in 2 direction      | 0.9555 | Radius of Gyration about 3 axis | 0.5254 |
| Shear area in 3 direction      | 0.9555 | Radius of Gyration about 2 axis | 0.1819 |
| Torsional constant             | 0.1187 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.     |

## 6.2 Sollecitazioni

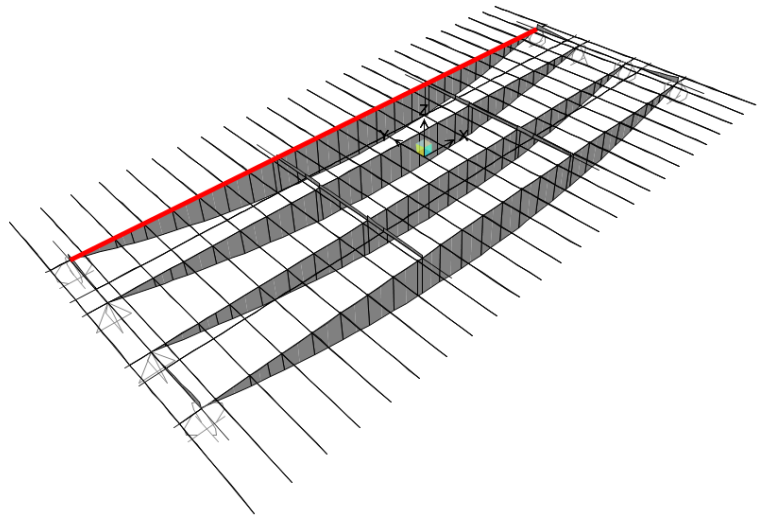
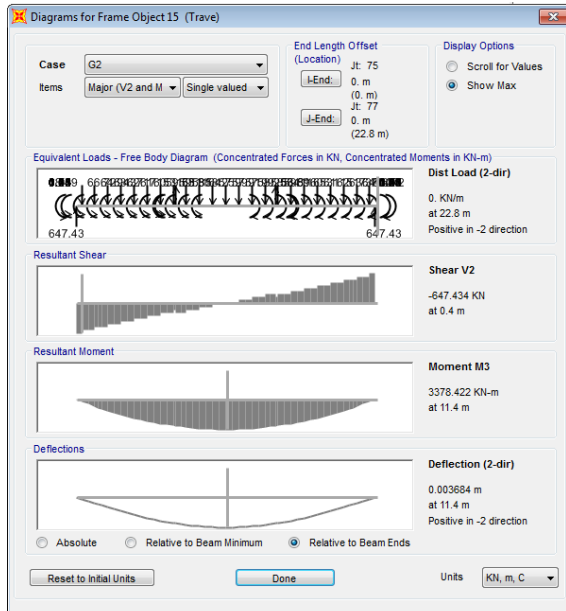
### Peso proprio (G1t)



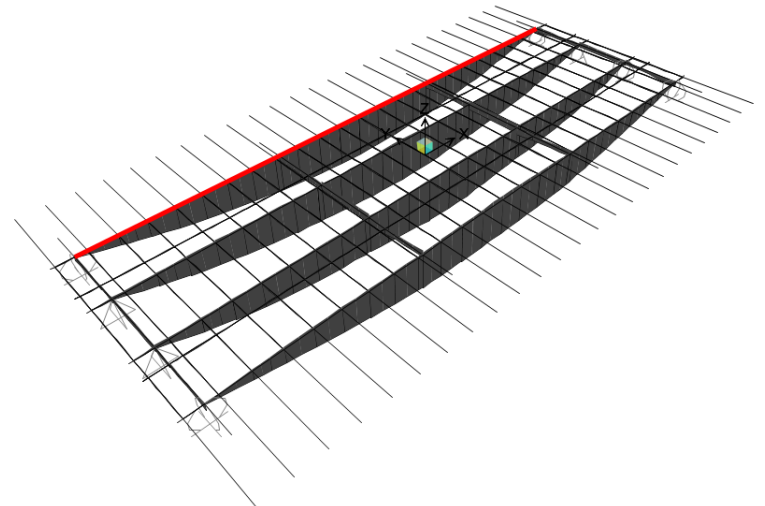
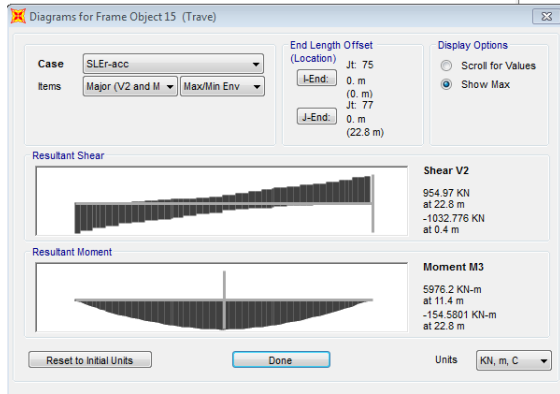
### Soletta (G1s)



### Permanenti portati (G2)



*Carichi accidentali – involuppo (SLEr acc)*



*Figure 1 – sollecitazioni caratteristiche*

Nelle figure seguenti sono rappresentati i digrammi di momento e taglio sulla trave più sollecitata.

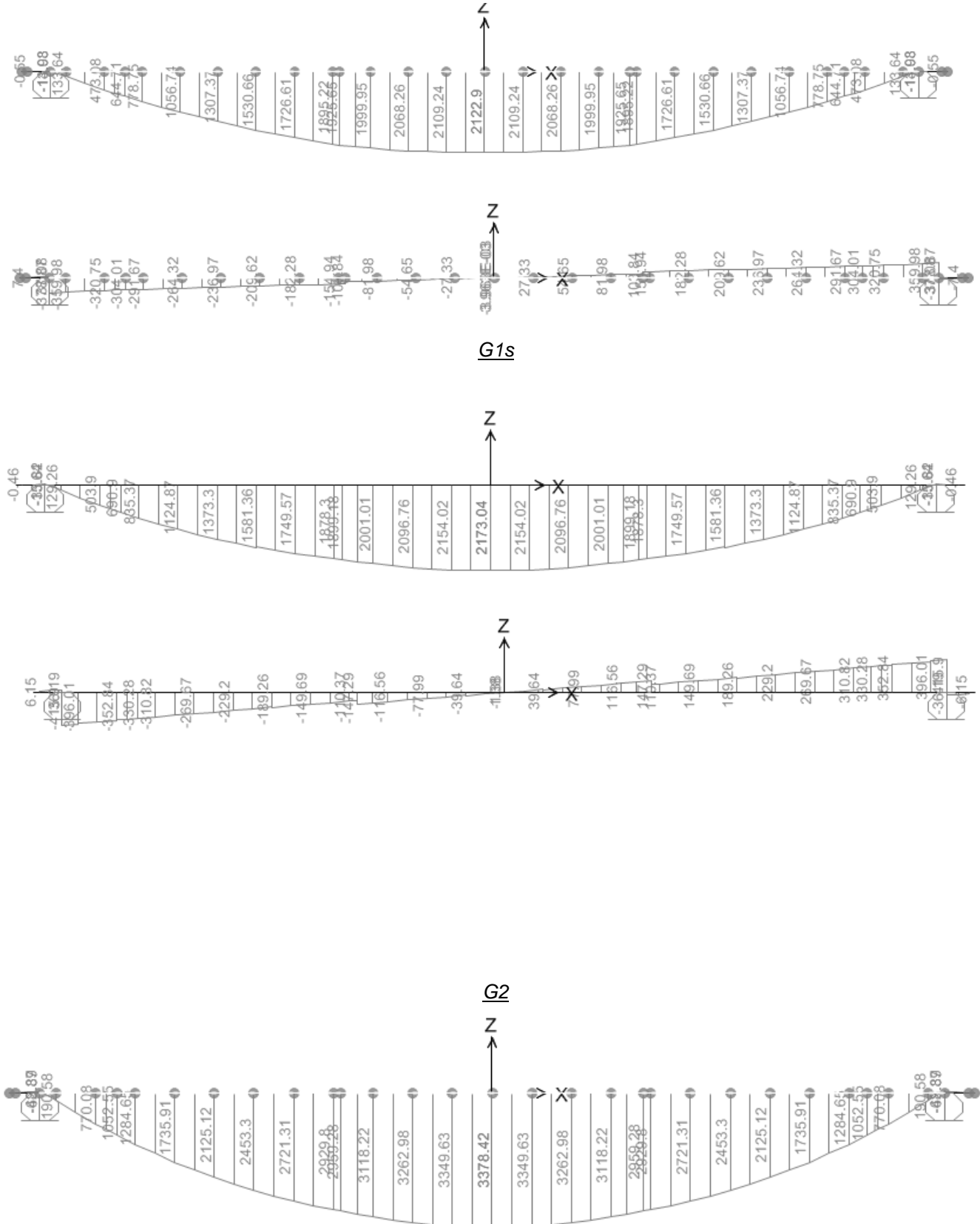
G1t

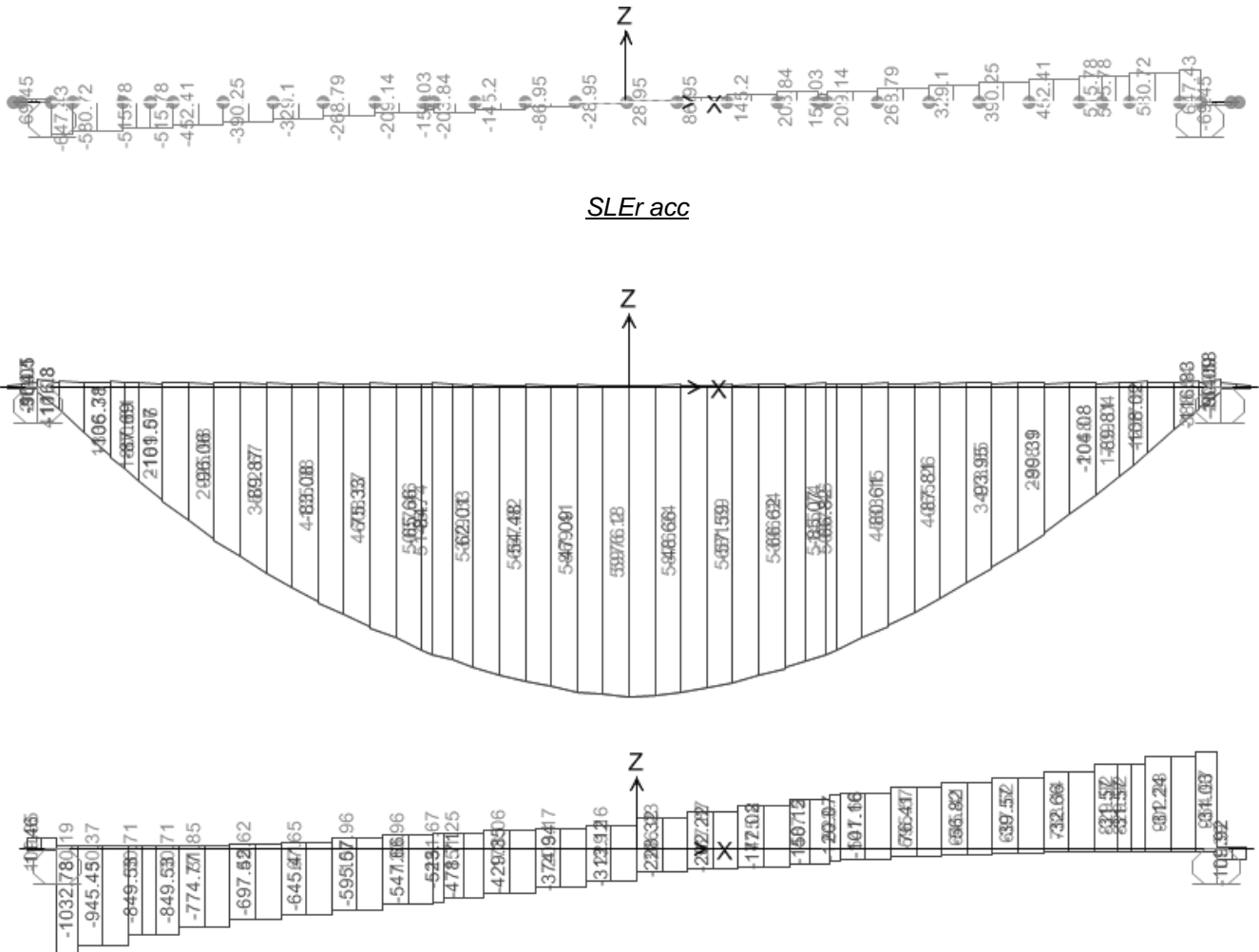
**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 37 di 75 |





### 6.3 Combinazioni

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella seguente tabella:

| TIPO DI CARICO | Azioni verticali     |               | Azioni orizzontali     |                |                | Commenti                            |
|----------------|----------------------|---------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
|                | Carico verticale (1) | Treno scarico | Frenatura e avviamento | Centrifuga     | Serpeggio      |                                     |
| Gruppo 1 (2)   | 1,00                 | -             | 0,5 (0,0)              | 1,0 (0,0)      | 1,0 (0,0)      | massima azione verticale e laterale |
| Gruppo 2 (2)   | -                    | 1,00          | 0,00                   | 1,0 (0,0)      | 1,0(0,0)       | stabilità laterale                  |
| Gruppo 3 (2)   | 1,0 (0,5)            | -             | 1,00                   | 0,5 (0,0)      | 0,5 (0,0)      | massima azione longitudinale        |
| Gruppo 4       | 0,8 (0,6; 0,4)       | -             | 0,8 (0,6; 0,4)         | 0,8 (0,6; 0,4) | 0,8 (0,6; 0,4) | fessurazione                        |

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc.)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tabella 4 - Valutazione dei carichi da traffico (da "Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari")

Le azioni di cui ai paragrafi precedenti sono combinate tra loro, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto relative agli elementi strutturali di volta in volta considerati in base a quanto prescritto dal D.M. 17 Gennaio 2018 al paragrafo § 2.5.3, §3.2.4 e paragrafo §5.2.3.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

L'analisi ragionata delle combinazioni di carico previste dalla normativa ha consentito di ridurre il numero di combinazioni considerate. Nella tabella seguente si riportano i valori di combinazioni adottati per analisi e verifiche. I valori riportati in tabella considerano già i coefficienti di combinazione previsti dalla normativa.

| Tipo Combinazione     | Combinazione | Azione principale | G1_pp | G1_perm | P_Precompr | gr_traffico | Fw_Vento | Ritiro | Viscosità |
|-----------------------|--------------|-------------------|-------|---------|------------|-------------|----------|--------|-----------|
| SLU                   | A1STR_gr1    | gr1               | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.45        | 0.9      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr2    | gr2               | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.45        | 0.9      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr3    | gr3               | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.45        | 0.9      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr1_Fw | Fw                | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.16        | 1.5      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr2_Fw | Fw                | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.16        | 1.5      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr3_Fw | Fw                | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.16        | 1.5      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr1_Tk | Tk                | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.45        | 0.9      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr2_Tk | Tk                | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.45        | 0.9      | 1.2    | 1.2       |
| SLU                   | A1STR_gr3_Tk | Tk                | 1.35  | 1.5     | 1          | 1.45        | 0.9      | 1.2    | 1.2       |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr1     | gr1               | 1     | 1       | 1          | 1           | 0.6      | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr2     | gr2               | 1     | 1       | 1          | 1           | 0.6      | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr3     | gr3               | 1     | 1       | 1          | 1           | 0.6      | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr1_Fw  | Fw                | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 1        | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr2_Fw  | Fw                | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 1        | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr3_Fw  | Fw                | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 1        | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr1_Tk  | Tk                | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 0.6      | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr2_Tk  | Tk                | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 0.6      | 1      | 1         |
| RARA (Caratteristica) | RARA_gr3_Tk  | Tk                | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 0.6      | 1      | 1         |
| FREQUENTE             | FR_gr1       | gr1               | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 0        | 1      | 1         |
| FREQUENTE             | FR_gr2       | gr2               | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 0        | 1      | 1         |
| FREQUENTE             | FR_gr3       | gr3               | 1     | 1       | 1          | 0.8         | 0        | 1      | 1         |
| FREQUENTE             | FR_gr1_Fw    | Fw                | 1     | 1       | 1          | 0           | 0.5      | 1      | 1         |
| FREQUENTE             | FR_gr1_Tk    | Tk                | 1     | 1       | 1          | 0           | 0        | 1      | 1         |
| QP                    | QP_Tk        | Tk                | 1     | 1       | 1          | 0           | 0        | 1      | 1         |



## 6.4 Effetti globali sull'impalcato – Verifica tensionale trave in mezzzeria

Per ogni fase sono verificate le tensioni ai lembi superiore ed inferiore della trave e, una volta che la soletta diventa collaborante, anche la tensione ai lembi superiore ed inferiore della soletta stessa. I limiti tensionali per l'acciaio da precompressione e per il calcestruzzo nelle varie fasi, sono definiti nel D.M. 17 Gennaio 2018 al §4.1.8.1 e nella Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 "Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario" del 21 Gennaio 2011. I limiti tensionali considerati, tengono conto del livello di maturazione del cls, secondo quanto di seguito definito.

### Fase 0 e 1:

- test cls sup. : si verifica che il lembo superiore della sezione non sia in trazione per i carichi considerati
- test cls inf. : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite  $0.6 \times f_{ck}$
- test precompr. : si verifica che la tensione di trazione nell'armatura di precompressione non sia superiore al limite  $0.75 \times f_{pk}$

### Fase 2 e 3:

- test cls sup.soletta : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite  $0.55 \times f_{ck}$  per combinazioni rare,  $0.40 \times f_{ck}$  per combinazioni quasi permanenti.
- test cls inf.soletta : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite  $0.55 \times f_{ck}$  per combinazioni rare,  $0.40 \times f_{ck}$  per combinazioni quasi permanenti.
- test cls sup. : si verifica che la tensione di compressione al lembo superiore della sezione non sia superiore al limite  $0.55 \times f_{ck}$  per combinazioni rare,  $0.40 \times f_{ck}$  per combinazioni quasi permanenti.
- test cls inf.compr. : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite  $0.55 \times f_{ck}$  per combinazioni rare,  $0.40 \times f_{ck}$  per combinazioni quasi permanenti.
- test cls inf.trazione. : si verifica che il lembo inferiore della sezione non sia in trazione per i carichi considerati.
- test precompr. : si verifica che la tensione di trazione nell'armatura di precompressione non sia superiore al limite  $0.75 \times f_{pk}$

Tali verifiche sono state effettuate in corrispondenza della sezione di seguito indicata.

- sezione corrente in mezzzeria ( $x=12.15$  m), **72** trefoli

Oltre che per la geometria della sezione in c.a., le sezioni considerate differiscono anche per la precompressione agente.

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 42 di 75 |

**Materiali**

|   | t=0          | t=inf        | t=inf           | t=inf           |
|---|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| caratteristiche trave al rilascio trefoli | fck (MPa) 40 | fcm (MPa) 48 | fcfm (MPa) 4.21 | Ec (MPa) 35 220 |
| caratteristiche trave                     | 45           | 53           | 4.55            | 36 283          |
| caratteristiche soletta                   | 32           | 40           | 3.63            | 33 346          |

|                                   |                    |                                 |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| modulo elastico                   | E <sub>p</sub> =   | 195000.00 MPa                   |
| resistenza a rottura              | f <sub>ptk</sub> = | 1860.00 MPa                     |
| resistenza a snervamento          | f <sub>p1k</sub> = | 1670.00 MPa                     |
| tensione iniziale                 | sigma-spi =        | 1350.00 MPa                     |
| coef. di omogeneizzazione acciaio | n =                | 5.37 -                          |
| caduta a 1000h                    |                    | 2.50 % di 0.75 f <sub>ptk</sub> |

**Viscosità**

|   |                  |                               |
|---|------------------|-------------------------------|
| umidità relativa                            | UR =             | 75 %                          |
| tempo di applicazione della precompressione | t <sub>0</sub> = | 7 giorni                      |
| calcolo perdite                             |                  | 1=somma; 2=interdipendenza EC |

**Parametri**

|   |             |                         |
|---|-------------|-------------------------|
| Normativa                                   | Normativa = | 1                       |
|   |             | <b>NTC - Istruz. FS</b> |
| Compressione trave t=0                      |             | 0.60                    |
| Compressione trave t=inf (G+P+Q)            |             | 0.55                    |
| Compressione trave t=inf (G+P)              |             | -                       |
| Compressione soletta t=inf (G+P+Q)          |             | 0.55                    |
| Trazione trave t=0/t=inf                    |             | 0.00                    |
| Trazione trave t=0                          |             | 0.00                    |
| Trazione trave t=inf                        |             | 0.00                    |
| Trazione soletta t=inf                      |             | 0.00                    |
| coeff combinazione accidentale              |             | 1.00                    |
| coeff combinazione termica                  |             | 0.60                    |
| coeff di viscosità                          |             | 2.65                    |
| ritiro a tempo infinito (essiccamentox1000) |             | -0.23                   |
| ritiro a tempo infinito (autogenox1000)     |             | -0.09                   |
| ritiro a tempo infinito (totalex1000)       |             | -0.32                   |

**Dati geometrici trave**

|   |                   |                |           |
|---|-------------------|----------------|-----------|
| Nome geometria sezione                  | NS =              | -              | <b>E</b>  |
| valida per distanza da asse appoggi (x) | x >               | m              | 2.000000  |
| valida per distanza da asse appoggi (x) | x ≤               | m              | 11.400000 |
| Altezza                                 | h <sub>1</sub> =  | m              | 2.100000  |
| Area                                    | A <sub>1</sub> =  | m <sup>2</sup> | 1.093200  |
| Baricentro dal lembo inferiore          | y <sub>1i</sub> = | m              | 0.915000  |
| Momento statico rispetto lemb. inf      | S <sub>1</sub> =  | m <sup>3</sup> | 1.000278  |
| Momento di inerzia                      | I <sub>1</sub> =  | m <sup>4</sup> | 0.589900  |
| Perimetro bagnato                       | u =               | m              | 11.846600 |
| Dimensione fittizia                     | h <sub>0</sub> =  | m              | 0.184559  |

**Dati geometrici soletta**

|  |                  |                |          |
|--|------------------|----------------|----------|
| Spessore                               | ss =             | m              | 0.295000 |
| Larghezza efficace                     | bs =             | m              | 2.480000 |
| Area                                   | As =             | m <sup>2</sup> | 0.731600 |
| Dist. baricentro lembo inferiore trave | y <sub>i</sub> = | m              | 2.307500 |
| Perimetro bagnato                      | u =              | m              | 2.480000 |
| Dimensione fittizia                    | h <sub>0</sub> = | m              | 0.590000 |

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 43 di 75 |

numero trefoli

|            |        |    |
|------------|--------|----|
| strato 1:  | nt = - | 14 |
| strato 2:  | nt = - | 14 |
| strato 3:  | nt = - | 12 |
| strato 4:  | nt = - | 2  |
| strato 5:  | nt = - | 2  |
| strato 6:  | nt = - | 2  |
| strato 7:  | nt = - | 2  |
| strato 8:  | nt = - | 0  |
| strato 9:  | nt = - | 0  |
| strato 10: | nt = - | 0  |
| strato 11: | nt = - | 2  |
| strato 12: | nt = - | 2  |
| strato 13: | nt = - | 2  |
| strato 14: | nt = - | 2  |
| strato 15: | nt = - | 2  |
| strato 16: | nt = - | 2  |
| strato 17: | nt = - | 2  |
| strato 18: | nt = - | 2  |
| strato 19: | nt = - | 2  |
| strato 20: | nt = - | 2  |
| strato 21: | nt = - | 2  |
| strato 22: | nt = - | 2  |

distanza da lembo inferiore trave

|            |        |      |
|------------|--------|------|
| strato 1:  | yi = m | 0.06 |
| strato 2:  | yi = m | 0.11 |
| strato 3:  | yi = m | 0.16 |
| strato 4:  | yi = m | 0.21 |
| strato 5:  | yi = m | 0.26 |
| strato 6:  | yi = m | 0.31 |
| strato 7:  | yi = m | 0.36 |
| strato 8:  | yi = m | 0.45 |
| strato 9:  | yi = m | 0.51 |
| strato 10: | yi = m | 0.57 |
| strato 11: | yi = m | 0.63 |
| strato 12: | yi = m | 0.68 |
| strato 13: | yi = m | 0.73 |
| strato 14: | yi = m | 0.78 |
| strato 15: | yi = m | 0.83 |
| strato 16: | yi = m | 0.88 |
| strato 17: | yi = m | 0.93 |
| strato 18: | yi = m | 0.98 |
| strato 19: | yi = m | 1.03 |
| strato 20: | yi = m | 1.08 |
| strato 21: | yi = m | 1.13 |
| strato 22: | yi = m | 2.04 |

area singolo trefolo

|            |                      |     |
|------------|----------------------|-----|
| strato 1:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 2:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 3:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 4:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 5:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 6:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 7:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 8:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 9:  | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 10: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 11: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 12: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 13: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 14: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 15: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 16: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 17: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 18: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 19: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 20: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 21: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |
| strato 22: | At = mm <sup>2</sup> | 140 |

**Analisi dei carichi trave.**

Il momento del carico da traffico è stato calcolato con il modello a graticcio precedentemente descritto.

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 44 di 75 |

**SOLLECITAZIONI DI INPUT**

Sezione n° **5**  
 ascissa x = **11.40 m**  
 nome geometria sezione = **E -**  
 luce calcolo = **22.80 m**

|                                  | N(kN) | M(kNm)            | c (-) | M*c (kNm) | p-eq (kN/ml) |
|----------------------------------|-------|-------------------|-------|-----------|--------------|
| O) Peso proprio trave            | 0     | 2 123             | 1.00  | 2 123     | 32.67        |
| C) Getto soletta e trasversi     | 0     | 2 173             | 1.00  | 2 173     | 33.44        |
| E) Sovraccarichi permanenti      | 0     | 3 378             | 1.00  | 3 378     | 51.99        |
| H) Carichi accidentali           | 0     | 5 976             | 1.00  | 5 976     | 91.97        |
| G) Ritiro diff. trave - soletta  |       | 10% ritiro totale | 1.00  | 10%       |              |
| I) Termica diff. trave - soletta |       | -10.00 °C         | 0.60  | -6.00     |              |

**CALCOLO DI SEZIONI IN C.A.P. PRETESO**

Definizione della simbologia adottata:

Altezza: h (m)  
 Area: A (m<sup>2</sup>)  
 Momenti statici: S (m<sup>3</sup>) (rispetto al lembo inferiore)  
 Momenti d'inerzia: I (m<sup>4</sup>) (rispetto al baricentro della sezione)  
 Distanze dal bar.: y (m) (positive verso il lembo inf.)  
 Modulo di resist.: W (m<sup>3</sup>)

Sforzo normale: N (kN) (positivo di trazione)  
 Momento flettente: M (kNm) (positivo se tende il lembo inf.)

Nome lavoro:  
 Titolo: ascissa x =11.400m

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG.REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 008 A 45 di 75

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI**

**1) Caratteristiche sezione sola trave in calcestruzzo**

|                            | fck | fc <sub>m</sub> | E <sub>c</sub> |
|----------------------------|-----|-----------------|----------------|
| fck al taglio dei trefoli= | 40  | 48.00           | 35 220         |
| fck finale=                | 45  | 53.00           | 36 283         |

I limiti tensionali sono quindi (valori in MPa):

|                        | a tempo T=0 | in esercizio  |                    |
|------------------------|-------------|---------------|--------------------|
| TRAVE - trazione       | 0.00        | 0.00          | <b>0.00</b>        |
| TRAVE - compressione   | -0.60*fck = | <b>-24.00</b> | -0.55*fck = -24.75 |
| SOLETTA - compressione | -           | -             | -0.55*fck = -17.60 |
| SOLETTA - trazione     | -           | -             | 0.00 0.00          |

| Sezione: | 5                       |                          |                          |
|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| h1=      | 2.100000 m              | y1s del lembo superiore= | -1.185000 m              |
| A1=      | 1.093200 m <sup>2</sup> | y1i del lembo inferiore= | 0.915000 m               |
| S1=      | 1.000278 m <sup>3</sup> | W1s=                     | -0.497806 m <sup>3</sup> |
| I1=      | 0.589900 m <sup>4</sup> | W1i=                     | 0.644699 m <sup>3</sup>  |

**2) Armatura di precompressione a fili aderenti e andamento rettilineo**

|                                  |               |                |      |                     |
|----------------------------------|---------------|----------------|------|---------------------|
| modulo elastico =                | 195000.00 MPa | cadute a ore.. | 1000 | 2.50 % di 0.75 fptk |
| resistenza a rottura: fptk =     | 1860.00 MPa   |                |      |                     |
| resistenza a snervamento: fplk = | 1670.00 MPa   |                |      |                     |
| tensione iniziale: sigma-spi =   | 1350.00 MPa   |                |      |                     |
| coef. di omogeneiz. Acciaio =    | 5.37          |                |      |                     |

|                  |                 | area 1 tref |           |                                |        |
|------------------|-----------------|-------------|-----------|--------------------------------|--------|
| strato 1:        | numero trefoli= | 14          | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.06 m |
| strato 2:        | " " =           | 14          | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.11 m |
| strato 3:        | " " =           | 12          | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.16 m |
| strato 4:        | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.21 m |
| strato 5:        | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.26 m |
| strato 6:        | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.31 m |
| strato 7:        | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.36 m |
| strato 8:        | " " =           | 0           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.45 m |
| strato 9:        | " " =           | 0           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.51 m |
| strato 10:       | " " =           | 0           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.57 m |
| strato 11:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.63 m |
| strato 12:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.68 m |
| strato 13:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.73 m |
| strato 14:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.78 m |
| strato 15:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.83 m |
| strato 16:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.88 m |
| strato 17:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.93 m |
| strato 18:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 0.98 m |
| strato 19:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 1.03 m |
| strato 20:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 1.08 m |
| strato 21:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 1.13 m |
| strato 22:       | " " =           | 2           | 0.0001400 | dist. dal lembo inferiore =    | 2.04 m |
| Totale trefoli = |                 | 72          |           | dis. baricentro dal lembo inf. | 0.42 m |

**4) Soletta collaborante**

|                               |                         |                 |                |  |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|--|
| fck =                         | 32 MPa                  |                 |                |  |
| spessore =                    | 0.295000 m              |                 |                |  |
| larghezza efficace =          | 2.480000 m              |                 |                |  |
| Area =                        | 0.731600 m <sup>2</sup> |                 |                |  |
| dist. bar. risp. lembo inf. = | 2.307500 m              |                 |                |  |
| Momento d'inerzia bar. =      | 0.005306 m <sup>4</sup> |                 |                |  |
|                               | fck                     | fc <sub>m</sub> | E <sub>c</sub> |  |
| fck trave =                   | 45.00                   | 53.00           | 36 283         |  |
| fck soletta =                 | 32.00                   | 40.00           | 33 346         |  |
| coeff. omogeneizzazione =     |                         |                 | 0.92           |  |

**5) Caratteristiche delle sezioni di verifica.**

**5.1) Caratteristiche sezione trave+trefoli aderenti:**

|       |                          |                              |         |
|-------|--------------------------|------------------------------|---------|
| A2 =  | 1.137294 m <sup>2</sup>  | y2s del lembo superiore =    | -1.20 m |
| S2 =  | 1.018663 m <sup>3</sup>  | y2i del lembo inferiore =    | 0.90 m  |
| I2 =  | 0.609352 m <sup>4</sup>  | e2t del baricentro trefoli = | 0.48 m  |
| W2s = | -0.505976 m <sup>3</sup> |                              |         |
| W2i = | 0.680316 m <sup>3</sup>  |                              |         |
| W2t = | 1.272810 m <sup>3</sup>  |                              |         |

**5.2) Caratteristiche sezione trave+trefoli+soletta collaborante:**

|        |                          |                               |         |
|--------|--------------------------|-------------------------------|---------|
| A3 =   | 1.809665 m <sup>2</sup>  | y3s del lembo superiore =     | -0.68 m |
| S3 =   | 2.570159 m <sup>3</sup>  | y3i del lembo inferiore =     | 1.42 m  |
| I3 =   | 1.456468 m <sup>4</sup>  | e3t del baricentro trefoli =  | 1.00 m  |
|        |                          | e3ss del lembo sup. soletta = | -0.97 m |
|        |                          | e3si del lembo inf. Soletta = | -0.68 m |
| W3s =  | -2.142622 m <sup>3</sup> |                               |         |
| W3i =  | 1.025509 m <sup>3</sup>  |                               |         |
| W3t =  | 1.451684 m <sup>3</sup>  |                               |         |
| W3ss = | -1.625804 m <sup>3</sup> |                               |         |
| W3si = | -2.331365 m <sup>3</sup> |                               |         |

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG.REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 008 A 46 di 75

**D) Cadute di tensione: fase 2**

ritiro = 30 %  
viscosità = 30 %  
  
perdite tot. per ritiro = 61.44 MPa  
perdite tot. viscosità trefoli = 164.08 MPa  
  
perdite fase 2: ai trefoli = **67.65 MPa**  
  
N = 681.96 kN  
M = 684.21 kNm

Tensioni parziali: sigma\_s = 0.06 MPa  
sigma\_i = 1.04 MPa  
sigma\_t = 0.85 MPa  
sigma\_ss = -0.04 MPa  
sigma\_si = 0.08 MPa

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Tensioni: sigma_s = | -7.64 MPa  |
| sigma_i =           | -11.40 MPa |
| sigma_t =           | -10.66 MPa |
| sigma_ss =          | -0.04 MPa  |
| sigma_si =          | 0.08 MPa   |

**E) Sovraccarichi permanenti**

N = 0.00 kN  
M = 3378.00 kNm  
  
Tensioni parziali: sigma\_s = -1.58 MPa  
sigma\_i = 3.29 MPa  
sigma\_t = 2.33 MPa  
sigma\_ss = -2.08 MPa  
sigma\_si = -1.45 MPa

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Tensioni: sigma_s = | -9.22 MPa |
| sigma_i =           | -8.11 MPa |
| sigma_t =           | -8.33 MPa |
| sigma_ss =          | -2.12 MPa |
| sigma_si =          | -1.37 MPa |

**F) Cadute di tensione: fase 3**

ritiro = 30 %  
viscosità = 30 %  
  
perdite tot. per ritiro = 61.44 MPa  
perdite tot. viscosità trefoli = 118.79 MPa  
  
perdite fase 3: ai trefoli = **54.07 MPa**  
  
tensione finale ai trefoli = 968.69 MPa <= 1336 MPa  
perdita applicata: trefoli = 54.07 MPa  
  
N = 545.01 kN  
M = 546.81 kNm

Tensioni parziali: sigma\_s = 0.05 MPa  
sigma\_i = 0.83 MPa  
sigma\_t = 0.68 MPa  
sigma\_ss = -0.04 MPa  
sigma\_si = 0.07 MPa

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Tensioni: sigma_s = | -9.17 MPa |
| sigma_i =           | -7.27 MPa |
| sigma_t =           | -7.65 MPa |
| sigma_ss =          | -2.16 MPa |
| sigma_si =          | -1.30 MPa |

**G) Ritiro diff. trave - soletta**

percentuale su ritiro totale = 10%  
eps\_c,diff = -0.032 x1000  
  
N = e\*Ec\*Ac = 768.63 kN  
N = -768.63 kN  
M = 681.98 kNm

Trazione sulla sola soletta  
Compressione sulla sezione omogeneizzata  
Momento sulla sezione omogeneizzata

Tensioni parziali: sigma\_s = -0.74 MPa  
sigma\_i = 0.24 MPa  
sigma\_t = 0.05 MPa  
sigma\_ss = 0.21 MPa  
sigma\_si = 0.33 MPa

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Tensioni: sigma_s = | -9.91 MPa |
| sigma_i =           | -7.03 MPa |
| sigma_t =           | -7.61 MPa |
| sigma_ss =          | -1.95 MPa |
| sigma_si =          | -0.97 MPa |

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |       |      |      |           |            |          |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 47 di 75 |

**H) Carichi accidentali**

N = 0.00 kN  
M = 5976.00 kNm

Tensioni parziali: sigma\_s = -2.79 MPa  
sigma\_i = 5.83 MPa  
sigma\_t = 4.12 MPa  
sigma\_ss = -3.68 MPa  
sigma\_si = -2.56 MPa

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Tensioni: sigma_s = | -12.70 MPa |
| sigma_i =           | -1.21 MPa  |
| sigma_t =           | -3.49 MPa  |
| sigma_ss =          | -5.63 MPa  |
| sigma_si =          | -3.53 MPa  |

**I) Termica diff. trave - soletta**

Delta termico trave soletta = -6.00 °C  
coeff. di dilatazione termica = 0.000010 (°C)<sup>-1</sup>  
deformazione termica diff. = -0.060 x1000

negativo se soletta più calda rispetto alla trave

N = e\*Ec\*Ac = 1463.75 kN  
N = -1463.75 kN  
M = 1298.72 kNm

Trazione sulla sola soletta  
Compressione sulla sezione omogeneizzata  
Momento sulla sezione omogeneizzata

Tensioni parziali: sigma\_s = -1.41 MPa  
sigma\_i = 0.46 MPa  
sigma\_t = 0.09 MPa  
sigma\_ss = 0.39 MPa  
sigma\_si = 0.63 MPa

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Tensioni: sigma_s = | -14.12 MPa |
| sigma_i =           | -0.75 MPa  |
| sigma_t =           | -3.40 MPa  |
| sigma_ss =          | -5.23 MPa  |
| sigma_si =          | -2.89 MPa  |

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

Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 48 di 75 |

**Riepilogo**

Tutte le tensioni rientrano all'interno dei limiti da normativa e pertanto la sezione è verificata.

**SOLLECITAZIONI DI INPUT**

Sezione n° **5**  
ascissa x = **11.40 m**  
nome geometria sezione = **E -**  
luce calcolo = **22.80 m**

|                                  | N (kN) | M (kNm)           | c (-) | M*c (kNm) | p-eq (kN/ml) |
|----------------------------------|--------|-------------------|-------|-----------|--------------|
| O) Peso proprio trave            | 0      | 2 123             | 1.00  | 2 123     | 32.67        |
| C) Getto soletta e trasversi     | 0      | 2 173             | 1.00  | 2 173     | 33.44        |
| E) Sovraccarichi permanenti      | 0      | 3 378             | 1.00  | 3 378     | 51.99        |
| H) Carichi accidentali           | 0      | 5 976             | 1.00  | 5 976     | 91.97        |
| G) Ritiro diff. trave - soletta  |        | 10% ritiro totale | 1.00  | 10%       |              |
| I) Termica diff. trave - soletta |        | -10.00 °C         | 0.60  | -6.00     |              |

**Sezione n°5 - x=11.40m**

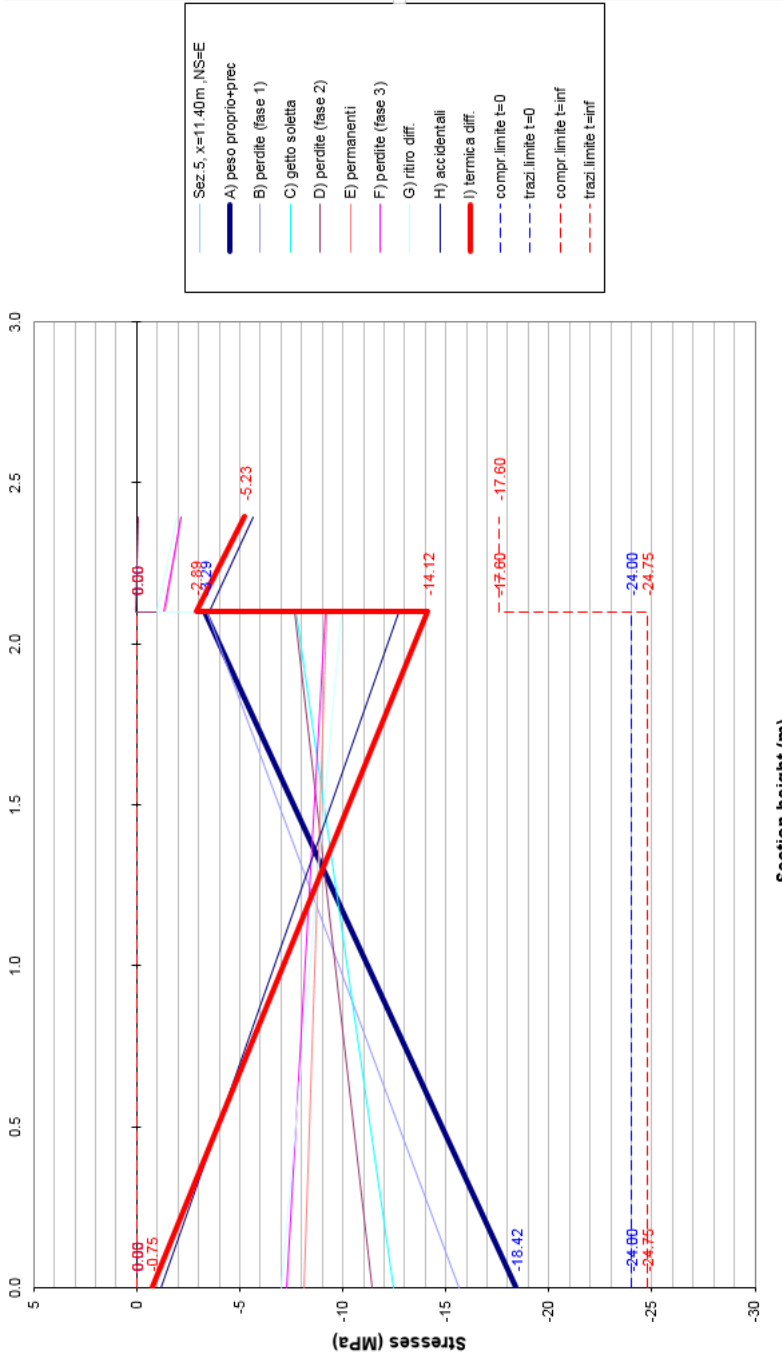
| FASE                  | SOLLECITAZIONI PARZIALI (kN;kNm) |         |        | TENSIONI PARZIALI (MPa) |               |              |              |
|-----------------------|----------------------------------|---------|--------|-------------------------|---------------|--------------|--------------|
|                       | N                                | N       | M      | sigma_i                 | sigma_s       | sigma_si     | sigma_ss     |
| O) precompressione    |                                  | -13 608 | -6 515 | -21.54                  | 0.91          |              |              |
| O) peso proprio trave |                                  |         | 2 123  | 3.12                    | -4.20         |              |              |
| A) peso proprio+prec  |                                  | -13 608 | -4 392 | -18.42                  | -3.29         |              |              |
| B) perdite (fase 1)   |                                  | 1 756   | 841    | 2.78                    | -0.12         |              |              |
| C) getto soletta      |                                  |         | 2 173  | 3.19                    | -4.29         |              |              |
| D) perdite (fase 2)   |                                  | 682     | 684    | 1.04                    | 0.06          | 0.08         | -0.04        |
| E) permanenti         |                                  |         | 3 378  | 3.29                    | -1.58         | -1.45        | -2.08        |
| F) perdite (fase 3)   |                                  | 545     | 547    | 0.83                    | 0.05          | 0.07         | -0.04        |
| G) ritiro diff.       | 769                              | -769    | 682    | 0.24                    | -0.74         | 0.33         | 0.21         |
| H) accidentali        |                                  | 0       | 5 976  | 5.83                    | -2.79         | -2.56        | -3.68        |
| I) termica diff.      | 1 464                            | -1 464  | 1 299  | 0.46                    | -1.41         | 0.63         | 0.39         |
| Sez.5, x=11.40m ,NS=E |                                  |         |        |                         |               |              |              |
| FASE                  |                                  |         |        |                         |               |              |              |
| h (m)                 |                                  |         |        | 0.00                    | 2.10          | 2.10         | 2.40         |
| A) peso proprio+prec  |                                  |         |        | <b>-18.42</b>           | <b>-3.29</b>  |              |              |
| B) perdite (fase 1)   |                                  |         |        | -15.64                  | -3.40         |              |              |
| C) getto soletta      |                                  |         |        | -12.45                  | -7.70         |              |              |
| D) perdite (fase 2)   |                                  |         |        | -11.40                  | -7.64         | 0.08         | -0.04        |
| E) permanenti         |                                  |         |        | -8.11                   | -9.22         | -1.37        | -2.12        |
| F) perdite (fase 3)   |                                  |         |        | -7.27                   | -9.17         | -1.30        | -2.16        |
| G) ritiro diff.       |                                  |         |        | -7.03                   | -9.91         | -0.97        | -1.95        |
| H) accidentali        |                                  |         |        | -1.21                   | -12.70        | -3.53        | -5.63        |
| I) termica diff.      |                                  |         |        | <b>-0.75</b>            | <b>-14.12</b> | <b>-2.89</b> | <b>-5.23</b> |
| LIMITI TENSIONALI     |                                  |         |        |                         |               |              |              |
| h (m)                 |                                  |         |        | 0.00                    | 2.10          | 2.10         | 2.40         |
| compr.limite t=0      |                                  |         |        | <b>-24.00</b>           | -24.00        |              |              |
| trazi.limite t=0      |                                  |         |        | 0.00                    | <b>0.00</b>   |              |              |
| compr.limite t=inf    |                                  |         |        | -24.75                  | -24.75        | -17.60       | -17.60       |
| trazi.limite t=inf    |                                  |         |        | <b>0.00</b>             | 0.00          | 0.00         | 0.00         |



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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 49 di 75 |



## 6.5 Verifiche a fessurazione

Le combinazioni SLE Frequenti presentano sollecitazioni inferiori a quelle delle combinazioni Rare analizzate nelle verifiche tensionali sopra riportate.

Secondo il §4.1.2.2.4.1 delle Norme Tecniche lo stato limite di formazione delle fessure si ha quando la tensione massima di trazione della sezione supera

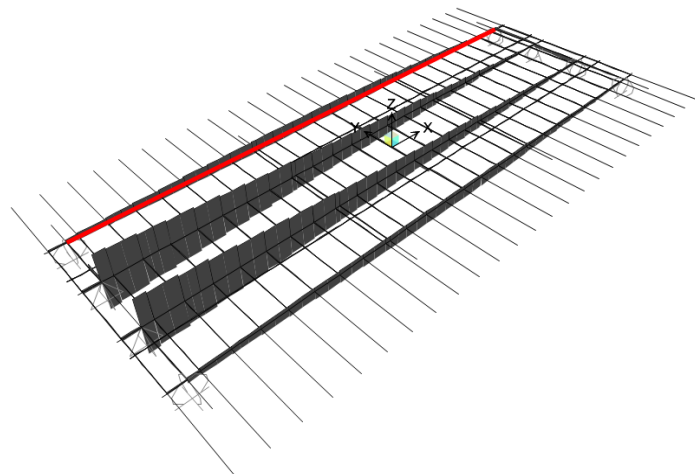
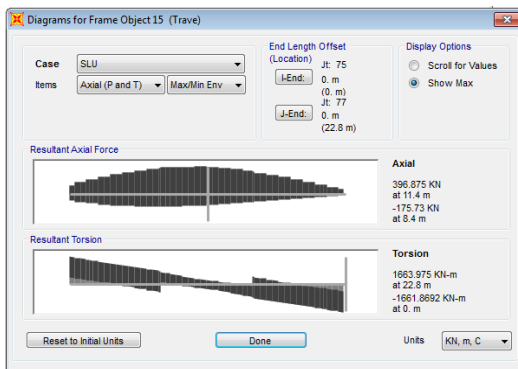
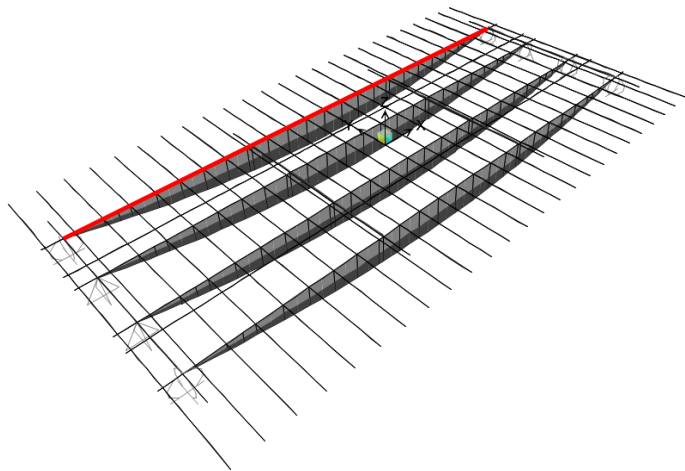
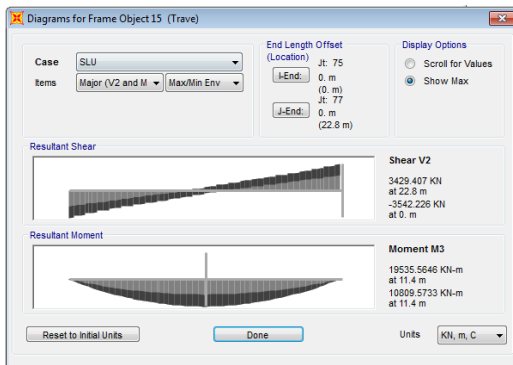
$$\frac{f_{ctm}}{1.2} = 3.16 \text{ MPa}$$

Si ha quindi che le combinazioni frequenti non portano mai alla formazione di fessure in quanto già nelle combinazioni RARE la tensione massima non supera il valore sopra riportato.

## 6.6 Effetti globali sull'impalcato – Verifiche agli SLU

### 6.6.1 Sollecitazioni

Si riportano di seguito le sollecitazioni riscontrate nella sezione di verifica, dovute ai carichi elementari precedentemente descritti.



$$M_{Ed,SLU} = 19356 \text{ kNm (mezzeria)}$$

$$V_{Ed,SLU} = 3542 \text{ kN (appoggio)}$$

$$N_{Ed,SLU} = 396 \text{ kN (mezzeria)}$$

$$T_{Ed,SLU} = 1662 \text{ kNm (appoggio)}$$

Alle sollecitazioni appena calcolate devono essere sommati gli effetti della precompressione, considerata come carico esterno, al netto delle perdite di precompressione totali. Tali sollecitazioni sono valutate di seguito.

$$N_{prec} = \sigma_p \times A_p = 1350 \times 10080 / 1000 = 13608 \text{ kN}$$

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. | DOC.   | PROG. | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|------|--------|-------|------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL   | VI0007 | 008   | A    | 52 di 75 |

$$M_{prec} = N_{prec} \times e_p = -13557 \times (0.92 - 0.42) = -8165 \text{ kN-m}$$

Di seguito si valutano momento e sforzo assiale complessivo nella condizione più gravosa.

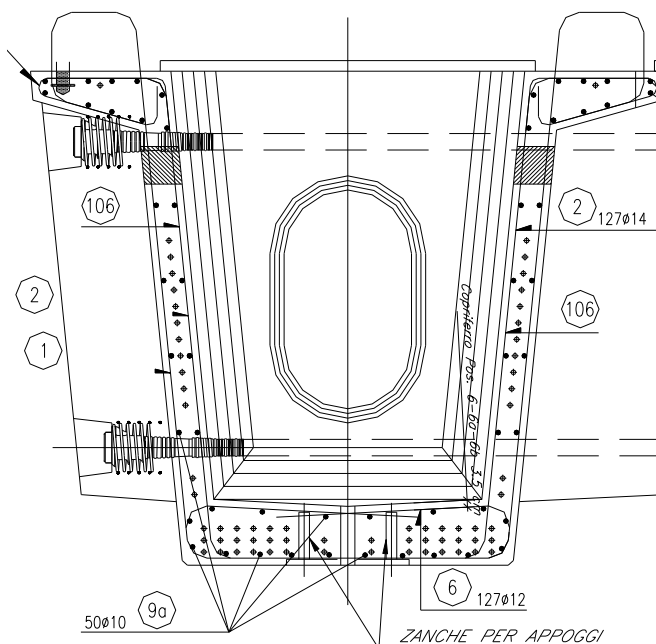
$$M_{Ed,SLU} = 19356 - 8165 = 11191 \text{ kN-m}$$

$$N_{Ed,SLU} = 13608 + 396 = 14004 \text{ kN}$$

## 6.6.2 Verifiche

### Verifica a pressoflessione

Si riporta lo schema di armatura per la trave esterna (più sollecitata).



Si riporta di seguito la verifica allo SLU per presso-flessione retta della sezione di mezzeria della trave composta di bordo, ovvero la più sollecitata.

Si omettono per sintesi i risultati delle verifiche condotte considerando le fasi intermedie di costruzione.

Per semplicità l'armatura di precompressione è stata definita come cavo risultante. Il contributo dell'armatura lenta è stato trascurato.

Si riporta inoltre la verifica a taglio con le sollecitazioni di taglio e torsione massime (zona di appoggio) dedotte dai modelli di calcolo.

Verifica C.A. S.L.U. - File: sezione mezzeria2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : sezione mezzeria

N° Vertici 22 Zoom N° barre 1 Zoom

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 0      | 0      |
| 2  | -70    | 0      |
| 3  | -88.5  | 185    |
| 4  | -119.5 | 193.93 |
| 5  | -119.5 | 210    |
| 6  | -120   | 210    |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1  | 100.80   | 0      | 41.7   |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 14004 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 11191 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
**Lato calcestruzzo - Acciaio elastico**

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

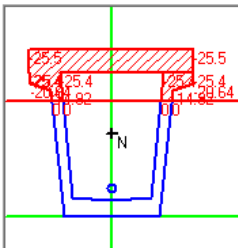
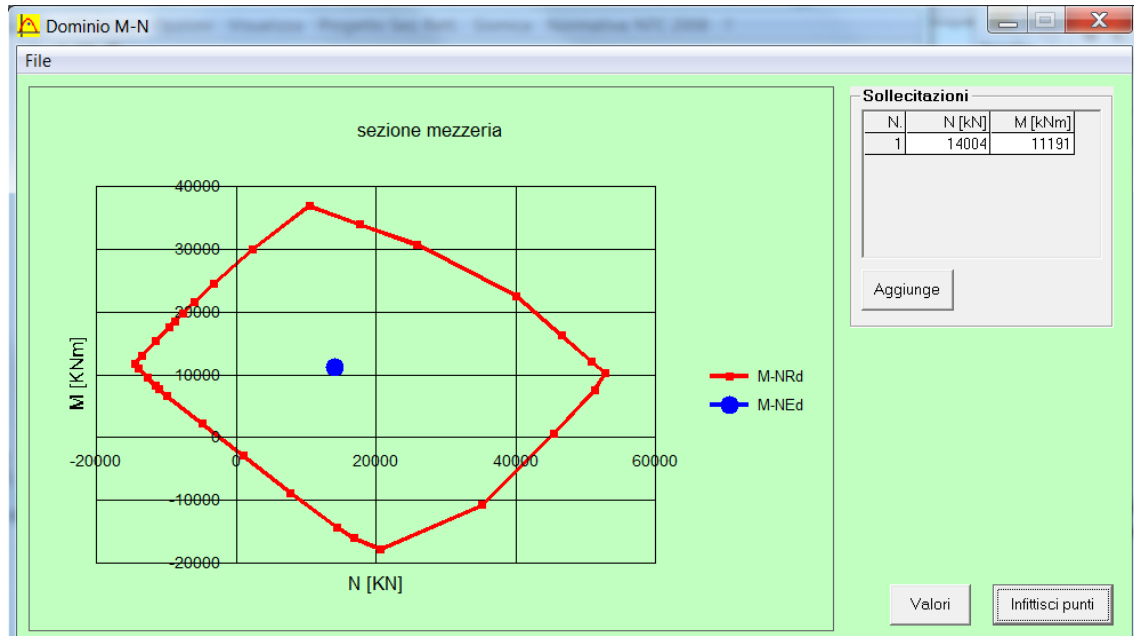
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali trefolo140 C45/55

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 1 452 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25.5 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 7.26 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16  
σ<sub>s,adm</sub> 0 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.9333  
τ<sub>c1</sub> 2.543

M<sub>xRd</sub> 35 592 kN m  
σ<sub>c</sub> -25.5 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 1 189 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 5.947 ‰  
d 203.3 cm  
x 75.32 x/d 0.3705  
δ 0.9031

Verifica a Taglio

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

Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario

**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 008 A 55 di 75

|  |        |                     |   |
|--|--------|---------------------|---|
| $V_{Ed}$   | 3542   | kN                  | Taglio SLU agente sulla sezione                               |
| $T_{Ed}$   | 1662   | kNm                 | Torsione SLU agente sulla sezione                             |
| <b>Verifica a taglio - NTC08 par #4.1.2.1.3.2</b>              |        |                     |   |
| $f_{ck}$   | 45     | MPa                 | Resistenza cilindrica caratteristica                          |
| $f_{cd}$   | 25.50  | MPa                 | Resistenza cilindrica di progetto                             |
| $f_{yk}$   | 450.00 |                     | tensione caratteristica di snervamento                        |
| $f_{yd}$   | 391.3  | MPa                 | tensione caratteristica di progetto                           |
| Inc.staffe   | 90.0   | °                   | Disposizione armatura trasversale taglio                      |
| $\Phi_{staffe}$  | 14     | mm                  |   |
| n.bracci   | 4      | [-]                 |   |
| $S_{staffe}$   | 125    | mm                  |   |
| $A_{sw}$   | 616    | mm <sup>2</sup>     |   |
| $h_{anima}$  | 2450   | mm                  | altezza sezione   |
| $b_{w,sp\ anima}$  | 348    | mm                  | larghezza minima sezione                                      |
| c  | 50     | mm                  | copriferro  |
| d=h-c  | 2400   | mm                  | altezza sezione   |
| <b>Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio</b> |        |                     |   |
| $n_{barre\ arm\ long}$   | 70     | [-]                 | Disposizione armatura longitudinale                           |
| $\Phi_{arm, long}$   | 12     | mm                  |   |
| $A_{sl}$   | 7917   | mm <sup>2</sup>     |   |
| k  | 1.289  | [-]                 |   |
| $\rho_l$   | 0.0095 | [-]                 |   |
| $V_{Rd'}$  | 350    | [kN]                |   |
| $v_{min} * b_w * d$  | 287    | [kN]                |   |
| $V_{Rd, anima}$  | 350    | [kN]                | NTC08 4.1.2.1.3.1   |
| $V_{Ed, anima}$  | 1771   | [kN]                | <b>Occorre Asw a taglio</b>                                   |
| $1 \leq ctg\ \theta \leq 2,5$                                  |        |                     | NTC08 4.1.2.1.3.2   |
| $V_{Rsd}$ "taglio trazione"                                    |        |                     |   |
| $A_{sw}/s$   | 4.926  | mm <sup>2</sup> /mm | Armatura trasversale a taglio                                 |
| $cot\ \theta$  | 1.0    | [-]                 |   |
| $V_{Rds}$  | 4164   | [kN]                | NTC08 (4.1.18)  |
| $V_{Rdc}$  | 4792   | [kN]                | NTC08 (4.1.19)  |
| $V_{Rd, anima}$  | 4164   | [kN]                |   |
| $V_{Ed, anima}$  | 1771   | [kN]                | $V_{Ed, anima} = V_{Ed, sez}/2$                               |
| <b>FS</b>  | 2.35   | [-]                 |   |
| $V_{Rd, sezione}$  | 8327   | [kN]                | $V_{Rd, sezione} = 2 * V_{Rd, anima}$ (x verif. NTC08 4.1.32) |

Verifica a Torsione

| Verifica a torsione |                       |                                      |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 0.4 ≤ ctg θ ≤ 2,5   |                       | NTC08 (4.1.30)                       |
| cot θ               | 1.0 [-]               |                                      |
| Inc.staffe          | 90.0 °                |                                      |
| Φ <sub>staffe</sub> | 14 mm                 | Armatura trasversale a torsione      |
| n.bracci            | 2 [-]                 |                                      |
| S <sub>staffe</sub> | 125 mm                |                                      |
| A <sub>sw</sub>     | 308 mm <sup>2</sup>   |                                      |
| um                  | 6.675 m               | perimetro medio sezione cava         |
| A <sub>c</sub>      | 2.6376 m <sup>2</sup> | Area all'interno del perimetro medio |
| t                   | 348 mm                | sp.sezione cava (min sp. Ala/anima)  |
| T <sub>Rcd</sub>    | 11703 kNm             | NTC08 (4.1.27)                       |
| T <sub>Rsd</sub>    | 5084 kNm              | NTC08 (4.1.28)                       |
| T <sub>Rld</sub>    | 2448 kNm              | NTC08 (4.1.29)                       |
| T <sub>Rd</sub>     | 2448 kNm              | NTC08 (4.1.31)                       |
| T <sub>Ed</sub>     | 1662 kNm              |                                      |
| <b>FS</b>           | <b>1.47</b>           |                                      |

Verifica a Torsione e Taglio

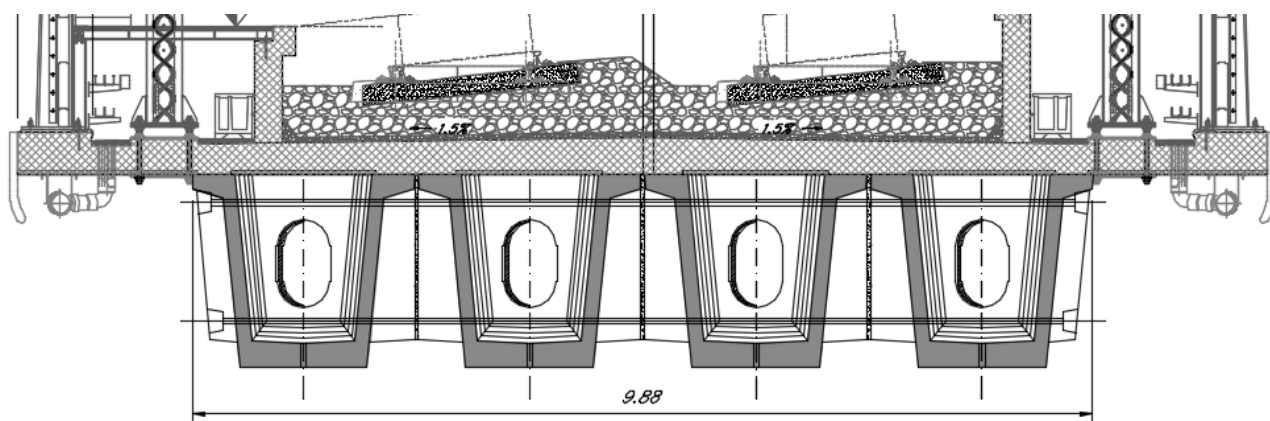
| Sollecitazioni composte - Torsione e Taglio              |   |                |
|--|---|----------------|
| Verifica crisi lato calcestruzzo                         |   |                |
| $\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} \leq 1$ |   | NTC08 (4.1.32) |
| 1662   | + | 3542           |
| 11703  |   | 8327           |
|  |   | <b>0.567</b>   |
| 0.142  | + | 0.425          |



## 6.7 Traversi – Verifiche Tensionali agli SLE

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza per i traversi. Si considera solamente il traverso di testata, nella condizione di sollevamento che è la più gravosa per questo elemento strutturale. Tale scenario è stato considerato come condizione eccezionale.

Per le analisi delle sollecitazioni si considera il seguente schema di posizionamento dei martinetti di sollevamento, ipotizzati in numero di 4 per fila, localizzati sotto il traverso.



Si riportano di seguito le caratteristiche principali del traverso:

Altezza: 1.80 m

Spessore soletta: 0.35 m

Spessore minimo: 0.35 m

Precompressione superiore: 1 cavo da 9 trefoli da 0.6"

Distanza cavo superiore da estradosso traverso: 0.3 m

Precompressione inferiore: 1 cavo da 7 trefoli da 0.6"

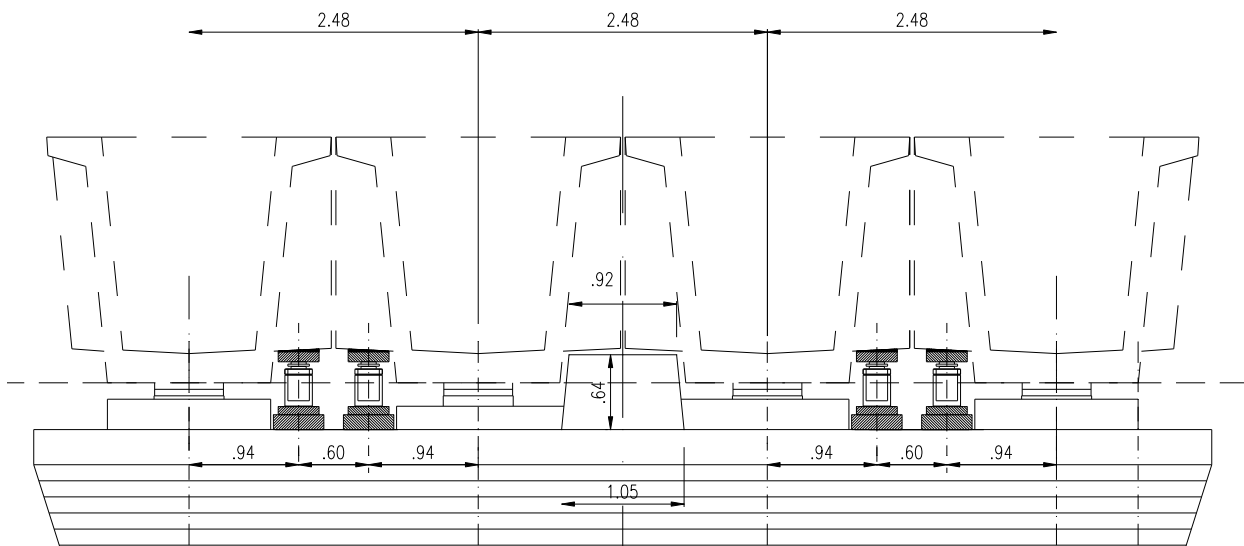
Distanza cavo inferiore da estradosso traverso: 1.6 m

Si riportano di seguito le verifiche relative alle seguenti fasi:

- T=0
- T=∞
- Esercizio

Nelle fasi  $T=0$  e  $T=\infty$  si considera la sola porzione del traverso composta dal prefabbricato. In esercizio si considera anche il contributo della soletta. Nella figura seguente è riportata la geometria della sezione considerata in fase di esercizio. La verifica della sezione di traverso forata non viene considerata in fase di esercizio, in quanto lo scenario di progetto (sollevamento con martinetti) comporta sollecitazioni non significative nelle zone interne alle travi in c.a.p.

Il momento sollecitante complessivo esterno è relativo alla nuova configurazione di sollevamento su martinetti, in cui la quota parte derivante dai carichi accidentali è presa pari a una percentuale del 50% (rispetto al momento ricavato da modelli di treno teorici LM71, SW2).

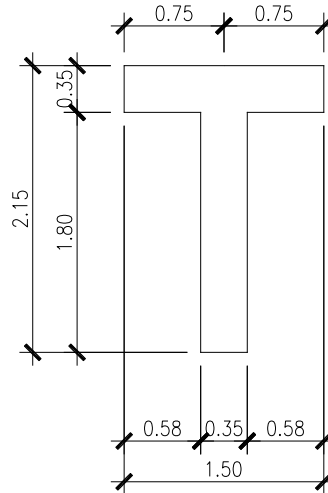


**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. | DOC.   | PROG. | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|------|--------|-------|------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL   | VI0007 | 008   | A    | 59 di 75 |



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

Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

|          |       |      |      |           |            |          |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 60 di 75 |

|                              |           |                 |                                |
|------------------------------|-----------|-----------------|--------------------------------|
| h traverso                   | 1800      | mm              |                                |
| Sp. Traverso                 | 350       | mm              |                                |
| Sp. Soletta                  | 350       | mm              |                                |
| <b>Verifica Traverso T=0</b> |           |                 |                                |
| <b>Geometria</b>             |           |                 |                                |
| A <sub>sez.piena</sub>       | 630000    | mm <sup>2</sup> | area sezione piena             |
| W <sub>sup</sub>             | 189000000 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza superiore |
| W <sub>inf</sub>             | 189000000 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza inferiore |
| A <sub>sez.cava</sub>        | 287000    | mm <sup>2</sup> | area sezione cava              |
| W <sub>sup</sub>             | 170134639 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza superiore |
| W <sub>inf</sub>             | 141260163 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza inferiore |
| σ <sub>p0</sub>              | 1300      | MPa             | tensione cavi                  |
| A <sub>trefoli</sub>         | 139       | mm <sup>2</sup> | area trefolo                   |
| n <sub>trefoli,sup</sub>     | 9         | -               | numero trefoli cavo sup        |
| n <sub>trefoli,inf</sub>     | 7         | -               | numero trefoli cavo inf        |
| A <sub>cavo,sup</sub>        | 1251      | mm <sup>2</sup> | Area cavo sup                  |
| A <sub>cavo,inf</sub>        | 973       | mm <sup>2</sup> | Area cavo inf                  |
| N <sub>cavo,sup</sub>        | 1626.3    | kN              | tiro cavo sup                  |
| N <sub>cavo,inf</sub>        | 1264.9    | kN              | tiro cavo inf                  |
| e <sub>cavo,sup</sub>        | 610       | mm              | eccentricità cavo sup (>0)     |
| e <sub>cavo,inf</sub>        | -710      | mm              | eccentricità cavo inf (<0)     |
| <b>Sollecitazioni a T=0</b>  |           |                 |                                |
| N                            | 2891.2    | kN              | N di precompressione totale    |
| M                            | 93.964    | kNm             | M di precompressione totale    |
| M <sub>est</sub>             | 0         | kNm             | M di precompressione esterno   |
| <b>Tensioni a T=0</b>        |           |                 |                                |
| sezione piena                |           |                 |                                |
| σ <sub>c,sup</sub>           | 5.09      | MPa             | tensione lembo sup.            |
| σ <sub>c,inf</sub>           | 4.09      | MPa             | tensione lembo inf.            |
| sezione cava                 |           |                 |                                |
| σ <sub>c,sup</sub>           | 10.63     | MPa             | tensione lembo sup.            |
| σ <sub>c,inf</sub>           | 10.74     | MPa             | tensione lembo inf.            |

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |       |      |      |           |            |          |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 61 di 75 |

| <b>Verifica Traverso T=00</b> |           |                 |                                |
|-------------------------------|-----------|-----------------|--------------------------------|
| <b>Geometria</b>              |           |                 |                                |
| $A_{sez.piena}$               | 630000    | mm <sup>2</sup> | area sezione piena             |
| $W_{sup}$                     | 189000000 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza superiore |
| $W_{inf}$                     | 189000000 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza inferiore |
| <b>Sezione cava</b>           |           |                 |                                |
| $A_{sez.cava}$                | 287000    | mm <sup>2</sup> | area sezione cava              |
| $W_{sup}$                     | 170134639 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza superiore |
| $W_{inf}$                     | 141260163 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza inferiore |
| $\sigma_{p0}$                 | 1105      | MPa             | tensione cavi                  |
| $A_{trefoli}$                 | 140       | mm <sup>2</sup> | area trefolo                   |
| $n_{trefoli,sup}$             | 9         | -               | numero trefoli cavo sup        |
| $n_{trefoli,inf}$             | 7         | -               | numero trefoli cavo inf        |
| $A_{cavo,sup}$                | 1260      | mm <sup>2</sup> | Area cavo sup                  |
| $A_{cavo,inf}$                | 980       | mm <sup>2</sup> | Area cavo inf                  |
| $N_{cavo,sup}$                | 1392.3    | kN              | tiro cavo sup                  |
| $N_{cavo,inf}$                | 1082.9    | kN              | tiro cavo inf                  |
| $e_{cavo,sup}$                | 610       | mm              | eccentricità cavo sup (>0)     |
| $e_{cavo,inf}$                | -710      | mm              | eccentricità cavo inf (<0)     |
| <b>Sollecitazioni a T=∞</b>   |           |                 |                                |
| N                             | 2475.2    | kN              | N di precompressione totale    |
| M                             | 80.444    | kNm             | M di precompressione totale    |
| $M_{est}$                     | 0         | kNm             | M di precompressione esterno   |
| <b>Tensioni a T=∞</b>         |           |                 |                                |
| sezione piena                 |           |                 |                                |
| $\sigma_{c,sup}$              | 4.35      | MPa             | tensione lembo sup.            |
| $\sigma_{c,inf}$              | 3.50      | MPa             | tensione lembo inf.            |
| sezione cava                  |           |                 |                                |
| $\sigma_{c,sup}$              | 9.10      | MPa             | tensione lembo sup.            |
| $\sigma_{c,inf}$              | 9.19      | MPa             | tensione lembo inf.            |

Le verifiche risultano soddisfatte.

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |       |      |      |           |            |          |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 62 di 75 |

| <b>Verifica Traverso <math>M_{est}</math></b> |                  |                 |                                |
|---|------------------|-----------------|--------------------------------|
| h traverso                                    | 1800             | mm              |                                |
| Sp. Traverso                                  | 350              | mm              |                                |
| Sp. Soletta                                   | 350              | mm              |                                |
| Largh. Soletta                                | 1500             | mm              |                                |
| <b>Geometria</b>                              |                  |                 |                                |
| $A_{sez.piena}$                               | 1155000          | mm <sup>2</sup> | area sezione piena             |
| $W_{sup,sol}$                                 | 665 055 586.30   | mm <sup>3</sup> |                                |
| $W_{sup}$                                     | 1 230 822 875.11 | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza superiore |
| $W_{inf}$                                     | 364 681 405.39   | mm <sup>3</sup> | modulo di resistenza inferiore |
| <b>Sollecitazioni a T=0</b>                   |                  |                 |                                |
| N   | 0                | kN              | N di precompressione totale    |
| M   | 0                | kNm             | M di precompressione totale    |
| $M_{est}$                                     | -2602            | kNm             | M esterno                      |
| <b>Tensioni</b>                               |                  |                 |                                |
| sezione piena                                 |                  |                 |                                |
| $\sigma_{c,sup,sol}$                          | -3.912           | MPa             | tensione lembo sup.soletta     |
| $\sigma_{c,sup}$                              | -2.114           | MPa             | tensione lembo sup.            |
| $\sigma_{c,inf}$                              | -7.135           | MPa             | tensione lembo inf.            |
| Le tensioni totali sono le seguenti.          |                  |                 |                                |
| $\sigma_{c,sup,sol}$                          |                  |                 | = -3.912 (trazione)            |
| $\sigma_{c,sup}$                              | 4.35 +           | -2.114          | = 2.240 (compressione)         |
| $\sigma_{c,inf}$                              | 9.19 +           | -7.135          | = 2.059 (compressione)         |

Le verifiche risultano soddisfatte.

## 6.8 Verifica soletta

Nelle verifiche della soletta le predalles non sono state considerate reagenti, a favore di sicurezza.

Per le verifiche in esercizio non è stata considerata l'azione di peso proprio della soletta, in quanto agente sulle predalles in fase di getto.

Il limite di apertura delle fessure, calcolate nella soletta in combinazione caratteristica delle azioni, è stato considerato pari a 0.20 mm.

### 6.8.1 Involuppo sollecitazioni

Si riporta nel seguito l'analisi in dettaglio della sezione di incastro in corrispondenza dello sbalzo terminale, che rappresenta la situazione gravosa.

Si riportano di seguito i contributi dei singoli carichi in termini di momento flettente negativo all'incastro: Cautelativamente si è considerata una lunghezza di mensola pari a 2.1m.

Si riportano di seguito i contributi dei singoli carichi in termini di momento flettente negativo all'incastro:

|                                   | Carico | braccio | M      | V     | N     |
|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|
| tipologia carico                  | [kN/m] | [m]     | [kNm]  | [kNm] | [kNm] |
| g1 soletta                        | 8.75   | 2.1     | -19.29 | 18.38 | 0.00  |
| g2 cordolo+massetto               | 3.9    | 1.75    | -6.83  | 3.90  | 0.00  |
| g2 barriera                       | 20.4   | 1.75    | -35.70 | 20.40 | 0.00  |
| g2 impermeab+impianti+ telaio FFP | 3.3    | 0.4     | -1.32  | 3.30  | 0.00  |
| g2 veletta                        | 2.23   | 2.1     | -4.68  | 2.23  | 0.00  |
| Q1 (marciapiede)                  | 22     | 0.45    | -9.90  | 22.00 | 0.00  |
| Q6 (vento su barriera antirumore) | 12.75  | 3.09    | -39.40 | 0.00  | 12.75 |

#### Calcolo delle sollecitazioni per le verifiche delle tensioni in esercizio e di fessurazione:

Data la presenza di due carichi accidentali (carico sul marciapiede e vento) le possibili combinazioni da considerare sono due, in ciascuna delle quali uno dei due carichi è considerato come dominante.

In particolare per la combinazione caratteristica (rara) si hanno le seguenti due possibili combinazioni:

$$1) 1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2 + 1 \cdot q_1 + 0.60 \cdot q_6$$

$$2) 1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2 + 0.80 \cdot q_1 + 1 \cdot q_6$$

Per la combinazione quasi permanente invece esiste solo la seguente combinazione:

$$1) 1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2$$

Per la combinazione frequente invece esiste solo la seguente combinazione:

$$1) 1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2 + 0.7 \cdot q_1$$

Per le verifiche in esercizio non è stata considerata l'azione di peso proprio della soletta, in quanto agente sulle predalles in fase di getto.

Si riassumono le combinazioni e le considerazioni sovraesposte nella seguente tabella.

|                               | $g_1$ | $g_2$ | $q_1$ | $q_6$ | $M_{Ed}$ | $V_{Ed}$ | $N_{Ed}$ |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
|                               | [-]   | [-]   | [-]   | [-]   | [kNm]    | [kN]     | [kN]     |
| <b>Comb. rara 1</b>           | 0     | 1     | 1     | 0.6   | -82.07   | 51.83    | 7.65     |
| <b>Comb. rara 2</b>           | 0     | 1     | 0.8   | 1     | -95.85   | 47.43    | 12.75    |
| <b>Comb. quasi permanente</b> | 0     | 1     | 0     | 0     | -48.53   | 29.83    | 0.00     |
| <b>Comb. frequente</b>        | 0     | 1     | 0.7   | 0     | -55.46   | 45.23    | 0.00     |
| <b>Comb. SLU</b>              | 1.35  | 1.5   | 1.16  | 1.5   | -169.42  | 95.07    | 19.13    |

#### Combinazione caratteristica rara

Nel caso in esame si ricava che:

Momento in esercizio negativo = -95.85 kNm (ottenuto per la combinazione caratteristica 2 di cui sopra)

Azione normale: -12.75 kN (trazione) azione del vento sulla barriera

#### Combinazione quasi permanente

Nel caso in esame si ricava che:

Momento in esercizio negativo = -48.53 kNm (ottenuto per la combinazione q. perm. 1 di cui sopra)

#### Combinazione frequente

Nel caso in esame si ricava che:

Momento in esercizio negativo = -55.46 kNm (ottenuto per la combinazione q. perm. 1 di cui sopra)



Calcolo delle sollecitazioni per le verifiche allo stato limite ultimo per flessione:

Il momento massimo allo SLU negativo si ottiene con riferimento alla seguente combinazione delle azioni:

$$1.35 \cdot g_1 + 1.50 \cdot g_2 + 1.16 \cdot q_1 + 1.50 \cdot q_6$$

e vale pertanto  $M = -169.42 \text{ KN m}$

Si hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

Larghezza soletta considerata  $B = 1.00 \text{ m}$

Altezza  $H = 0.295 \text{ m}$

Si riporta in seguito la verifica SLU disponendo

|           |   |                |
|-----------|---|----------------|
| Armatura: | $\varnothing 16/25 + \varnothing 20/25$ | strato sup. I  |
|           | $\varnothing 16/25$                     | strato sup. II |
|           | $\varnothing 16/25$                     | strato inf.    |

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |       |      |      |           |            |          |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 66 di 75 |

## 6.8.2 Verifiche SLU

1 -

### DEFINIZIONE DEI MATERIALI

#### Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

|   |                      |        |       |
|---|----------------------|--------|-------|
| Resistenza caratteristica cubica  | $R_{ck}$             | 40     | [MPa] |
| Resistenza caratteristica cilindrica                                      | $f_{ck}$             | 32     | [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo                    | $\gamma_c$           | 1.5    | [-]   |
| Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine               | $\alpha_{cc}$        | 0.85   | [-]   |
| Valore medio della resistenza a compressione cilindrica                   | $f_{cm}$             | 40     | [MPa] |
| Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo         | $f_{ctm}$            | 3.0    | [MPa] |
| Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)   | $f_{ctk,0,05}$       | 2.1    | [MPa] |
| Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)  | $f_{ctk,0,95}$       | 3.9    | [MPa] |
| Modulo di elasticità secante del calcestruzzo                             | $E_{cm}$             | 33346  | [MPa] |
| Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione $f_c$          | $\epsilon_{c1}$      | 0.0020 | [-]   |
| Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo                       | $\epsilon_{cu}$      | 0.0035 | [-]   |
| Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo                    | $f_{cd}$             | 18.13  | [MPa] |
| Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo                        | $f_{ctd}$            | 1.41   | [MPa] |
| Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica   | $\sigma_{c,caratt.}$ | 17.6   | [MPa] |
| Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,q.p.}$    | 12.8   | [MPa] |

#### Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

|   |                 |          |       |
|---|-----------------|----------|-------|
| Resistenza a snervamento dell'acciaio                       | $f_{yk}$        | 450      | [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio            | $\gamma_s$      | 1.15     | [-]   |
| Modulo di elasticità secante dell'acciaio                   | $E_s$           | 200000   | [MPa] |
| Deformazione a snervamento dell'acciaio                     | $\epsilon_{yd}$ | 0.001957 | [-]   |
| Deformazione ultima dell'acciaio                            | $\epsilon_{su}$ | 0.01     | [-]   |
| Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio              | $f_{yd}$        | 391.3    | [MPa] |
| Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS | $\sigma_s$      | 337.5    | [MPa] |



|  |
|--|
| $f_{cm} = f_{ck} + 8$  |
| $f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$ $f_{ck} \leq 50$ [MPa]                      |
| $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + f_{cm}/10)$ $f_{ck} > 50$ [MPa]                  |
| $f_{ctk,0,05} = 0,7 f_{ctm}$   |
| $f_{ctk,0,95} = 1,3 f_{ctm}$   |
| $E_{cm} = 22[f_{cm}/10]^{0,3}$ in [GPa]                                  |
| $\epsilon_{c1} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$ $f_{ck} \geq 50$ [MPa] |
| $\epsilon_{cu} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$ $f_{ck} \geq 50$ [MPa]   |
| $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$                                 |
| $f_{ctd} = f_{ctk,0,05} / \gamma_c$                                      |
| $\sigma_{c,caratt.} = 0,55 f_{ck}$ (ex Istruzione FS par 1.8.3.2.1)      |
| $\sigma_{c,q.p.} = 0,45 f_{ck}$ (ex Istruzione FS par 1.8.3.2.1)         |

|  |
|--|
| $\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$                           |
| $\epsilon_{su} = 1\%$                                    |
| $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$                             |
| $\sigma_s = 0,8 f_{yk}$ (ex Istruzione FS par 1.8.3.2.1) |

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 67 di 75 |

**DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA**

**SEZIONE TRASVERSALE**

|   |    |      |      |
|---|----|------|------|
| Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo   | h  | 295  | [mm] |
| Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo | b  | 1000 | [mm] |
| Copriferro  | d' | 50   | [mm] |
| Altezza utile della sezione                         | d  | 245  | [mm] |

**ARMATURA TESA**

|  |          |      |                    |
|--|----------|------|--------------------|
| Diametro dei ferri correnti                  | $\phi_1$ | 20   | [mm]               |
| Numero dei ferri correnti                    | $n_1$    | 4    | [-]                |
| Diametro dei ferri di eventuale infittimento | $\phi_2$ | 16   | [mm]               |
| Numero dei ferri di eventuale infittimento   | $n_2$    | 8    | [-]                |
| Area dell'armatura tesa                      | $A_s$    | 2865 | [mm <sup>2</sup> ] |

**ARMATURA COMPRESSA**

|  |           |     |                    |
|--|-----------|-----|--------------------|
| Diametro dei ferri correnti                  | $\phi'_1$ | 16  | [mm]               |
| Numero dei ferri correnti                    | $n'_1$    | 4   | [-]                |
| Diametro dei ferri di eventuale infittimento | $\phi'_2$ | 0   | [mm]               |
| Numero dei ferri di eventuale infittimento   | $n'_2$    | 0   | [-]                |
| Area dell'armatura compressa                 | $A'_s$    | 804 | [mm <sup>2</sup> ] |

**DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE**

|   |                  |         |     |
|---|------------------|---------|-----|
| Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa | $\omega_s$       | 0.2524  | [-] |
| Rapporto tra copriferro e altezza utile                     | $\delta$         | 0.2041  | [-] |
| Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa             | $\rho$           | 0.2807  | [-] |
| Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a    | $\xi_{2a}$       | 0.1667  | [-] |
| Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b    | $\xi_{2b}$       | 0.2593  | [-] |
| Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3     | $\xi'_3$         | 0.4628  | [-] |
| Coefficiente di riempimento per il Campo 2a                 | $\beta_{2a}$     | 0.6667  | [-] |
| Coefficiente di riempimento per il Campo 2b                 | $\beta_{2b}$     | 0.8095  | [-] |
| Coefficiente $\alpha'_s$ per il Campo 2a                    | $\alpha'_{s(a)}$ | -0.2295 | [-] |
| Coefficiente $\alpha'_s$ per il Campo 2b                    | $\alpha'_{s(b)}$ | 0.3807  | [-] |
| Coefficiente $\alpha'_s$ per il Campo 3                     | $\alpha'_{s(3)}$ | 1.0000  | [-] |
| Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a            | $\omega_{2a}$    | 0.1044  | [-] |
| Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b            | $\omega_{2b}$    | 0.2350  | [-] |
| Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3             | $\omega_3$       | 0.7209  | [-] |
|   | $\omega'_3$      | 0.4964  | [-] |

**CAMPO 3a**

|   |                    |        |       |
|---|--------------------|--------|-------|
| Posizione adimensionale dell'asse neutro      | $\xi$              | 0.2747 | [-]   |
| Posizione dell'asse neutro                    | x                  | 67.31  | [mm]  |
| Deformazione massima nel calcestruzzo         | $\epsilon_{c,max}$ | 0.0035 | [-]   |
| Deformazione massima dell'acciaio             | $\epsilon_{s,max}$ | 0.0092 | [-]   |
| Coefficiente di riempimento                   | $\beta$            | 0.8000 | [-]   |
| Coefficiente di baricentro                    | $\kappa$           | 0.4000 | [-]   |
| Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$ | $\alpha'_s$        | 0.4600 | [-]   |
| Tensione nell'armatura compressa              | $\sigma'_s$        | 179.99 | [MPa] |
| Deformazione dell'armatura compressa          | $\epsilon'_s$      | 0.0009 | [-]   |

|  |                            |               |              |
|--|----------------------------|---------------|--------------|
| <b>Momento resistente della sezione</b>                      | <b><math>M_{Rd}</math></b> | <b>241.15</b> | <b>[kNm]</b> |
| <b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b> | <b><math>M_{Ed}</math></b> | <b>169.4</b>  | <b>[kNm]</b> |

$M_{Rd}=241.15 \text{ kNm} > M_{Ed,SLU}= 169.4\text{kNm}$ : verifica soddisfatta.

Si riporta in seguito la verifica della resistenza a taglio della sezione.

### DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE

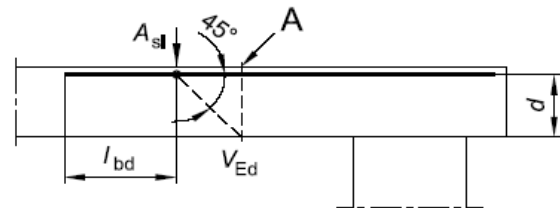
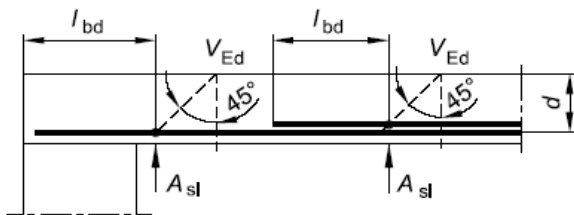
#### § 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

|  |            |           |      |
|--|------------|-----------|------|
| Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo                        | $V_{Ed}$   | 95.07     | [kN] |
| Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo            |            | NO        | [-]  |
| Coefficiente $C_{Rd,c}$  | $C_{Rd,c}$ | 0.12      | [-]  |
| Coefficiente k   | k          | 1.90      | [-]  |
|  |            | 1.90      | [-]  |
| Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$ | $\rho_l$   | 0.0116944 | [-]  |
|  |            | 0         | [-]  |

figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

$V_{Rd,c}$  0.00 [kN]

Resistenza minima del calcestruzzo teso

$V_{Rd,min}$  127.39 [kN]

**Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso**

**$V_{Rd}$  127.39 [kN]**

Non occorre disporre armatura specifica a taglio.

### 6.8.3 Verifiche SLE

| DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS                                     |                      |                               |
|---|----------------------|-------------------------------|
| Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica                 |                      |                               |
| Momento sollecitante assunto in valore assoluto                         | $M_{Ed}$             | 95.85 [kNm]                   |
| Coefficiente di omogeneizzazione  | $n$                  | 15.0 [-]                      |
| Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo                       | $h$                  | 295 [mm]                      |
| Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo                     | $b$                  | 1000 [mm]                     |
| Copriferro  | $d'$                 | 50 [mm]                       |
| Altezza utile della sezione   | $d$                  | 245 [mm]                      |
| Area dell'armatura tesa   | $A_s$                | 2865 [mm <sup>2</sup> ]       |
| Area dell'armatura compressa  | $A'_s$               | 804 [mm <sup>2</sup> ]        |
| Posizione dell'asse neutro  | $x$                  | 104.00 [mm]                   |
| Momento d'inerzia della sezione rispetto a x                            | $J$                  | 1264558048 [mm <sup>4</sup> ] |
| Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica | $\sigma_{c,caratt.}$ | 17.6 [MPa]                    |
| Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS             | $\sigma_s$           | 337.5 [MPa]                   |
| <b>Tensione nel calcestruzzo</b>  | $\sigma_c$           | <b>7.88 [MPa]</b>             |
| <b>Tensione nell'armatura tesa</b>                                      | $\sigma_s$           | <b>160.31 [MPa]</b>           |

| DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS                                       |                   |                               |
|---|-------------------|-------------------------------|
| Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente                 |                   |                               |
| Momento sollecitante assunto in valore assoluto                           | $M_{Ed}$          | 48.53 [kNm]                   |
| Coefficiente di omogeneizzazione  | $n$               | 15.0 [-]                      |
| Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo                         | $j$               | 295 [-]                       |
| Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo                       | $b$               | 1000 [-]                      |
| Copriferro  | $d'$              | 50 [-]                        |
| Altezza utile della sezione   | $d'$              | 245 [-]                       |
| Area dell'armatura tesa   | $A_s$             | 2865 [mm <sup>2</sup> ]       |
| Area dell'armatura compressa  | $A'_s$            | 804 [mm <sup>2</sup> ]        |
| Posizione dell'asse neutro  | $x$               | 104.00 [mm]                   |
| Momento d'inerzia della sezione rispetto a x                              | $J$               | 1264558048 [mm <sup>4</sup> ] |
| Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente | $\sigma_{c,q.p.}$ | 12.8 [MPa]                    |
| Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS               | $\sigma_s$        | 337.5 [MPa]                   |
| <b>Tensione nel calcestruzzo</b>  | $\sigma_c$        | <b>3.99 [MPa]</b>             |
| <b>Tensione nell'armatura tesa</b>  | $\sigma_s$        | <b>81.17 [MPa]</b>            |

| DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS                 |            |                               |
|---|------------|-------------------------------|
| Controllo tensionale per la Combinazione Frequente  |            |                               |
| Momento sollecitante assunto in valore assoluto     | $M_{Ed}$   | 95.85 [kNm]                   |
| Coefficiente di omogeneizzazione                    | $n$        | 15.0 [-]                      |
| Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo   | $j$        | 295 [MPa]                     |
| Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo | $b$        | 1000 [-]                      |
| Copriferro  | $d'$       | 50 [kNm]                      |
| Altezza utile della sezione                         | $d'$       | 245 [kNm]                     |
| Area dell'armatura tesa                             | $A_s$      | 2865 [mm <sup>2</sup> ]       |
| Area dell'armatura compressa                        | $A'_s$     | 804 [mm <sup>2</sup> ]        |
| Posizione dell'asse neutro                          | $x$        | 104.00 [mm]                   |
| Momento d'inerzia della sezione rispetto a x        | $J$        | 1264558048 [mm <sup>4</sup> ] |
| <b>Tensione nel calcestruzzo</b>                    | $\sigma_c$ | <b>7.88 [MPa]</b>             |
| <b>Tensione nell'armatura tesa</b>                  | $\sigma_s$ | <b>160.31 [MPa]</b>           |

Le verifiche sono soddisfatte

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

Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

|          |       |      |      |      |        |       |      |          |
|----------|-------|------|------|------|--------|-------|------|----------|
| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. | DOC.   | PROG. | REV. | FOGLIO   |
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL   | VI0007 | 008   | A    | 70 di 75 |

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente**

|   |                                 |                               |
|---|---------------------------------|-------------------------------|
| <b>Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente</b>      | <b>M<sub>Ed,q.p.</sub></b>      | <b>48.53</b> [kNm]            |
| Durata del carico   |                                 | lunga [-]                     |
| Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore                        | x                               | 104.00 [mm]                   |
| Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$                      | 81.17 [MPa]                   |
| Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo    | $f_{ct,eff}$                    | 3.0 [MPa]                     |
| Fattore dipendente dalla durata del carico                            | $k_1$                           | 0.4 [-]                       |
| Altezza efficace  | $h_{c,eff}$                     | 63.6660061 [mm]               |
| Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura              | $A_{c,eff}$                     | 63666.0061 [mm <sup>2</sup> ] |
| Rapporto geometrico sull'area efficace                                | $\rho_{p,eff}$                  | 0.04500 [-]                   |
| Rapporto tra $E_s/E_{cm}$   | $\alpha_e$                      | 6.00 [-]                      |
| Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo | $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ | 0.000235 [-]<br>0.000243 [-]  |
| Determinazione del diametro equivalente delle barre tese              | $\phi_{eq}$                     | 17.54 [mm]                    |
| Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre     | $k_1$                           | 0.8 [-]                       |
| Coefficiente che tiene conto della flessione pura                     | $k_2$                           | 0.5 [-]                       |
|   | $k_3$                           | 3.4 [-]                       |
|   | $k_4$                           | 0.425 [-]                     |
| Distanza massima tra le fessure                                       | $s_{r,max}$                     | 270.25 [mm]<br>270.25 [mm]    |

|                                       |                        |                    |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Ampiezza delle fessure</b>         | <b>w<sub>k</sub></b>   | <b>0.0658</b> [mm] |
| <b>Ampiezza massima delle fessure</b> | <b>w<sub>max</sub></b> | <b>0.2</b> [mm]    |

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente**

|   |                                 |                               |
|---|---------------------------------|-------------------------------|
| <b>Momento sollecitante per la combinazione Frequente</b>             | <b>M<sub>Ed,freq.</sub></b>     | <b>48.53</b> [kNm]            |
| Durata del carico   |                                 | lunga [-]                     |
| Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore                        | x                               | 104.00 [mm]                   |
| Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$                      | 160.31 [MPa]                  |
| Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo    | $f_{ct,eff}$                    | 3.0 [MPa]                     |
| Fattore dipendente dalla durata del carico                            | $k_1$                           | 0.4 [-]                       |
| Altezza efficace  | $h_{c,eff}$                     | 63.6660061 [mm]               |
| Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura              | $A_{c,eff}$                     | 63666.0061 [mm <sup>2</sup> ] |
| Rapporto geometrico sull'area efficace                                | $\rho_{p,eff}$                  | 0.04500 [-]                   |
| Rapporto tra $E_s/E_{cm}$   | $\alpha_e$                      | 6.00 [-]                      |
| Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo | $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ | 0.000631 [-]<br>0.000631 [-]  |
| Determinazione del diametro equivalente delle barre tese              | $\phi_{eq}$                     | 17.54 [mm]                    |
| Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre     | $k_1$                           | 0.8 [-]                       |
| Coefficiente che tiene conto della flessione pura                     | $k_2$                           | 0.5 [-]                       |
|   | $k_3$                           | 3.4 [-]                       |
|   | $k_4$                           | 0.425 [-]                     |
| Distanza massima tra le fessure                                       | $s_{r,max}$                     | 270.25 [mm]<br>270.25 [mm]    |

|                                       |                        |                    |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Ampiezza delle fessure</b>         | <b>w<sub>k</sub></b>   | <b>0.1705</b> [mm] |
| <b>Ampiezza massima delle fessure</b> | <b>w<sub>max</sub></b> | <b>0.2</b> [mm]    |

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Caratteristica**

| <b>Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica</b>        | <b><math>M_{Ed,caratt.}</math></b> | <b>95.85</b> [kNm]            |
|---|------------------------------------|-------------------------------|
| Durata del carico   |                                    | lunga [-]                     |
| Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore                        | x                                  | 104.00 [mm]                   |
| Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$                         | 160.31 [MPa]                  |
| Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo    | $f_{ct,eff}$                       | 3.0 [MPa]                     |
| Fattore dipendente dalla durata del carico                            | $k_t$                              | 0.4 [-]                       |
| Altezza efficace  | $h_{c,eff}$                        | 63.6660061 [mm]               |
| Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura              | $A_{c,eff}$                        | 63666.0061 [mm <sup>2</sup> ] |
| Rapporto geometrico sull'area efficace                                | $\rho_{p,eff}$                     | 0.04500 [-]                   |
| Rapporto tra $E_s/E_{cm}$   | $\alpha_e$                         | 6.00 [-]                      |
| Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo | $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$    | 0.000631 [-]                  |
|   |                                    | 0.000631 [-]                  |
| Determinazione del diametro equivalente delle barre tese              | $\phi_{eq}$                        | 17.54 [mm]                    |
| Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre     | $k_1$                              | 0.8 [-]                       |
| Coefficiente che tiene conto della flessione pura                     | $k_2$                              | 0.5 [-]                       |
|   | $k_3$                              | 3.4 [-]                       |
|   | $k_4$                              | 0.425 [-]                     |
| Distanza massima tra le fessure                                       | $s_{r,max}$                        | 270.25 [mm]                   |
|   |                                    | 270.25 [mm]                   |
| <b>Ampiezza delle fessure</b>   | <b><math>w_k</math></b>            | <b>0.1705</b> [mm]            |
| <b>Ampiezza massima delle fessure</b>                                 | <b><math>w_{max}</math></b>        | <b>0.2</b> [mm]               |

Le verifiche sono soddisfatte

## 7 VERIFICA AL SOLLEVAMENTO

Con riferimento alla disposizione dei martinetti di sollevamento, si riportano in breve le verifiche tensionali relative alla trave più sollecitata: rispetto alle verifiche condotte precedentemente, le sollecitazioni sono relative alla nuova configurazione di sollevamento su martinetti, il momento sollecitante derivante dai carichi accidentali è preso pari a una percentuale del 50%, rispetto a quello di esercizio.

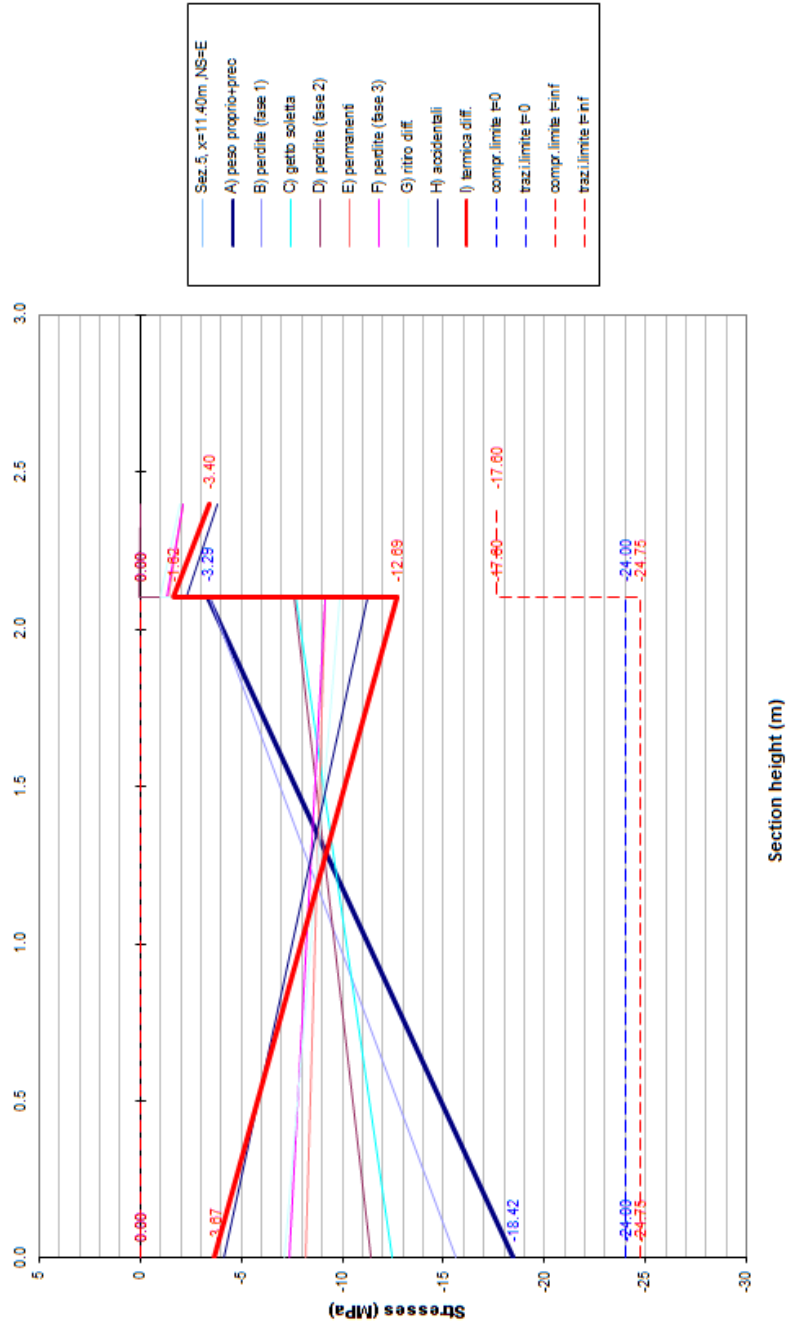
| Sezione n°5 - x=11.40m   |                                  |         |        |                              |              |          |          |
|--------------------------|----------------------------------|---------|--------|------------------------------|--------------|----------|----------|
| FASE                     | SOLLECITAZIONI PARZIALI (kN;kNm) |         |        | TENSIONI PARZIALI (MPa)      |              |          |          |
|                          | N                                | N       | M      | sigma_i                      | sigma_s      | sigma_si | sigma_ss |
| 0) precompressione       |                                  | -13 608 | -6 515 | -21.54                       | 0.91         |          |          |
| 0) peso proprio trave    |                                  |         | 2 123  | 3.12                         | -4.20        |          |          |
| A) peso proprio+prec     |                                  | -13 608 | -4 392 | -18.42                       | -3.29        |          |          |
| B) perdite (fase 1)      |                                  | 1 756   | 841    | 2.78                         | -0.12        |          |          |
| C) getto soletta         |                                  |         | 2 154  | 3.17                         | -4.26        |          |          |
| D) perdite (fase 2)      |                                  | 683     | 685    | 1.05                         | 0.06         | 0.08     | -0.04    |
| E) permanenti            |                                  |         | 3 348  | 3.26                         | -1.56        | -1.44    | -2.06    |
| F) perdite (fase 3)      |                                  | 547     | 548    | 0.84                         | 0.05         | 0.07     | -0.04    |
| G) ritiro diff.          | 769                              | -769    | 682    | 0.24                         | -0.74        | 0.33     | 0.21     |
| H) accidentali           |                                  | 0       | 3 032  | 2.96                         | -1.42        | -1.30    | -1.86    |
| I) termica diff.         | 1 464                            | -1 464  | 1 299  | 0.46                         | -1.41        | 0.63     | 0.39     |
| Sez.5, x=11.40m ,NS=E    |                                  |         |        | <b>TENSIONI TOTALI (MPa)</b> |              |          |          |
| FASE                     |                                  |         |        | sigma_i                      | sigma_s      | sigma_si | sigma_ss |
| h(m)                     |                                  |         |        | 0.00                         | 2.10         | 2.10     | 2.40     |
| A) peso proprio+prec     |                                  |         |        | <b>-18.42</b>                | <b>-3.29</b> |          |          |
| B) perdite (fase 1)      |                                  |         |        | -15.64                       | -3.40        |          |          |
| C) getto soletta         |                                  |         |        | -12.47                       | -7.66        |          |          |
| D) perdite (fase 2)      |                                  |         |        | -11.43                       | -7.60        | 0.08     | -0.04    |
| E) permanenti            |                                  |         |        | -8.16                        | -9.17        | -1.35    | -2.10    |
| F) perdite (fase 3)      |                                  |         |        | -7.33                        | -9.12        | -1.29    | -2.14    |
| G) ritiro diff.          |                                  |         |        | -7.09                        | -9.86        | -0.95    | -1.93    |
| H) accidentali           |                                  |         |        | -4.13                        | -11.28       | -2.25    | -3.80    |
| I) termica diff.         |                                  |         |        | <b>-3.67</b>                 | -12.69       | -1.62    | -3.40    |
| <b>LIMITI TENSIONALI</b> |                                  |         |        |                              |              |          |          |
| h(m)                     |                                  |         |        | 0.00                         | 2.10         | 2.10     | 2.40     |
| compr.limite t=0         |                                  |         |        | <b>-24.00</b>                | -24.00       |          |          |
| trazi.limite t=0         |                                  |         |        | 0.00                         | <b>0.00</b>  |          |          |
| compr.limite t=inf       |                                  |         |        | -24.75                       | -24.75       | -17.60   | -17.60   |
| trazi.limite t=inf       |                                  |         |        | <b>0.00</b>                  | 0.00         | 0.00     | 0.00     |



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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. DOC. | PROG. REV. | FOLGIO   |
|----------|-------|------|------|-----------|------------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL VI0007 | 008 A      | 73 di 75 |



## 8 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE

### 8.1 Verifica deformazioni torsionali (sghembo)

La torsione dell'impalcato del ponte è calcolata considerando il treno di carico LM71 o SW/2 incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente  $\alpha$ .

La condizione più severa si realizza in corrispondenza della zona di appoggio dell'impalcato, durante il passaggio del convoglio LM71. Di seguito si riporta la verifica di sghembo, riferita agli abbassamenti massimi riscontrati nella soletta di impalcato. I valori degli abbassamenti massimi, rilevati in nodi posti in posizioni coerenti con quanto prevede la normativa per tale tipo di verifica, sono:

$$\delta_{1,LM71} = 1.11\text{mm}$$

$$\delta_{1,SW2} = 1.35\text{mm}$$

$$\delta_{2,LM71} = 1.23\text{mm}$$

$$\delta_{2,SW2} = 1.42\text{mm}$$

Lo sghembo massimo è pari a:

$$t \cong \delta_{2,LM71} - \delta_{1,LM71} = (1.23 - 1.11) = 0.12\text{mm} / 3\text{m}$$

Il valore di  $t$  appena calcolato è inferiore al valore limite previsto dalla normativa e pari a 3.0 mm /3m per il caso  $120 < V_{\max} < 200$  km/h.

### 8.2 Verifica stato limite di confort

Considerando la presenza dei treni di carico LM71, SW/2, incrementati con il corrispondente coefficiente dinamico  $\phi_3$  e con il coefficiente  $\alpha$ , il massimo valore di inflessione per effetto di tali carichi ferroviari non deve eccedere il valore  $L/600$ .

L'abbassamento massimo per inflessione nel piano verticale dovuto al transito dei convogli è stato valutato sommando l'effetto del treno SW/2 e LM71 (amplificato per  $\alpha=1.1$ ). L'abbassamento massimo si rileva in mezzzeria ed è pari a:

$$\delta = 6.08 \text{ mm}$$

Il valore di  $\delta$  appena calcolato è inferiore al valore limite previsto dalla normativa e pari a  $L/600 = 22800/600 = 38$  mm.

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

*Impalcato in c.a.p. L=25 m Doppio Binario*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| PROGETTO | LOTTO | FASE | ENTE | COD. | DOC.   | PROG. | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|------|------|------|--------|-------|------|----------|
| RS3U     | 40    | D    | 09   | CL   | VI0007 | 008   | A    | 75 di 75 |

## 9 Riepilogo appoggi e giunti

Si veda il relativo elaborato grafico.

2 -