

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA  
TRATTA PIADENA - MANTOVA**

IV - OPERE D'ARTE PRINCIPALI - Cavalcaferrovia  
IV00 – Tipologici cavalcaferrovia  
Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

N M 2 5   0 3   D   2 6   C L   I V 0 0 0 7   0 0 1   A

| Rev. | Descrizione     | Redatto | Data        | Verificato | Data        | Approvato      | Data        | Autorizzato Data        |
|------|-----------------|---------|-------------|------------|-------------|----------------|-------------|-------------------------|
| A    | Prima Emissione | G.Coppa | Aprile 2020 |            | Aprile 2020 | M. Berlingieri | Aprile 2020 | A.Perego<br>Aprile 2020 |
|      |                 |         |             |            |             |                |             |                         |
|      |                 |         |             |            |             |                |             |                         |
|      |                 |         |             |            |             |                |             |                         |



## INDICE

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | PREMESSA .....   | 5  |
| 2     | RIFERIMENTI NORMATIVI .....                            | 6  |
| 3     | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI .....          | 7  |
| 3.1   | CALCESTRUZZO .....                                     | 7  |
| 3.2   | ACCIAIO.....   | 7  |
| 3.2.1 | <i>Acciaio per cemento armato</i> .....                | 7  |
| 3.2.2 | <i>Acciaio da carpenteria metallica</i> .....          | 8  |
| 4     | ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....                  | 9  |
| 4.1   | CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G1).....               | 9  |
| 4.2   | CARICHI PERMANENTI PORTATI (NON STRUTTURALI) (G2)..... | 9  |
| 4.3   | AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1) .....                | 10 |
| 4.3.1 | <i>Carichi sui marciapiedi</i> .....                   | 11 |
| 4.4   | AZIONE DI FRENAMENTO ED AVVIAMENTO (Q3).....           | 11 |
| 4.5   | AZIONI CENTRIGUGA (Q4) .....                           | 11 |
| 4.6   | AZIONE DEL VENTO (Q5) .....                            | 12 |
| 4.6.1 | <i>Categoria di esposizione</i> .....                  | 14 |
| 4.6.2 | <i>Coefficienti dinamico</i> .....                     | 16 |
| 4.6.3 | <i>Coefficiente di topografia</i> .....                | 16 |
| 4.6.4 | <i>Coefficiente di forma</i> .....                     | 16 |
| 4.6.5 | <i>Pressione del vento</i> .....                       | 16 |
| 4.7   | AZIONE SISMICA (Q6).....                               | 18 |
| 4.7.1 | <i>Vita nominale</i> .....                             | 19 |
| 4.7.2 | <i>Classe d'uso</i> .....                              | 19 |
| 4.7.3 | <i>Periodo di riferimento</i> .....                    | 19 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.7.4   | <i>Valutazione dei parametri di pericolosità sismica</i>      | 20 |
| 4.7.5   | <i>Caratterizzazione sismica del terreno</i>                  | 20 |
| 4.7.5.1 | <i>Categorie di Sottosuolo</i>                                | 20 |
| 4.7.5.2 | <i>Condizioni topografiche</i>                                | 21 |
| 4.7.5.3 | <i>Amplificazione Stratigrafica e Topografica</i>             | 21 |
| 4.7.6   | <i>Parametri sismici di calcolo</i>                           | 22 |
| 4.7.7   | <i>Applicazione del sisma</i>                                 | 25 |
| 4.8     | RESISTENZE PARASSITE DEI VINCOLI (Q7)                         | 25 |
| 4.9     | AZIONI ECCEZIONALI (Q8)                                       | 25 |
| 4.10    | VARIAZIONE TERMICA (E3)                                       | 25 |
| 4.11    | RITIRO DEL CALCESTRUZZO (E2)                                  | 26 |
| 5       | COMBINAZIONI DI CARICO  | 29 |
| 6       | MODELLAZIONE STRUTTURALE                                      | 33 |
| 6.1     | FASI DI CALCOLO   | 35 |
| 7       | SOLLECITAZIONI IMPALCATO                                      | 36 |
| 7.1     | SOLLECITAZIONI 1 <sup>A</sup> FASE                            | 36 |
| 7.2     | SOLLECITAZIONI 2 <sup>A</sup> FASE                            | 36 |
| 8       | VERIFICHE DELLE TRAVI DI IMPALCATO                            | 40 |
| 8.1     | CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI                     | 41 |
| 8.1.1   | <i>Valutazione della larghezza collaborante della soletta</i> | 41 |
| 8.1.2   | <i>Caratteristiche geometriche delle sezioni d'acciaio</i>    | 42 |
| 8.1.3   | <i>Caratteristiche meccaniche delle travi</i>                 | 44 |
| 8.2     | CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI                                 | 47 |
| 8.3     | VERIFICHE 1 <sup>A</sup> FASE                                 | 49 |
| 8.4     | VERIFICHE 2 <sup>A</sup> FASE (TEMPO T <sub>0</sub> )         | 51 |
| 8.5     | VERIFICHE 2 <sup>A</sup> FASE (TEMPO T <sub>∞</sub> )         | 53 |
| 8.6     | VERIFICHE DI INSTABILITÀ                                      | 55 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 9    | VERIFICHE DEGLI ELEMENTI SECONDARI.....              | 58 |
| 9.1  | VERIFICHE DEI TRAVERSI.....                          | 58 |
| 10   | VERIFICHE A FATICA.....                              | 60 |
| 10.1 | COEFFICIENTE DI SICUREZZA.....                       | 60 |
| 10.2 | VERIFICA DEI DETTAGLI DI FATICA.....                 | 60 |
| 11   | VERIFICA DELLE PIOLATURE.....                        | 66 |
| 12   | VERIFICA SOLETTA IN DIREZIONE TRASVERSALE.....       | 68 |
| 12.1 | CRITERI DI VERIFICA.....                             | 68 |
|      | 12.1.1 Verifiche agli stati limite ultimi.....       | 68 |
|      | 12.1.1.1 Sollecitazioni flettenti.....               | 68 |
|      | 12.1.1.2 Sollecitazioni taglianti.....               | 68 |
|      | 12.1.2 Verifiche agli stati limite di esercizio..... | 70 |
|      | 12.1.2.1 Verifica a fessurazione.....                | 70 |
|      | 12.1.2.2 Verifica delle tensioni in esercizio.....   | 71 |
| 12.2 | VERIFICHE SLU/SLE.....                               | 72 |
| 13   | VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ.....                      | 78 |
| 14   | ANALISI SISMICA.....                                 | 81 |
| 14.1 | DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO.....       | 83 |
| 14.2 | ANALISI DEI RISULTATI: SISMA SLC-SLV.....            | 84 |
| 14.3 | VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI DEGLI ISOLATORI.....      | 85 |
| 14.4 | VERIFICA DEI GIUNTI.....                             | 85 |
| 15   | SINTESI SCARICHI APPOGGI.....                        | 86 |

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo viene emessa nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi al Progetto definitivo del Raddoppio Ferroviario Codogno-Cremona-Mantova e riguarda il dimensionamento dell'impalcato metallico in semplice appoggio di luce L=40m.

L'impalcato prevede una struttura mista in acciaio-calcestruzzo costituita da quattro travi metalliche collegate mediante connettori alla soletta gettata in opera. Il profilo longitudinale presenta travi ad altezza costante di 220 cm. La struttura prevede controventi di piano situati in corrispondenza delle ali superiore ed inferiori.

La soletta in cemento armato è di spessore variabile, fino ad un valore massimo di 31 cm.

La soletta è resa collaborante con la struttura in acciaio utilizzando connettori a piolo tipo "Nelson".

La geometria delle sezioni trasversali dell'impalcato è riportata nelle figure seguenti:

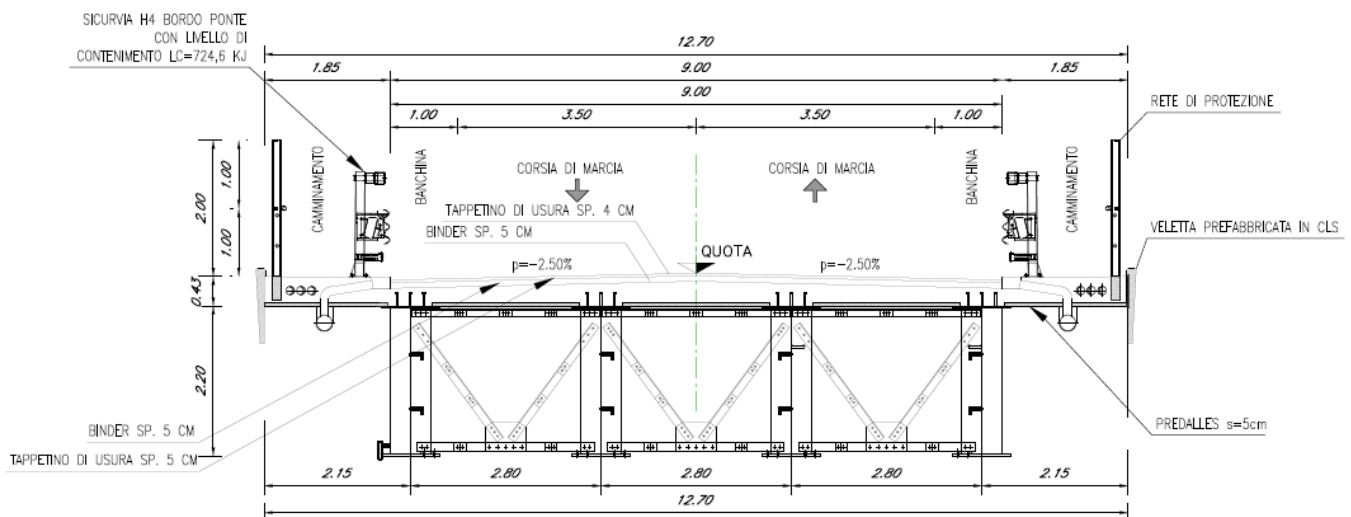



Figura 1- Sezione trasversale tipo dell'impalcato: sezione corrente

I controventi di piano superiori e inferiori sono costituiti da due profili accoppiati L120X12.

I trasversi di testata in corrispondenza delle spalle sono a parete piena, mentre i trasversi di campata sono del tipo a "V", collegati a un corrente inferiore, entrambi costituiti da due profili accoppiati L120X12.

L'impalcato è vincolato alle spalle S1 e S2 con isolatori elastomerici.

Le strutture sono progettate coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente, Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

|   |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|---|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|   | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'analisi dell'opera e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le vigenti disposizioni legislative e in particolare con le seguenti norme e circolari:

- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- UNI EN 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI. PARTE II – SEZIONE 2. PONTI E STRUTTURE"
- 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;
- Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;
- Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “energia” del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi “controllo-comando e segnalamento” del sistema ferroviario nell'Unione europea.

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I materiali utilizzati nella realizzazione delle strutture in funzione della utilizzazione sono descritti in seguito.

#### 3.1 Calcestruzzo

Per il getto in opera si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC4

C32/40  $f_{ck} \geq 32$  MPa  $R_{ck} \geq 40$  MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

|  |   |       |                   |
|--|---|-------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni     | $R_{ck}$  | 40    | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni | $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$                          | 33.20 | N/mm <sup>2</sup> |
| Valore medio della resistenza cilindrica         | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                           | 41.20 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo breve durata               | $f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$  | 22.13 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo lunga durata               | $f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$   | 18.81 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione assiale              | $f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} [R_{ck} < 50/60]$ | 3.10  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica a trazione             | $f_{ctk, 0,05} = 0.7 f_{ctm}$                   | 2.17  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione per flessione        | $f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$                         | 3.72  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo a trazione                 | $f_{ctd} = f_{ctk, 0,05} / 1.5$                 | 1.45  | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo di Young                                  | $E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$                   | 33643 | N/mm <sup>2</sup> |

#### 3.2 Acciaio

##### 3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| acciaio                                | B450C                                 |
| tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup> ;    |
| tensione caratteristica di rottura     | $f_{tk} = 540$ N/mm <sup>2</sup> ;    |
| resistenza di calcolo a trazione       | $f_{yd} = 391,30$ N/mm <sup>2</sup> ; |

modulo elastico

$$E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2.$$

Tensioni di progetto dell'acciaio allo S.L.E.

Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11 del D.M.2018, la tensione massima,  $\sigma_s$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:  $\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,50 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$  tensione massima di esercizio per l'acciaio.

### 3.2.2 Acciaio da carpenteria metallica

Acciaio S355:

Tensione di snervamento

$$f_{yk} \leq 355 \text{ N/mm}^2;$$

Tensione di rottura

$$f_{tk} \leq 510 \text{ N/mm}^2;$$

Modulo elastico

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2;$$

Coefficiente di Poisson

$$\nu = 0,3;$$

Modulo di elasticità trasversale

$$G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23 \text{ N/m}^2;$$

Coefficiente di espansione termica lineare

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (\text{per T fino a } 100 \text{ } ^\circ\text{C});$$

Densità

$$\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3.$$



#### 4 ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

##### 4.1 Carichi permanenti strutturali (G1)

I pesi propri strutturali sono stati valutati considerando un peso specifico del cls pari a 25 kN/mc e un peso specifico dell'acciaio pari 78.5 kN/mc:

- il peso proprio della trave, calcolato considerando il peso della sezione corrente, viene incrementato di 1.10 per tener conto del peso dei vari elementi costituenti il collegamento;
- il peso della soletta, considerando uno spessore massimo di 31 cm, ed una larghezza di piattaforma di 12.70m .

##### 4.2 Carichi permanenti portati (non strutturali) (G2)

Binder e strato di usura:

- peso dell'unità di volume:  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$
- spessore:  $s = 0,10\text{m}$

da cui risulta un carico di  $24\text{kN/m}^3 \cdot 0,10\text{m} = 2,4\text{kN/m}^2$

Cordoli:

- peso dell'unità di volume:  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$
- larghezza:  $L=1,85\text{m}$
- spessore:  $s = 0,15 \text{ m}$

da cui risulta un carico verticale di  $25\text{kN/m}^3 \cdot 1,85\text{m} \cdot 0,15\text{m} = 6,94\text{kN/m}^2$  per ciascun cordolo.

Guard rail, parapetti ed elementi di bordo:

- peso della singola barriera H4 integrata: 2,5 kN/m
- peso della veletta: 1,4 kN/m
- peso della ringhiera parapetto: 0,5 kN/m

In fase di verifica verrà inoltre valutata l'influenza dell'eventuale presenza di barriere New Jersey dal peso di circa 6 kN/m.

### 4.3 Azioni variabili da traffico (Q1)

I carichi mobili presi in considerazione sono quelli indicati dalla normativa per ponti di prima categoria. Sono definiti dagli schemi di carico convenzionali rappresentati nelle figure seguenti e disposti su corsie convenzionali. Il numero di colonne di carichi mobili considerate nel calcolo è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, comprese le eventuali banchine di rispetto e per sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti e di altezza inferiore a 20cm, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.00m.

In accordo con la normativa sui ponti stradali (paragrafo 5.1.3.3.5 delle NTC18), si considera sulla sede stradale l'azione da traffico dello schema di carico riportato di seguito:

#### Schema 1

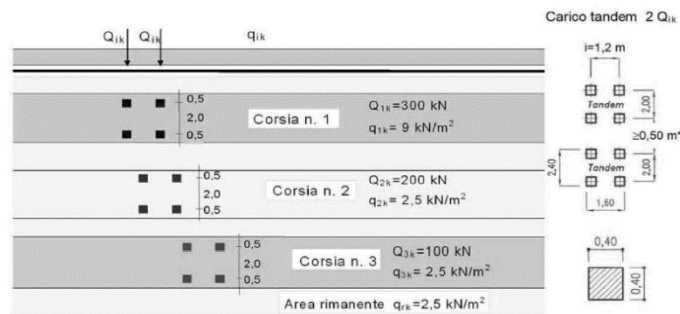


Figura 2: Schemi di carico - carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$ .

| Posizione       | Carico asse $Q_{ik}$ [kN] | $q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| Corsia Numero 1 | 300                       | 9,00                          |
| Corsia Numero 2 | 200                       | 2,50                          |
| Corsia Numero 3 | 100                       | 2,50                          |
| Altre corsie    | 0,00                      | 2,50                          |

Tabella 1: Intensità dei carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$  per le diverse corsie.

Per l'impalcato in esame la larghezza della carreggiata è compatibile con 2 colonne di carico riportate di seguito:

- 1) prima corsia costituita da un mezzo  $Q_{1A}$  (600 kN) e carico  $q_{1k}$  (9.0 kN/m<sup>2</sup>);
- 2) seconda corsia d costituita da un mezzo  $Q_{1A}$  (400 kN) e carico  $q_{1k}$  (2.50 kN/m<sup>2</sup>);
- 3) seconda corsia d costituita da un mezzo  $Q_{1A}$  (400 kN) e carico  $q_{1k}$  (2.50 kN/m<sup>2</sup>);
- 4) parte rimanente costituita carico  $q_{1k}$  (2.50 kN/m<sup>2</sup>).

In senso trasversale i carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$  sono distribuiti su corsie convenzionali di larghezza pari a 3,00 m in modo tale da ottenere la distribuzione trasversale più gravosa.

Per la disposizione dei carichi mobili e delle corsie sulla carreggiata si fa riferimento alle linee d'influenza, in modo da ottenere i valori massimi e minimi delle caratteristiche di sollecitazione in tutte le sezioni d'impalcato.

|  |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|  | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

### Schema Di Carico A Fatica

Le verifiche a fatica saranno condotte per vita illimitata, facendo riferimento a valori di tensione ad ampiezza costante definiti dal D. Min. 17/01/2018 per i diversi dettagli strutturali. La determinazione delle componenti di sollecitazione, per queste verifiche, è stata condotta applicando i carichi previsti sia dal modello 1. Il modello di carico di fatica 1 è costituito dallo schema di carico 1 di cui sopra con valore dei carichi concentrati ridotti del 30% e valori dei carichi distribuiti ridotti del 70%.

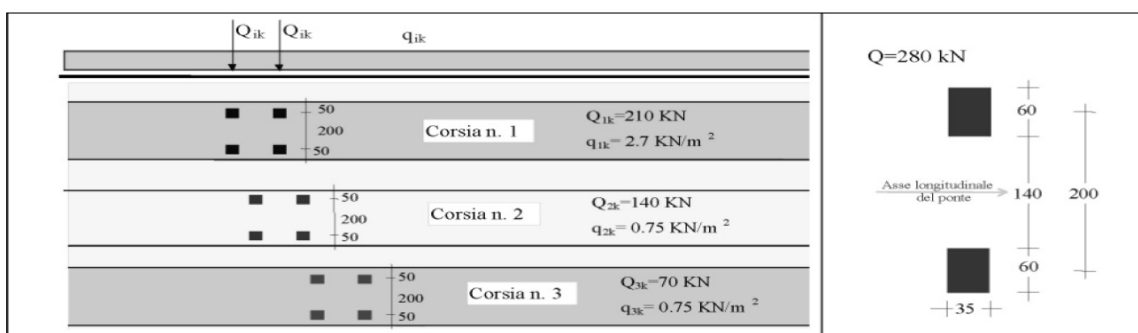


Figura 3 Modello di carico a fatica 1

#### 4.3.1 Carichi sui marciapiedi

I carichi accidentali sono schematizzati da un carico uniformemente distribuito del valore di 5,0 kN/m<sup>2</sup>.

Carico accidentale distribuito marciapiedi  $q_m = 5$  [kN/m<sup>2</sup>]

Essendo la larghezza del marciapiede pari a 1,85m il carico al metro lineare risulta essere  $q_m = 9,25$  kN/m

#### 4.4 Azione di frenamento ed avviamento (Q3)

La forza di frenamento o accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n.1 e per i ponti di 1<sup>a</sup> categoria è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq Q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

$$Q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot 300) + 0,10 \cdot 9,00 \cdot 3,00 \cdot 40 = 468 \text{ kN}$$

#### 4.5 Azioni centrifuga (Q4)

La geometria in pianta dell'impalcato non presenta tratti in curva, pertanto l'azione centrifuga è nulla.

#### 4.6 Azione del vento (Q5)

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Usualmente tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti dirette secondo due assi principali della struttura, tali azioni esercitano normalmente all'elemento di parete o di copertura, pressioni e depressioni  $p$  (indicate rispettivamente con segno positivo e negativo) di intensità calcolate con la seguente espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

- $q_b$  = pressione cinetica di riferimento;
- $c_e$  = coefficiente di esposizione;
- $c_p$  = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- $c_d$  = coefficiente dinamico.

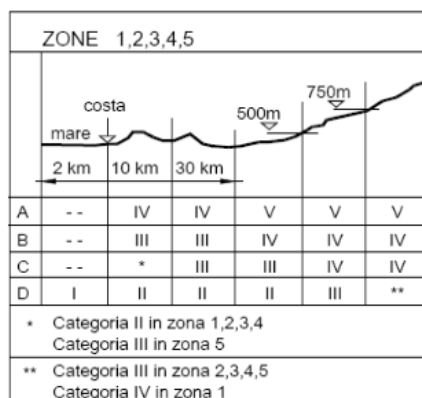


Figure 1 Definizione della categoria di esposizione

| Categoria di esposizione del sito | $k_r$ | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] |
|-----------------------------------|-------|-----------|---------------|
| I                                 | 0,17  | 0,01      | 2             |
| II                                | 0,19  | 0,05      | 4             |
| III                               | 0,20  | 0,10      | 5             |
| IV                                | 0,22  | 0,30      | 8             |
| V                                 | 0,23  | 0,70      | 12            |

Figure 2 Schema per la definizione della categoria di esposizione – cfr. NTC18

La pressione del vento è stata calcolata ai sensi delle NTC 2018; la normativa suddivide il territorio italiano in zone per le quali sono assegnati i parametri di base  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$ . Con riferimento a tali parametri è possibile calcolare la velocità di riferimento  $v_b$ , vale a dire il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su dieci minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni  $v_b$ .

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$

| Zona | Descrizione   | $v_{b,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_s$ |
|------|---|-----------------|-----------|-------|
| 1    | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25              | 1000      | 0,40  |
| 2    | Emilia Romagna  | 25              | 750       | 0,45  |
| 3    | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)   | 27              | 500       | 0,37  |
| 4    | Sicilia e provincia di Reggio Calabria  | 28              | 500       | 0,36  |
| 5    | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)  | 28              | 750       | 0,40  |
| 6    | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)  | 28              | 500       | 0,36  |
| 7    | Liguria   | 28              | 1000      | 0,54  |
| 8    | Provincia di Trieste  | 30              | 1500      | 0,50  |
| 9    | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto   | 31              | 500       | 0,32  |

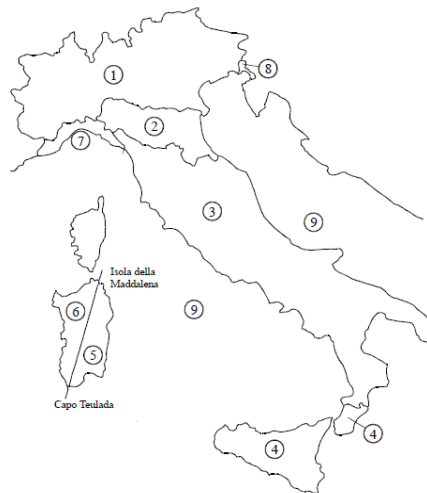


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

Figure 3 Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano e valori dei parametri di riferimento (tab. 3.3.I NTC2018).

I dettagli del calcolo sono di seguito riportati:

|  |            |        |       |
|--|------------|--------|-------|
| Zona - Regione   | Zona       | [-]    | 1     |
| Velocità di riferimento - Valore caratteristico              | $v_{b,0}$  | [m/s]  | 25    |
| Parametro legato all'altitudine della zona                   | $a_0$      | [m]    | 1000  |
| Parametro funzione della zona                                | $k_s$      | [1/s]  | 0.40  |
| Altitudine   | $a_s$      | [m]    | 30    |
| Velocità di riferimento per un periodo di ritorno di 50 anni | $v_b$      | [m/s]  | 25    |
| Tempo di ritorno   | $T_R$      | [anni] | 50    |
| Coefficiente correttivo per il tempo di ritorno              | $c_R$      | [-]    | 1.00  |
| Velocità di riferimento per il periodo di ritorno definito   | $v_r(T_R)$ | [m/s]  | 25.02 |

|                                   |        |                      |        |
|-----------------------------------|--------|----------------------|--------|
| Densità dell'aria                 | $\rho$ | [kg/m <sup>3</sup> ] | 1.25   |
| Pressione cinetica di riferimento | $q_b$  | [N/m <sup>2</sup> ]  | 391.20 |

#### 4.6.1 Categoria di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza della costruzione  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione.

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  varia lungo la quota fuori terra ( $z$ ) della costruzione ed è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Dove:

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$z$  è l'altezza della struttura (somma dell'altezza della barriera antirumore e del rilevato su cui è installata);

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

In mancanza di analisi che tengano conto sia della direzione di provenienza del vento sia delle variazioni di rugosità del terreno, la categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno.

Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1, 2, 3, 4, 5, e 6, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

**Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno**

| Classe di rugosità del terreno | Descrizione   |
|--------------------------------|---|
| A                              | Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m  |
| B                              | Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive  |
| C                              | Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D                                 |
| D                              | Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...) |

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

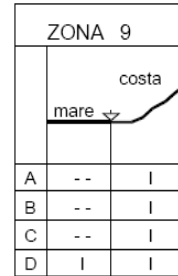
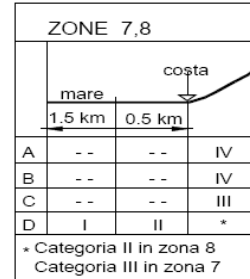
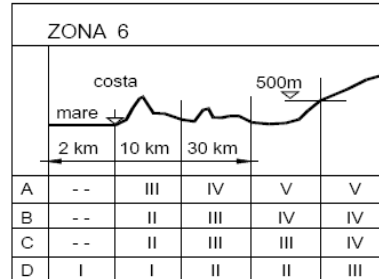
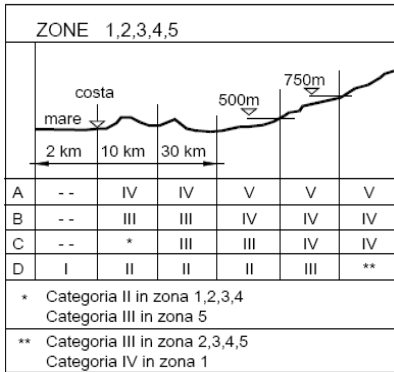


Tabella 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

| Categoria di esposizione del sito | $k_r$ | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] |
|-----------------------------------|-------|-----------|---------------|
| I                                 | 0,17  | 0,01      | 2             |
| II                                | 0,19  | 0,05      | 4             |
| III                               | 0,20  | 0,10      | 5             |
| IV                                | 0,22  | 0,30      | 8             |
| V                                 | 0,23  | 0,70      | 12            |

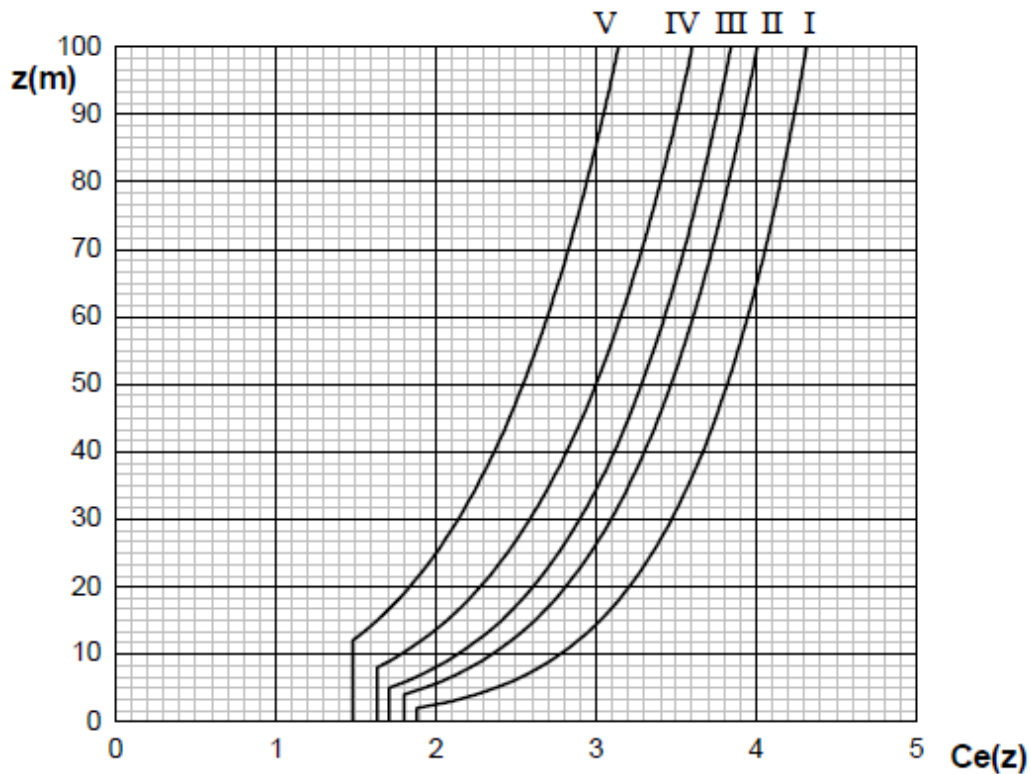


Figura 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione  $c_e$  con la quota (per  $c_t = 1$ )

|  |                       |     |      |
|--|-----------------------|-----|------|
| Classe di rugosità del terreno                         | Classe <sub>rug</sub> | [-] | C    |
| Categoria di esposizione del sito                      | Cat <sub>esp</sub>    | [-] | III  |
| Parametri per la definizione del coeff. di esposizione | k <sub>r</sub>        | [-] | 0.20 |
|  | z <sub>0</sub>        | [m] | 0.10 |
|  | z <sub>min</sub>      | [m] | 5.00 |

Tabella 2 Categoria di esposizione

$$c_{e(10m)}=2.55$$

#### 4.6.2 Coefficienti dinamico

Il coefficiente dinamico  $c_d$  permette di tenere in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Nelle strutture analizzate viene considerato cautelativamente un coefficiente dinamico pari a  $c_d = 1.0$ .

#### 4.6.3 Coefficiente di topografia

Nelle strutture analizzate viene considerato un coefficiente di topografia unitario.

#### 4.6.4 Coefficiente di forma

Secondo le indicazioni della Circolare del 21/01/2019 “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17/01/2018” (par. C3.3.8.6.1), e considerando travi ad anima piena per cui il rapporto tra la superficie delimitata dal contorno della trave e la superficie della parte piena della trave,  $\phi = 1$ , si determina il coefficiente aerodinamico per l’impalcato:  $c_p = 2,4 - \phi = 1,40$

#### 4.6.5 Pressione del vento

|                |       |                   |  |
|----------------|-------|-------------------|--|
| q <sub>b</sub> | 0.391 | kN/m <sup>2</sup> |  |
| C <sub>e</sub> | 2.55  |                   | Coefficiente di esposizione calcolato per z = 7m |
| C <sub>p</sub> | 1.4   |                   | Coefficiente di forma                            |
| C <sub>d</sub> | 1     |                   | Coefficiente dinamico                            |
| P              | 1.39  | kN/m <sup>2</sup> | Pressione del vento                              |

L’azione del vento viene assimilata a un carico orizzontale statico con direzione perpendicolare all’asse del ponte. Tale azione agisce sulla proiezione nel piano verticale delle superfici degli elementi strutturali del ponte direttamente investite e su una parete rettangolare continua verticale alta 3,00 m, che convenzionalmente rappresenta i carichi che transitano sul ponte, come mostrato nella Figura riportata di seguito.



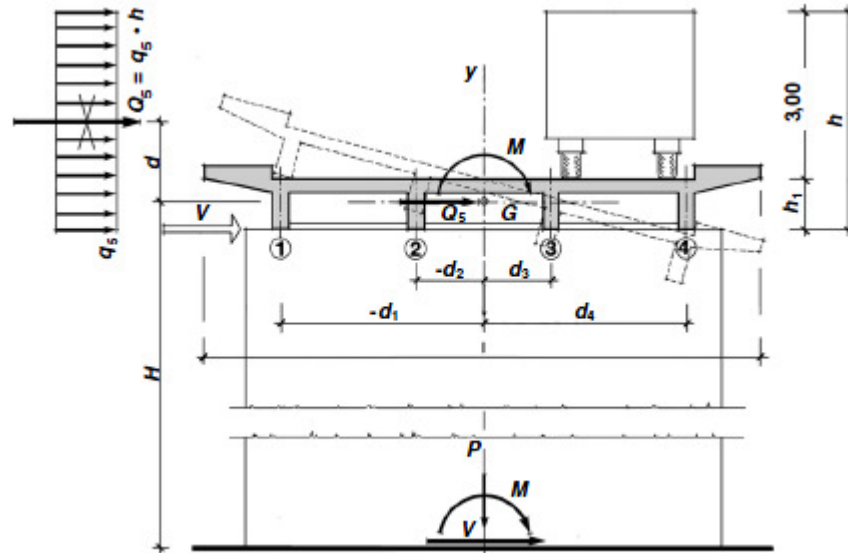


Figura 4: Direzione dell'azione del vento sul ponte

#### Vento trasmesso dall'impalcato a ponte carico

Il carico trasversale, per unità di lunghezza, è pari a:

$$q_{\text{vento1}} = (H_{\text{trave}} + H_{\text{soletta}}) \cdot p = 3,49 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{vento2}} = (H_{\text{carico}}) \cdot p = 4,17 \text{ kN/m}$$

dove:

$q_{\text{vento1}}$  è il carico trasversale dovuto al vento sull'impalcato;

$q_{\text{vento2}}$  è il carico trasversale dovuto al vento sulla superficie trasversale dei carichi transitanti, che da normativa si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3m a partire dal piano stradale.

Le risultanti trasversali totali indotte dal vento sull'impalcato, sono pari a:

$$T_{\text{trasv1}} = q_{\text{vento1}} \cdot L = 139,6 \text{ kN}$$

$$T_{\text{trasv2}} = q_{\text{vento2}} \cdot L = 166,8 \text{ kN}$$

$$T_{\text{trasv_ponte carico}} = (T_{\text{trasv1}} + T_{\text{trasv2}}) = 306,4 \text{ kN}$$

Il baricentro dell'azione del vento rispetto a quota estradosso sottostrutture risulta pari a:

$$e_{v1} = d + [(H_{\text{trave}} + H_{\text{soletta}})/2] = 2,53 \text{ m}$$

$$e_{v2} = d + (H_{\text{trave}} + H_{\text{soletta}}) + (3 \text{ m} / 2) = 3,03 \text{ m}$$

dove:

$d$  = distanza tra intradosso trave e estradosso sottostrutture (in metri).

L'impalcato trasmette quindi alla sottostruttura un momento pari a:

$$M_{\text{vento\_ponte carico}} = T_{\text{trasv1}} \cdot e_{v1} + T_{\text{trasv2}} \cdot e_{v2} = 858,59 \text{ kNm}$$

#### Vento trasmesso dall'impalcato a ponte scarico

Il carico trasversale, per unità di lunghezza, è pari a:

$$q_{\text{vento1}} = (H_{\text{trave}} + H_{\text{soletta}} + H_{\text{barriera}}) \cdot p = 6,27 \text{ kN/m}$$

dove:

$q_{\text{vento1}}$  è il carico trasversale dovuto al vento sull'impalcato e sulla barriera di protezione.

La risultante trasversale totale indotta dal vento sull'impalcato, risulta pari a:

$$T_{\text{trasv1}} = q_{\text{vento1}} \cdot L = 250,76 \text{ kN}$$

$$T_{\text{trasv\_ponte scarico}} = T_{\text{trasv1}}$$

Il baricentro dell'azione del vento rispetto a quota estradosso sottostruttura risulta pari a:

$$e_{v1} = d + [(H_{\text{trave}} + H_{\text{soletta}} + H_{\text{barriera}})/2] = 4,78 \text{ m}$$

L'impalcato trasmette quindi alla sottostruttura un momento pari a:

$$M_{\text{vento\_ponte scarico}} = T_{\text{trasv1}} \cdot e_{v1} = 1199,89 \text{ kNm}$$

#### **4.7 Azione Sismica (Q6)**

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2018), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 del D.M. 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1 del D.M. 2018, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4 del D.M. 2018.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

|  |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|  | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

#### 4.7.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Per l'opera in esame viene assunta una vita nominale  $V_N = 50$ .

#### 4.7.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.


**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel presente progetto si considera una **classe d'uso tipo IV** con coefficiente d'uso  $C_U = 2$ .

#### 4.7.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni (periodo di riferimento).}$$

|  |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|  | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

#### 4.7.4 Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

|            | STATO LIMITE                                   | <b><math>P_{VR}</math>: probabilità di superamento nel periodo di riferimento</b> |
|------------|--|---|
| <b>SLE</b> | SLO - Stato Limite di Operatività              | 81%   |
|            | SLD - Stato Limite di Danno                    | 63%   |
| <b>SLU</b> | SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita  | 10%   |
|            | SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso | 5%  |

*Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato*

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{C_u \cdot V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

da cui si ottiene la seguente tabella:

| Stati limite |            | Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$ (anni) |
|--------------|------------|--|
| <b>SLE</b>   | <b>SLO</b> | 30   |
|              | <b>SLD</b> | 50   |
| <b>SLU</b>   | <b>SLV</b> | 475  |
|              | <b>SLC</b> | 975  |


*Valori in anni del periodo di ritorno  $T_R$  al variare del periodo di riferimento  $V_R$*

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati, il periodo  $T_R$  in corrispondenza dello stato limite ultimo SLV è pari a  $T_R = 949$  anni.

#### 4.7.5 Caratterizzazione sismica del terreno

##### 4.7.5.1 Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

|   |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|---|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|   | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018.

I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di **Categoria C**.

#### 4.7.5.2 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica  |
|-----------|---|
| T1        | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T2        | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  |
| T3        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

#### *Classificazione topografie superfici*

Le categorie topografiche appena definite si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area interessata risulta classificabile come **T1**.

#### 4.7.5.3 Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente  $S = S_S \cdot S_T$  e di  $C_C$  in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle che sono riportate di seguito:

| Categoria sottosuolo | $S_s$   | $C_c$                        |
|----------------------|---|------------------------------|
| A                    | 1,00  | 1,00                         |
| B                    | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C                    | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D                    | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E                    | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

*Tabella delle espressioni per  $S_s$  e  $C_c$*

| Categoria Topografica | Ubicazione dell'opera dell'intervento      | $S_T$ |
|-----------------------|--|-------|
| T1                    | -  | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4   |

*Tabella 3: Tabella valori massimi del coeff. di amplificazione topografica  $S_T$*

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a  $S_T = 1$

I valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a  $S_s = 1,50$  e  $C_c = 1,571$

#### 4.7.6 Parametri sismici di calcolo

Si assumono i parametri sismici più cautelativi corrispondenti al tratto A3, individuato dalla "Relazione geotecnica generale" dal km 82+000 al km 89+731 con il punto P4:

Latitudine = 45.159632

Longitudine = 10.784886

$a_g$  = 0.116 g

$$F_0 = 2.565;$$

$$T^*c = 0.306 \text{ s};$$

$$S = 1.50$$

$$a_{\max}(g) = 0.177$$

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

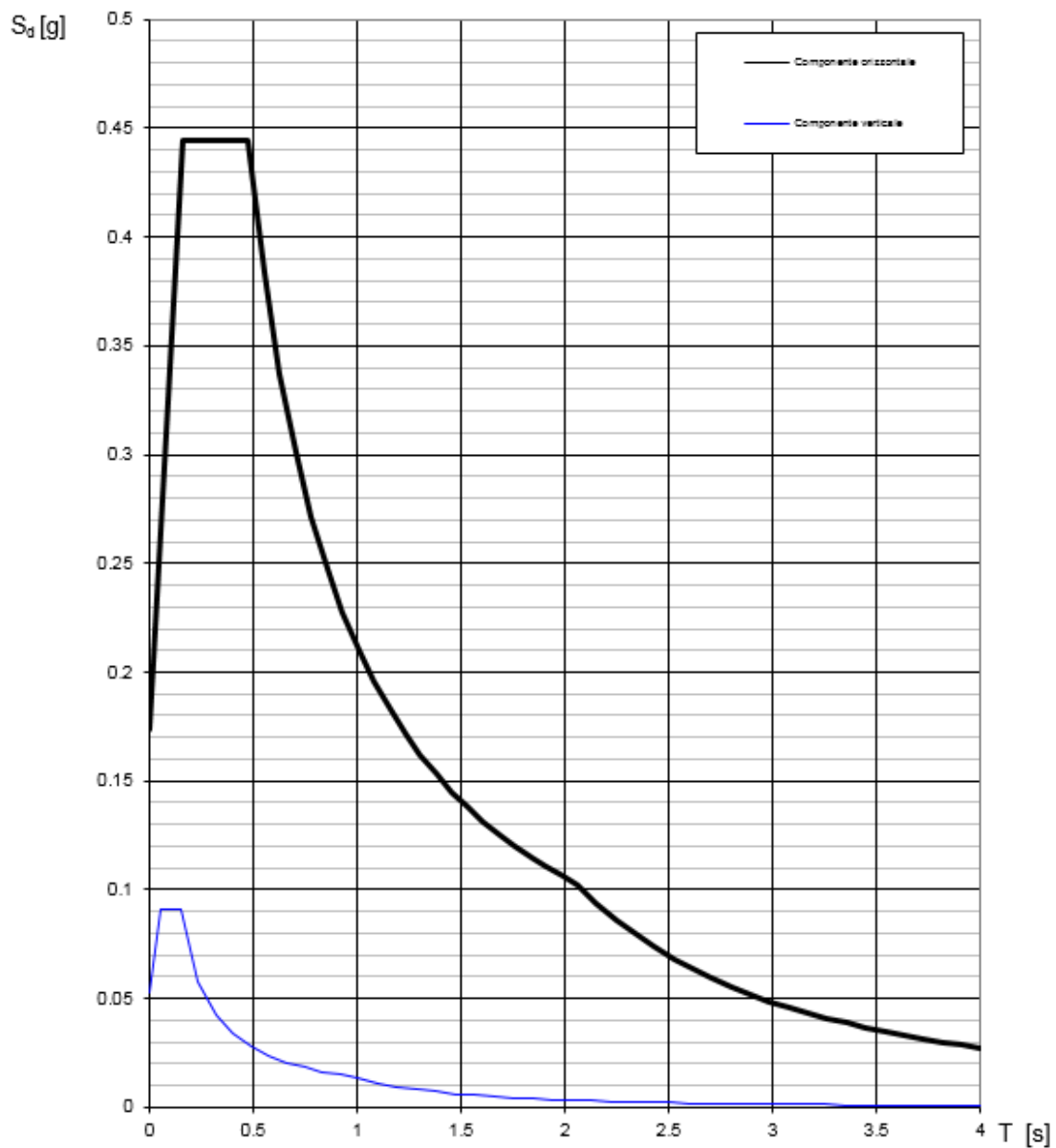


Figure 4 Spettro di progetto: grafico

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limSLV

#### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0.116 g |
| $F_o$        | 2.565   |
| $T_c$        | 0.306 s |
| $S_s$        | 1.500   |
| $C_c$        | 1.552   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |

#### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1.500   |
| $\eta$ | 1.000   |
| $T_B$  | 0.158 s |
| $T_C$  | 0.475 s |
| $T_D$  | 2.062 s |

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$


Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

|       | T [s] | Se [g] |
|-------|-------|--------|
|       | 0.000 | 0.173  |
| $T_B$ | 0.158 | 0.445  |
| $T_C$ | 0.475 | 0.445  |
|       | 0.551 | 0.384  |
|       | 0.626 | 0.337  |
|       | 0.702 | 0.301  |
|       | 0.777 | 0.272  |
|       | 0.853 | 0.248  |
|       | 0.929 | 0.227  |
|       | 1.004 | 0.210  |
|       | 1.080 | 0.196  |
|       | 1.155 | 0.183  |
|       | 1.231 | 0.172  |
|       | 1.306 | 0.162  |
|       | 1.382 | 0.153  |
|       | 1.458 | 0.145  |
|       | 1.533 | 0.138  |
|       | 1.609 | 0.131  |
|       | 1.684 | 0.125  |
|       | 1.760 | 0.120  |
|       | 1.835 | 0.115  |
|       | 1.911 | 0.111  |
|       | 1.987 | 0.106  |
| $T_D$ | 2.062 | 0.102  |
|       | 2.154 | 0.094  |
|       | 2.247 | 0.086  |
|       | 2.339 | 0.080  |
|       | 2.431 | 0.074  |
|       | 2.524 | 0.068  |
|       | 2.616 | 0.064  |
|       | 2.708 | 0.059  |
|       | 2.800 | 0.056  |
|       | 2.893 | 0.052  |
|       | 2.985 | 0.049  |
|       | 3.077 | 0.046  |
|       | 3.169 | 0.043  |
|       | 3.262 | 0.041  |
|       | 3.354 | 0.039  |
|       | 3.446 | 0.037  |
|       | 3.539 | 0.035  |
|       | 3.631 | 0.033  |
|       | 3.723 | 0.031  |
|       | 3.815 | 0.030  |
|       | 3.908 | 0.029  |
|       | 4.000 | 0.027  |

Spettro di progetto: valori



|  |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|  | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

#### 4.7.7 Applicazione del sisma

La modellazione dell'azione sismica è stata effettuata mediante un'analisi lineare dinamica.

In tal modo è stata eseguita un'analisi modale finalizzata alla determinazione dei modi di vibrare della costruzione.

Gli effetti del sisma, rappresentato dallo spettro di risposta di progetto, sono stati determinati per ciascuno dei modi di vibrare considerato.

Per la definizione dello spettro di progetto è stato assunto un fattore di struttura  $q=1$ .

È stato considerato un numero di modi di vibrare la cui massa partecipante totale è superiore all'85%.

La combinazione degli effetti relativi ai singoli modi è stata effettuata mediante una combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo (CQC).

La massa sismica è calcolata secondo l'espressione:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Per i carichi dovuti ai carichi mobili si assumerà  $\psi_2 = 0.2$ .

#### 4.8 Resistenze parassite dei vincoli (Q7)

Le resistenze parassite dei vincoli sono valutate assumendo un coefficiente di attrito proporzionale all'intensità del carico verticale secondo le indicazioni fornite dalla norma "CNR 10018/99". Cautelativamente, si considerano delle forze generate da un attrito pari al 5%.

#### 4.9 Azioni eccezionali (Q8)

Come indicato in §3.6.3.3.2 D. Min. 17/01/2018 nel progetto strutturale dei ponti si può tener in conto delle forze causate da collisioni eccezionali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di 100 kN, considerata agente 1.00 m sopra il livello del piano di marcia. La forza è stata applicata su una linea lunga 0.50 m.

#### 4.10 Variazione termica (e3)

L'azione della variazione termica è valutata, in termini di temperatura massima estiva e minima invernale dell'aria nel sito della costruzione, con periodo di ritorno di 50 anni, attraverso le indicazioni fornite dalla Normativa di riferimento (§5.2.2.5.2. D. Min. 17/01/2018). In particolare è stata considerata una differenza di temperatura di 5°C con andamento a farfalla tra la soletta in calcestruzzo e la trave in acciaio.

#### 4.11 Ritiro del calcestruzzo ( $\epsilon_2$ )

La deformazione totale del ritiro si può esprimere come:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

$\epsilon_{cs}$  deformata per ritiro

$\epsilon_{cd}$  deformazione per ritiro per essiccamento

$\epsilon_{ca}$  deformazione per ritiro autogeno

$\epsilon_{cd,\infty} = k_h * \epsilon_{c0}$  valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento

$R_{ck} = 40.00$  MPa

$f_{ck} = 33.20$  MPa

**RH = 75 % umidità relativa**

$\epsilon_{c0} = -3.97E-04$  -da Tab. 11.2 Va

Tab. 11.2.Va – Valori di  $\epsilon_{c0}$

| $f_{ck}$ | Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰) |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | Umidità Relativa (in %)                        |       |       |       |       |       |
|          | 20   | 40    | 60    | 80    | 90    | 100   |
| 20       | -0,62  | -0,58 | -0,49 | -0,30 | -0,17 | +0,00 |
| 40       | -0,48  | -0,46 | -0,38 | -0,24 | -0,13 | +0,00 |
| 60       | -0,38  | -0,36 | -0,30 | -0,19 | -0,10 | +0,00 |
| 80       | -0,30  | -0,28 | -0,24 | -0,15 | -0,07 | +0,00 |

$A_c = 3.81$  m<sup>2</sup> area della sezione di cls

$u = 12.70$  m perimetro della sezione esposta all'aria

$h_0 = 2 A_c / u = 0.62$  m

$h_0 = 620$  mm

$k_h = 0.70$  mm da Tab. 11.2.Vb

Tab. 11.2.Vb – Valori di  $k_h$

| $h_0$ (mm) | $k_h$ |
|------------|-------|
| 100        | 1,00  |
| 200        | 0,85  |
| 300        | 0,75  |
| $\geq 500$ | 0,70  |

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h * \varepsilon_{c0} = -2.78E-04$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t-t_s) * \varepsilon_{cd,\infty}$$

$$\beta_{ds}(t-t_s) = (t-t_s) / [(t-t_s)+0.04*h_0^3/2]$$

$$(t-t_s) = 10000 \text{ giorni}$$

$$\beta_{ds}(t-t_s) = 0.94$$

Tab. 11.2.VI – Valori di  $\phi(\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

| $t_0$            | $h_0 \leq 75$ mm | $h_0 = 150$ mm | $h_0 = 300$ mm | $h_0 \geq 600$ mm |
|------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------|
| 3 giorni         | 3,5              | 3,2            | 3,0            | 2,8               |
| 7 giorni         | 2,9              | 2,7            | 2,5            | 2,3               |
| 15 giorni        | 2,6              | 2,4            | 2,2            | 2,1               |
| 30 giorni        | 2,3              | 2,1            | 1,9            | 1,8               |
| $\geq 60$ giorni | 2,0              | 1,8            | 1,7            | 1,6               |

Tab. 11.2.VII - Valori di  $\phi(\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

| $t_0$            | $h_0 \leq 75$ mm | $h_0 = 150$ mm | $h_0 = 300$ mm | $h_0 \geq 600$ mm |
|------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------|
| 3 giorni         | 4,5              | 4,0            | 3,6            | 3,3               |
| 7 giorni         | 3,7              | 3,3            | 3,0            | 2,8               |
| 15 giorni        | 3,3              | 3,0            | 2,7            | 2,5               |
| 30 giorni        | 2,9              | 2,6            | 2,3            | 2,2               |
| $\geq 60$ giorni | 2,5              | 2,3            | 2,1            | 1,9               |

$$\varepsilon_{cd}(t) = -2.62E-04 \quad \text{deformazione per ritiro per essiccazione}$$

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} = -5.80E-05 \quad \text{deformazione per ritiro autogeno}$$

$$\varepsilon_{cs} = -3.20E-04 \quad \text{deformata per ritiro}$$

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 28 di 86 |

AZIONE ASSIALE NELLA SOLETTA (SLE) NR = 15799 kN

AZIONE ASSIALE NELLA TRAVE D'ESTREMITA' NR = 4416 kN

Distanza tra il baricentro della soletta e il baricentro della sezione composta = 1.010 m

MOMENTO MR = 4460 kNm

VISCOSITA' CLS  $F_{\infty}$  = **1.60** da Tab. 11.2 VI

## 5 COMBINAZIONI DI CARICO

In linea con quanto riportati nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione sismica:

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

combinazione eccezionale:

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

combinazione Rara (SLE irreversibile):

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

combinazione Frequente (SLE reversibile):


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

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

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

La determinazione delle componenti di sollecitazione e spostamento dovute ai carichi mobili, sia nella direzione longitudinale degli impalcati che in quella trasversale, per lo studio della statica locale della soletta, con il Codice di Calcolo agli Elementi Finiti SAP2000, prevede quanto segue:

- 1) Vengono stabilite le linee di transito rappresentative delle corsie di carico (n.1 ogni corsia di carico); tali linee sono posizionate in mezzzeria del carico (mezzzeria asse di carico);
- 2) Il numero delle colonne di carico è quello compatibile con la larghezza della carreggiata;
- 3) Per queste linee di carico vengono studiate le linee di influenza delle componenti di sollecitazione e spostamento;
- 4) Per trovare gli involuppi dei massimi e dei minimi delle componenti di sollecitazione e spostamento viene compilata una tabella di presenza del carico, assegnando 1 (carico presente) oppure zero (carico assente) per ogni corsia.

|  |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RADDOPPIO LINEA COLOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|  | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

Si evidenzia che la posizione dei carichi mobili è automaticamente determinata dal programma di calcolo in modo da ottenere per lo specifico elemento considerato, le massime sollecitazioni flessionali taglianti ed assiali.

Pertanto, considerando i seguenti valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

| TABELLA 5.1.IV – VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI DOVUTE AL TRAFFICO |   |                                  |   |                       |                        |   |
|--|---|----------------------------------|---|-----------------------|------------------------|---|
| Carichi sulla carreggiata  |   |                                  |   |                       |                        | Carichi su marciapiedi e piste ciclabili                            |
| Gruppo di azioni   | Carichi verticali                                   |                                  |   | Carichi orizzontali   |                        | Carichi verticali   |
|  | Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6) | Veicoli speciali                 | Folla (Schema di carico 5)  | Frenatura $q_3$       | Forza centrifuga $q_4$ | Carico uniformemente distribuito                                    |
| 1  | Valore caratteristico                               |                                  |   |                       |                        | Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 2a   | Valore frequente                                    |                                  |   | Valore caratteristico |                        |   |
| 2b   | Valore frequente                                    |                                  |   |                       | Valore caratteristico  |   |
| 3 <sup>(*)</sup>   |   |                                  |   |                       |                        | Schema di carico 5 con valore di combinazione 5,0 kN/m <sup>2</sup> |
| 4 <sup>(**)</sup>  |   |                                  | Schema di carico 5 con valore di combinazione 5,0 kN/m <sup>2</sup> |                       |                        | Schema di carico 5 con valore di combinazione 5,0 kN/m <sup>2</sup> |
| 5 <sup>(***)</sup>   | Da definirsi per il singolo progetto                | Valore caratteristico o nominale |   |                       |                        |   |

<sup>(\*)</sup> Ponti di 3° categoria

<sup>(\*\*)</sup> Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)

<sup>(\*\*\*)</sup> Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Considerando inoltre i seguenti coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni agli SLU

|  |             | Coefficiente                            | EQU <sup>(1)</sup>  | A1 STR              | A2 GEO |
|--|-------------|---|---------------------|---------------------|--------|
| Carichi permanenti   | favorevoli  | $\gamma_{G1}$                           | 0,90                | 1,00                | 1,00   |
|  | sfavorevoli |   | 1,10                | 1,35                | 1,00   |
| Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>            | favorevoli  | $\gamma_{G2}$                           | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|  | sfavorevoli |   | 1,50                | 1,50                | 1,30   |
| Carichi variabili da traffico                                | favorevoli  | $\gamma_Q$                              | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|  | sfavorevoli |   | 1,35                | 1,35                | 1,15   |
| Carichi variabili  | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$                           | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|  | sfavorevoli |   | 1,50                | 1,50                | 1,30   |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto                  | favorevoli  | $\gamma_{e1}$                           | 0,90                | 1,00                | 1,00   |
|  | sfavorevoli |   | 1,00 <sup>(3)</sup> | 1,00 <sup>(4)</sup> | 1,00   |
| Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari | favorevoli  | $\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|  | sfavorevoli |   | 1,20                | 1,20                | 1,00   |

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

e considerando infine i seguenti coefficienti per le azioni variabili

| Azioni                              | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)     | Coefficiente $\psi_0$ di combinazione | Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti) | Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem)             | 0,75                                  | 0,75                                     | 0,0   |
|                                     | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40                                  | 0,40                                     | 0,0   |
|                                     | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)    | 0,40                                  | 0,40                                     | 0,0   |
|                                     | Schema 2                              | 0,0                                   | 0,75                                     | 0,0   |
|                                     | 2                                     | 0,0                                   | 0,0                                      | 0,0   |
|                                     | 3                                     | 0,0                                   | 0,0                                      | 0,0   |
| Vento $q_5$                         | Vento a ponte scarico                 |                                       |  |   |
|                                     | SLU e SLE                             | 0,6                                   | 0,2                                      | 0,0   |
|                                     | Esecuzione                            | 0,8                                   | ----                                     | 0,0   |
| Neve $q_5$                          | Vento a ponte carico                  | 0,6                                   |  |   |
|                                     | SLU e SLE                             | 0,0                                   | 0,0                                      | 0,0   |
|                                     | esecuzione                            | 0,8                                   | 0,6                                      | 0,5   |
| Temperatura                         | $T_k$                                 | 0,6                                   | 0,6                                      | 0,5   |

Si ottengono le combinazioni più gravose riportate nella successiva tabella

|     |              | g1   | g2  | ε2  | ε3      | q1   | q3   | q4  | q5  | q6 | q7        |
|-----|--------------|------|-----|-----|---------|--|------|-----|-----|----|-----------|
| SLE | SLE (QP)     | 1    | 1   | 1   | 0.5     | 0  | 0    | 0   | 0   | 0  | 0         |
|     | SLE (FR) 1   | 1    | 1   | 1   | 0.5     | 0.75 Q <sub>ik</sub><br>0.4 q <sub>ik</sub><br>0.75 q <sub>folla</sub>                 | 0    | 0   | 0   | 0  | 0         |
|     | SLE (FR) 2   | 1    | 1   | 1   | 0.5     | 0.75 Q <sub>ik</sub><br>0.4 q <sub>ik</sub><br>0.75 q <sub>folla</sub>                 | 0.75 | 0   | 0   | 0  | 0         |
|     | SLE (RARA) 1 | 1    | 1   | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0    | 0   | 0.6 | 0  | 0         |
|     | SLE (RARA) 2 | 1    | 1   | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0    | 0   | 0.8 | 0  | 0         |
|     | SLE (RARA) 3 | 1    | 1   | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0.75 | 0   | 0.6 | 0  | 0         |
|     | SLE (RARA) 4 | 1    | 1   | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0.75 | 0   | 0.8 | 0  | 0         |
| SLU | SLU1         | 1.35 | 1.5 | 1.2 | 1.2·0.6 | 0  | 0    | 0   | 1.5 | 0  | 1.35·0.75 |
|     | SLU2         | 1.35 | 1.5 | 1.2 | 1.2·0.6 | 1.35   | 0    | 0   | 0.9 | 0  | 1.35·0.75 |
|     | SLU3         | 1.35 | 1.5 | 1.2 | 1.2·0.6 | 1.35·0.75 Q <sub>ik</sub><br>1.35·0.40 q <sub>ik</sub><br>1.35·0.75 q <sub>folla</sub> | 1.5  | 0   | 0.9 | 0  | 1.35·0.75 |
|     | SLU4         | 1.35 | 1.5 | 1.2 | 1.2·0.6 | 1.35·0.75 Q <sub>ik</sub><br>1.35·0.40 q <sub>ik</sub><br>1.35·0.75 q <sub>folla</sub> | 0    | 1.5 | 0.9 | 0  | 1.35·0.75 |
| SLV | SLV          | 1    | 1   | 1   | 0.5     | 0.2  | 0    | 0   | 0   | ±1 | 0         |

La risposta della struttura alle azioni sismiche è stata valutata mediante analisi dinamica lineare, valutando gli effetti sulla struttura tramite la seguente espressione:

$$E_1 + 0.3E_t + 0.3E_v; \quad 0.3E_1 + E_t + 0.3E_v; \quad 0.3E_1 + 0.3E_t + E_v.$$



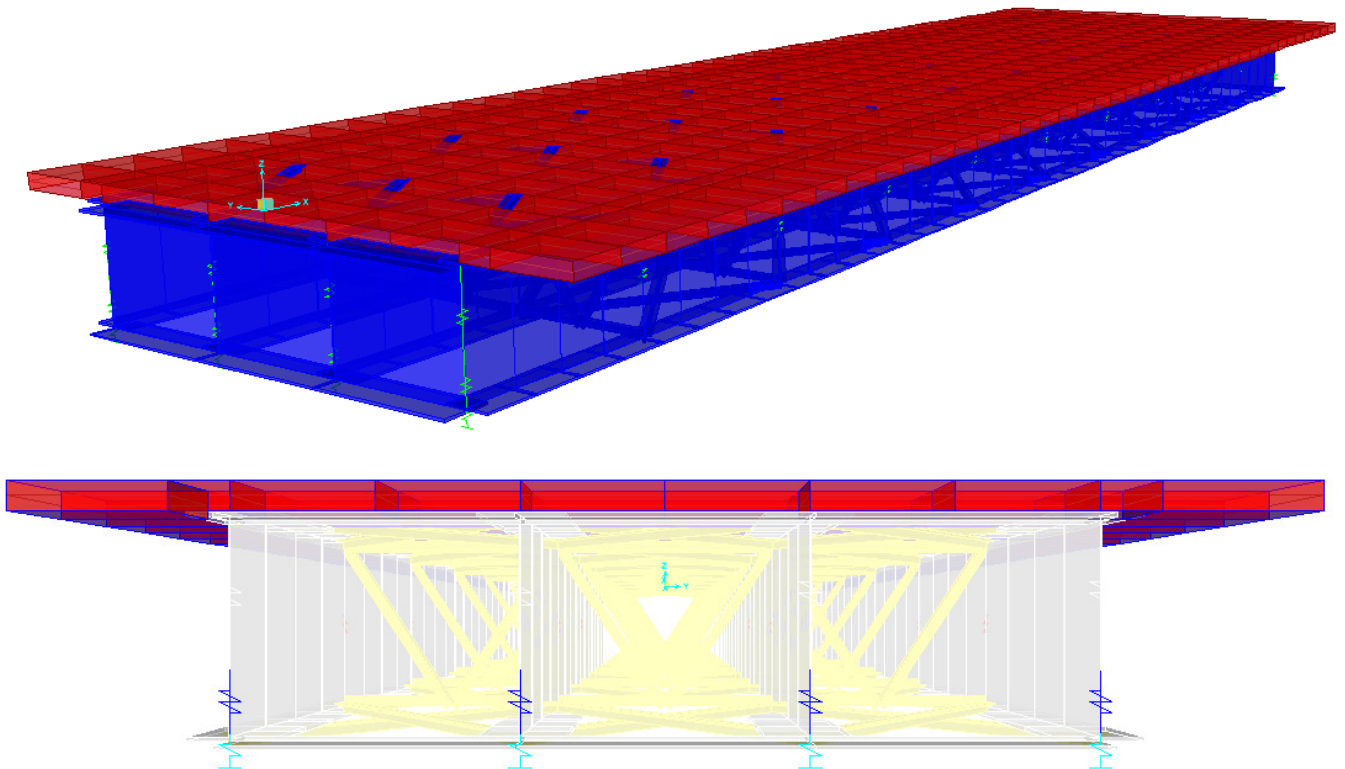
## 6 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Al fine di determinare le sollecitazioni agenti è stato utilizzato il programma agli elementi finiti Sap2000. Il modello di calcolo è costituito da elementi frame, monodimensionali, rappresentativi delle travi a sezione composta acciaio-cls e dei traversi. La soletta è stata modellata come elementi a piastra. Nelle figure di seguito riportate si evidenzia il modello tridimensionale implementato.

Il modello pertanto, consente di valutare le sollecitazioni dei diversi elementi strutturali e le sollecitazioni trasversali e longitudinali nella soletta.

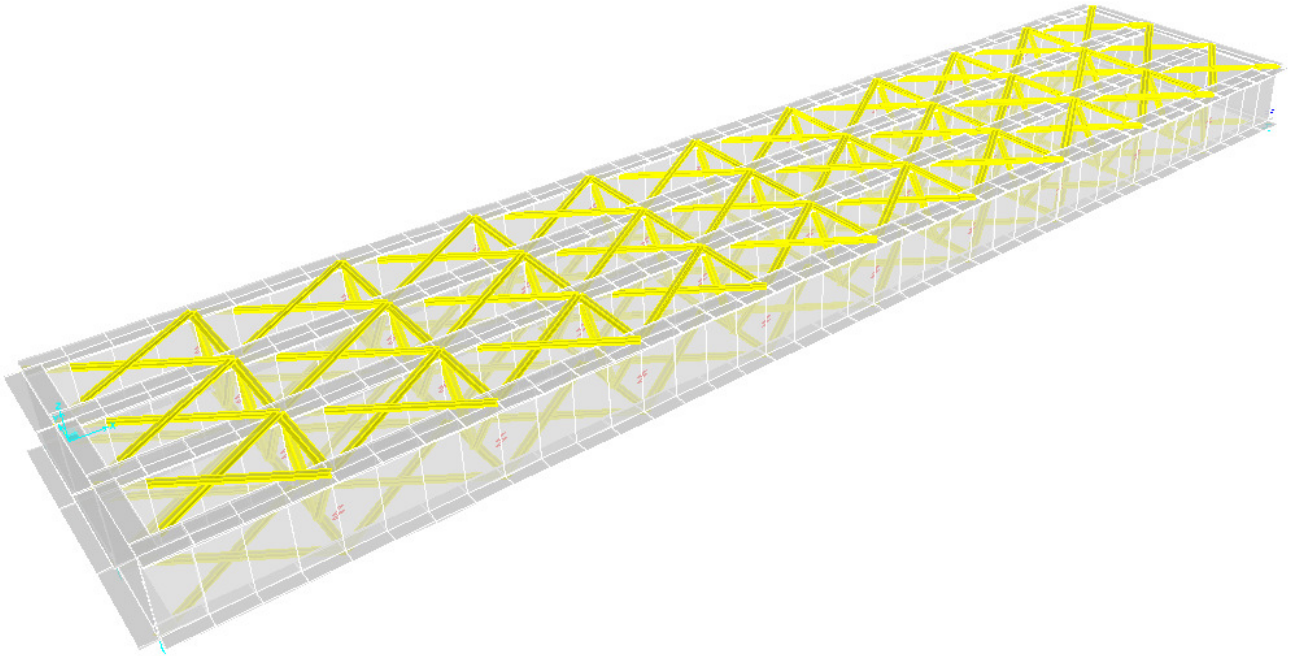
In corrispondenza degli isolatori, sono stati inseriti link di rigidezza pari a quella dei dispositivi dimensionati.

Si riportano alcune illustrazioni del modello FEM adottato:

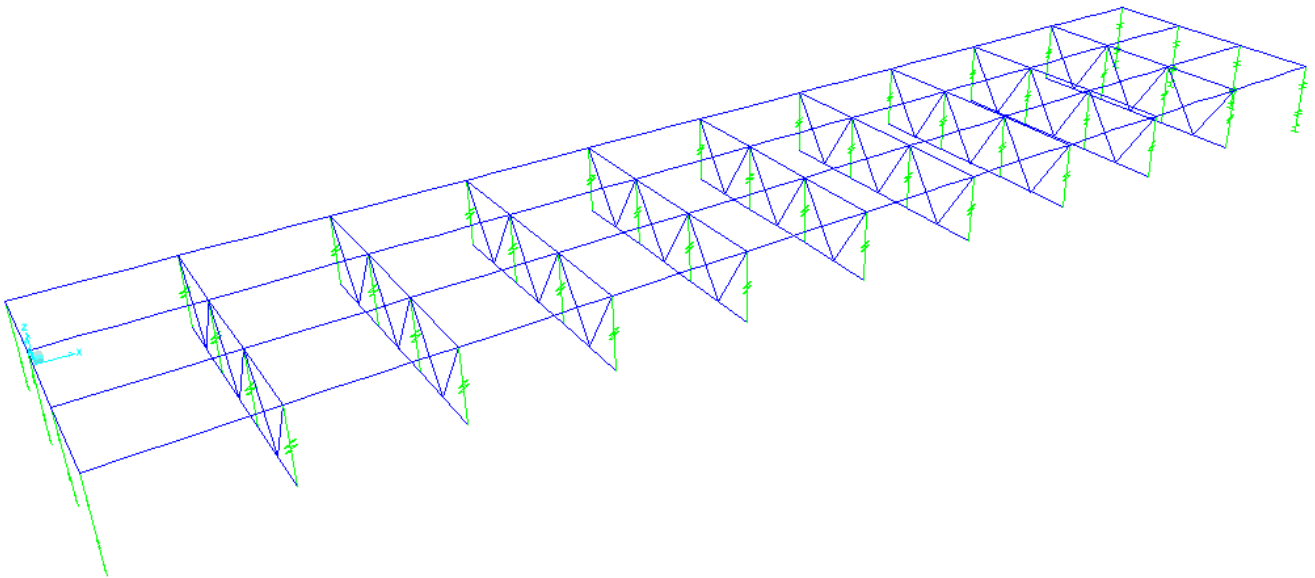


Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

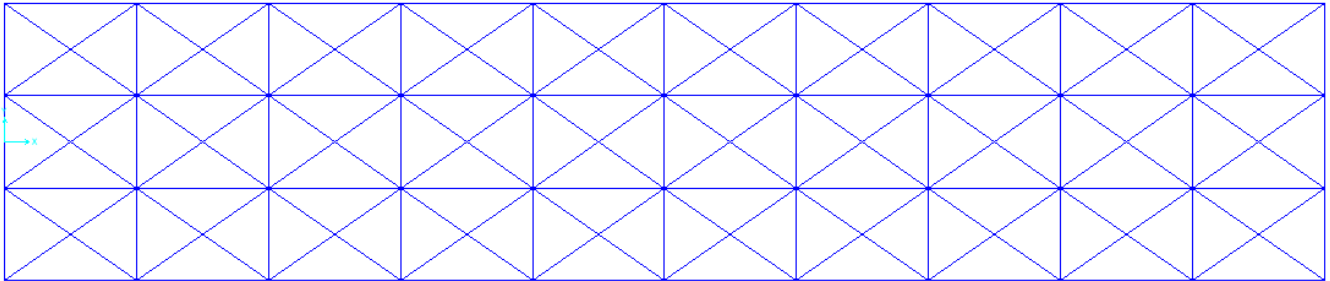
| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 34 di 86 |



*Modello FEM*



*Vista Wireframe (nell'immagine sono stati appositamente nascosti i controventi di piano)*



*Elementi beam contovenuti di piano inferiore*

## 6.1 Fasi di calcolo

I modelli studiati e le fasi di calcolo e di verifica considerano le fasi di montaggio, maturazione e gli effetti differiti conseguenti alle varie età della struttura.

Si distinguono le seguenti fasi di riferimento:

**fase 1** corrispondente alle fasi di varo dell'impalcato e di getto della soletta. In questa fase, i carichi presenti insistono sulla sola struttura metallica; la soletta è ancora inerte. Le 4 travi metalliche hanno "funzione" di trave semplicemente appoggiata, con piattabande superiori e parte delle anime delle nervature compresse. È importante, in questa fase, valutare la suscettibilità delle parti compresse ai fenomeni di instabilità locale, al fine di tenere opportunamente in conto della geometria della sezione resistente.

**fase 2 a tempo  $T_0$**  impalcato in esercizio completo dei carichi permanenti, considerando gli effetti differiti, quali ritiro e viscosità del calcestruzzo.

In questa fase la sezione resistente risulta composta, ovvero acciaio + soletta collaborante, con modulo elastico teorico ridotto del calcestruzzo per tenere in conto la lunga durata dei carichi applicati.

**fase 2 a tempo  $T_\infty$ :** impalcato in esercizio per carichi di breve durata, quali quelli mobili, variazioni di temperatura, vento.

In questa fase la sezione resistente risulta composta, ovvero acciaio + soletta collaborante, con modulo elastico teorico non ridotto.

Le verifiche delle varie sezioni delle travi principali in acciaio sono state condotte considerando la soletta collaborante per le fasi 2 e 3 con l'opportuno modulo elastico.

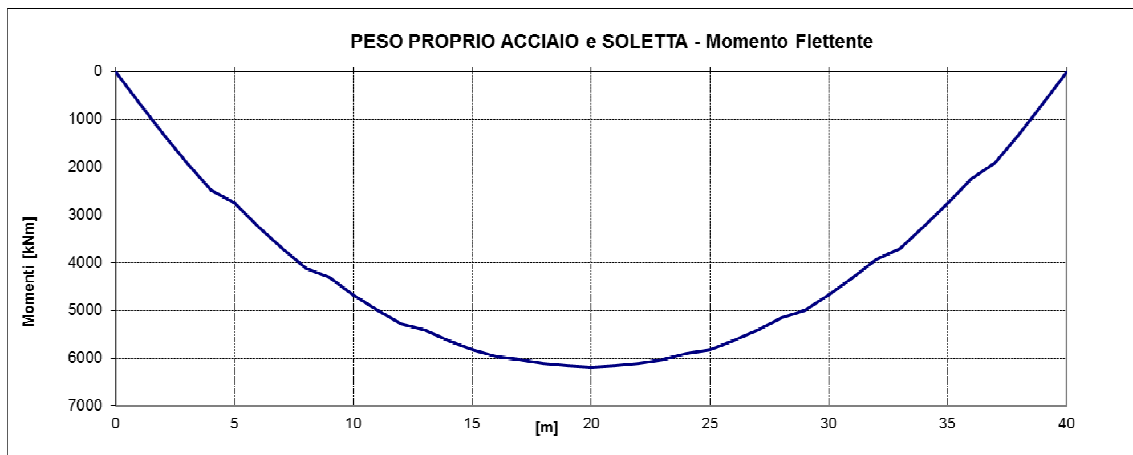
## 7 SOLLECITAZIONI IMPALCATO

Si riportano di seguito le sollecitazioni della trave più caricata a causa degli effetti di eccentricità del carico.

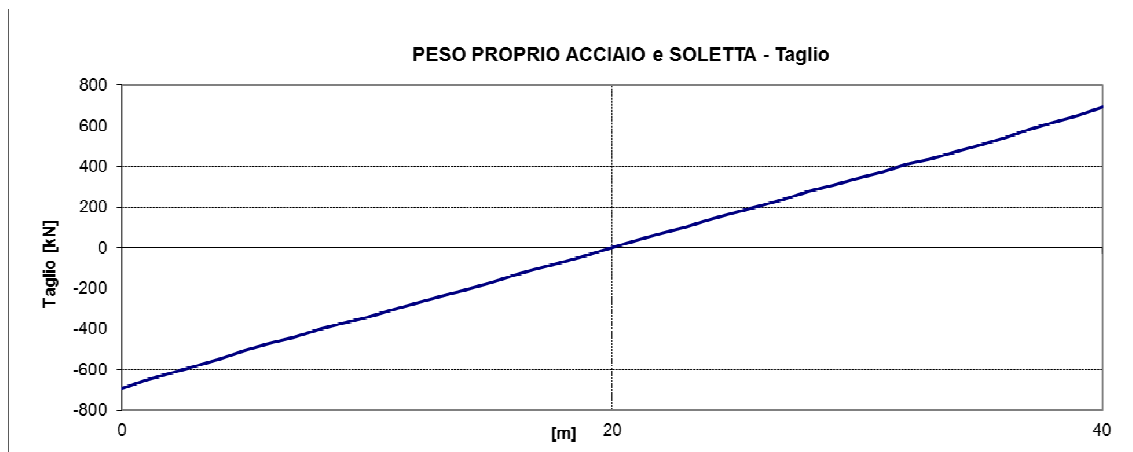
### 7.1 Sollecitazioni 1<sup>a</sup> fase

Con riferimento ai carichi di 1a fase, costituiti dal peso proprio delle parti in acciaio e della soletta, sono rappresentate le caratteristiche delle sollecitazioni flettenti e taglianti.

In tali fasi, la sezione reagente è costituita dalle sole travi in acciaio, in quanto l'eventuale soletta non è collaborante ed è presente solo come carico applicato.



*Figura 5 Peso proprio acciaio e soletta (Momento)*



*Figura 6 Peso proprio acciaio e soletta (Taglio)*

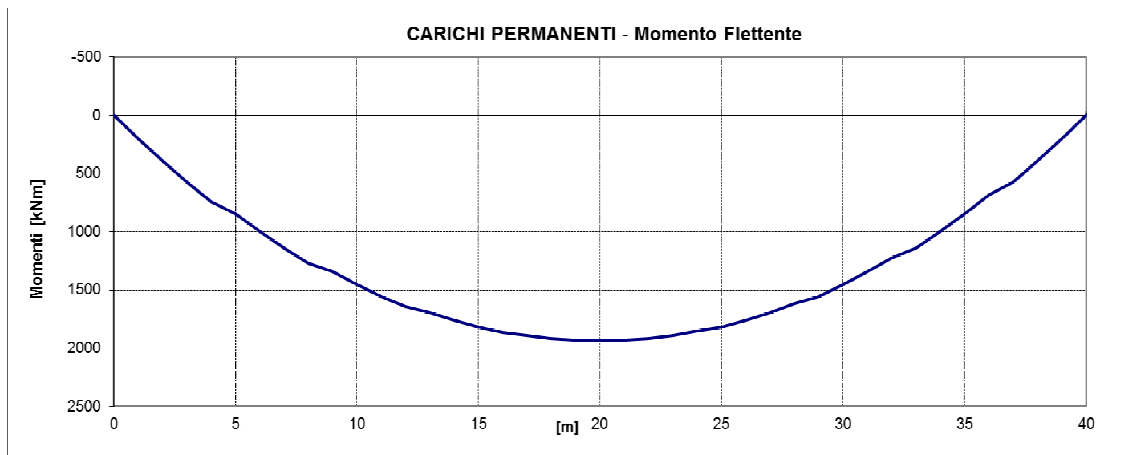
### 7.2 Sollecitazioni 2<sup>a</sup> fase

Con riferimento ai carichi di 2a fase, si considerano a tempo  $t_0$  e  $t_\infty$  i seguenti contributi:

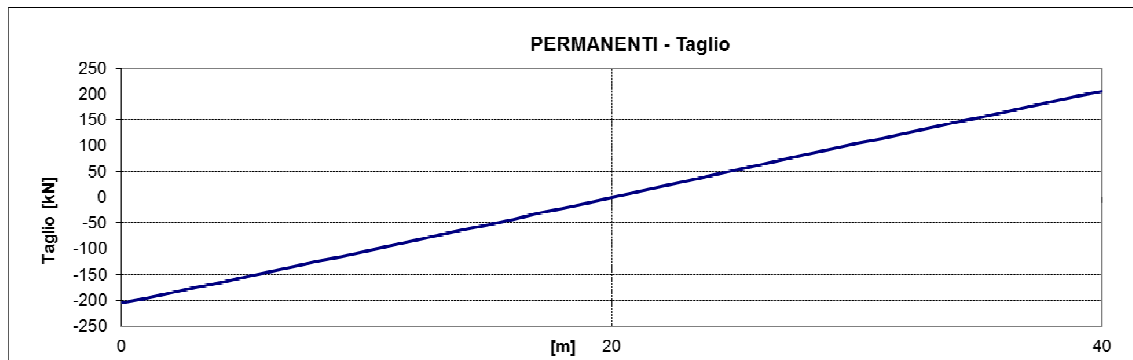
- permanenti portati ( $t_\infty$ )
- effetti termici uniformi ( $t_0$ )
- effetti termici differenziali ( $t_0$ )

- ritiro  $(t_{\infty})$
- carico accidentale  $(t_0)$
- vento  $(t_0)$

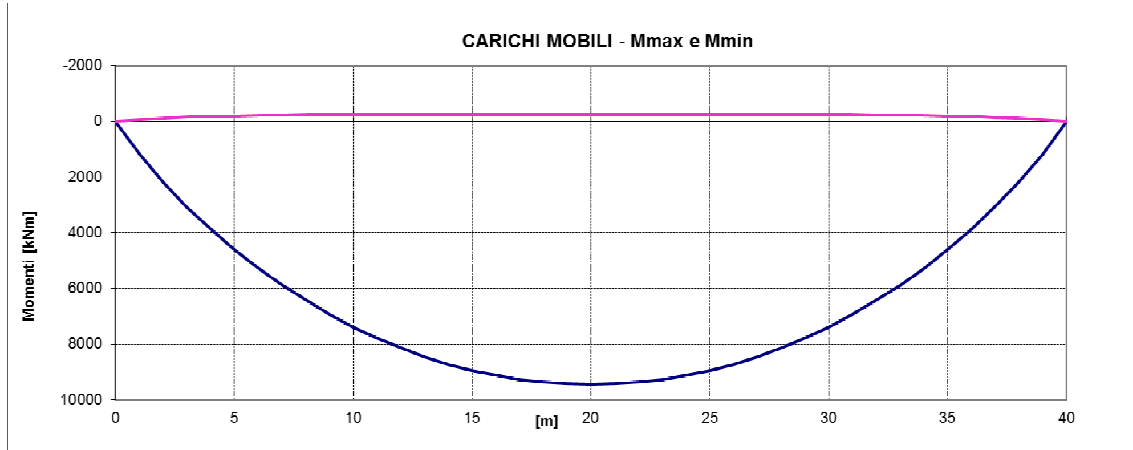
Si riportano di seguito i diagrammi di taglio e momento flettente nel piano verticale dei singoli contributi dei carichi di 2a fase delle azioni dimensionanti.



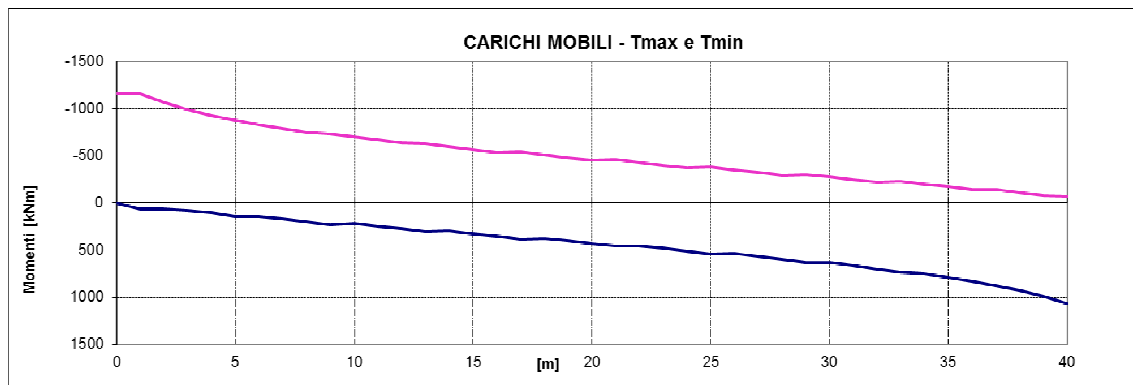
*Figura 7 Carichi permanenti (Momento)*



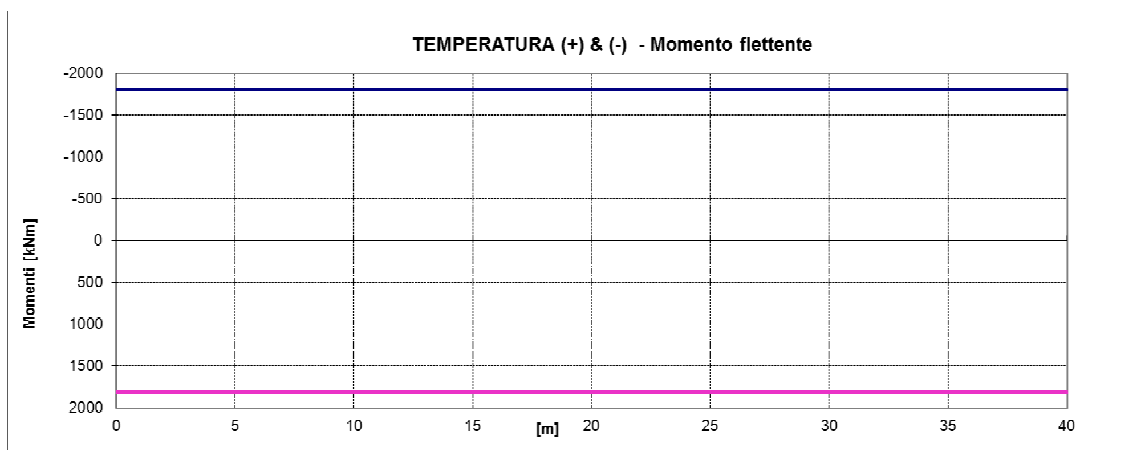
*Figura 8 Carichi permanenti (Taglio)*



*Figura 9 Carichi accidentali (Momento)*



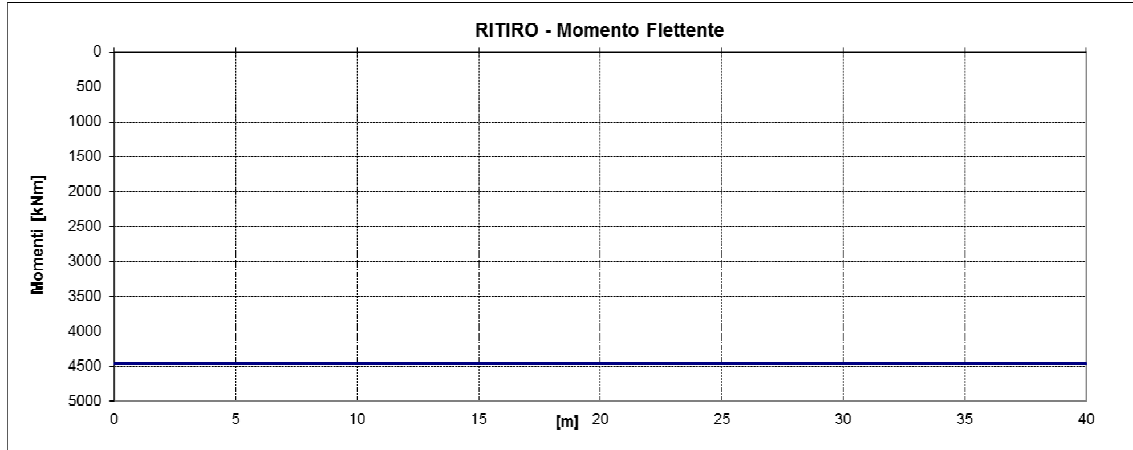
*Figura 10 Carichi accidentali (Taglio)*




*Figura 11 Effetti termici differenziali a tempo t0 (±5°) (Momento)*

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 39 di 86 |



*Figura 12 Ritiro (Momento)*

|  |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|  | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 8 VERIFICHE DELLE TRAVI DI IMPALCATO

Si riportano nei paragrafi seguenti le verifiche di tutte le sezioni dell'impalcato in 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fase per le combinazioni di carico di normativa. Nelle verifiche sono state assunte, convenzionalmente, come positive le tensioni di trazione. L'unità di misura utilizzata per le tensioni è il N/mm<sup>2</sup> (MPa).

Le caratteristiche inerziali delle sezioni di verifica sono state calcolate per tutti gli elementi del modello tenendo conto della larghezza collaborante B.

Per ciascuna sezione e ciascun elemento strutturale (trave, soletta, armature) si riportano la tensione massima (di trazione) e minima (di compressione) relativa alla combinazione in esame. Tali valori sono stati ricavati come somma dei contributi in termini di tensioni ottenuti utilizzando i moduli di resistenza pertinenti alla fase della sollecitazione:

1<sup>a</sup> fase:

- tutti i carichi utilizzano i moduli di resistenza del solo acciaio;

2<sup>a</sup> fase a tempo  $T_0$ :

- il peso proprio delle travi e della soletta utilizzano i moduli di resistenza dell'acciaio;

- tutti gli altri carichi utilizzano i moduli di resistenza a tempo  $T_0$ ;

2a fase a tempo  $T_\infty$ :

- il peso proprio delle travi e della soletta utilizzano i moduli di resistenza dell'acciaio;

- termica differenziale, accidentali e vento utilizzano i moduli di resistenza a  $T_0$ ;

- tutti gli altri carichi utilizzano i moduli di resistenza a  $T_\infty$ ;

Nel momento in cui la somma delle tensioni sulla soletta di calcestruzzo è di trazione, la verifica viene svolta considerando la soletta non reagente.



## 8.1 Caratteristiche geometriche delle sezioni

### 8.1.1 Valutazione della larghezza collaborante della soletta

Con riferimento alle NTC2018, si definisce la larghezza collaborante della soletta attraverso la relazione:

$$b_{eff} = b_o + b_{e1} + b_{e2}$$

dove:

$$b_{ei} = \min [L_c/8 ; b_i];$$

$b_o$  = distanza tra i connettori perpendicolarmente all'asse della trave.

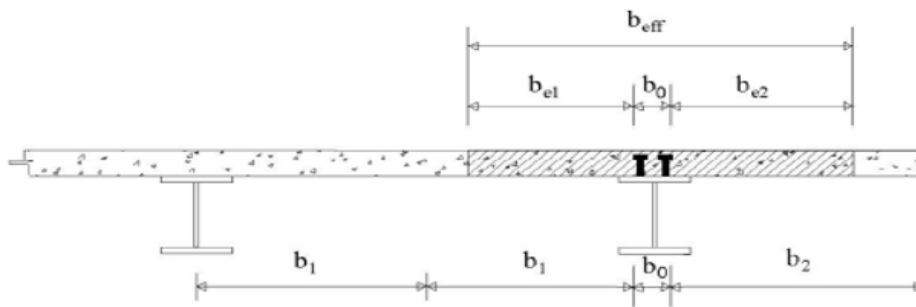


Figura 13 Definizione della larghezza efficace  $b_{eff}$

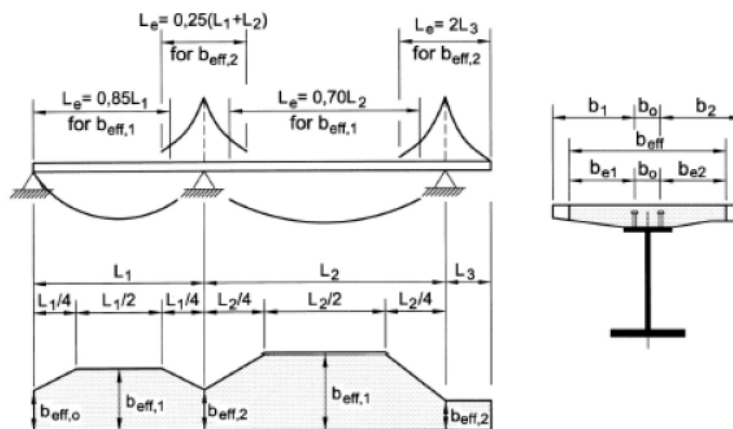


Figura 14 Larghezza efficace  $b_{eff}$  e luci equivalenti  $L_e$  per le travi continue

### LARGHEZZA EFFICACE MEZZERIA CAMPATA - TRAVE ESTERNA

|                                      |                               |              |           |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| Distanza tra gli assi dei connettori | $b_0 =$                       | <b>400</b>   | mm        |
| Luce delle travi (vedi fig. 4.3.2)   | $L_e =$                       | <b>40000</b> | mm        |
| Semi interasse travi longitudinali   | $b_1 =$                       | <b>1400</b>  | mm        |
| Sbalzo della soletta                 | $b_2 =$                       | <b>2150</b>  | mm        |
| Larghezza efficace 1 (vedi C4.3.2.3) | $b_{e1} =$                    | 1200         | mm        |
| Larghezza efficace 2 (vedi C4.3.2.3) | $b_{e2} =$                    | 1950         | mm        |
| <b>Larghezza efficace</b>            | <b><math>b_{eff} =</math></b> | <b>3550</b>  | <b>mm</b> |

### LARGHEZZA EFFICACE APPOGGIO ESTREMITA' - TRAVE ESTERNA

|                                      |                               |              |           |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| Distanza tra gli assi dei connettori | $b_0 =$                       | <b>400</b>   | mm        |
| Luce delle travi (vedi fig. 4.3.2)   | $L_e =$                       | <b>40000</b> | mm        |
| Semi interasse travi longitudinali   | $b_1 =$                       | <b>1400</b>  | mm        |
| Sbalzo della soletta                 | $b_2 =$                       | <b>2150</b>  | mm        |
| Larghezza efficace 1 (vedi C4.3.2.3) | $b_{e1} =$                    | 1200         | mm        |
| Larghezza efficace 2 (vedi C4.3.2.3) | $b_{e2} =$                    | 1950         | mm        |
|                                      | $\beta_1 =$                   | 1.0000       |           |
|                                      | $\beta_2 =$                   | 1.0000       |           |
| <b>Larghezza efficace</b>            | <b><math>b_{eff} =</math></b> | <b>3550</b>  | <b>mm</b> |

## 8.1.2 Caratteristiche geometriche delle sezioni d'acciaio

Le dimensioni geometriche delle sezioni delle travi d'acciaio, in corrispondenza dei traversi e dei giunti, sono riportate nella tabella seguente:

|           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| $H_{tot}$ | altezza totale della trave            |
| $t$       | spessore dell'anima                   |
| $B_{sup}$ | larghezza della piattabanda superiore |
| $S_{sup}$ | spessore della piattabanda superiore  |
| $B_{inf}$ | larghezza della piattabanda inferiore |
| $S_{inf}$ | spessore della piattabanda inferiore  |

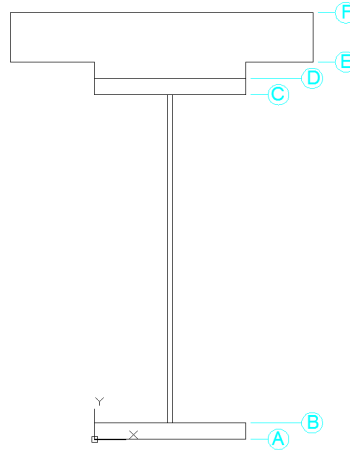
Si riportano le dimensioni delle travi per tutte le sezioni di verifica individuate dalla progressiva espressa in metri.

| Progressiva | TRAVE METALLICA  |                    |                |                  |                  |                  |                  |
|-------------|------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|             |                  | Anima              |                | Piattabanda sup. |                  | Piattabanda inf. |                  |
| x           | H <sub>tot</sub> | h <sub>anima</sub> | t <sub>w</sub> | B <sub>sup</sub> | S <sub>sup</sub> | B <sub>inf</sub> | S <sub>inf</sub> |
| [m]         | [mm]             | [mm]               | [mm]           | [mm]             | [mm]             | [mm]             | [mm]             |
| 0.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 1.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 2.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 3.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 4.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 5.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 6.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 7.00        | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 8.00        | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 9.00        | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 10.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 11.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 12.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 13.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 14.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 15.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 16.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 17.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 18.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 19.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 20.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 21.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 22.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 23.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 24.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 25.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 26.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 27.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 28.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 29.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 30.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 31.00       | 2200             | 2,110              | 20             | 850              | 40               | 850              | 50               |
| 32.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 33.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 34.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 35.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 36.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 37.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 38.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 39.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |
| 40.00       | 2200             | 2,130              | 20             | 850              | 30               | 850              | 40               |

### 8.1.3 Caratteristiche meccaniche delle travi

Per ciascuna sezione si riportano omogeneizzate in acciaio:

|                       |   |
|-----------------------|---|
| A                     | [m <sup>2</sup> ] area  |
| $Y_G$                 | [m] ascissa della sezione   |
| $J_3$                 | [m <sup>4</sup> ] momento d'inerzia principale  |
| Trave $W_A$           | [m <sup>3</sup> ] modulo di resistenza per flessione dell' intradosso della trave d'acciaio |
| Trave $W_D$           | [m <sup>3</sup> ] modulo di resistenza per flessione dell' estradosso della trave d'acciaio |
| Sol $W_{cs}$          | [m <sup>3</sup> ] modulo di resistenza per flessione dell'estradosso della soletta          |
| Sol $W_{ci}$          | [m <sup>3</sup> ] modulo di resistenza per flessione dell'intradosso della soletta          |
| Arm $W_{\phi_{sup}}$  | [m <sup>3</sup> ] modulo di resistenza per flessione del 1° strato di armature              |
| Arm $W_{\phi_{sinf}}$ | [m <sup>3</sup> ] modulo di resistenza per flessione del 2° strato di armature              |



SEZIONE SOLO ACCIAIO

| Progressiva | TRAVE METALLICA           |                    |                |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------|---------------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | CARATTERISTICHE INERZIALI |                    |                |                   |                   |                   |                   |                   |
| x           | A <sub>trave</sub>        | S <sub>trave</sub> | Y <sub>g</sub> | J                 | W <sub>A</sub>    | W <sub>B</sub>    | W <sub>C</sub>    | W <sub>D</sub>    |
| [m]         | [m <sup>2</sup> ]         | [m <sup>3</sup> ]  | [m]            | [m <sup>4</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] |
| 0.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 1.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 2.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 3.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 4.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 5.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 6.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 7.00        | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 8.00        | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 9.00        | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 10.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 11.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 12.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 13.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 14.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 15.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 16.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 17.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 18.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 19.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 20.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 21.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 22.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 23.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 24.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 25.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 26.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 27.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 28.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 29.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 30.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 31.00       | 1.19E-01                  | 1.39E-01           | 1.174          | 1.04E-01          | 1.01E-01          | 1.06E-01          | -9.16E-02         | -8.84E-02         |
| 32.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 33.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 34.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 35.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 36.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 37.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 38.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 39.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |
| 40.00       | 1.02E-01                  | 1.21E-01           | 1.187          | 8.50E-02          | 8.39E-02          | 8.73E-02          | -7.35E-02         | -7.17E-02         |

SEZIONE MISTA A  $T_0$

| Progr. | SEZIONI MISTE $t_0$ $n(t_0) = 6.2$ |                   |               |             |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|--------|------------------------------------|-------------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|        | CARATTERISTICHE INERZIALI          |                   |               |             |                   |                   |                   |                   | TRAVE             |                   |                   |                   | SOLETTA           |                   | ARMATURA          |                   |
|        | X                                  | $A_{mista_0}$     | $S_{mista_0}$ | $Y_g$       | $J_c$             | $J_\phi$          | $J_a$             | J                 | $W_A$             | $W_B$             | $W_C$             | $W_D$             | $W_{cs}$          | $W_{ci}$          | $W_{\phi s}$      | $W_{\phi i}$      |
| [m]    | [m <sup>2</sup> ]                  | [m <sup>3</sup> ] | [m]           | Controllo   | [m <sup>4</sup> ] | [m <sup>4</sup> ] | [m <sup>4</sup> ] | [m <sup>4</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> ] |
| 0.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 1.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 2.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 3.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 4.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 5.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 6.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 7.00   | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 8.00   | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 9.00   | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 10.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 11.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 12.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 13.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 14.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 15.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 16.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 17.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 18.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 19.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 20.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 21.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 22.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 23.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 24.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 25.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 26.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 27.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 28.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 29.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 30.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 31.00  | 3.12E-01                           | 0.20993           | 0.672         | Yg >= h_sol | 4.80E-02          | 6.30E-03          | 1.90E-01          | 2.44E-01          | 0.130             | 0.134             | -0.866            | -0.759            | -2.258            | -4.079            | -0.393            | -0.579            |
| 32.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 33.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 34.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 35.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 36.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 37.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 38.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 39.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |
| 40.00  | 2.96E-01                           | 0.18595           | 0.629         | Yg >= h_sol | 4.05E-02          | 5.33E-03          | 1.69E-01          | 2.15E-01          | 0.112             | 0.114             | -0.865            | -0.772            | -2.126            | -4.067            | -0.372            | -0.568            |

|   |   |                         |                         |                       |                                  |                  |
|---|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                         |                       |                                  |                  |
|   | Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                               | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 8.2 Classificazione delle sezioni

Nel caso in esame si analizza l'impalcato d'acciaio utilizzando l'analisi elastica, andando a verificare la resistenza delle sezioni trasversali e verificando i fenomeni di imbozzamento per effetto di instabilità locali. Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale  $C_\theta$ . Si distinguono le seguenti classi di sezioni:

**Classe1:** quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico di cui al §4.2.3.2 senza subire riduzioni della resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale  $C_\theta < 3$ ;

**Classe2:** la sezione può sviluppare il proprio momento resistente elastico, ma ha una capacità rotazionale limitata. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale  $C_J^3 \geq 1,5$ ;

**Classe3:** sono quelle sezioni trasversali dove la fibra d'acciaio estrema compressa può raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità locale può impedire il raggiungimento del momento resistente plastico;

**Classe4:** quando, per determinarne la resistenza flettente, tagliante o normale, è necessario tener conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che compongono la sezione. In tal caso nel calcolo della resistenza la sezione geometrica effettiva può sostituirsi con una sezione efficace.

La definizione delle classi viene fornita dalla NTC2018 e nel caso di una sezione composta, la classificazione è in funzione della classe più sfavorevole relativa alle varie parti che la compongono (piattabanda superiore, inferiore e pannello d'anima). Questa classificazione delle sezioni trasversali dipende dallo stato tensionale e dalla proporzione di ciascuno degli elementi compressi.

I rapporti di snellezza delle varie lamiere che compongono la sezione trasversale vengono confrontati con i valori limite suggeriti nelle tabelle tab. 4.2.III e tab. 4.2.IV. Si riporta di seguito la classificazione per ciascuna porzione analizzata.

| Progr. | GEOMETRIA |                    |                                    | STATO TENSIONALE     |                      |       |                    |       |          | STATO TENSIONALE     |                      |      |                    |       |          |          |
|--------|-----------|--------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------|--------------------|-------|----------|----------------------|----------------------|------|--------------------|-------|----------|----------|
|        | Anima     |                    |                                    | 2° FASE              |                      |       |                    |       |          | 3° FASE              |                      |      |                    |       |          |          |
|        | X         | h <sub>anima</sub> | h <sub>anima + irrigidimento</sub> | tw                   | TRAVE                |       |                    | TRAVE |          |                      | TRAVE                |      |                    | TRAVE |          |          |
| [m]    | [mm]      | [mm]               | [mm]                               | σ <sub>A</sub>       | σ <sub>D</sub>       | ψ     | c/t <sub>LIM</sub> | c/t   | CLASSE   | σ <sub>A</sub>       | σ <sub>D</sub>       | ψ    | c/t <sub>LIM</sub> | c/t   | CLASSE   | CLASSE   |
|        |           |                    |                                    | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |       |                    |       |          | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |      |                    |       |          |          |
| 0.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 7.4                  | 7.2                  | 0.00  | 51                 | 36    | CLASSE 3 | 29.7                 | -37.1                | -1.3 | 127                | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 1.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 32.0                 | -7.4                 | -4.33 | 559                | 36    | CLASSE 3 | 56.9                 | -52.5                | -0.9 | 94                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 2.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 54.5                 | -21.1                | -2.58 | 290                | 36    | CLASSE 3 | 81.8                 | -67.1                | -0.8 | 86                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 3.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 74.9                 | -34.0                | -2.20 | 240                | 36    | CLASSE 3 | 104.5                | -80.7                | -0.8 | 82                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 4.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 93.7                 | -46.1                | -2.03 | 218                | 36    | CLASSE 3 | 125.5                | -93.5                | -0.7 | 81                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 5.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 107.2                | -52.7                | -2.03 | 218                | 36    | CLASSE 3 | 140.2                | -100.5               | -0.7 | 79                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 6.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 123.1                | -63.1                | -1.95 | 208                | 36    | CLASSE 3 | 158.0                | -111.6               | -0.7 | 78                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 7.00   | 2,130     | 710                | 20                                 | 137.7                | -72.7                | -1.89 | 201                | 36    | CLASSE 3 | 174.4                | -121.8               | -0.7 | 78                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 8.00   | 2,110     | 703                | 20                                 | 128.5                | -67.5                | -1.90 | 202                | 35    | CLASSE 3 | 159.9                | -113.9               | -0.7 | 79                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 9.00   | 2,110     | 703                | 20                                 | 136.3                | -71.3                | -1.91 | 203                | 35    | CLASSE 3 | 168.5                | -117.9               | -0.7 | 78                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 10.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 145.9                | -77.5                | -1.88 | 199                | 35    | CLASSE 3 | 179.2                | -124.7               | -0.7 | 78                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 11.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 154.3                | -83.2                | -1.85 | 196                | 35    | CLASSE 3 | 188.8                | -130.7               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 12.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 161.8                | -88.2                | -1.83 | 194                | 35    | CLASSE 3 | 197.2                | -136.1               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 13.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 166.7                | -90.7                | -1.84 | 194                | 35    | CLASSE 3 | 202.7                | -138.7               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 14.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 172.5                | -94.6                | -1.82 | 192                | 35    | CLASSE 3 | 209.2                | -142.9               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 15.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 177.4                | -97.8                | -1.81 | 191                | 35    | CLASSE 3 | 214.7                | -146.4               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 16.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 181.3                | -100.5               | -1.80 | 190                | 35    | CLASSE 3 | 219.1                | -149.3               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 17.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 183.5                | -101.6               | -1.81 | 190                | 35    | CLASSE 3 | 221.6                | -150.5               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 18.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 185.7                | -103.1               | -1.80 | 190                | 35    | CLASSE 3 | 224.1                | -152.0               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 19.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 187.0                | -104.0               | -1.80 | 189                | 35    | CLASSE 3 | 225.5                | -153.0               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 20.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 187.3                | -104.3               | -1.80 | 189                | 35    | CLASSE 3 | 225.9                | -153.3               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 21.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 187.0                | -104.0               | -1.80 | 189                | 35    | CLASSE 3 | 225.5                | -153.0               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 22.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 185.7                | -103.1               | -1.80 | 190                | 35    | CLASSE 3 | 224.1                | -152.0               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 23.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 183.5                | -101.6               | -1.81 | 190                | 35    | CLASSE 3 | 221.6                | -150.5               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 24.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 180.4                | -99.5                | -1.81 | 191                | 35    | CLASSE 3 | 218.1                | -148.2               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 25.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 177.4                | -97.8                | -1.81 | 191                | 35    | CLASSE 3 | 214.7                | -146.4               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 26.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 172.6                | -94.6                | -1.82 | 192                | 35    | CLASSE 3 | 209.3                | -142.9               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 27.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 166.8                | -90.7                | -1.84 | 194                | 35    | CLASSE 3 | 202.7                | -138.7               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 28.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 160.0                | -86.2                | -1.86 | 196                | 35    | CLASSE 3 | 195.1                | -133.9               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 29.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 154.3                | -83.2                | -1.86 | 196                | 35    | CLASSE 3 | 188.8                | -130.7               | -0.7 | 77                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 30.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 145.9                | -77.5                | -1.88 | 199                | 35    | CLASSE 3 | 179.3                | -124.7               | -0.7 | 78                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 31.00  | 2,110     | 703                | 20                                 | 136.4                | -71.3                | -1.91 | 203                | 35    | CLASSE 3 | 168.5                | -118.0               | -0.7 | 78                 | 35    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 32.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 147.8                | -77.8                | -1.90 | 201                | 36    | CLASSE 3 | 185.6                | -127.2               | -0.7 | 77                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 33.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 137.7                | -72.7                | -1.89 | 201                | 36    | CLASSE 3 | 174.5                | -121.8               | -0.7 | 78                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 34.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 123.1                | -63.1                | -1.95 | 208                | 36    | CLASSE 3 | 158.1                | -111.6               | -0.7 | 78                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 35.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 107.2                | -52.7                | -2.03 | 218                | 36    | CLASSE 3 | 140.3                | -100.6               | -0.7 | 79                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 36.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 89.9                 | -41.6                | -2.16 | 234                | 36    | CLASSE 3 | 120.9                | -88.7                | -0.7 | 80                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 37.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 74.9                 | -34.0                | -2.20 | 240                | 36    | CLASSE 3 | 104.4                | -80.7                | -0.8 | 82                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 38.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 54.4                 | -21.1                | -2.58 | 290                | 36    | CLASSE 3 | 81.7                 | -67.0                | -0.8 | 86                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 39.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 32.0                 | -7.4                 | -4.33 | 559                | 36    | CLASSE 3 | 56.9                 | -52.5                | -0.9 | 94                 | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |
| 40.00  | 2,130     | 710                | 20                                 | 7.4                  | 7.2                  | 0.00  | 51                 | 36    | CLASSE 3 | 29.7                 | -37.1                | -1.3 | 127                | 36    | CLASSE 3 | CLASSE 3 |



### 8.3 Verifiche 1ª Fase

In tale fase si riportano le tensioni relative alle travi principali al lembo superiore ed inferiore. La soletta di calcestruzzo in questa fase è presente esclusivamente come carico.

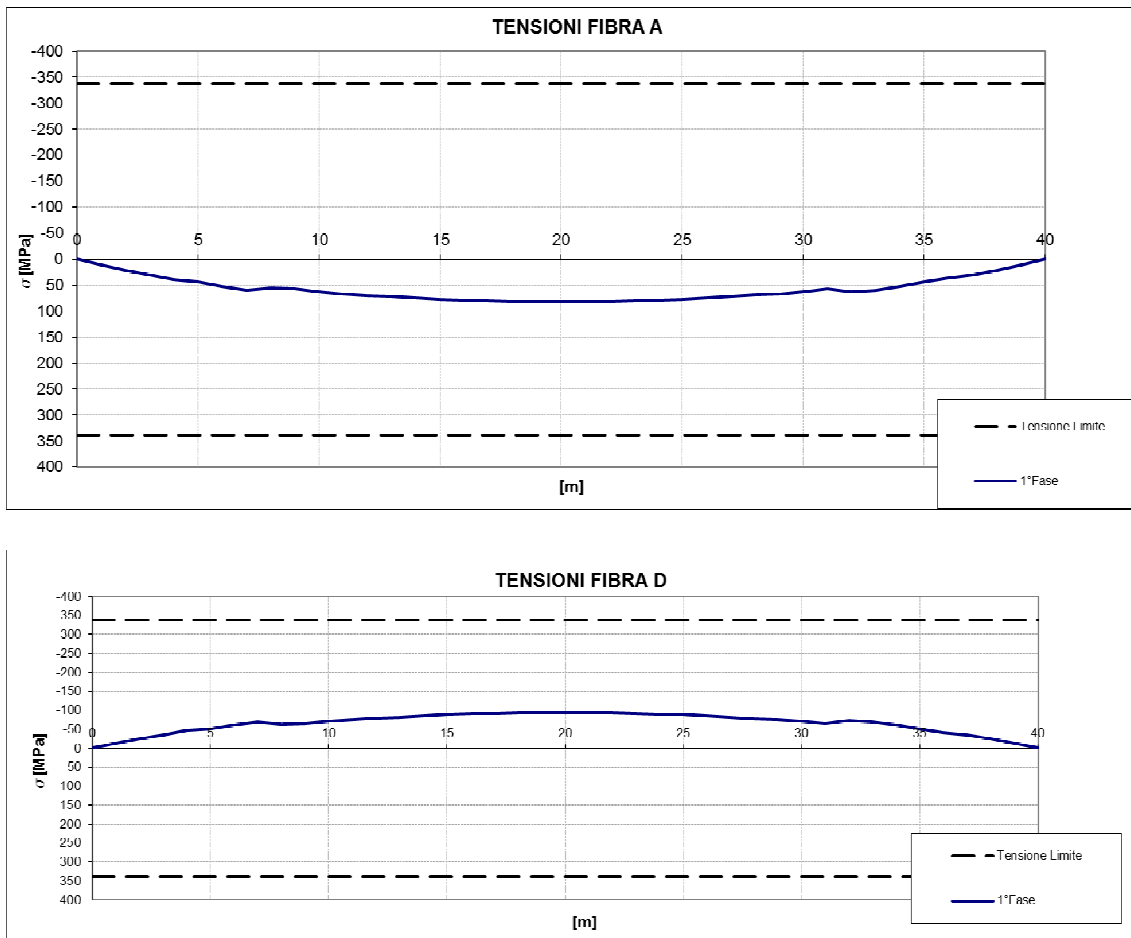
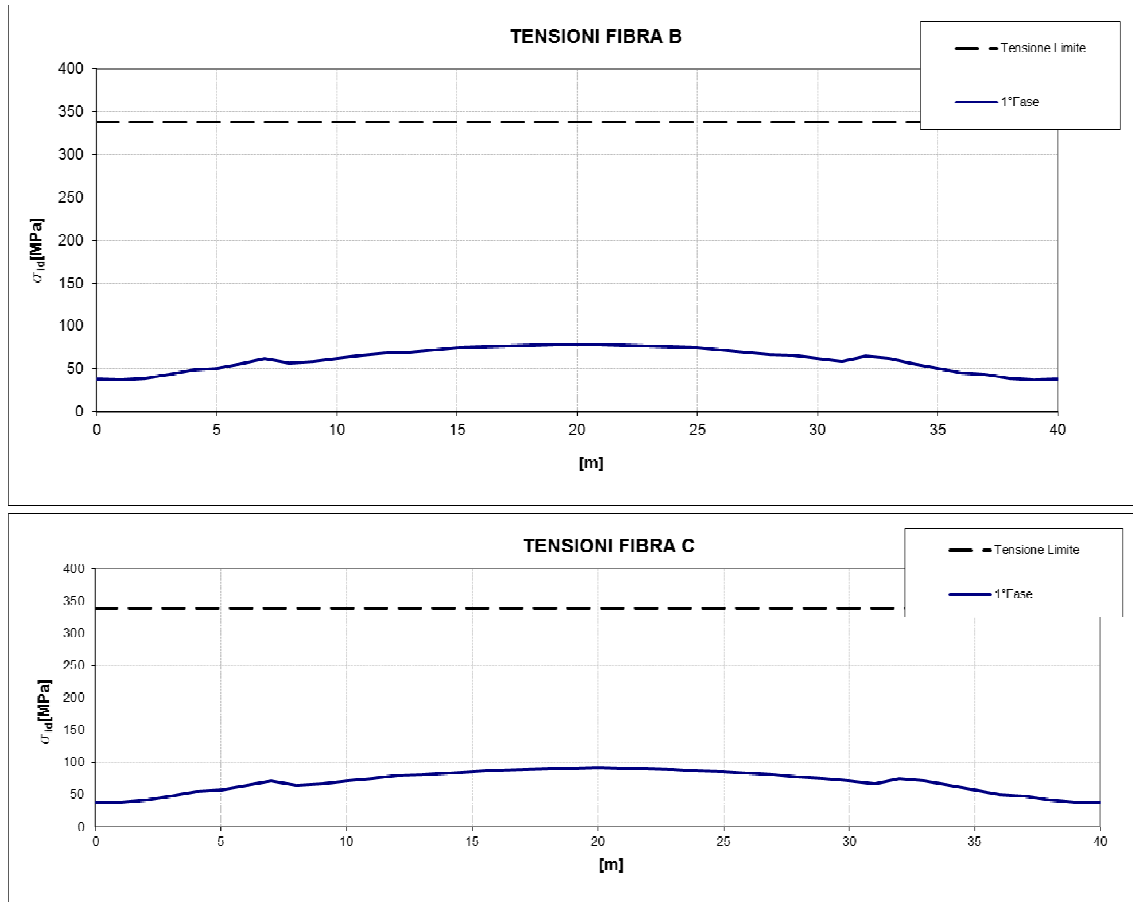


Figura 15 Peso travi + Peso Soletta (Tensioni normali)

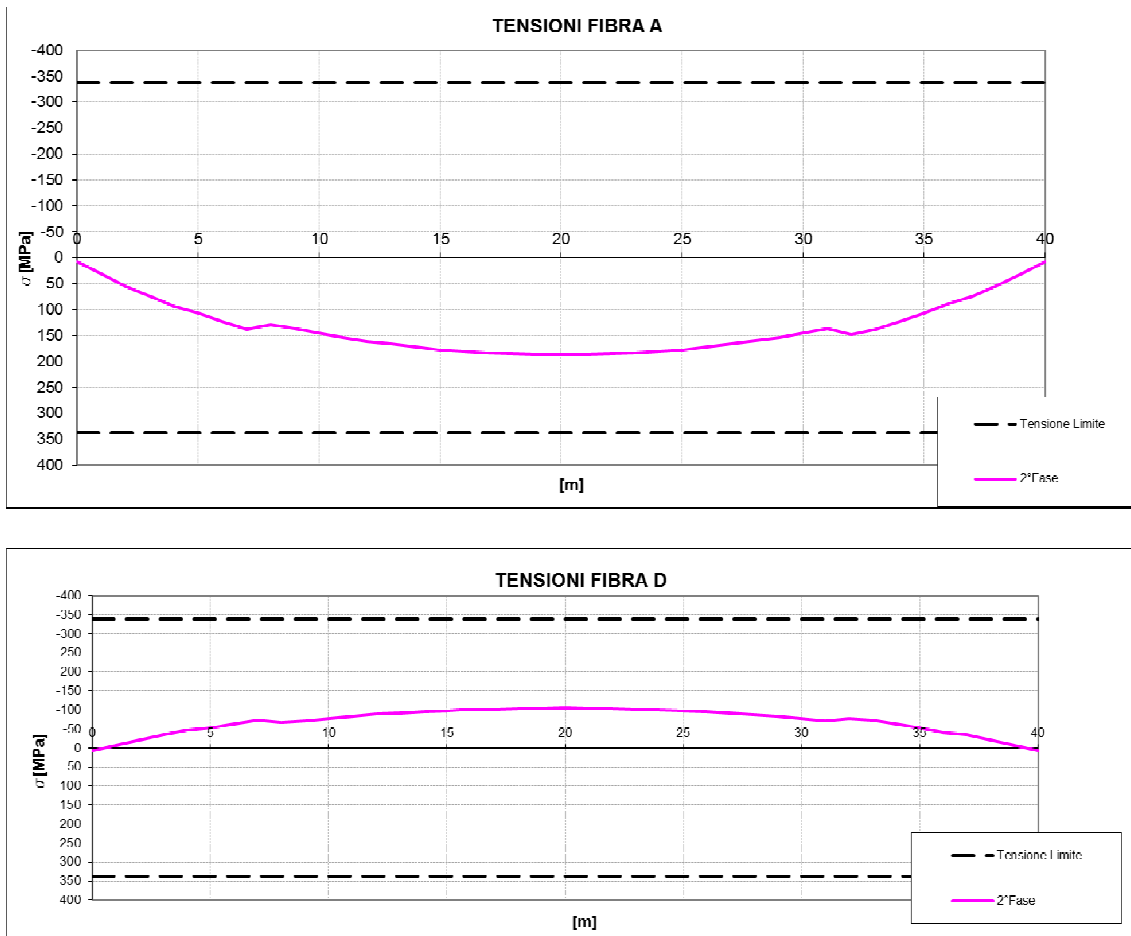


*Figura 16 Peso travi + Peso Soletta (Tensioni ideali)*

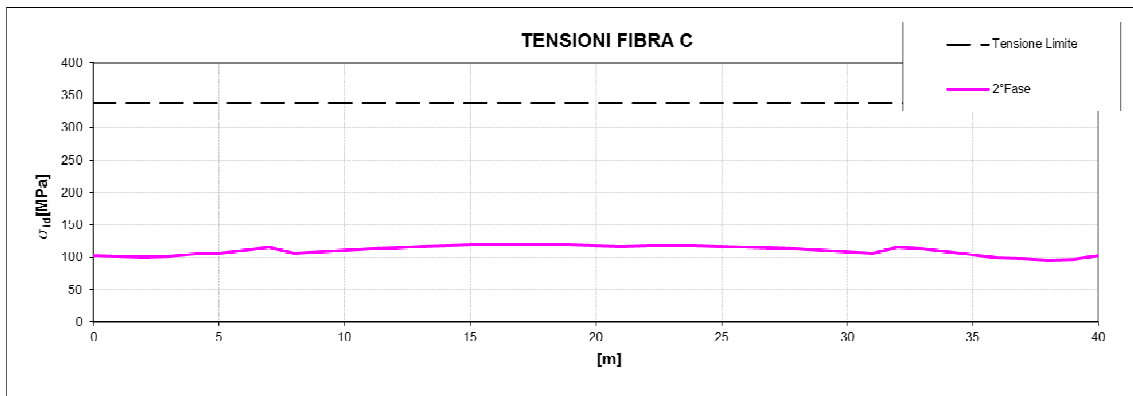
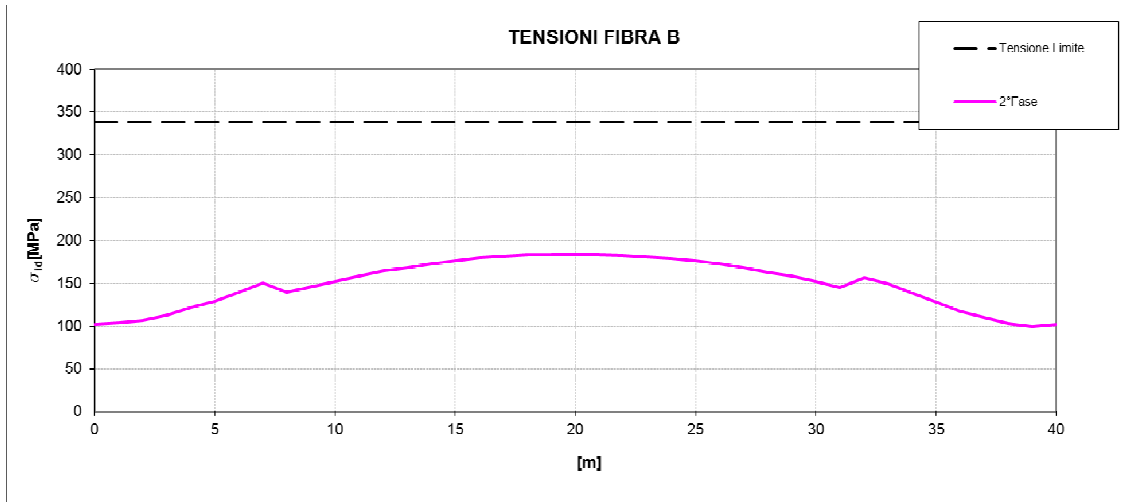
Le tensioni indotte sugli elementi strutturali sono inferiori ai rispettivi valori limite.

#### 8.4 Verifiche 2ª Fase (tempo $T_0$ )

In tale fase si riportano le tensioni relative alle travi principali al lembo superiore ed inferiore con riferimento ai carichi di 2a fase. Si riportano per le travi principali le tensioni normali, tangenziali ed ideali. Alle tensioni, riportate nei diagrammi seguenti, è stato già sommato lo stato tensionale indotto dai carichi di 1a fase.



*Figura 17 Inviluppo tensioni normali*



*Figura 18 Involuppo tensioni ideali*

### 8.5 Verifiche 2<sup>a</sup> Fase (tempo $T_{\infty}$ )

In tale fase si riportano le tensioni relative alle travi principali al lembo superiore ed inferiore. Si riportano per le travi principali le tensioni normali ed ideali.

Alle tensioni, riportate nei diagrammi seguenti, è stato già sommato lo stato tensionale indotto dai carichi.

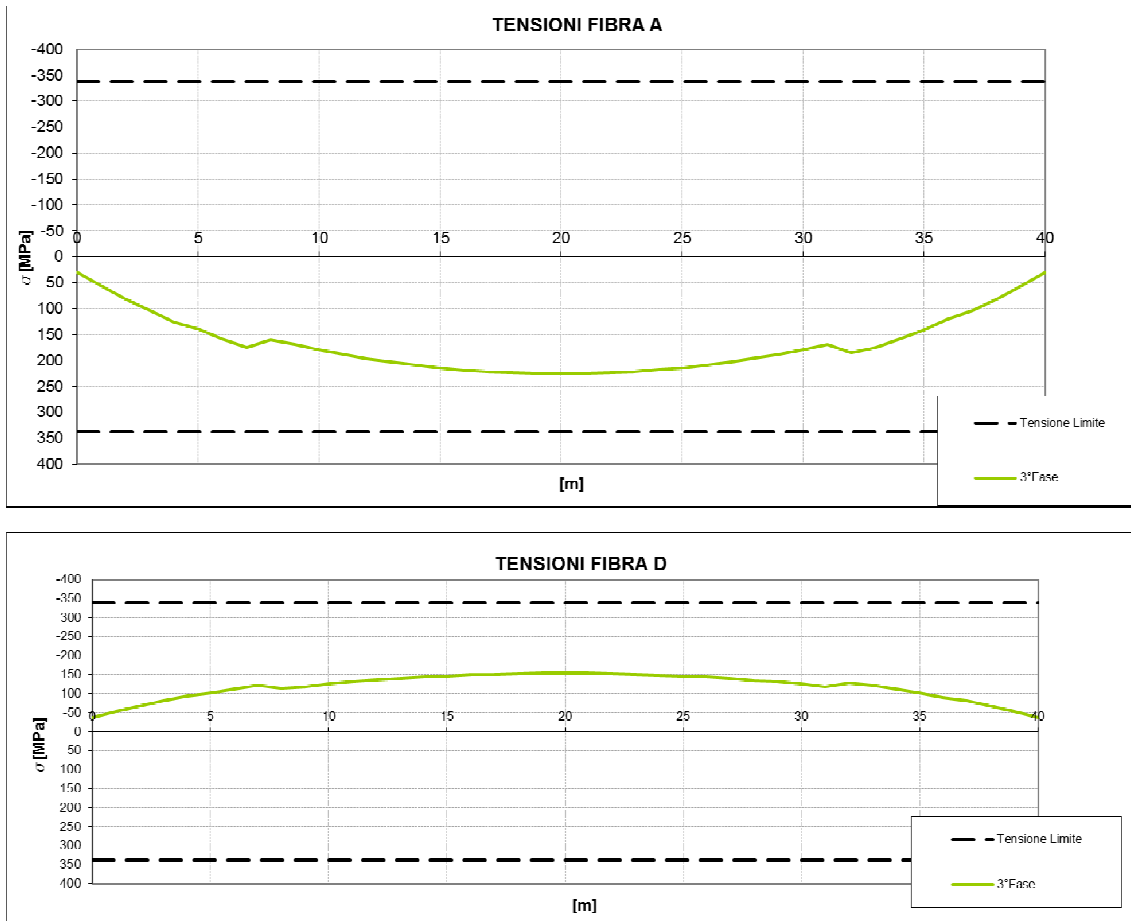
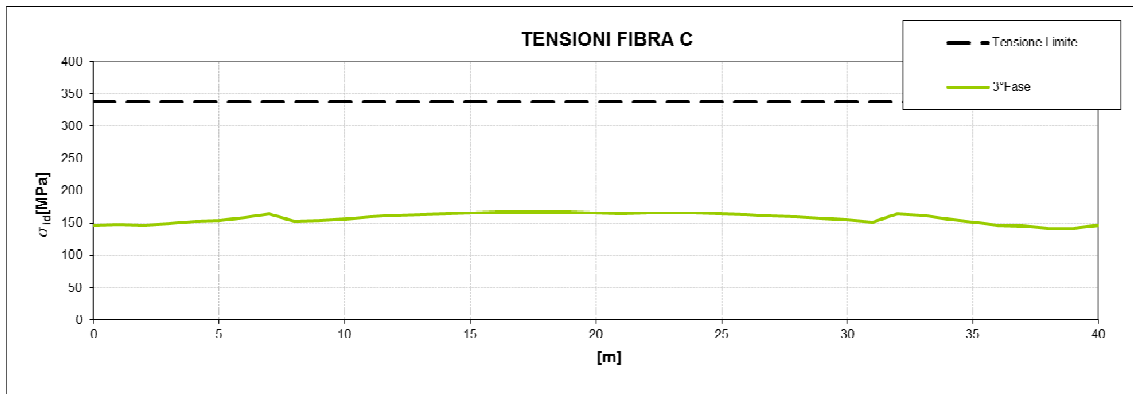
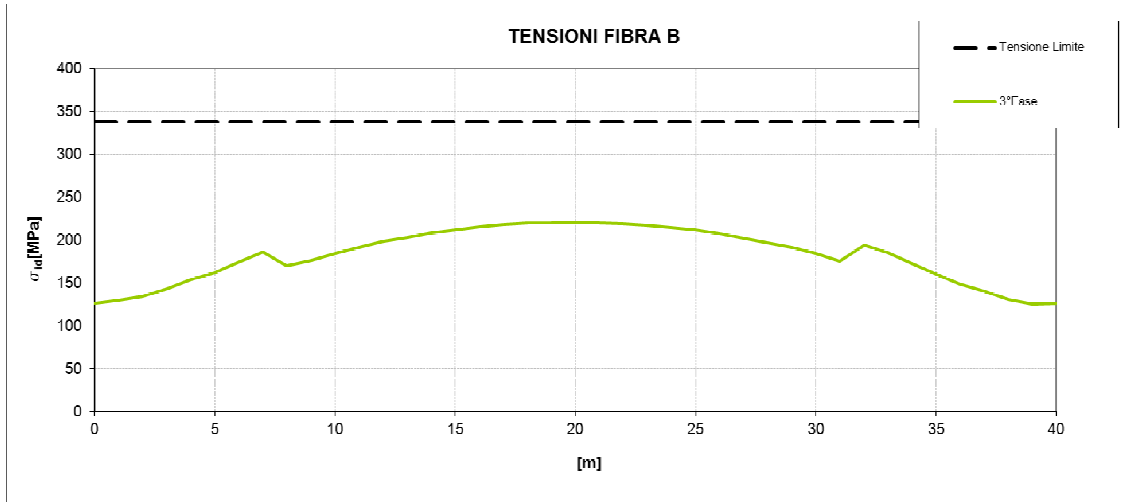


Figura 19 Involuppo tensioni normali



*Figura 20 Inviluppo tensioni ideali*

L'eventuale presenza di una barriera New Jersey in CLS comporterebbe un aumento della tensione massima del 6%, mantenendo un buon margine di sicurezza, pari a circa  $CS=1.42$ .

## 8.6 Verifiche di instabilità

Al fine di evitare fenomeni di instabilità nelle strutture principali di acciaio sono stati disposti opportuni irrigidimenti trasversali e longitudinali. Questi suddividono l'anima in campi di passo costante ed altezza variabile. Si riporta di seguito la verifica nel campo maggiormente sollecitato. Per completezza si riporta in forma tabellare la verifica di tutti i pannelli dell'impalcato.

### Sezione progressiva 18m

In questa sezione è presente un irrigidimento longitudinale che divide la trave in tre campi di altezza uguale. La tensioni utilizzate nella verifica sono:

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| $\sigma_{sup} = 215.5$ Mpa (compr.)   | tensione all'estradosso della trave |
| $\sigma_{inf} = -145.2$ Mpa (traz.)   | tensione all'intradosso della trave |
| $\tau = 23.0$ Mpa   | tensione tangenziale                |
| $a = 4.0$ m   | passo longitudinale del campo       |
| $h = 700$ mm  | altezza del campo                   |
| $\sigma_1 = -145.2$ Mpa (compr.)  | tensione all'estradosso del campo   |
| $\sigma_2 = 95.3$ (compr.)  | tensione all'intradosso del campo   |
| $\sigma_{1,id} = 149$ Mpa   | massima tensione ideale nel campo   |
| $\alpha = a/h = 5.69$   | rapporto di forma lunghezza/altezza |
| $\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = -0.66$  | rapporto di tensione                |
| $k_\sigma = 16.05$  | coefficiente di imbozzamento        |
| $\sigma_{cr,0} = 150.56$ Mpa  | tensione di riferimento             |
| $\sigma_{cr} = k_\sigma \times \sigma_{cr,0} = 2416.87$ Mpa   | tensione critica                    |
| $\sigma_{cr,id} = 2212.52$ Mpa  | tensione critica ideale             |
| essendo $\sigma_{cr} > 0.8 \cdot f_d$ (258.2 Mpa) per la verifica si utilizza una tensione critica ridotta con un valore pari a |                                     |
| $\sigma_{cr,red} = 321.9$ Mpa   | tensione critica ideale ridotta     |
| $\sigma_{cr,red} / \sigma_{1,id} = 2.16 \geq \beta_v = 1$   |                                     |

La verifica risulta soddisfatta.



RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA  
TRATTA PIADENA - MANTOVA

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

|          |         |          |              |      |          |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 56 di 86 |

| x     | a   | h    | h <sub>anima</sub> | t <sub>w</sub> | σ <sub>1</sub>       | σ <sub>2</sub>       | τ                    | σ <sub>id</sub>      | ψ     | α    | k <sub>σ</sub> | k <sub>T</sub> | σ <sub>cr,0</sub>    | σ <sub>cr</sub>      | τ <sub>cr</sub>      | σ <sub>cr,id</sub>   | 0.8f <sub>d</sub>    | σ <sub>cr,red</sub>  | VERIFICA |      |
|-------|-----|------|--------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|------|
| [m]   | [m] | [m]  | [mm]               | [mm]           | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |       |      |                |                | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |          |      |
| 0.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -36.2                | 6.9                  | 65.2                 | 118.6                | -0.19 | 5.63 | II             | 9.19           | 4.37                 | 147.75               | 1358.24              | 646.08               | 1092.74              | 258.2                | 319.3    | 2.69 |
| 1.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -51.0                | 19.6                 | 63.5                 | 121.3                | -0.38 | 5.63 | II             | 11.51          | 4.37                 | 147.75               | 1700.25              | 646.08               | 1142.33              | 258.2                | 319.6    | 2.63 |
| 2.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -65.0                | 31.0                 | 59.2                 | 121.4                | -0.48 | 5.63 | II             | 12.90          | 4.37                 | 147.75               | 1906.60              | 646.08               | 1204.92              | 258.2                | 319.9    | 2.63 |
| 3.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -78.2                | 41.4                 | 55.3                 | 123.7                | -0.53 | 5.63 | II             | 13.75          | 4.37                 | 147.75               | 2032.18              | 646.08               | 1279.49              | 258.2                | 320.2    | 2.59 |
| 4.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -90.5                | 50.8                 | 51.9                 | 127.6                | -0.56 | 5.63 | II             | 14.31          | 4.37                 | 147.75               | 2114.12              | 646.08               | 1362.37              | 258.2                | 320.5    | 2.51 |
| 5.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -97.3                | 58.1                 | 48.8                 | 128.8                | -0.60 | 5.63 | II             | 14.95          | 4.37                 | 147.75               | 2209.57              | 646.08               | 1436.61              | 258.2                | 320.8    | 2.49 |
| 6.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -107.9               | 66.1                 | 45.9                 | 134.0                | -0.61 | 5.63 | II             | 15.23          | 4.37                 | 147.75               | 2250.85              | 646.08               | 1525.61              | 258.2                | 321.0    | 2.39 |
| 7.00  | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -117.7               | 73.4                 | 43.2                 | 139.5                | -0.62 | 5.63 | II             | 15.43          | 4.37                 | 147.75               | 2280.14              | 646.08               | 1613.63              | 258.2                | 321.2    | 2.30 |
| 8.00  | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -108.9               | 66.1                 | 40.9                 | 129.9                | -0.61 | 5.69 | II             | 15.13          | 4.37                 | 150.56               | 2277.76              | 658.10               | 1617.17              | 258.2                | 321.2    | 2.47 |
| 9.00  | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -112.7               | 70.4                 | 39.2                 | 131.6                | -0.62 | 5.69 | II             | 15.45          | 4.37                 | 150.56               | 2325.96              | 658.10               | 1675.62              | 258.2                | 321.3    | 2.44 |
| 10.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -119.1               | 75.2                 | 36.6                 | 135.0                | -0.63 | 5.69 | II             | 15.57          | 4.37                 | 150.56               | 2343.99              | 658.10               | 1753.52              | 258.2                | 321.4    | 2.38 |
| 11.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -124.9               | 79.4                 | 34.1                 | 138.2                | -0.64 | 5.69 | II             | 15.66          | 4.37                 | 150.56               | 2357.09              | 658.10               | 1828.03              | 258.2                | 321.5    | 2.33 |
| 12.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -130.0               | 83.1                 | 31.6                 | 141.1                | -0.64 | 5.69 | II             | 15.72          | 4.37                 | 150.56               | 2366.52              | 658.10               | 1899.52              | 258.2                | 321.6    | 2.28 |
| 13.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -132.5               | 85.8                 | 30.2                 | 142.4                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.88          | 4.37                 | 150.56               | 2390.97              | 658.10               | 1948.47              | 258.2                | 321.7    | 2.26 |
| 14.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -136.5               | 88.7                 | 27.7                 | 144.7                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.92          | 4.37                 | 150.56               | 2397.66              | 658.10               | 2013.50              | 258.2                | 321.7    | 2.22 |
| 15.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -139.8               | 91.0                 | 25.3                 | 146.6                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.95          | 4.37                 | 150.56               | 2402.05              | 658.10               | 2073.34              | 258.2                | 321.8    | 2.20 |
| 16.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -142.6               | 93.0                 | 22.9                 | 148.0                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.97          | 4.37                 | 150.56               | 2404.58              | 658.10               | 2129.00              | 258.2                | 321.8    | 2.17 |
| 17.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -143.7               | 94.2                 | 21.5                 | 148.5                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.04          | 4.37                 | 150.56               | 2415.07              | 658.10               | 2164.51              | 258.2                | 321.9    | 2.17 |
| 18.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -145.2               | 95.3                 | 19.2                 | 149.0                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.05          | 4.37                 | 150.56               | 2416.87              | 658.10               | 2212.52              | 258.2                | 321.9    | 2.16 |
| 19.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -146.1               | 95.9                 | 16.8                 | 149.0                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.05          | 4.37                 | 150.56               | 2417.14              | 658.10               | 2254.89              | 258.2                | 321.9    | 2.16 |
| 20.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -146.4               | 96.0                 | 14.7                 | 148.6                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.05          | 4.37                 | 150.56               | 2415.93              | 658.10               | 2288.63              | 258.2                | 321.9    | 2.17 |
| 21.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -146.1               | 95.9                 | 15.9                 | 148.7                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.05          | 4.37                 | 150.56               | 2417.01              | 658.10               | 2269.56              | 258.2                | 321.9    | 2.17 |
| 22.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -145.2               | 95.3                 | 18.2                 | 148.6                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.05          | 4.37                 | 150.56               | 2416.82              | 658.10               | 2229.06              | 258.2                | 321.9    | 2.17 |
| 23.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -143.7               | 94.2                 | 20.6                 | 148.0                | -0.66 | 5.69 | II             | 16.04          | 4.37                 | 150.56               | 2415.11              | 658.10               | 2182.46              | 258.2                | 321.9    | 2.17 |
| 24.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -141.6               | 92.6                 | 23.0                 | 147.1                | -0.65 | 5.69 | II             | 16.02          | 4.37                 | 150.56               | 2411.67              | 658.10               | 2128.62              | 258.2                | 321.8    | 2.19 |
| 25.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -139.8               | 91.1                 | 24.4                 | 146.1                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.95          | 4.37                 | 150.56               | 2402.10              | 658.10               | 2091.28              | 258.2                | 321.8    | 2.20 |
| 26.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -136.5               | 88.7                 | 26.7                 | 144.1                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.93          | 4.37                 | 150.56               | 2397.80              | 658.10               | 2032.52              | 258.2                | 321.7    | 2.23 |
| 27.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -132.5               | 85.8                 | 29.1                 | 141.8                | -0.65 | 5.69 | II             | 15.88          | 4.37                 | 150.56               | 2391.22              | 658.10               | 1968.05              | 258.2                | 321.7    | 2.27 |
| 28.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -128.0               | 82.4                 | 31.6                 | 139.2                | -0.64 | 5.69 | II             | 15.82          | 4.37                 | 150.56               | 2382.00              | 658.10               | 1897.10              | 258.2                | 321.6    | 2.31 |
| 29.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -124.9               | 79.4                 | 33.1                 | 137.4                | -0.64 | 5.69 | II             | 15.66          | 4.37                 | 150.56               | 2357.44              | 658.10               | 1846.16              | 258.2                | 321.5    | 2.34 |



Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

|          |         |          |              |      |          |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 57 di 86 |

| x     | a   | h    | h <sub>anima</sub> | t <sub>w</sub> | σ <sub>1</sub>       | σ <sub>2</sub>       | τ                    | σ <sub>id</sub>      | ψ     | α    | k <sub>σ</sub> | k <sub>T</sub> | σ <sub>cr,0</sub>    | σ <sub>cr</sub>      | τ <sub>cr</sub>      | σ <sub>cr,id</sub>   | 0.8f <sub>d</sub>    | σ <sub>cr,red</sub>  | VERIFICA |      |
|-------|-----|------|--------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|------|
| [m]   | [m] | [m]  | [mm]               | [mm]           | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |       |      |                |                | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |          |      |
| 30.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -119.1               | 75.2                 | 35.5                 | 134.1                | -0.63 | 5.69 | II             | 15.57          | 4.37                 | 150.56               | 2344.45              | 658.10               | 1771.79              | 258.2                | 321.4    | 2.40 |
| 31.00 | 4   | 0.70 | 2110               | 20             | -112.8               | 70.4                 | 38.0                 | 130.6                | -0.62 | 5.69 | II             | 15.45          | 4.37                 | 150.56               | 2326.53              | 658.10               | 1693.42              | 258.2                | 321.3    | 2.46 |
| 32.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -123.0               | 78.9                 | 40.3                 | 141.4                | -0.64 | 5.63 | II             | 15.78          | 4.37                 | 147.75               | 2331.25              | 646.08               | 1694.92              | 258.2                | 321.3    | 2.27 |
| 33.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -117.8               | 73.5                 | 42.0                 | 138.4                | -0.62 | 5.63 | II             | 15.44          | 4.37                 | 147.75               | 2280.78              | 646.08               | 1629.87              | 258.2                | 321.2    | 2.32 |
| 34.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -107.9               | 66.2                 | 44.6                 | 132.7                | -0.61 | 5.63 | II             | 15.24          | 4.37                 | 147.75               | 2251.43              | 646.08               | 1541.28              | 258.2                | 321.0    | 2.42 |
| 35.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -97.3                | 58.2                 | 47.3                 | 127.2                | -0.60 | 5.63 | II             | 14.96          | 4.37                 | 147.75               | 2209.86              | 646.08               | 1450.92              | 258.2                | 320.8    | 2.52 |
| 36.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -85.9                | 49.4                 | 50.2                 | 122.3                | -0.58 | 5.63 | II             | 14.55          | 4.37                 | 147.75               | 2149.57              | 646.08               | 1361.30              | 258.2                | 320.5    | 2.62 |
| 37.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -78.1                | 41.3                 | 53.4                 | 121.1                | -0.53 | 5.63 | II             | 13.75          | 4.37                 | 147.75               | 2031.22              | 646.08               | 1289.80              | 258.2                | 320.3    | 2.65 |
| 38.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -65.0                | 31.0                 | 56.7                 | 117.8                | -0.48 | 5.63 | II             | 12.89          | 4.37                 | 147.75               | 1905.14              | 646.08               | 1212.84              | 258.2                | 319.9    | 2.72 |
| 39.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -51.1                | 19.6                 | 60.6                 | 116.7                | -0.38 | 5.63 | II             | 11.51          | 4.37                 | 147.75               | 1700.57              | 646.08               | 1146.55              | 258.2                | 319.6    | 2.74 |
| 40.00 | 4   | 0.71 | 2130               | 20             | -36.2                | 6.9                  | 65.2                 | 118.6                | -0.19 | 5.63 | II             | 9.19           | 4.37                 | 147.75               | 1358.24              | 646.08               | 1092.74              | 258.2                | 319.3    | 2.69 |

## 9 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI SECONDARI

### 9.1 Verifiche dei traversi

Per la verifica dei traversi si sono considerate le sollecitazioni derivanti dalle analisi del modello svolte con l'ausilio del codice di calcolo SAP2000.

#### Diagonali

La massima sollecitazione assiale alla quale è soggetta la diagonale del traverso di campata è pari a 113.3 kN in combinazione statica.

|         |           |                   |        |    |            |
|---------|-----------|-------------------|--------|----|------------|
| A       | 5472.0    | mm <sup>2</sup>   |        |    |            |
| fyk     | 355.0     | N/mm <sup>2</sup> |        |    |            |
| gm1     | 1.1000    | -                 |        |    |            |
| L       | 3000.0    | mm                |        |    |            |
| kb      | 1.0000    | -                 |        |    |            |
| I       | 7465142.0 | mm <sup>4</sup>   |        |    |            |
| Lo      | 3000.0000 | mm                |        |    |            |
| ro ,min | 68.2000   | mm                |        |    |            |
| λ       | 43.9883   | -                 |        |    |            |
| Ncr     | 1717410.7 | N                 |        |    |            |
| λ *     | 1.0635    | -                 |        |    |            |
| alfa    | 0.3400    | -                 |        |    |            |
| φ       | 1.2123    | -                 |        |    |            |
| x       | 0.5573    | -                 |        |    |            |
| N rd    | 984.1952  | KN                | 113.30 | KN | Verificato |

#### Corrente inferiore

La massima sollecitazione assiale alla quale è soggetta la diagonale del traverso di campata è pari a 672 kN in combinazione statica.

|         |           |                   |
|---------|-----------|-------------------|
| A       | 5472.0000 | mm <sup>2</sup>   |
| fyk     | 355.0000  | N/mm <sup>2</sup> |
| gm1     | 1.1000    | -                 |
| L       | 3250.0000 | mm                |
| kb      | 1.0000    | -                 |
| I       | 7465142.0 | mm <sup>4</sup>   |
| Lo      | 3250.0000 | mm                |
| ro ,min | 68.2000   | mm                |
| λ       | 47.6540   | -                 |
| Ncr     | 1463355.8 | N                 |
| λ *     | 1.1522    | -                 |

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 59 di 86 |

|           |          |    |        |    |            |
|-----------|----------|----|--------|----|------------|
| alfa      | 0.3400   | -  |        |    |            |
| $\varphi$ | 1.3256   | -  |        |    |            |
| x         | 0.5048   | -  |        |    |            |
| N rd      | 891.3808 | KN | 672.00 | KN | Verificato |

## 10 VERIFICHE A FATICA

Con riferimento al §5.1.4.3 delle NTC2018, per strutture, elementi strutturali e dettagli sensibili a fenomeni di fatica vanno eseguite opportune verifiche. Vengono svolte le verifiche a fatica per vita illimitata adottando gli spettri di carico associati. In assenza di studi specifici, volti alla determinazione dell'effettivo spettro di carico che interessa il ponte, si fa riferimento ai modelli descritti nel seguito.

La verifica a vita illimitata si esegue controllando che per le tensioni normali sia verificata la seguente disequaglianza:

$$\Delta\sigma_{\max} = \gamma_{Mf} \times \Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_D$$

oppure per le tensioni tangenziali:

$$\Delta\tau_{\max} = \gamma_{Mf} \times \Delta\tau_{\max} \leq \Delta\tau_D$$

dove sono, rispettivamente, i valori di progetto delle massime escursioni di tensioni normali e di tensioni tangenziali indotte nel dettaglio considerato dallo spettro di carico per le verifiche a vita illimitata, e  $\Delta\sigma_D$  e  $\Delta\tau_D$  i limiti di fatica ad ampiezza costante.

### 10.1 Coefficiente di sicurezza

Il coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica  $\gamma_{Mf}$  è fornito dalla relazione:

$$\gamma_{Mf} = \gamma_f \times \gamma_M$$

ove  $\gamma_f$  è il coefficiente parziale relativo alle azioni di fatica e  $\gamma_M$  il coefficiente parziale relativo alla resistenza, che copre le incertezze nella valutazione dei carichi e delle tensioni e la possibile presenza di difetti nei particolari in esame.

Il coefficiente  $\gamma_{Mf}$  dipende sia dalla possibilità di individuare e riparare eventuali lesioni per fatica, sia dall'entità delle conseguenze della crisi per fatica dell'elemento o della struttura. A questo scopo, le strutture possono essere distinte, a seconda della loro sensibilità alla crisi per fatica, in strutture poco sensibili e in strutture sensibili.

| Criteri di valutazione     | Conseguenze della rottura |                           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                            | Conseguenze moderate      | Conseguenze significative |
| Danneggiamento accettabile | $\gamma_M = 1,00$         | $\gamma_M = 1,15$         |
| Vita utile a fatica        | $\gamma_M = 1,15$         | $\gamma_M = 1,35$         |

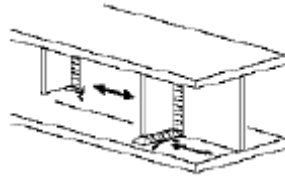
Tabella 4 : coefficiente di sicurezza da assumere per la verifica a fatica

Per i dettagli strutturali primari per cui le conseguenze della rottura per fatica risultano significative si assume un coefficiente di sicurezza pari a  $\gamma_{Mf}=1.35$ .

### 10.2 Verifica dei dettagli di fatica

Nelle verifiche a fatica le tensioni considerate sono coerenti con quelle alle quali è riferita la curva S-N del dettaglio. Per le successive verifiche si farà riferimento a tre dettagli tipologici di classe 71 e 80 con resistenza non influenzata dallo spessore del metallo base, ritenuto ragionevolmente cautelativo ed involupante la maggior parte dei dettagli previsti per l'impalcato metallico. A tali dettagli si associa una curva S-N riferita alle tensioni nominali e pertanto ad esse si fa riferimento.

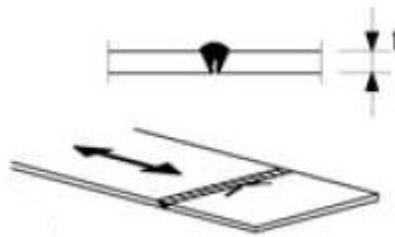
Dettaglio 80: per le giunzioni previste per realizzare gli attacchi degli irrigidimenti trasversali alle travi principali (in corrispondenza di anima e piattabande)



Caratteristiche resistenziali del dettaglio a fatica

$\Delta\sigma_C = 80$  MPa classe del particolare: limite di fatica per  $2 \times 10^6$  cicli

Dettaglio 71: per le giunzioni previste per connettere le travi longitudinali



$\Delta\sigma_C = 71$  MPa classe del particolare: limite di fatica per  $2 \times 10^6$  cicli

Si riportano di seguito i delta di tensioni longitudinali di fibra assunte a base di verifica e per i vari componenti strutturali principali dell'impalcato metallico.

| Progressiva | Piattabanda sup. | Piattabanda inf. | FATICA           |                  |                  |                  |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|             |                  |                  | SOLECITAZIONI    |                  |                  |                  |
| x           | S <sub>sup</sub> | S <sub>inf</sub> | M <sub>MAX</sub> | M <sub>MIN</sub> | T <sub>MAX</sub> | T <sub>MIN</sub> |
| [m]         | [mm]             | [mm]             | [kNm]            | [kNm]            | [kN]             | [kN]             |
| 0.00        | 30               | 40               | 1                | -3               | 40               | -638             |
| 1.00        | 30               | 40               | 638              | -40              | 40               | -638             |
| 2.00        | 30               | 40               | 1196             | -70              | 48               | -589             |
| 3.00        | 30               | 40               | 1683             | -92              | 69               | -547             |
| 4.00        | 30               | 40               | 2117             | -110             | 91               | -514             |
| 5.00        | 30               | 40               | 2519             | -120             | 92               | -492             |
| 6.00        | 30               | 40               | 2879             | -128             | 110              | -466             |
| 7.00        | 30               | 40               | 3202             | -135             | 128              | -443             |
| 8.00        | 40               | 50               | 3491             | -142             | 146              | -422             |
| 9.00        | 40               | 50               | 3767             | -144             | 139              | -418             |
| 10.00       | 40               | 50               | 4011             | -147             | 155              | -399             |
| 11.00       | 40               | 50               | 4224             | -150             | 172              | -380             |
| 12.00       | 40               | 50               | 4409             | -152             | 189              | -362             |
| 13.00       | 40               | 50               | 4580             | -151             | 184              | -364             |
| 14.00       | 40               | 50               | 4724             | -150             | 200              | -346             |
| 15.00       | 40               | 50               | 4842             | -151             | 216              | -329             |

| Progressiva | Piattabanda sup. | Piattabanda inf. | FATICA           |                  |                  |                  |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|             |                  |                  | SOLECITAZIONI    |                  |                  |                  |
| x           | S <sub>sup</sub> | S <sub>inf</sub> | M <sub>MAX</sub> | M <sub>MIN</sub> | T <sub>MAX</sub> | T <sub>MIN</sub> |
| [m]         | [mm]             | [mm]             | [kNm]            | [kNm]            | [kN]             | [kN]             |
| 16.00       | 40               | 50               | 4935             | -152             | 232              | -313             |
| 17.00       | 40               | 50               | 5013             | -150             | 227              | -317             |
| 18.00       | 40               | 50               | 5065             | -148             | 242              | -300             |
| 19.00       | 40               | 50               | 5093             | -149             | 258              | -284             |
| 20.00       | 40               | 50               | 5097             | -150             | 274              | -268             |
| 21.00       | 40               | 50               | 5093             | -148             | 268              | -274             |
| 22.00       | 40               | 50               | 5065             | -148             | 284              | -258             |
| 23.00       | 40               | 50               | 5012             | -149             | 300              | -242             |
| 24.00       | 40               | 50               | 4934             | -151             | 317              | -227             |
| 25.00       | 40               | 50               | 4842             | -150             | 313              | -232             |
| 26.00       | 40               | 50               | 4725             | -150             | 329              | -216             |
| 27.00       | 40               | 50               | 4580             | -150             | 346              | -200             |
| 28.00       | 40               | 50               | 4409             | -151             | 364              | -184             |
| 29.00       | 40               | 50               | 4225             | -148             | 362              | -189             |
| 30.00       | 40               | 50               | 4012             | -146             | 380              | -172             |
| 31.00       | 40               | 50               | 3768             | -143             | 399              | -155             |
| 32.00       | 30               | 40               | 3493             | -141             | 418              | -139             |
| 33.00       | 30               | 40               | 3203             | -134             | 422              | -146             |
| 34.00       | 30               | 40               | 2880             | -127             | 443              | -128             |
| 35.00       | 30               | 40               | 2519             | -118             | 466              | -110             |
| 36.00       | 30               | 40               | 2116             | -109             | 492              | -92              |
| 37.00       | 30               | 40               | 1680             | -91              | 514              | -91              |
| 38.00       | 30               | 40               | 1192             | -69              | 547              | -69              |
| 39.00       | 30               | 40               | 638              | -40              | 589              | -48              |
| 40.00       | 30               | 40               | 1                | -3               | 638              | -40              |

| Progressiva | STATO TENSIONALE     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                         |                         |                       |                         |                      |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
|             | X                    | $\sigma_A$ Max       | $\sigma_B$ Max       | $\sigma_C$ Max       | $\sigma_D$ Max       | $\tau$ Max           | $\sigma_A$ Min       | $\sigma_B$ Min       | $\sigma_C$ Min       | $\sigma_D$ Min       | $\tau$ Min           | $\Delta\sigma_{pA}$ Inf | $\Delta\sigma_{pB}$ Inf | $\Delta\sigma_p$ CSup | $\Delta\sigma_{pD}$ Inf | $\Delta\tau$         |
| [m]         | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> )    | (N/mm <sup>2</sup> )    | (N/mm <sup>2</sup> )  | (N/mm <sup>2</sup> )    | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| 0.00        | 0.0                  | 0.0                  | 0.00                 | 0.00                 | 0.93                 | 0.0                  | 0.0                  | 0.02                 | 4.97                 | 14.97                | 0.0                  | 0.0                     | 0.0                     | 5.0                   | 15.91                   |                      |
| 1.00        | 5.7                  | 5.6                  | -0.74                | -0.83                | 0.93                 | -0.4                 | -0.4                 | 0.30                 | 4.97                 | 14.97                | 6.1                  | 6.0                     | 1.0                     | 5.8                   | 15.91                   |                      |
| 2.00        | 10.7                 | 10.5                 | -1.38                | -1.55                | 1.12                 | -0.7                 | -0.7                 | 0.53                 | 4.59                 | 13.83                | 11.4                 | 11.2                    | 1.9                     | 6.1                   | 14.95                   |                      |
| 3.00        | 15.0                 | 14.7                 | -1.94                | -2.18                | 1.61                 | -1.0                 | -0.9                 | 0.70                 | 4.26                 | 12.85                | 16.0                 | 15.7                    | 2.6                     | 6.4                   | 14.46                   |                      |
| 4.00        | 18.9                 | 18.5                 | -2.45                | -2.74                | 2.14                 | -1.2                 | -1.1                 | 0.83                 | 4.00                 | 12.06                | 20.1                 | 19.6                    | 3.3                     | 6.7                   | 14.20                   |                      |
| 5.00        | 22.5                 | 22.0                 | -2.91                | -3.26                | 2.16                 | -1.3                 | -1.2                 | 0.90                 | 3.83                 | 11.55                | 23.8                 | 23.3                    | 3.8                     | 7.1                   | 13.71                   |                      |
| 6.00        | 25.7                 | 25.2                 | -3.33                | -3.73                | 2.59                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.97                 | 3.63                 | 10.95                | 27.1                 | 26.5                    | 4.3                     | 7.4                   | 13.54                   |                      |
| 7.00        | 28.6                 | 28.0                 | -3.70                | -4.15                | 3.01                 | -1.4                 | -1.4                 | 1.02                 | 3.45                 | 10.40                | 30.0                 | 29.4                    | 4.7                     | 7.6                   | 13.41                   |                      |
| 8.00        | 26.8                 | 26.1                 | -4.03                | -4.60                | 3.45                 | -1.3                 | -1.2                 | 0.93                 | 2.90                 | 10.01                | 28.1                 | 27.3                    | 5.0                     | 7.5                   | 13.46                   |                      |
| 9.00        | 29.0                 | 28.2                 | -4.35                | -4.96                | 3.30                 | -1.3                 | -1.2                 | 0.95                 | 2.87                 | 9.91                 | 30.3                 | 29.4                    | 5.3                     | 7.8                   | 13.22                   |                      |
| 10.00       | 30.8                 | 30.0                 | -4.63                | -5.29                | 3.68                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.97                 | 2.73                 | 9.44                 | 32.2                 | 31.3                    | 5.6                     | 8.0                   | 13.13                   |                      |
| 11.00       | 32.5                 | 31.6                 | -4.88                | -5.57                | 4.08                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 2.60                 | 9.00                 | 33.8                 | 32.9                    | 5.9                     | 8.2                   | 13.08                   |                      |
| 12.00       | 33.9                 | 33.0                 | -5.09                | -5.81                | 4.48                 | -1.4                 | -1.3                 | 1.00                 | 2.48                 | 8.58                 | 35.3                 | 34.3                    | 6.1                     | 8.3                   | 13.06                   |                      |
| 13.00       | 35.2                 | 34.3                 | -5.29                | -6.04                | 4.37                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 2.50                 | 8.62                 | 36.6                 | 35.6                    | 6.3                     | 8.5                   | 12.99                   |                      |
| 14.00       | 36.3                 | 35.4                 | -5.45                | -6.23                | 4.74                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 2.37                 | 8.20                 | 37.7                 | 36.7                    | 6.4                     | 8.6                   | 12.94                   |                      |
| 15.00       | 37.2                 | 36.2                 | -5.59                | -6.38                | 5.12                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 2.26                 | 7.80                 | 38.6                 | 37.5                    | 6.6                     | 8.6                   | 12.92                   |                      |
| 16.00       | 37.9                 | 36.9                 | -5.70                | -6.50                | 5.51                 | -1.4                 | -1.3                 | 1.00                 | 2.15                 | 7.41                 | 39.3                 | 38.2                    | 6.7                     | 8.6                   | 12.92                   |                      |
| 17.00       | 38.5                 | 37.5                 | -5.79                | -6.61                | 5.38                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 2.17                 | 7.51                 | 39.9                 | 38.8                    | 6.8                     | 8.8                   | 12.89                   |                      |
| 18.00       | 39.0                 | 37.9                 | -5.85                | -6.68                | 5.74                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 2.06                 | 7.11                 | 40.3                 | 39.2                    | 6.8                     | 8.7                   | 12.85                   |                      |
| 19.00       | 39.2                 | 38.1                 | -5.88                | -6.71                | 6.12                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 1.95                 | 6.72                 | 40.5                 | 39.4                    | 6.9                     | 8.7                   | 12.84                   |                      |
| 20.00       | 39.2                 | 38.2                 | -5.88                | -6.72                | 6.50                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 1.84                 | 6.35                 | 40.5                 | 39.4                    | 6.9                     | 8.6                   | 12.85                   |                      |
| 21.00       | 39.2                 | 38.1                 | -5.88                | -6.71                | 6.35                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 1.88                 | 6.50                 | 40.5                 | 39.4                    | 6.9                     | 8.6                   | 12.85                   |                      |
| 22.00       | 38.9                 | 37.9                 | -5.85                | -6.68                | 6.72                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.97                 | 1.77                 | 6.12                 | 40.3                 | 39.2                    | 6.8                     | 8.4                   | 12.84                   |                      |
| 23.00       | 38.5                 | 37.5                 | -5.79                | -6.61                | 7.11                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 1.66                 | 5.74                 | 39.9                 | 38.8                    | 6.8                     | 8.3                   | 12.85                   |                      |
| 24.00       | 37.9                 | 36.9                 | -5.70                | -6.50                | 7.51                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 1.56                 | 5.38                 | 39.3                 | 38.2                    | 6.7                     | 8.1                   | 12.89                   |                      |

| Progressiva | STATO TENSIONALE     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                         |                         |                       |                         |                      |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
|             | X                    | $\sigma_A$ Max       | $\sigma_B$ Max       | $\sigma_C$ Max       | $\sigma_D$ Max       | $\tau$ Max           | $\sigma_A$ Min       | $\sigma_B$ Min       | $\sigma_C$ Min       | $\sigma_D$ Min       | $\tau$ Min           | $\Delta\sigma_{pA}$ Inf | $\Delta\sigma_{pB}$ Inf | $\Delta\sigma_p$ CSup | $\Delta\sigma_{pD}$ Inf | $\Delta\tau$         |
| [m]         | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> )    | (N/mm <sup>2</sup> )    | (N/mm <sup>2</sup> )  | (N/mm <sup>2</sup> )    | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| 25.00       | 37.2                 | 36.2                 | -5.59                | -6.38                | 7.41                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 1.59                 | 5.51                 | 38.6                 | 37.5                    | 6.6                     | 8.0                   | 12.92                   |                      |
| 26.00       | 36.3                 | 35.4                 | -5.45                | -6.23                | 7.80                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 1.48                 | 5.12                 | 37.7                 | 36.6                    | 6.4                     | 7.7                   | 12.92                   |                      |
| 27.00       | 35.2                 | 34.3                 | -5.29                | -6.04                | 8.20                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 1.37                 | 4.74                 | 36.6                 | 35.6                    | 6.3                     | 7.4                   | 12.94                   |                      |
| 28.00       | 33.9                 | 33.0                 | -5.09                | -5.81                | 8.62                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.99                 | 1.26                 | 4.37                 | 35.3                 | 34.3                    | 6.1                     | 7.1                   | 12.99                   |                      |
| 29.00       | 32.5                 | 31.6                 | -4.88                | -5.57                | 8.58                 | -1.3                 | -1.3                 | 0.98                 | 1.30                 | 4.48                 | 33.8                 | 32.9                    | 5.9                     | 6.9                   | 13.06                   |                      |
| 30.00       | 30.9                 | 30.0                 | -4.63                | -5.29                | 9.00                 | -1.3                 | -1.2                 | 0.96                 | 1.18                 | 4.08                 | 32.2                 | 31.3                    | 5.6                     | 6.5                   | 13.08                   |                      |
| 31.00       | 29.0                 | 28.2                 | -4.35                | -4.97                | 9.44                 | -1.3                 | -1.2                 | 0.94                 | 1.07                 | 3.68                 | 30.3                 | 29.4                    | 5.3                     | 6.0                   | 13.13                   |                      |
| 32.00       | 31.2                 | 30.6                 | -4.04                | -4.52                | 9.82                 | -1.5                 | -1.4                 | 1.06                 | 1.08                 | 3.27                 | 32.7                 | 32.0                    | 5.1                     | 5.6                   | 13.09                   |                      |
| 33.00       | 28.6                 | 28.0                 | -3.70                | -4.15                | 9.91                 | -1.4                 | -1.4                 | 1.01                 | 1.14                 | 3.42                 | 30.0                 | 29.4                    | 4.7                     | 5.3                   | 13.33                   |                      |
| 34.00       | 25.7                 | 25.2                 | -3.33                | -3.73                | 10.40                | -1.3                 | -1.3                 | 0.95                 | 1.00                 | 3.01                 | 27.1                 | 26.5                    | 4.3                     | 4.7                   | 13.41                   |                      |
| 35.00       | 22.5                 | 22.0                 | -2.91                | -3.26                | 10.95                | -1.2                 | -1.2                 | 0.89                 | 0.86                 | 2.59                 | 23.7                 | 23.2                    | 3.8                     | 4.1                   | 13.54                   |                      |
| 36.00       | 18.9                 | 18.5                 | -2.45                | -2.74                | 11.55                | -1.1                 | -1.1                 | 0.82                 | 0.72                 | 2.16                 | 20.0                 | 19.6                    | 3.3                     | 3.5                   | 13.71                   |                      |
| 37.00       | 15.0                 | 14.7                 | -1.94                | -2.18                | 12.06                | -1.0                 | -0.9                 | 0.69                 | 0.71                 | 2.14                 | 16.0                 | 15.6                    | 2.6                     | 2.9                   | 14.20                   |                      |
| 38.00       | 10.7                 | 10.4                 | -1.38                | -1.54                | 12.85                | -0.7                 | -0.7                 | 0.52                 | 0.53                 | 1.61                 | 11.4                 | 11.1                    | 1.9                     | 2.1                   | 14.46                   |                      |
| 39.00       | 5.7                  | 5.6                  | -0.74                | -0.83                | 13.83                | -0.4                 | -0.4                 | 0.30                 | 0.37                 | 1.12                 | 6.1                  | 6.0                     | 1.0                     | 1.2                   | 14.95                   |                      |
| 40.00       | 0.0                  | 0.0                  | 0.00                 | 0.00                 | 14.97                | 0.0                  | 0.0                  | 0.02                 | 0.31                 | 0.93                 | 0.0                  | 0.0                     | 0.0                     | 0.3                   | 15.91                   |                      |



| Progressiva | $\Delta\sigma_c$ 80                            |  |       |  |  | $\Delta\sigma_c$ 71                            |  |    |  |  |
|-------------|--|--|-------|--|--|--|--|----|--|--|
|             | Piattabanda Sup.                               |  |       | Piattabanda Inf.                               |  | Piattabanda Sup.                               |  |    | Piattabanda Inf.                               |  |
|             | $\Delta\sigma_p$ C Sup<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\Delta\sigma_c/\gamma_{mf}$<br>59.26 (N/mm <sup>2</sup> ) |       | $\Delta\sigma_p$ B Inf<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\Delta\sigma_c/\gamma_{mf}$<br>59.26 (N/mm <sup>2</sup> ) | $\Delta\sigma_p$ D Sup<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\Delta\sigma_c/\gamma_{mf}$<br>52.59 (N/mm <sup>2</sup> ) |    | $\Delta\sigma_p$ A Inf<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\Delta\sigma_c/\gamma_{mf}$<br>52.59 (N/mm <sup>2</sup> ) |
| x<br>[m]    |  |  |       |  |  |  |  |    |  |  |
| 0.00        | 0.02   | Ok   | 0.04  | Ok   | 4.97   | Ok   | 0.04   | Ok |  |  |
| 1.00        | 1.04   | Ok   | 5.98  | Ok   | 5.79   | Ok   | 6.11   | Ok |  |  |
| 2.00        | 1.91   | Ok   | 11.17 | Ok   | 6.14   | Ok   | 11.41  | Ok |  |  |
| 3.00        | 2.64   | Ok   | 15.66 | Ok   | 6.44   | Ok   | 16.00  | Ok |  |  |
| 4.00        | 3.28   | Ok   | 19.64 | Ok   | 6.74   | Ok   | 20.07  | Ok |  |  |
| 5.00        | 3.82   | Ok   | 23.25 | Ok   | 7.09   | Ok   | 23.76  | Ok |  |  |
| 6.00        | 4.29   | Ok   | 26.48 | Ok   | 7.36   | Ok   | 27.06  | Ok |  |  |
| 7.00        | 4.72   | Ok   | 29.38 | Ok   | 7.60   | Ok   | 30.02  | Ok |  |  |
| 8.00        | 4.96   | Ok   | 27.35 | Ok   | 7.50   | Ok   | 28.11  | Ok |  |  |
| 9.00        | 5.30   | Ok   | 29.43 | Ok   | 7.83   | Ok   | 30.25  | Ok |  |  |
| 10.00       | 5.60   | Ok   | 31.28 | Ok   | 8.02   | Ok   | 32.16  | Ok |  |  |
| 11.00       | 5.86   | Ok   | 32.90 | Ok   | 8.17   | Ok   | 33.82  | Ok |  |  |
| 12.00       | 6.09   | Ok   | 34.30 | Ok   | 8.30   | Ok   | 35.26  | Ok |  |  |
| 13.00       | 6.28   | Ok   | 35.58 | Ok   | 8.53   | Ok   | 36.57  | Ok |  |  |
| 14.00       | 6.44   | Ok   | 36.65 | Ok   | 8.60   | Ok   | 37.67  | Ok |  |  |
| 15.00       | 6.58   | Ok   | 37.53 | Ok   | 8.64   | Ok   | 38.58  | Ok |  |  |
| 16.00       | 6.69   | Ok   | 38.24 | Ok   | 8.65   | Ok   | 39.30  | Ok |  |  |
| 17.00       | 6.77   | Ok   | 38.80 | Ok   | 8.78   | Ok   | 39.88  | Ok |  |  |
| 18.00       | 6.82   | Ok   | 39.19 | Ok   | 8.73   | Ok   | 40.28  | Ok |  |  |
| 19.00       | 6.86   | Ok   | 39.40 | Ok   | 8.66   | Ok   | 40.49  | Ok |  |  |
| 20.00       | 6.87   | Ok   | 39.43 | Ok   | 8.56   | Ok   | 40.53  | Ok |  |  |
| 21.00       | 6.85   | Ok   | 39.39 | Ok   | 8.59   | Ok   | 40.49  | Ok |  |  |
| 22.00       | 6.82   | Ok   | 39.18 | Ok   | 8.45   | Ok   | 40.27  | Ok |  |  |
| 23.00       | 6.77   | Ok   | 38.80 | Ok   | 8.27   | Ok   | 39.88  | Ok |  |  |
| 24.00       | 6.69   | Ok   | 38.23 | Ok   | 8.06   | Ok   | 39.30  | Ok |  |  |
| 25.00       | 6.57   | Ok   | 37.53 | Ok   | 7.98   | Ok   | 38.57  | Ok |  |  |
| 26.00       | 6.44   | Ok   | 36.65 | Ok   | 7.71   | Ok   | 37.67  | Ok |  |  |
| 27.00       | 6.28   | Ok   | 35.57 | Ok   | 7.41   | Ok   | 36.57  | Ok |  |  |
| 28.00       | 6.08   | Ok   | 34.30 | Ok   | 7.08   | Ok   | 35.26  | Ok |  |  |
| 29.00       | 5.85   | Ok   | 32.90 | Ok   | 6.86   | Ok   | 33.82  | Ok |  |  |
| 30.00       | 5.59   | Ok   | 31.28 | Ok   | 6.47   | Ok   | 32.16  | Ok |  |  |
| 31.00       | 5.29   | Ok   | 29.43 | Ok   | 6.03   | Ok   | 30.25  | Ok |  |  |
| 32.00       | 5.10   | Ok   | 31.98 | Ok   | 5.61   | Ok   | 32.68  | Ok |  |  |
| 33.00       | 4.71   | Ok   | 29.38 | Ok   | 5.28   | Ok   | 30.02  | Ok |  |  |
| 34.00       | 4.28   | Ok   | 26.48 | Ok   | 4.73   | Ok   | 27.05  | Ok |  |  |
| 35.00       | 3.80   | Ok   | 23.24 | Ok   | 4.12   | Ok   | 23.75  | Ok |  |  |
| 36.00       | 3.27   | Ok   | 19.61 | Ok   | 3.46   | Ok   | 20.04  | Ok |  |  |
| 37.00       | 2.63   | Ok   | 15.62 | Ok   | 2.88   | Ok   | 15.96  | Ok |  |  |
| 38.00       | 1.90   | Ok   | 11.13 | Ok   | 2.08   | Ok   | 11.37  | Ok |  |  |
| 39.00       | 1.04   | Ok   | 5.99  | Ok   | 1.20   | Ok   | 6.12   | Ok |  |  |
| 40.00       | 0.02   | Ok   | 0.04  | Ok   | 0.31   | Ok   | 0.04   | Ok |  |  |

## 11 VERIFICA DELLE PIOLATURE

L'insieme dei connettori deve resistere alla forza di scorrimento totale V (longitudinal shear) risultante dal flusso degli sforzi di scorrimento tra la soletta in cls e la trave in acciaio. La forza di scorrimento totale V deve quindi equilibrare la risultante delle compressioni C della soletta.

I connettori presenti nel tratto compreso fra la sezione di momento nullo e la sezione di momento massimo (metà luce per trave semplicemente appoggiata con carico simmetrico) devono trasferire alla trave in acciaio la forza di scorrimento V. La resistenza dei connettori è determinata come il più piccolo dei seguenti valori [EC4 §6.3.2.1]

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{(f_{ck} E_{cm})} / \gamma_v$$

Con  $\alpha = 0,2 \cdot [(h / d) + 1]$  per  $3 \leq h / d \leq 4$

$\alpha = 1$  per  $h/d > 4$

h altezza del piolo

d diametro del singolo piolo

$f_u$  resistenza ultima a trazione del piolo ( $\leq 500$  N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ck}$  resistenza cilindrica caratteristica del cls considerato

$E_{cm}$  valore medio del modulo secante del cls

$\gamma_v = 1,25$  coeff. parziale di sicurezza

| SEZIONE DI APPOGGIO        |              |
|----------------------------|--------------|
| TAGLIO MAX [KN]            | <b>1,565</b> |
| Htot (m)                   | 2.55         |
| Asoletta (m <sup>2</sup> ) | 1.07         |
| Ssoletta (m)               | 0.30         |
| Yg (m)                     | 1.328        |
| S [m <sup>3</sup> ]        | 0.0707       |
| J [m <sup>4</sup> ]        | 0.1147       |
| q [kN/m]                   | 964.21       |
| i [m]                      | <b>0.20</b>  |
| n                          | <b>3</b>     |
| <b>Q [KN]</b>              | <b>64.3</b>  |

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Prd [N]                       | 64280.92    |
| gv                            | <b>1.25</b> |
| $f_u$                         | <b>450</b>  |
| Area piolo [mm <sup>2</sup> ] | 223.20      |
| Diametro Pioli                | 16.86       |
| Diametro Progetto             | <b>19</b>   |

| RESISTENZA DI UN PIOLO |       |
|------------------------|-------|
| $f_t$                  | 450   |
| $g_v$                  | 1.25  |
| F                      | 19    |
| $P_{rd,1}$ [KN]        | 81.61 |

| RESISTENZA DEL CLS |               |
|--------------------|---------------|
| a                  | 1             |
| CLS soletta        | <b>C32/40</b> |
| $F_{ck}$           | 33.20         |
| $E_c$              | 33643         |
| $P_{rd,2}$ [KN]    | 88.51         |

| RESISTENZA MINIMA |                      |
|-------------------|----------------------|
| $P_{rd\ min}$     | <b>81.61</b>         |
| Q [KN]            | 64.28                |
| VERIFICA          | Verifica soddisfatta |

## 12 VERIFICA SOLETTA IN DIREZIONE TRASVERSALE

### 12.1 Criteri di verifica

#### 12.1.1 Verifiche agli stati limite ultimi

##### 12.1.1.1 Sollecitazioni flettenti

La verifica di resistenza (SLU) è stata condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabolo-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ( $\sigma_{\max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$ );
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ( $\sigma_{\max} = f_{yk} / 1.15$ )

##### 12.1.1.2 Sollecitazioni taglianti

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" è stata calcolata con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" è stata calcolata con:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione;

$s_{cp}$  è la tensione media di compressione della sezione;

$A_{sw}$  è l'area dell'armatura trasversale;

$S$  è interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\theta$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$f'_{cd}$  è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd}=0.5f_{cd}$ );

$\alpha$  è un coefficiente maggiorativo pari ad 1 per membrature non compresse.

|   |   |                         |                       |                                  |                  |                           |
|---|---|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA - MANTOVA</b> |                         |                       |                                  |                  |                           |
| Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo                           | COMMESSA<br><b>NM25</b>   | LOTTO<br><b>03 D 26</b> | CODIFICA<br><b>CL</b> | DOCUMENTO<br><b>IV 00 07 001</b> | REV.<br><b>A</b> | FOGLIO<br><b>70 di 86</b> |

## 12.1.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

### 12.1.2.1 Verifica a fessurazione

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.4 del DM 17.1.2018, tenendo inoltre conto delle ulteriori prescrizioni riportate nel “Manuale di progettazione delle opere civili”.

Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture:

| Gruppi di esigenze | Condizioni ambientali | Combinazione di azioni | Armatura           |            |                |            |
|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------|----------------|------------|
|                    |                       |                        | Sensibile          |            | Poco sensibile |            |
|                    |                       |                        | Stato limite       | $w_d$      | Stato limite   | $w_d$      |
| a                  | Ordinarie             | frequente              | ap. fessure        | $\leq w_2$ | ap. fessure    | $\leq w_3$ |
|                    |                       | quasi permanente       | ap. fessure        | $\leq w_1$ | ap. fessure    | $\leq w_2$ |
| b                  | Aggressive            | frequente              | ap. fessure        | $\leq w_1$ | ap. fessure    | $\leq w_2$ |
|                    |                       | quasi permanente       | decompressione     | -          | ap. fessure    | $\leq w_1$ |
| c                  | Molto aggressive      | frequente              | formazione fessure | -          | ap. fessure    | $\leq w_1$ |
|                    |                       | quasi permanente       | decompressione     | -          | ap. fessure    | $\leq w_1$ |

Figura 21: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del DM 17.1.2018

Nella Tabella sopra riportata,  $w_1=0.2\text{mm}$ ,  $w_2=0.3\text{mm}$ ;  $w_3=0.4\text{mm}$ .

Più restrittivi risultano i limiti di apertura delle fessure riportati nel “Manuale di progettazione delle opere civili”. L’apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, deve risultare:

- $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 17.01.2018.

Risulta:

Per la soletta d’impalcato (intesa come zona non ispezionabile delle strutture):

- Stato limite di fessurazione:  $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$  - combinazione di carico rara

In accordo con la vigente normativa, il valore di calcolo di apertura delle fessure  $w_d$  è dato da:

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove  $w_m$  rappresenta l’ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d’armatura  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_m = \epsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\epsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati i criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

### 12.1.2.2 Verifica delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti, di seguito riportati.

Le prescrizioni riportate di seguito fanno riferimento al par. 2.5.1.8.3.2.1 del “Manuale di progettazione delle opere civili”.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 72 di 86 |

$\sigma_c < 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica (rara)

$\sigma_c < 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.

Per l'acciaio ordinario, la tensione massima  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

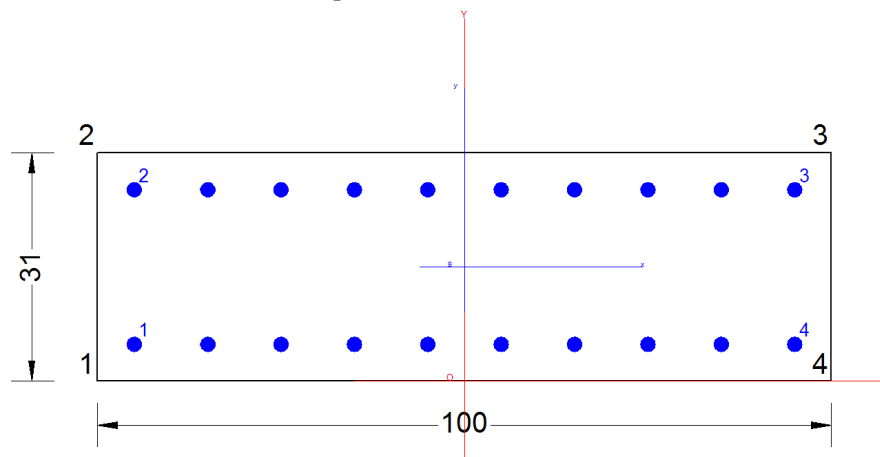
$\sigma_s < 0,75 f_{yk}$

dove  $f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

## 12.2 Verifiche SLU/SLE

Le soletta in c.a.p. in direzione trasversale è stata modellata ad ogni metro di impalcato in modo tale da avere una più facile lettura dei risultati delle analisi. Pertanto si sono svolte le verifiche considerando una sezione di base 1 m ed altezza 0.31 m. La soletta prevede un'armatura trasversale  $\phi 22/10$  inf. e  $\phi 22/10$  sup, copriferro 4 cm.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche a pressoflessione della soletta in calcestruzzo.



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |   |                            |
|----------------|---|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                   | C32/40                     |
|                | Resis. compr. di progetto $f_{cd}$ :      | 18.810 MPa                 |
|                | Def.unit. max resistenza $ec2$ :          | 0.0020                     |
|                | Def.unit. ultima $ecu$ :                  | 0.0035                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo        |
|                | Modulo Elastico Normale $E_c$ :           | 33643.0 MPa                |
|                | Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :       | 3.100 MPa                  |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|                | $Sc$ limite S.L.E. comb. Frequenti:       | 199.20 daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200 mm                   |
|                | $Sc$ limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:    | 0.00 Mpa                   |
|                | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200 mm                   |
| ACCIAIO -      | Tipo:                                     | B450C                      |
|                | Resist. caratt. snervam. $f_{yk}$ :       | 450.00 MPa                 |
|                | Resist. caratt. rottura $f_{tk}$ :        | 450.00 MPa                 |



Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 73 di 86 |

|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30           | MPa                 |
| Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30           | MPa                 |
| Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068            |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 31.0   |
| 3          | 50.0   | 31.0   |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -43.8  | 6.2    | 22        |
| 2       | -43.8  | 24.8   | 22        |
| 3       | 43.8   | 24.8   | 22        |
| 4       | 43.8   | 6.2    | 22        |

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 22 |
| 2      | 2            | 3            | 8       | 22 |

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

| N°Comb. | N    | Mx      | My   | Vy   | Vx   |
|---------|------|---------|------|------|------|
| 1       | 0.00 | 191.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2       | 0.00 | -188.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 74 di 86 |

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx      | My   |
|---------|------|---------|------|
| 1       | 0.00 | 141.00  | 0.00 |
| 2       | 0.00 | -117.00 | 0.00 |

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 141.00 (69.38)   | 0.00 (0.00) |
| 2       | 0.00 | -116.00 (-69.38) | 0.00 (0.00) |

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx              | My          |
|---------|------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 16.00 (69.38)   | 0.00 (0.00) |
| 2       | 0.00 | -91.00 (-69.38) | 0.00 (0.00) |

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N Res | Mx Res | My Res | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|---|----|----|-------|--------|--------|----------|---------|
|--------|-----|---|----|----|-------|--------|--------|----------|---------|

| Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo |   |      |         | COMMESSA    | LOTTO          | CODIFICA  | DOCUMENTO           | REV.     | FOGLIO          |
|---|---|------|---------|-------------|----------------|-----------|---------------------|----------|-----------------|
|   |   |      |         | <b>NM25</b> | <b>03 D 26</b> | <b>CL</b> | <b>IV 00 07 001</b> | <b>A</b> | <b>75 di 86</b> |
| 1   | S | 0.00 | 191.00  | 0.00        | 0.00           | 311.83    | 0.00                | 1.63     | 38.0(4.4)       |
| 2   | S | 0.00 | -188.00 | 0.00        | 0.00           | -311.83   | 0.00                | 1.66     | 38.0(4.4)       |

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| x/d    | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45           |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.292 | -50.0  | 31.0   | 0.00051 | 43.8   | 24.8   | -0.00847 | -43.8  | 6.2    |
| 2      | 0.00350 | 0.292 | -50.0  | 0.0    | 0.00051 | -43.8  | 6.2    | -0.00847 | 43.8   | 24.8   |

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

|         |   |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.    |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue               |

| N°Comb | a           | b            | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|--------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000482753  | -0.011465355 | 0.292 | 0.805  |
| 2      | 0.000000000 | -0.000482753 | 0.003500000  | 0.292 | 0.805  |

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

|                |   |
|----------------|---|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata                                  |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]           |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)         |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                    |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)       |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 9.01   | -50.0  | 31.0   | -181.4 | -34.1  | 6.2    | 700     | 38.0    |
| 2      | S   | 7.47   | 50.0   | 0.0    | -150.5 | 24.3   | 24.8   | 700     | 38.0    |

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 9.01   | -50.0  | 31.0   | -181.4 | -34.1  | 6.2    | 700     | 38.0    |
| 2      | S   | 7.41   | 50.0   | 0.0    | -149.2 | 34.1   | 24.8   | 700     | 38.0    |

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

|      |  |
|------|--|
| Ver. | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$                              |
| e1   | Esito della verifica   |
| e2   | Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  |
| k1   | Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2] |

**Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo**

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 76 di 86 |

|             |  |
|-------------|--|
| kt          | = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  |
| k2          | = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]   |
| k3          | = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  |
| k4          | = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  |
| Ø           | Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]   |
| Cf          | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  |
| e sm - e cm | Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]<br>Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC] |
| sr max      | Massima distanza tra le fessure [mm]   |
| wk          | Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max \cdot (e\_sm - e\_cm)$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi   |
| Mx fess.    | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  |
| My fess.    | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]  |

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00130 | 0  | 0.500 | 22.0 | 51 | 0.00068 (0.00054) | 242    | 0.165 (0.20) | 69.38   | 0.00    |
| 2     | S   | -0.00107 | 0  | 0.500 | 22.0 | 51 | 0.00052 (0.00045) | 242    | 0.126 (0.20) | -69.38  | 0.00    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 1.02   | -50.0  | 31.0   | -20.6  | -34.1  | 6.2    | 700     | 38.0    |
| 2      | S   | 5.81   | 50.0   | 0.0    | -117.1 | 34.1   | 24.8   | 700     | 38.0    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00015 | 0  | 0.500 | 22.0 | 51 | 0.00006 (0.00006) | 242    | 0.015 (0.20) | 69.38   | 0.00    |
| 2     | S   | -0.00084 | 0  | 0.500 | 22.0 | 51 | 0.00043 (0.00035) | 242    | 0.105 (0.20) | -69.38  | 0.00    |

**VERIFICA A TAGLIO**

**SEZIONE**

|      |     |           |
|------|-----|-----------|
| bw = | 100 | cm        |
| h =  | 31  | cm        |
| c =  | 6.3 | cm        |
| d =  | h-c | = 24.7 cm |

**MATERIALI**

|        |               |           |
|--------|---------------|-----------|
| fywd = | 391.30        | MPa       |
| Rck =  | 40            | MPa       |
| gc =   | 1.5           |           |
| fck =  | 0.83xRck =    | 33.2 MPa  |
| fcd =  | 0.85xfck/gc = | 18.81 MPa |

**ARMATURE A TAGLIO**

|           |    |
|-----------|----|
| øst =     | 12 |
| braccia = | 5  |

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 77 di 86 |

$\varnothing_{st2}$  = 0  
 braccia = 0  
 passo = 20 cm  
 (Asw / s) = 28.274 cm<sup>2</sup> / m  
 a = 90 ° (90° staffe verticali)

TAGLIO AGENTE **VEd = 185 (KN)**  
 SFORZO NORMALE **Ned = 0 (KN)**  
 ac = 1.0000

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di cot q

cot(q) = 2.74

q = 20.06 °

IPOSTESI:  $1 \leq \cot q \leq 2.5$  Rottura bilanciata VRsd=VRcd

VRsd = 673.66 (KN)

VRcd = 673.66 (KN)

VRd = **674 (KN)**  $\min(VRsd, VRcd) > VEd = 185 (KN)$

### 13 VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ

La verifica allo stato limite di deformazione è stata condotta imponendoci i limiti massimi in relazione alle esigenze del traffico, all'aspetto della struttura, nonché dei vincoli e dei dispositivi di giunto previsti in progetto. Il limite di deformabilità per carichi fissi è stato imposto pari a  $L/500$ , recuperabili tramite una controfreccia iniziale. Il limite di deformabilità per carichi mobili è invece stato imposto con un valore più restrittivo pari a  $L/700$  in quanto le deformazioni della struttura non devono arrecare disturbo al transito dei carichi mobili come indicato in §5.1.4.5 del D.M. 17.01.2018.

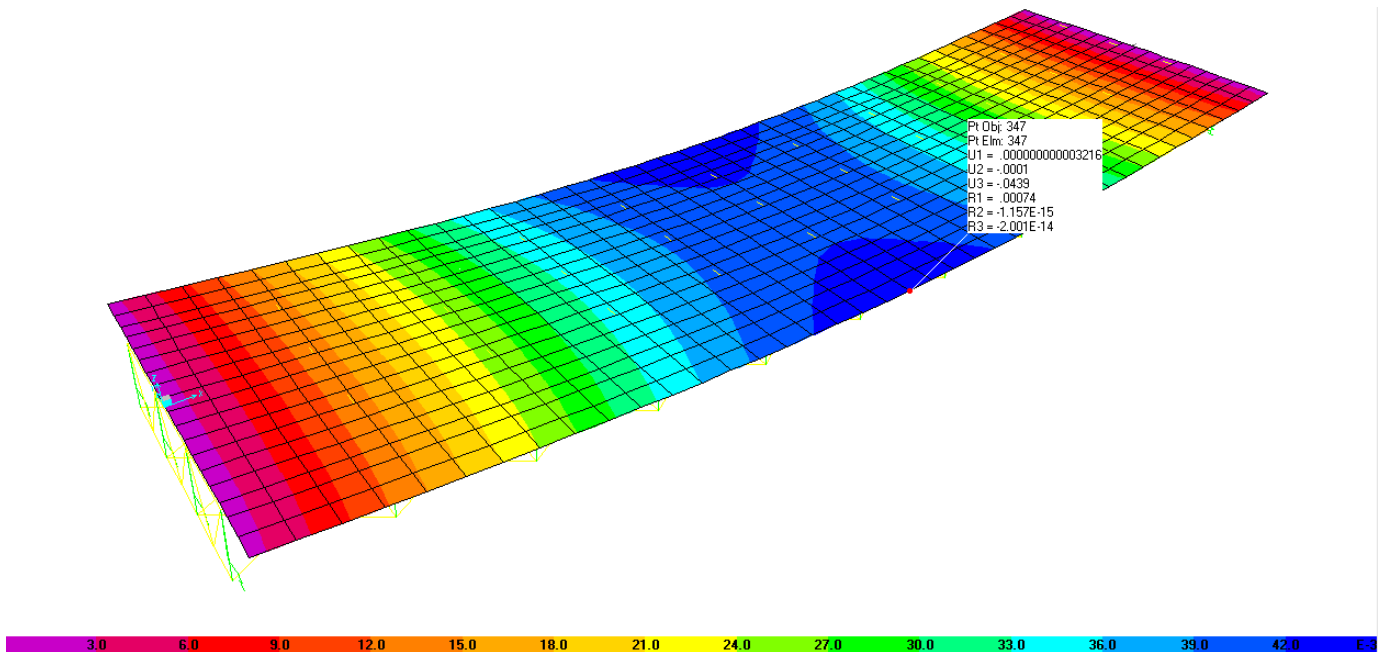
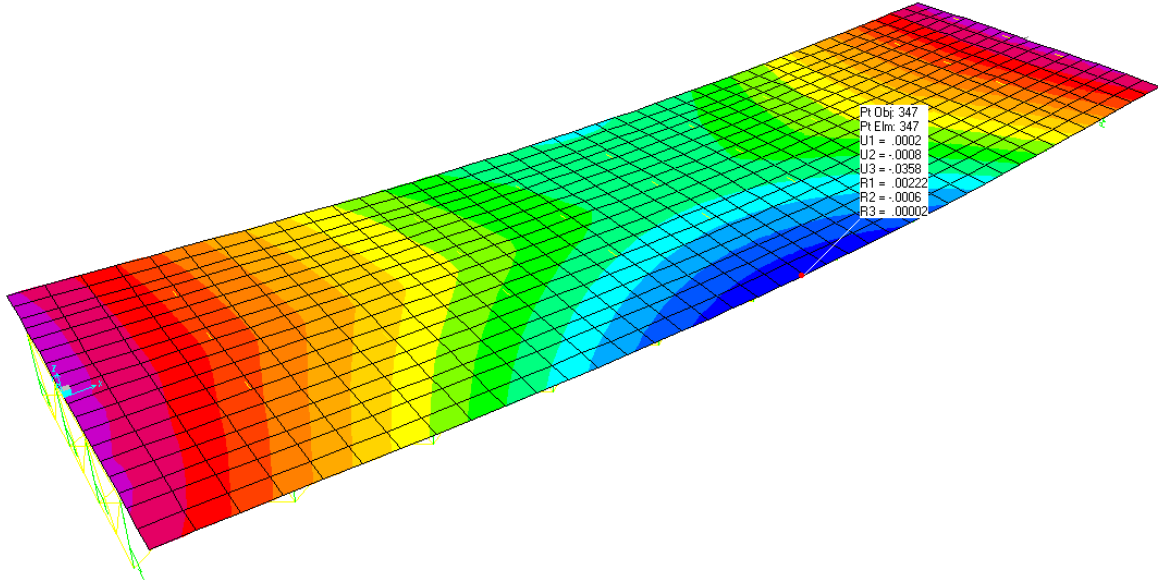


Figura 22 Deformata carichi istantanei

Il massimo valore di abbassamento è pari a  $d_{zmax}=0.0439 \text{ m} = 1/911 \text{ L}$ .

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 79 di 86 |



*Figura 23 Deformata carichi mobili*

Il massimo valore di abbassamento è pari a  $d_{zmax}=0.0358 \text{ m} = 1/1117 \text{ L}$ .



**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA  
TRATTA PIADENA - MANTOVA**

Impalcato stradale L=40 m tipo 1 - Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|---------|----------|--------------|------|----------|
| NM25     | 03 D 26 | CL       | IV 00 07 001 | A    | 80 di 86 |



## 14 ANALISI SISMICA

Il sistema di isolamento adottato consiste di 4 dispositivi elastomerici ad alto smorzamento tipo HDRB. La struttura isolata ha un periodo pari a 1.94 sec e presenta uno spostamento massimo in fase sismica di 10cm. Lo smorzamento viscoso equivalente  $\xi$  è pari al 10%. Il progetto della struttura è stato eseguito tramite analisi dinamica lineare con riferimento allo spettro elastico, assumendo  $q=1$ .

Per tener conto dell'effetto di smorzamento viscoso equivalente degli isolatori si è utilizzato il fattore correttivo  $\eta$  determinato dalla seguente espressione:

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$

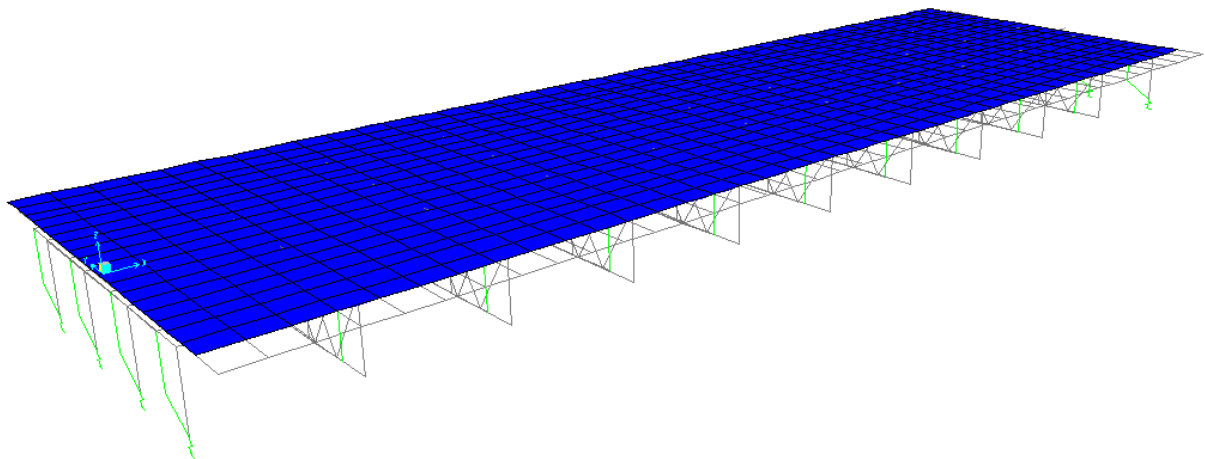
in cui  $\xi$  esprime lo smorzamento viscoso, pari al 15%, pertanto il fattore  $\eta$  è uguale a 0.816.

Il modello è tridimensionale e rappresenta in modo puntuale le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza. Nell'analisi svolta si sono eseguiti i seguenti step:

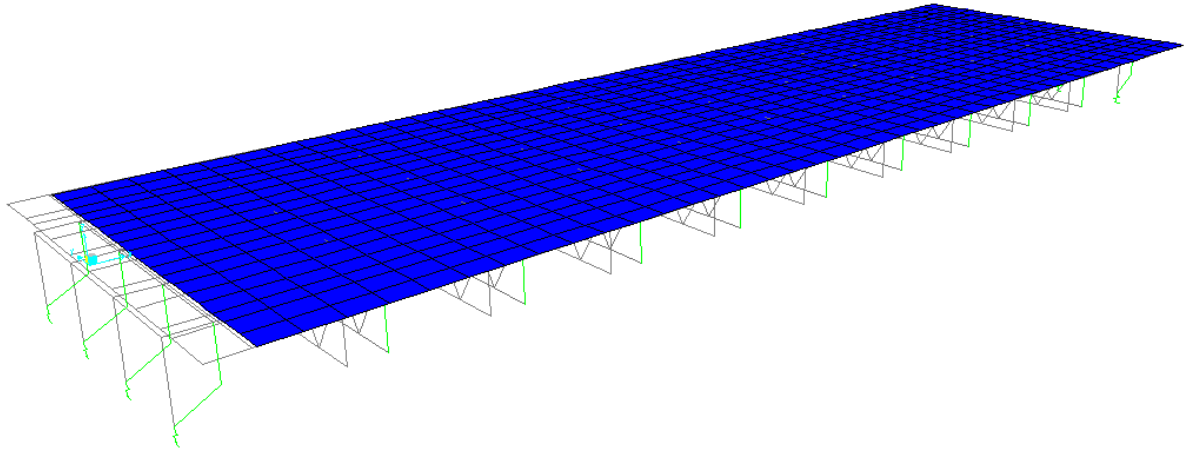
- determinazione dei modi di vibrare del ponte (analisi modale),
- calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto per ciascuno dei modi di vibrare;
- combinazione degli effetti.

È stato considerato un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%. Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi è stata utilizzata la combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo (SRSS). Si riportano nelle figure seguenti le deformate corrispondenti ai primi 2 modi.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - Period 1.93862



*Figura 24: Modo 1: T=1.94 sec (Trasversale)*



*Figura 25: Modo 2: T=1.93sec (Longitudinale)*

Si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

Sisma Longitudinale:  $E_x + 0.3 E_y + 0.3 E_z$

Sisma Trasversale:  $0.3 E_x + E_y + 0.3 E_z$

Sisma Verticale:  $0.3 E_x + 0.3 E_y + E_z$

dove la direzione x è parallela all'asse longitudinale del ponte e la direzione y all'asse trasversale.

#### 14.1 Dimensionamento del sistema di isolamento

La presenza dei dispositivi di isolamento è stata simulata mediante elementi lineari (Link) che riproducono il comportamento dei dispositivi adottati, posizionati in corrispondenza degli appoggi delle travi.

Il sistema di isolamento sismico adottato consiste di dispositivi a geometria circolare, pertanto la rigidezza laterale è polarsimmetrica ( $k_{hx}=k_{hy}$ )

La rigidezza laterale degli isolatori può essere determinata considerando le seguenti relazioni:

$$T_{\text{isol}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$k = \left( \frac{2\pi}{T_{\text{isol}}} \right)^2 m$$

in cui

$m$  = massa dell'impalcato = 875 ton

$T$  = 2.00 sec

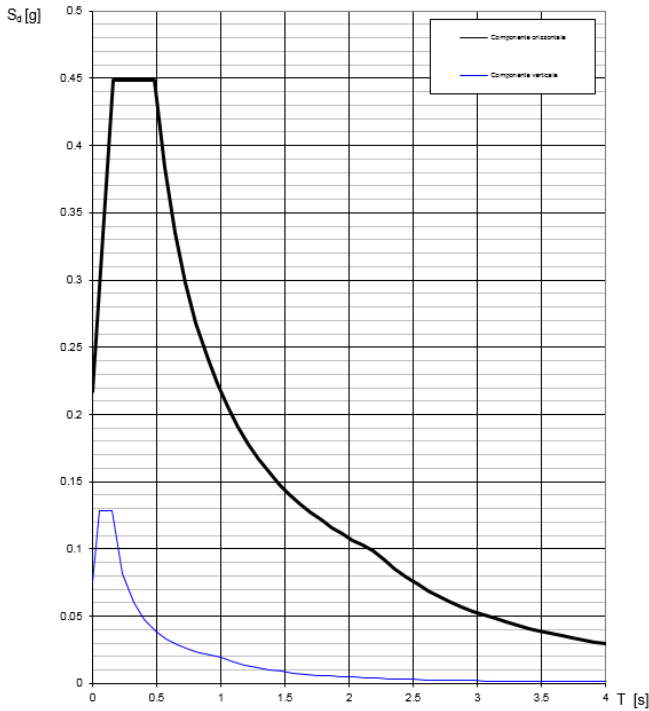
$k$  = rigidezza totale degli isolatori = 8636 kN/m

Considerando che nel ponte sono presenti 8 isolatori, la rigidezza  $k_i$  di ciascun isolatore è pari 1,08 kN/mm. Sono stati quindi adottati isolatori con rigidezza  $k_{hx}=k_{hy}=1,01$ kN/mm e rigidezza verticale pari a circa  $k_v=1368000$ kN/mm. Nella modellazione non sono stati inseriti smorzatori in quanto gli effetti dello smorzamento sono stati implicitamente considerati nella valutazione dell'azione sismica scalata per effetto del valore del fattore correttivo  $\eta$ .

## 14.2 Analisi dei risultati: sisma SLC-SLV

Si riporta gli spettri relativi allo SLC e allo SLV, corrispondente ad uno smorzamento  $\xi$  pari al 10%.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

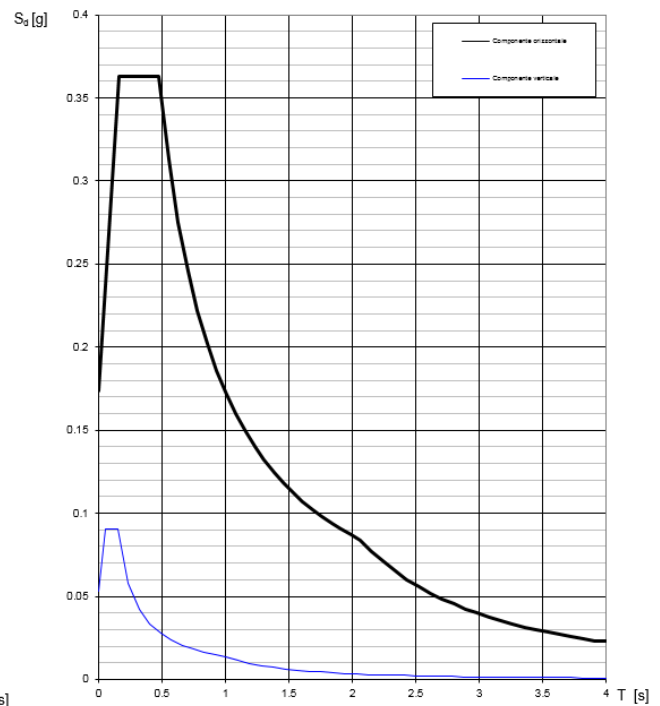


Figura 26 - Spettri elastici dell'accelerazione orizzontale e verticale (SLC-SLV -  $\xi$  pari al 10%)

I dispositivi di isolamento sono stati verificati in modo da poter sostenere senza rotture gli spostamenti indotti dal sisma allo SLC. Nel caso del sisma longitudinale, il massimo spostamento longitudinale risulta pari a 0.125m.

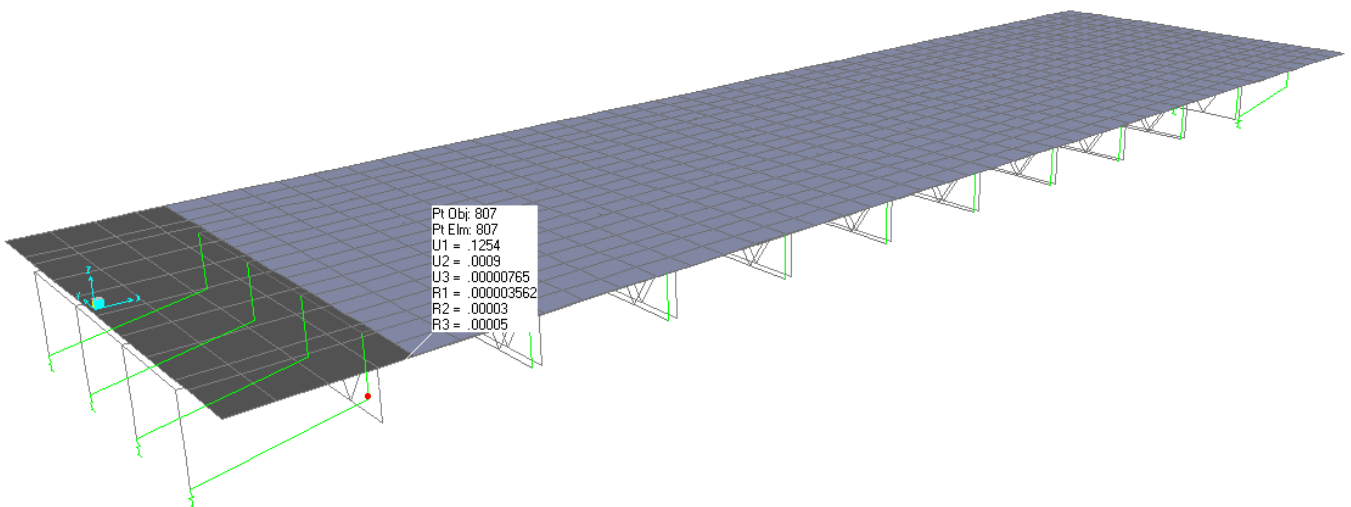


Figura 27 Spostamento longitudinale sisma SLC

### 14.3 Verifica degli spostamenti degli isolatori

L'impalcato subisce sotto l'azione sismica uno spostamento massimo pari a circa 0.10m. Per effetto della temperatura, considerando una variazione termica uniforme di  $\pm 37.5^\circ$ , ottenuta incrementando del 50% la variazione di temperatura prevista per le strutture in acciaio esposte, e considerando che gli spostamenti sono consentiti da entrambe le estremità del ponte, si ottiene uno spostamento pari a :

$$\eta = \alpha \Delta t L = 8 \text{ mm}$$

Poiché nella combinazione sismica gli effetti della temperatura sono valutati con un coefficiente pari a 0.5, lo spostamento totale risulta pari a circa  $\pm 13\text{cm}$ .

Sono stati previsti isolatori che consentono spostamenti massimi pari a  $\pm 15\text{cm}$ .

### 14.4 Verifica dei giunti

Sono stati previsti giunti in corrispondenza delle spalle che consentono spostamenti da  $\pm 15\text{cm}$ .

**15 SINTESI SCARICHI APPOGGI**

| CASI DI CARICO |                                    | ISOLATORE 1 |     |     | ISOLATORE 2 |     |     | ISOLATORE 3 |     |     | ISOLATORE 4 |     |     |
|----------------|------------------------------------|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
| Sigla          | Tipologia                          | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  |
| -              | -                                  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  |
| G1             | Carichi permanenti strutturali     | 653         | 0   | 0   | 636         | 0   | 0   | 636         | 0   | 0   | 653         | 0   | 0   |
| G2             | Carichi permanenti non strutturali | 202         | 0   | 0   | 202         | 0   | 0   | 202         | 0   | 0   | 202         | 0   | 0   |
| Q1             | Carichi mobili                     | 1284        | 0   | 0   | 1153        | 0   | 0   | 832         | 0   | 0   | 649         | 0   | 0   |
| Q3             | Frenamento                         | 0           | 0   | 61  | 0           | 0   | 59  | 0           | 0   | 58  | 0           | 0   | 57  |
| Q5             | Vento                              | 0           | 35  | 0   | 0           | 35  | 0   | 0           | 35  | 0   | 0           | 35  | 0   |
| Q7             | Azioni parassite                   | 0           | 0   | 42  | 0           | 0   | 42  | 0           | 0   | 42  | 0           | 0   | 42  |
| EX             | Sisma X                            | 0           | 0   | 102 | 0           | 0   | 102 | 0           | 0   | 102 | 0           | 0   | 102 |
| EY             | Sisma Y                            | 0           | 102 | 0   | 0           | 102 | 0   | 0           | 102 | 0   | 0           | 102 | 0   |