

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

## U.O. ARCHITETTURA STAZIONI E TERRITORIO

### PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA

TRATTA PIADENA- MANTOVA

FV13 – STAZIONE DI MARCARIA

OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE

Relazione di calcolo pensilina ferroviaria a singolo pilastro

SCALA:

-

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

N M 2 5    0 3    D    4 4    C L    F V 1 3 0 0    0 0 1    A

| Rev. | Descrizione         | Redatto       | Data           | Verificato     | Data           | Approvato         | Data           | Autorizzato   | Data           |
|------|---------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|
| A    | Emissione esecutiva | F. Serrau<br> | Aprile<br>2020 | M. De Vita<br> | Aprile<br>2020 | M. Berlingeri<br> | Aprile<br>2020 | R. Marino<br> | Aprile<br>2020 |
|      |                     |               |                |                |                |                   |                |               |                |
|      |                     |               |                |                |                |                   |                |               |                |
|      |                     |               |                |                |                |                   |                |               |                |

ITALFERR S.p.A.  
U.O. ARCHITETTURA STAZIONI E TERRITORIO  
Arch. Raffaele Marino  
Ordine degli Architetti di Roma  
N° 23193

File: NM2503D44CLFV130001A

n. Elab.:

## INDICE

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 1     | PREMESSA .....                                       | 5         |
| 2     | SCOPO DEL DOCUMENTO .....                            | 5         |
| 3     | DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....                  | 6         |
| 3.1   | NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....                       | 6         |
| 3.2   | ELABORATI DI RIFERIMENTO .....                       | 8         |
| 4     | MATERIALI .....                                      | 9         |
| 4.1   | ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA (S275) .....        | 9         |
| 4.2   | TIRAFONDI.....                                       | 9         |
| 4.3   | BULLONI.....   | 10        |
| 4.4   | ALLETTAMENTO PIASTRA DI BASE.....                    | 10        |
| 4.5   | SALDATURE .....                                      | 10        |
| 5     | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....              | 11        |
| 5.1   | VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....                    | 11        |
| 5.2   | PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....              | 12        |
| 5.3   | CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA..... | 13        |
| 6     | DESCRIZIONE DELL'OPERA.....                          | 14        |
| 6.1   | GENERALITÀ.....                                      | 14        |
| 6.2   | UNITÀ DI MISURA.....                                 | 16        |
| 6.3   | MODELO DI CALCOLO .....                              | 16        |
| 6.3.1 | <i>Codice di calcolo.....</i>                        | <i>16</i> |
| 6.3.2 | <i>Affidabilità dei codici di calcolo .....</i>      | <i>16</i> |
| 6.3.3 | <i>Informazioni generali sull'elaborazione.....</i>  | <i>16</i> |
| 6.3.4 | <i>Tipo di analisi svolta .....</i>                  | <i>16</i> |
| 6.4   | ANALISI DEI CARICHI.....                             | 21        |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.4.1 | <i>Peso proprio della struttura</i> .....                         | 21 |
| 6.4.2 | <i>Carichi permanenti non strutturali</i> .....                   | 21 |
| 6.4.3 | <i>Carichi variabili</i> .....                                    | 21 |
| 6.4.4 | <i>Azione termica</i> .....                                       | 21 |
| 6.4.5 | <i>Carico della neve sulla copertura</i> .....                    | 21 |
| 6.4.6 | <i>Azione del vento</i> .....                                     | 23 |
| 6.4.7 | <i>Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei treni</i> ..... | 29 |
| 6.4.8 | <i>Carichi di pali TE (Tensione Elettrica)</i> .....              | 34 |
| 6.4.9 | <i>Azione sismica</i> .....                                       | 35 |
| 6.5   | COMBINAZIONI DI CARICO.....                                       | 39 |
| 7     | RISULTATI ANALISI.....  | 50 |
| 7.1   | RISULTATI DELL'ANALISI MODALE .....                               | 50 |
| 7.2   | STATI LIMITE ULTIMO (SLU).....                                    | 51 |
| 7.2.1 | <i>Inviluppo diagrammi delle sollecitazioni di progetto</i> ..... | 51 |
| 7.3   | STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) .....                             | 56 |
| 8     | CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI.....                | 56 |
| 9     | VERIFICHE DELLE MEMBRATURE METALLICHE.....                        | 57 |
| 9.1   | VERIFICHE DELLE COLONNE HEB360.....                               | 58 |
| 9.2   | VERIFICHE DELLE MENSOLE (H400x300) .....                          | 60 |
| 9.3   | VERIFICHE DELLE TRAVI LONGITUDINALI HEA260 .....                  | 62 |
| 9.4   | VERIFICHE DEGLI ARCARECCI IPE 180.....                            | 64 |
| 9.5   | VERIFICHE DEI CONTROVENTI 2xL70x70x7 .....                        | 66 |
| 9.6   | VERIFICHE TABELLE OUTPUT COMPLETE.....                            | 68 |
| 10    | VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ.....                                   | 69 |
| 10.1  | VERIFICHE DI SPOSTAMENTI VERTICALI .....                          | 69 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 10.2 | VERIFICHE DI SPOSTAMENTI LATERALI.....   | 71  |
| 10.3 | VERIFICHE DI RIGIDEZZA.....  | 74  |
| 10.4 | VERIFICHE DI BUCKLING SENCONDO LA CIRCOLARE APPLICATIVA C4.2.3.4.....              | 77  |
| 10.5 | VERIFICHE DEGLI EFFETTI DELLE NON-LINEARITÀ GEOMETRICHE SECONDO NTC18 §7.3.1 ..... | 79  |
| 10.6 | VERIFICHE DEL GIUNTO STRUTTURALE .....   | 80  |
| 11   | VERIFICA DEI TIRAFONDI.....  | 82  |
| 11.1 | VERIFICHE DELL'ACCIAIO .....   | 82  |
| 11.2 | VERIFICHE NEL CLS.....   | 100 |

|   |  |             |                  |                          |           |                    |
|---|--|-------------|------------------|--------------------------|-----------|--------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |             |                  |                          |           |                    |
| OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO                       | COMMESSA<br><b>NM25</b>  | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 | REV.<br>A | FOGLIO<br>5 di 103 |

## 1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del Raddoppio linea Codogno – Cremona – Mantova, tratta Piadena - Mantova. Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento alle pensiline previste in corrispondenza della fermata “Marcaria”.

La descrizione degli interventi che segue è da leggersi congiuntamente all'analisi degli elaborati di progetto a cui si fa riferimento implicito.

La presente relazione si riferisce alle opere civili previste per la realizzazione della fermata ferroviaria “Marcaria”.

Le opere strutturali previste possono differenziarsi in base alla loro tipologia come:

- Pensilina metallica ad un pilastro, disposta a protezione di una parte della banchina
- Pensilina metallica a due pilastri, disposta a protezione di una parte della banchina in corrispondenza del sottopasso.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha per oggetto il calcolo strutturale delle pensiline da realizzarsi nell'ambito dell'intervento Raddoppio della linea Codogno – Cremona – Mantova, in particolare la stazione ferroviaria di “Marcaria”.

|   |  |                         |             |                  |                          |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 |

### 3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normativa di riferimento

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951 – Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086”;
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64, recante provvedimenti per le costruzioni co particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n.7 - Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- UNI ENV 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- RFI DTC INC PO SP IFS 003 A Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- RFI DTC INC CS LG IFS 001 A Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra
- RFI DTC INC PO SP IFS 002 A Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- RFI DTC INC PO SP IFS 004 A Specifica per la progettazione e l’esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo
- RFI DTC INC PO SP IFS 005 A Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia
- *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/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;*
- *Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la "sicurezza nelle gallerie ferroviarie" del sistema ferroviario dell'Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019*
- *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, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019*
- *Regolamento (UE) N. 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 modificata con la Rettifica del 15 giugno 2016 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*
- *REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/772 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica il regolamento (UE) n. 1300/2014 per quanto riguarda l'inventario delle attività al fine di individuare le barriere all'accessibilità, fornire informazioni agli utenti e monitorare e valutare i progressi compiuti in materia di accessibilità.*
- *REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/776 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.*



## 4 MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione delle strutture oggetto di calcolo nell'ambito del presente documento:

### 4.1 Acciaio da carpenteria metallica (S275)

| ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA - Rif. 4.1.4.1 e 11.3.4 NTC   |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Classe Acciaio</b>  | S  | <input type="text" value="275"/>   |  |
| <b>Modulo di elasticità</b>                                    | $E_f =$  | <input type="text" value="210000"/>  | N/mm <sup>2</sup>  |
| <b>Modulo di Poisson:</b>                                      | $\nu =$  | <input type="text" value="0.3"/>   |  |
| <b>Coefficiente di dilatazione lineare</b>                     | $\alpha =$   | <input type="text" value="0.00001"/>   | °C <sup>-1</sup>   |
| <b>Modulo di elasticità trasversale</b>                        | $G =$  | <input type="text" value="80769"/>   | N/mm <sup>2</sup>  |
| <b>Densità</b>   | $\gamma =$   | <input type="text" value="7850"/>  | Kg/m <sup>3</sup> = <input type="text" value="76.98"/> KN/m <sup>3</sup> |
| <b>Spessore massimo elementi</b>                               |  | <input type="text" value="&lt;40"/>  | mm   |
| <b>Tensione caratteristica allo snervamento:</b>               | $f_{yk} =$   | <input type="text" value="275"/>   | N/mm <sup>2</sup>  |
| <b>Tensione caratteristica di rottura:</b>                     | $f_{tk} =$   | <input type="text" value="430"/>   | N/mm <sup>2</sup>  |
| Coefficienti parziali per le verifiche agli SLU:               |  |  |  |
| <b>[<math>\gamma_{m0}</math>]</b><br>Resistenza sezioni cl 1-4 | <b>[<math>\gamma_{m1}</math>]</b><br>Instabilità<br>membrature | <b>[<math>\gamma_{m1}</math>]</b><br>Instabilità<br>membrature ponti ferr. e<br>strad. | <b>[<math>\gamma_{m2}</math>]</b><br>Resistenza sezioni forate           |
| 1.05   | 1.05   | 1.10   | 1.25   |

Classe di esecuzione (UNI EN 1090, RFI DTC SI PS SP IFS 002 B): EXC2

### 4.2 Tirafondi

- Barre interamente filettate con filettatura metrica ISO a passo grosso, di caratteristiche meccaniche equivalenti alla classe 8.8 secondo UNI EN ISO 898 parte I
- dadi con caratteristiche Meccaniche equivalenti alla classe 8 secondo UNI EN 898 parte II conformi per le caratteristiche dimensionali alla ISO 4032
- rondelle in acciaio temperato e rinvenuto HV 300 conformi per le caratteristiche dimensionali alla UNI EN ISO 7089

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

### 4.3 Bulloni

- Caratteristiche meccaniche: classe 8.8 secondo UNI EN ISO 898 parte I
- Dadi con caratteristiche meccaniche equivalenti alla classe 8 secondo UNI EN 898 parte II conformi per le caratteristiche dimensionali alla ISO 4032
- Rondelle in acciaio temperato e rinvenuto HV 300 conformi per le caratteristiche dimensionali alla UNI EN ISO 7089

#### NOTE:

- i bulloni dovranno essere montati con una rosetta sotto la testa e sotto il dado
- i tirafondi dovranno essere montati con una rosetta sotto il dado
- i tirafondi dovranno essere montati con dado e controdado. Qualora il controdado non fosse compatibile con la geometria e gli ingombri del collegamento, si dovranno prevedere dadi ribassati o idonei dispositivi di antisvitamento.

### 4.4 Allettamento piastra di base

Realizzato con malta tipo Emaco S55 o equivalente.

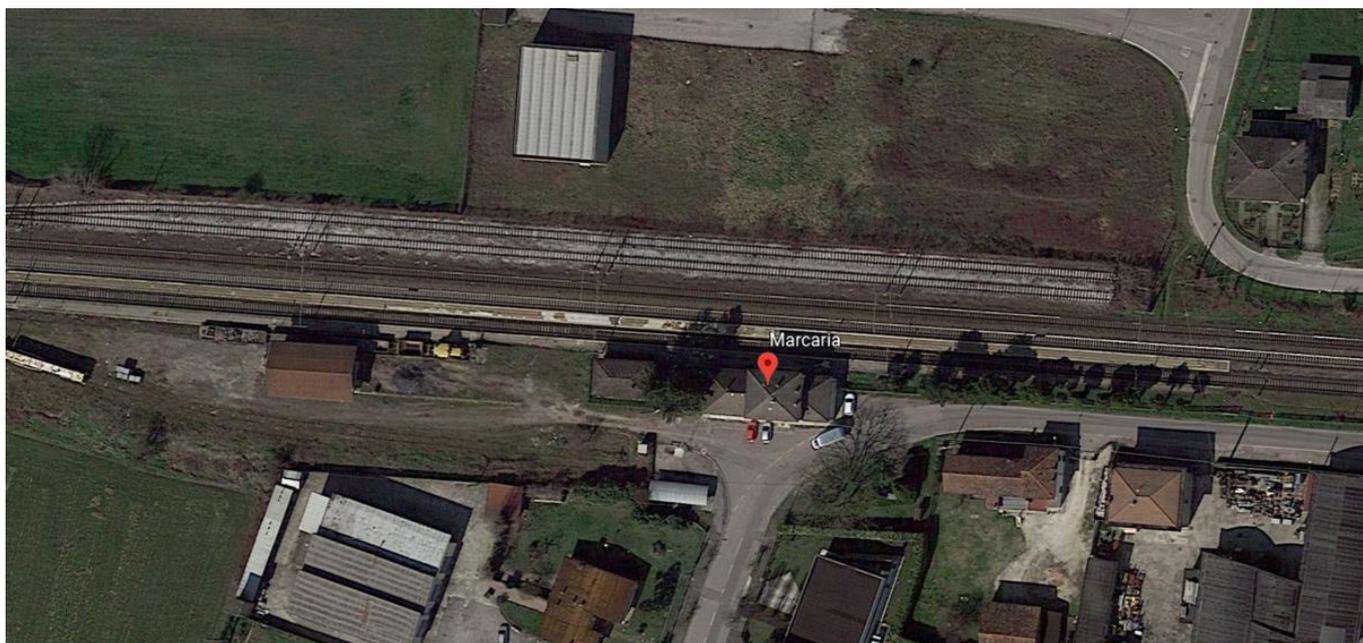
### 4.5 Saldature

Procedimenti di saldatura omologati e qualificati (tipo automatico ad arco sommerso o altri che verranno concordati e accettati dall'ente appaltante) conformi a RFI DTC SI SP IFS 001 D, capitolo 6.6.7 e UNI EN 1090-2.

|   |  |                         |             |                  |                          |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 |

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.



*Figura 1 – Configurazione planimetrica tracciato*

Le coordinate del sito sono:

45°07'28"N

10°32'00"E

### 5.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale (VN), 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, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso (CU).

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $VN = 50$  anni. Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_u = 1.5$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ , ovvero:

|  |  |                         |             |                  |                          |
|--|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |
|  | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 |

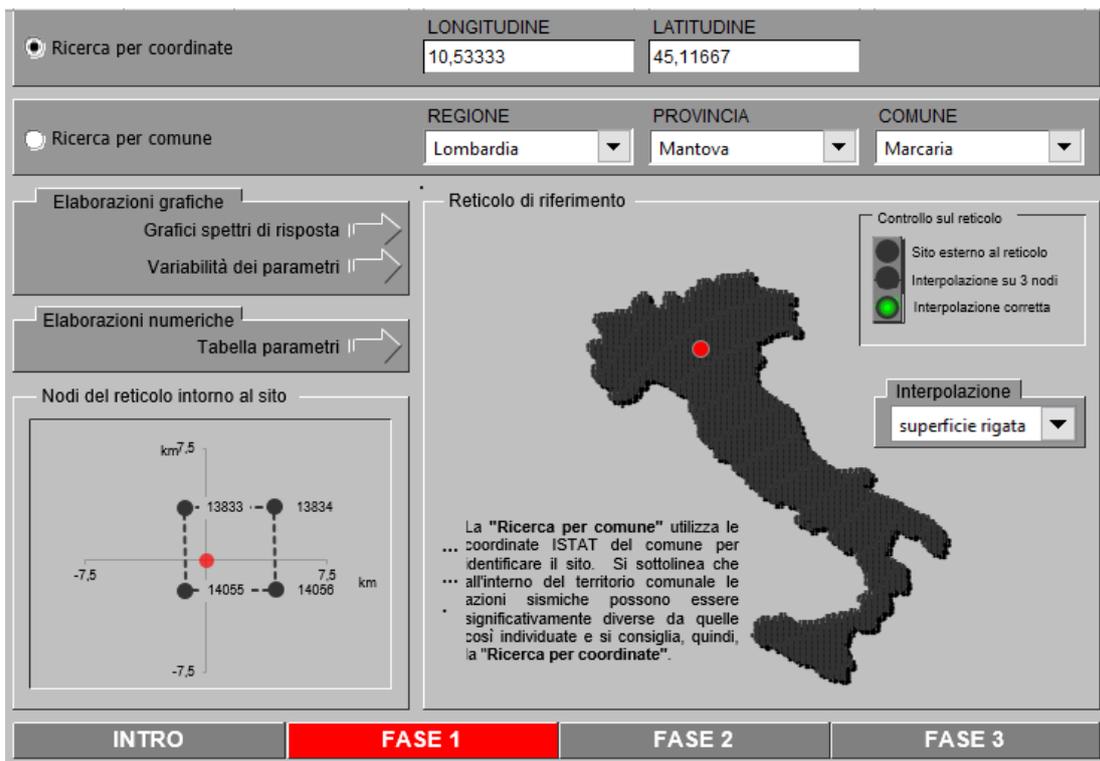
$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

## 5.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17.01.2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 17-0118, si ottiene per il sito in esame:



LONGITUDINE: 10,53333      LATITUDINE: 45,11667

REGIONE: Lombardia      PROVINCIA: Mantova      COMUNE: Marcaria

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

km 7.5

13833    13834

-7.5    7.5

14055    14056

-7.5

km

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

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

INTRO      **FASE 1**      FASE 2      FASE 3

| SLATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 45              | 0,037        | 2,568        | 0,243          |
| SLD          | 75              | 0,045        | 2,560        | 0,269          |
| SLV          | 712             | 0,093        | 2,606        | 0,317          |
| SLC          | 1462            | 0,118        | 2,583        | 0,324          |

|   |  |                         |             |                  |                          |           |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |           |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 | REV.<br>A |

*Tabella di riepilogo Parametri di pericolosità sismica*

### 5.3 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Le Categoria di Sottosuolo e le Condizioni Topografiche sono valutate come descritte al punto 3.2.2 del DM 17.01.18. Per il caso in esame si è assunta una categoria di sottosuolo di tipo C e una classe Topografica T1.

## 6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 6.1 Generalità

La presente relazione ha per scopo il dimensionamento della pensilina a singolo pilastro in corrispondenza della stazione ferroviaria di Marcaria. La struttura metallica è composta da una struttura intelaiata, che si estende per 16 assi strutturali, disposte ad un interasse di 4.45 m tra di loro. In corrispondenza al sottopasso di progetto, l'interasse è pari a 9.96m. La lunghezza totale della struttura è pari a circa 75m, di cui si possono distinguere tre tipologie strutturali distinte, le cui sezioni trasversali sono espone nelle figure seguenti. Scopo della presente relazione è la tipologia a singolo pilastro in corrispondenza delle assi strutturali 1-4 e 13-16.

La tipologia in esame consiste di una struttura intelaiata a mensola simmetrica (circa 3.9m), che si estende tra le assi strutturali 1-4 e 13-16. In direzione trasversale la struttura è composta da un pilastro HEB360 per asse, su cui appoggiano le travi principali, incastrate nel pilastro, le cui sezioni sono del tipo composto, e sviluppano un'altezza massima pari a 400mm. I pilastri appoggiano su plinti di fondazione di dimensioni pari a 2.0x2.0x0.6m. In direzione longitudinale, i pilastri sono uniti in testa tramite una trave secondaria HEA260. Il nodo strutturale di unione tra trave secondaria e pilastro è del tipo rigido in direzione longitudinale. Sulle travi principali, longitudinalmente appoggiano arcarecci IPE180 ogni 1.0-1.3m circa. La connessione è incernierata su tutti gli arcarecci, tranne quelli bordo, per i quali è stata adotta una connessione rigida.

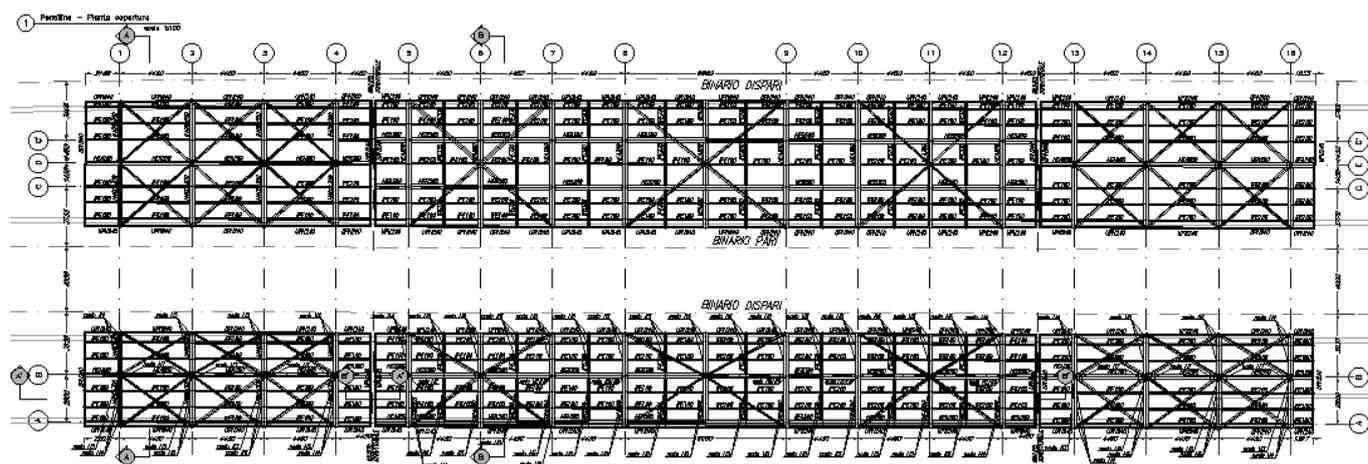


Figura 2 – Inquadramento planimetrico

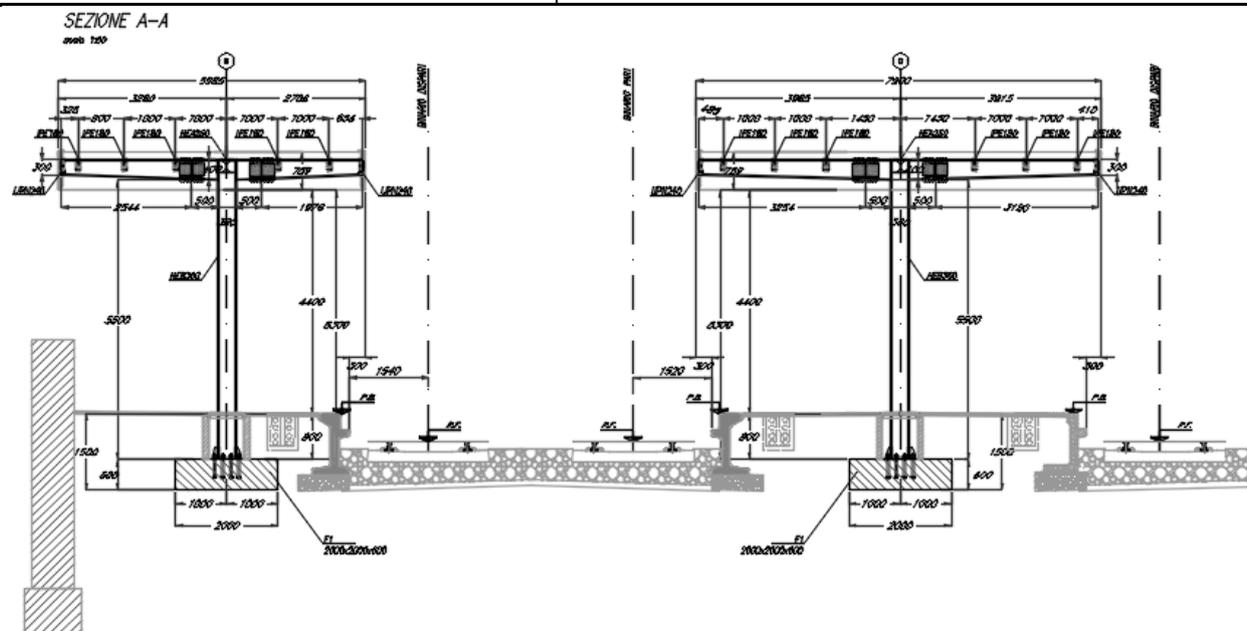


Figura 3 – Sezione trasversale

**SEZIONE A'-A'**

scala 1:50

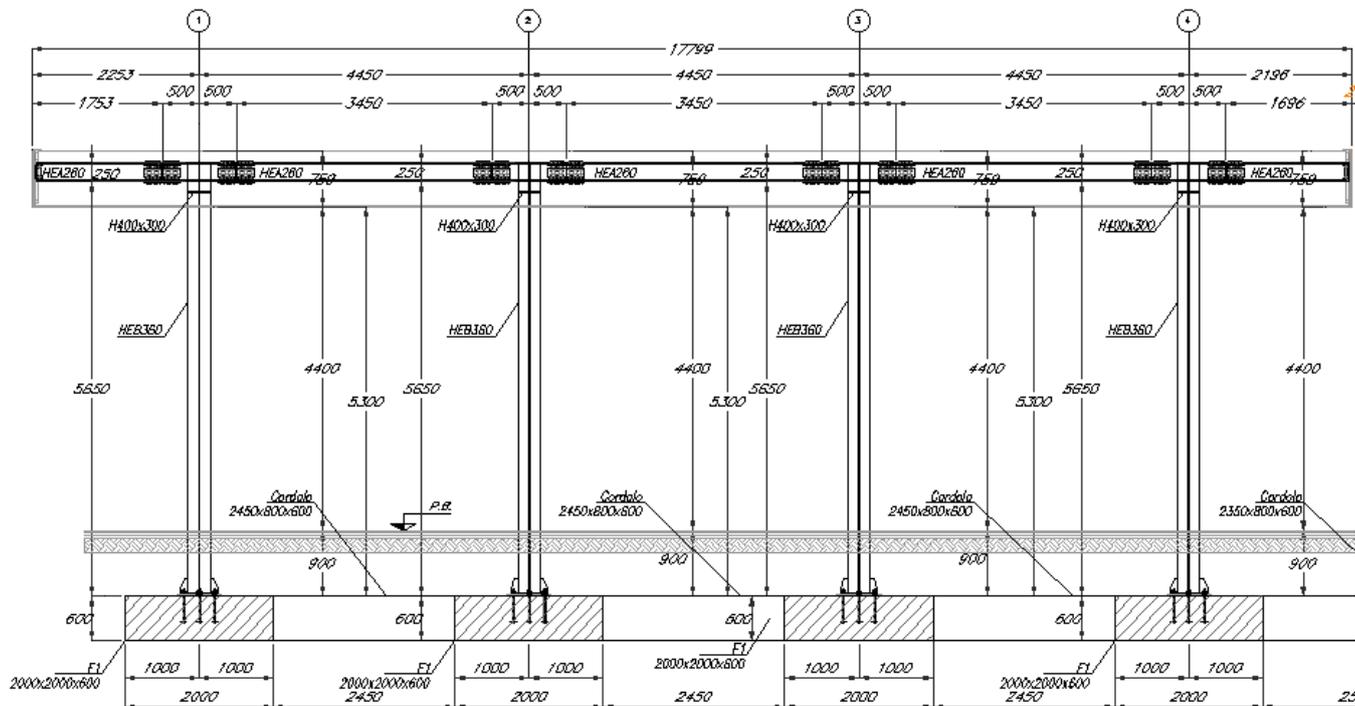


Figura 4 – Sezione longitudinale

|   |  |                         |             |                  |                          |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 |

## 6.2 Unità di misura

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, mm
- per i carichi ⇒ kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa

## 6.3 Modello di calcolo

### 6.3.1 Codice di calcolo

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il Sap 2000 v.21.0.2 prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures. Questa procedura è sviluppata in ambiente Windows, permette l'analisi elastica lineare e non di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono frame (trave), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi sono applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una vasta serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

Tale programma fornisce in output, oltre a tutte le caratteristiche geometriche e di carico delle strutture, i risultati relativi alle sollecitazioni indotte nelle sezioni degli elementi presenti.

### 6.3.2 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego.

### 6.3.3 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

### 6.3.4 Tipo di analisi svolta

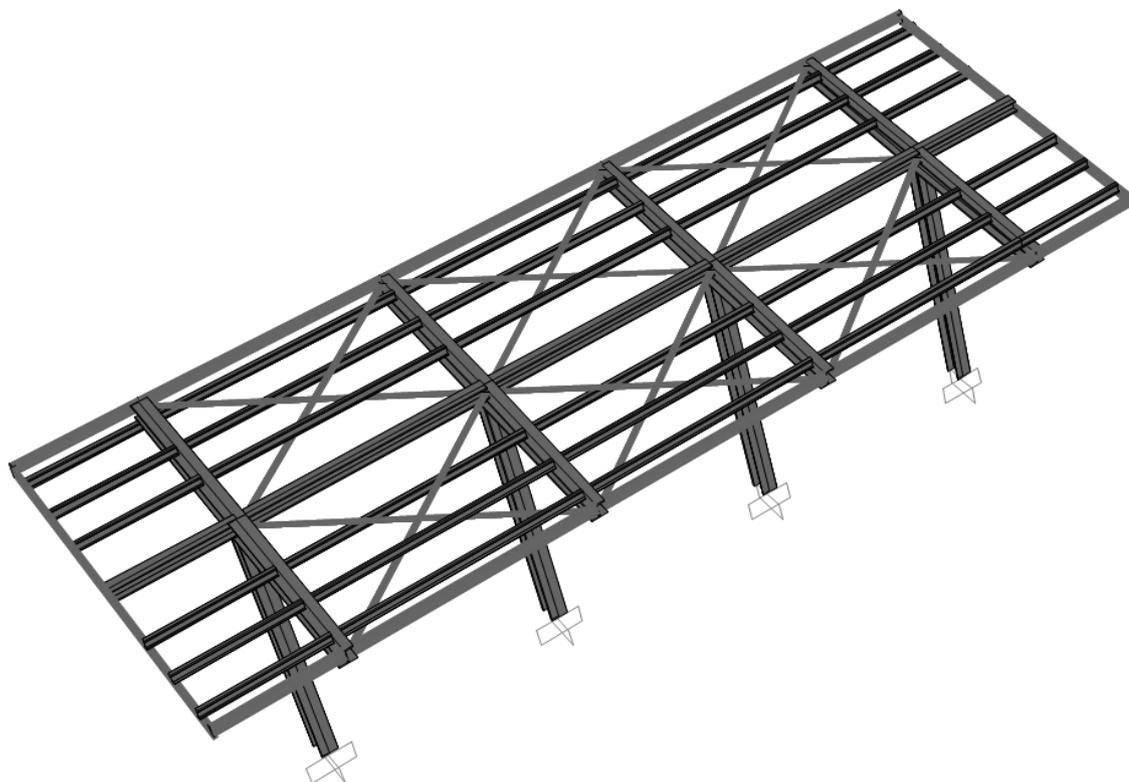
L'analisi condotta è una analisi 3D in cui la struttura viene discretizzata in elementi tipo trave. Il modello è sviluppato per entrambi le pensiline.

|   |  |             |                  |                          |                                      |
|---|--|-------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>   |             |                  |                          |                                      |
|   | <b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |             |                  |                          |                                      |
| OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO                       | COMMESSA<br><b>NM25</b>  | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 | REV.<br>A<br><br>FOGLIO<br>17 di 103 |

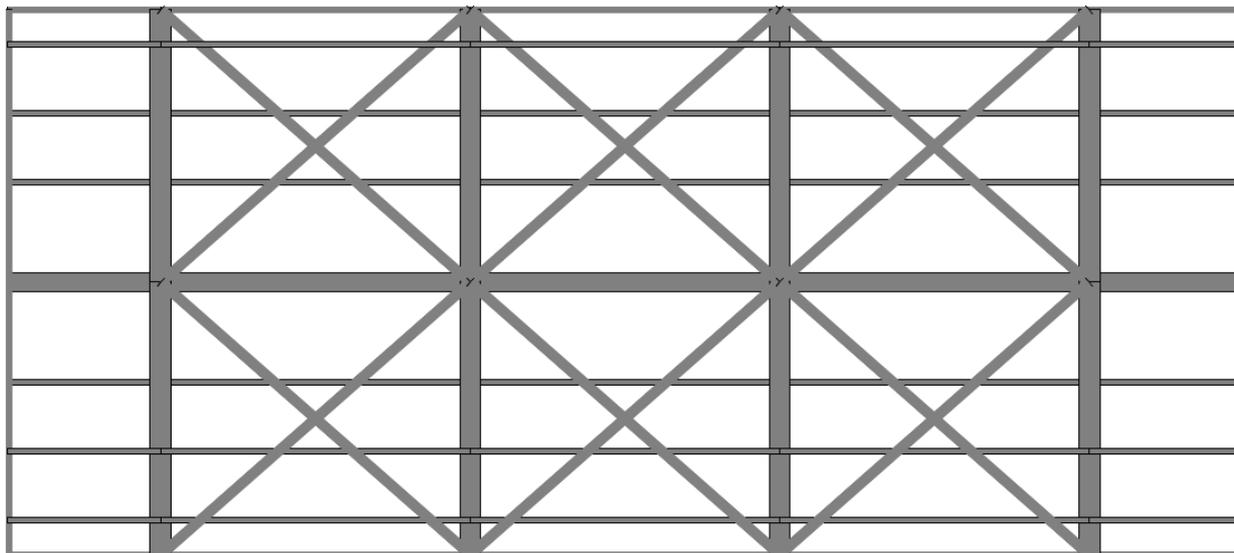
L'analisi strutturale rispetto alle azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi dinamica lineare a spettro di risposta secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

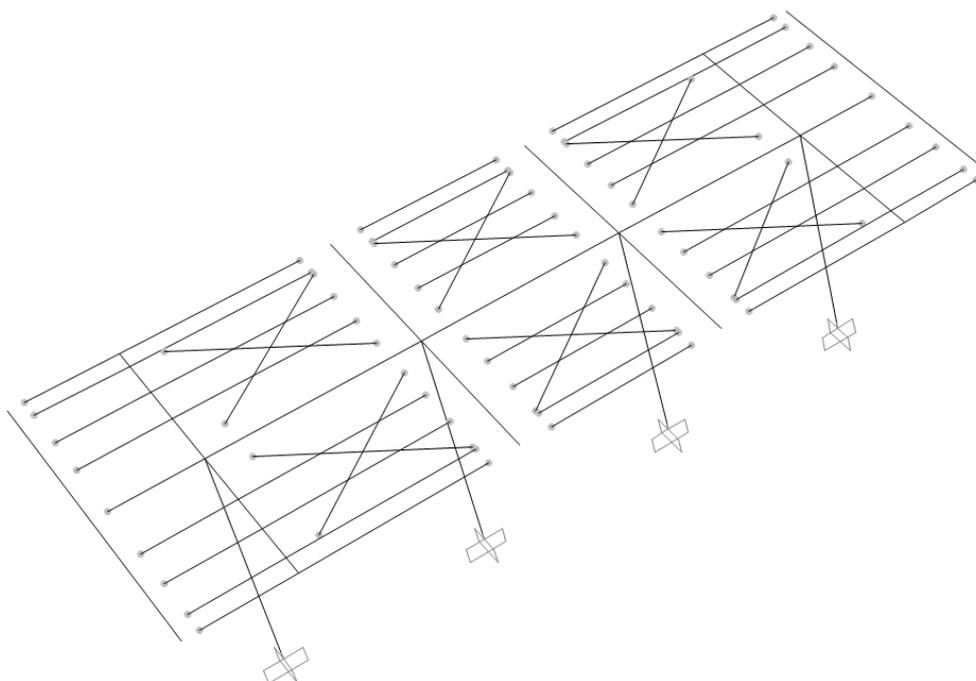
Nelle figure seguenti si riportano alcune immagini rappresentative del modello geometrico della struttura:



*Figura 5 – Vista assonometrica*



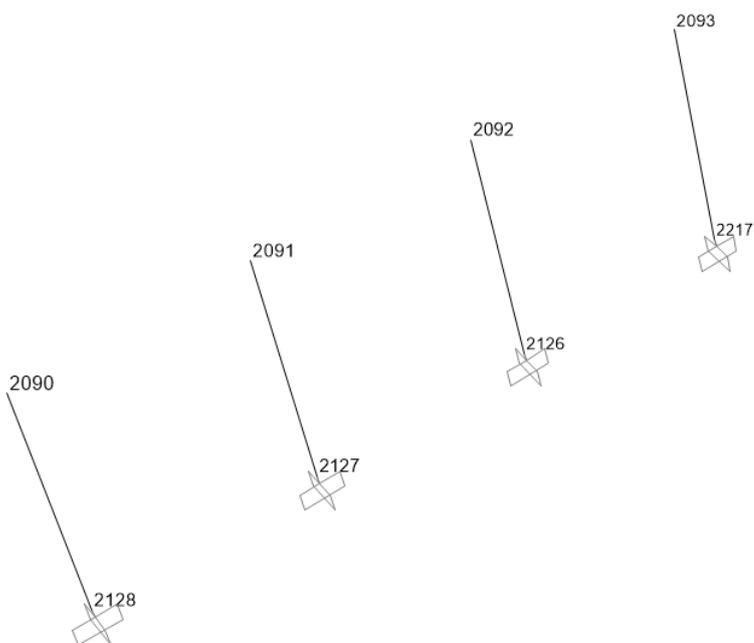
*Figura 6 – Vista in pianta*



*Figura 7 – Vincoli interni della pensilina*

|      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
| 2112 | 2106 | 2107 | 2109 | 2110 | 2111 |
| 2397 | 2396 | 2398 | 2399 | 2394 | 2395 |
| 2389 | 2388 | 2391 | 2393 | 2384 | 2385 |
| 2387 | 2386 | 2390 | 2392 | 2382 | 2383 |
| 2098 | 2090 | 2091 | 2092 | 2093 | 2097 |
| 2367 | 2366 | 2368 | 2369 | 2364 | 2365 |
| 2373 | 2372 | 2374 | 2375 | 2370 | 2371 |
| 2379 | 2378 | 2380 | 2381 | 2376 | 2377 |
| 2155 | 2102 | 2103 | 2104 | 2105 | 2154 |

*Figura 8 – Numerazione nodi di copertura*



*Figura 9 – Numerazione nodi di pilastri*

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 2783 | 2821 | 2826 | 2831 | 2777 |
| 3054 | 3055 | 3056 | 3057 | 3053 |
| 2782 | 2820 | 2825 | 2830 | 2776 |
| 2781 | 2819 | 2824 | 2829 | 2775 |
| 2780 | 2814 | 2813 | 2812 | 2774 |
| 2784 | 2817 | 2822 | 2827 | 2778 |
| 2989 | 2990 | 2991 | 2992 | 2988 |
| 3049 | 3050 | 3051 | 3052 | 3048 |
| 2785 | 2818 | 2823 | 2828 | 2779 |

Figura 10 – Numerazione aste di copertura

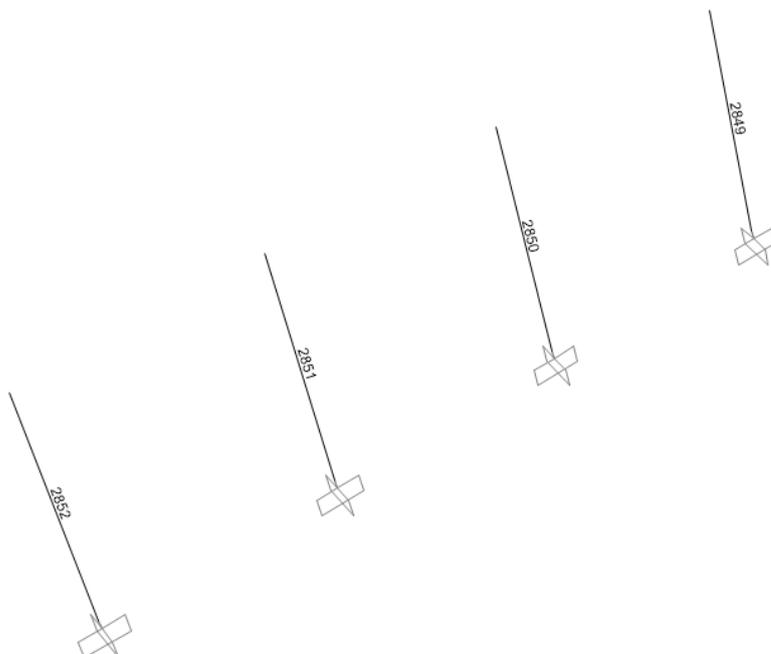


Figura 11 – Numerazione aste dei pilastri

|   |  |                         |             |                  |                          |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 |

## 6.4 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

### 6.4.1 *Peso proprio della struttura*

Le sollecitazioni indotte dal peso della struttura sono valutate automaticamente dal programma a partire dal peso specifico dell'acciaio assunto pari a  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

(CONDIZIONE PESO-PROPRIO)

### 6.4.2 *Carichi permanenti non strutturali*

Peso permanenti portati dal solaio di copertura della pensilina sono stati valutati assumendo cautelativamente:  $p=1.2 \text{ kN/m}^2$

(CONDIZIONE COPERTURA)

### 6.4.3 *Carichi variabili*

Il carico variabile di manutenzione agente sulla copertura della pensilina è  $q = 0.5 \text{ kN/m}^2$  (categoria H1).

(CONDIZIONE CARICHI\_VARIABILI)

### 6.4.4 *Azione termica*

Si applica la variazione uniforme della temperatura di  $\pm 25^\circ$  alle membrature in acciaio

Il coefficiente di dilatazione termica vale  $\alpha=0.00001$

(CONDIZIONE TEMPERATURA)

### 6.4.5 *Carico della neve sulla copertura*

Le azioni della neve sono definite al capitolo 3.4 delle NTC2018. Il carico provocato dalla neve sulle coperture è definito dall'espressione seguente:

$$q_s = \mu_i \times C_e \times C_t \times q_{sk}$$

dove:

|   |  |                         |             |                  |                          |           |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |           |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 | REV.<br>A |

$\mu_i$  - Coefficiente di forma della copertura;

$C_e$  - Coefficiente di esposizione;

$C_t$  - Coefficiente termico;

$q_{sk}$  - Valore di riferimento del carico neve al suolo.

Il coefficiente di forma  $\mu_i$ , avendo la falda un'inclinazione nulla rispetto all'orizzontale, risulta essere pari a 0,8.

Per un altitudine pari a circa 29 m s.l.m., si ottiene  $q_{sk}$  uguale a 1.00 kN/m<sup>2</sup>.

Ponendo coefficiente di esposizione  $C_e = 1$  e il coefficiente termico  $C_t = 1$ , ne deriva un carico neve in copertura pari a:

$$q_s = 0.8 \times 1.00 \times 1 \times 1 = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

(CONDIZIONE NEVE)

### 6.4.6 Azione del vento

#### 6.4.6.1 Carico di vento agente sulla copertura della pensilina

#### AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

##### DEFINIZIONE DEI DATI

###### zona:

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)



###### Classe di rugosità del terreno:

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.

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

**a.** (altitudine sul livello del mare della costruzione) 29 [m]

**Distanza dalla costa** 150 [km]

**T<sub>r</sub>** (Tempo di ritorno): 50 [anni]

**Categoria di esposizione** II

| ZONE 1,2,3,4,5 |                     |
|----------------|---------------------|
|                | costa               |
|                | mare                |
|                | 2 km                |
|                | 10 km               |
|                | 30 km               |
|                | 500m                |
|                | 750m                |
| A              | -- IV IV V V V      |
| B              | -- III III IV IV IV |
| C              | -- * III III IV IV  |
| D              | I II II II III **   |

\* Categoria II in zona 1,2,3,4  
Categoria III in zona 5

\*\* Categoria III in zona 2,3,4,5  
Categoria IV in zona 1

| ZONA 6 |                  |
|--------|------------------|
|        | costa            |
|        | mare             |
|        | 2 km             |
|        | 10 km            |
|        | 30 km            |
|        | 500m             |
| A      | -- III IV V V    |
| B      | -- II III IV IV  |
| C      | -- II III III IV |
| D      | I I II II III    |

| ZONE 7,8 |           |
|----------|-----------|
|          | costa     |
|          | mare      |
|          | 1,5 km    |
|          | 0,5 km    |
| A        | -- -- IV  |
| B        | -- -- IV  |
| C        | -- -- III |
| D        | I II *    |

\* Categoria II in zona 8  
Categoria III in zona 7

| ZONA 9 |       |
|--------|-------|
|        | costa |
|        | mare  |
| A      | -- I  |
| B      | -- I  |
| C      | -- I  |
| D      | I I   |

**CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.**

| Zona | $v_{b,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_s$ | $C_s$ |
|------|-----------------|-----------|-------|-------|
| 1    | 25              | 1000      | 0.4   | 1.000 |

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$c_a = 1$  per  $a_s \leq a_0$

$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$  per  $a_s > a_0$ ,  $a_s \leq 1500$  m

**$v_b$  (velocità base di riferimento) 25.00 m/s**

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

$c_r$  coefficiente di ritorno 1.00

**$v_r$  (velocità di riferimento) 25.02 m/s**

**PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.**

$q_r$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$$q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

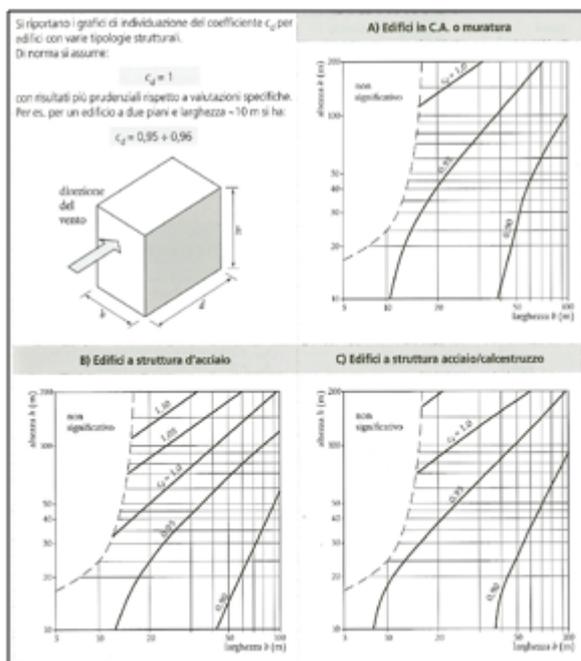
**Pressione cinetica di riferimento  $q_r$  391.20 [N/m²]**

**CALCOLO DEI COEFFICIENTI**

**Coefficiente dinamico [§3.3.8]**

**$c_d$  1.00**

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



**Coefficiente Topografico (Orografico)**

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

| 1   | 2   | 3   |                              |  |                     |
|---|---|---|------------------------------|--|---------------------|
| Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina                                   | Costruzioni ubicate sul livello superiore   | Costruzioni ubicate su di un pendio   |                              |  |                     |
|  |  |  |                              |  |                     |
| $c_t = 1 + \beta \cdot \gamma$  | $c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \left(1 - 0,1 \cdot \frac{x}{H}\right) \geq 1$      | $c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \frac{h}{H}$                                  |                              |  |                     |
| Coefficiente $\beta$  |   | Coefficiente $\gamma$   |                              |  |                     |
| per: $\frac{z}{H} \leq 0,75$  | $0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$  | $\frac{z}{H} \geq 2$  | per: $\frac{H}{D} \leq 0,10$ | $0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$               | $\frac{H}{D} > 0,3$ |
| $\beta = 0,5$   | $\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$   | $\beta = 0$   | $\gamma = 0$                 | $\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$ | $\gamma = 1$        |

Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale:  $c_t$  **1.00**

**Coefficiente di esposizione [§3.3.7]**

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di z=200m valgono le seguenti espressioni

$$c_e(z) = k_e^2 \cdot c_i \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_i \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

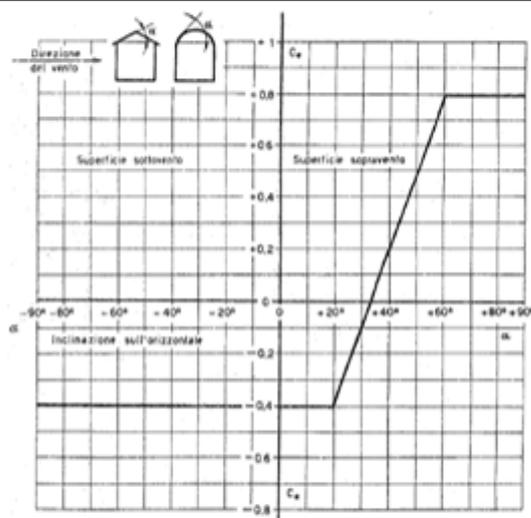
|       |           |                |
|-------|-----------|----------------|
| $k_e$ | $z_0$ [m] | $z_{\min}$ [m] |
| 0.19  | 0.05      | 4.00           |

|   |                       |      |            |
|---|-----------------------|------|------------|
| Coefficiente di esposizione minimo      | $c_{e,\min}$          | 1.80 | $z < 4.00$ |
| Coefficiente di esposizione alla gronda | $c_{e,\text{gronda}}$ | 1.99 | $z = 5.50$ |
| Coefficiente di esposizione al colmo    | $c_{e,\text{colmo}}$  | 1.99 | $z = 5.50$ |

**Coefficiente di forma**

**Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve**

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

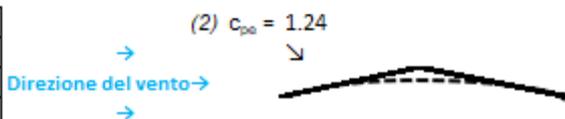


**Tettoia ad uno spiovente**

Configurazione più svantaggiosa

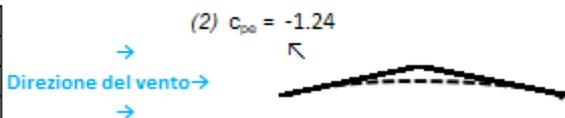
Configurazione A

|                           |       |      |
|---------------------------|-------|------|
| (1) parete sopravvento    | $C_p$ | 0.00 |
| (2) copertura sopravvento | $C_p$ | 1.24 |
| (3) copertura sottovento  | $C_p$ | 0.00 |
| (4) parete sottovento     | $C_p$ | 0.00 |



Configurazione A

|                           |       |       |
|---------------------------|-------|-------|
| (1) parete sopravvento    | $C_p$ | 0.00  |
| (2) copertura sopravvento | $C_p$ | -1.24 |
| (3) copertura sottovento  | $C_p$ | 0.00  |
| (4) parete sottovento     | $C_p$ | 0.00  |



Configurazione B

### PRESSIONI DEL VENTO

#### Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_s \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$$

$c_d$  (coefficiente dinamico)     $c_t$  (coefficiente topografico)     $c_e$  (coefficiente di esposizione)

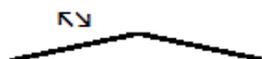
$c_p$  (coefficiente di forma)

|                       | $p$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $c_d$ | $c_t$ | $c_e$ | $c_p$ | $P$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| <b>(1) par. sopra</b> | 0.391                    | 1.00  | 1.00  | 1.985 | 0.00  | <b>0.00</b>              |
| <b>(2) cop. sopr</b>  | 0.391                    | 1.00  | 1.00  | 1.985 | 1.24  | <b>0.96</b>              |
| <b>(3) cop. Sott</b>  | 0.391                    | 1.00  | 1.00  | 1.985 | 0.00  | <b>0.00</b>              |
| <b>(4) par. sotto</b> | 0.391                    | 1.00  | 1.00  | 1.985 | 0.00  | <b>0.00</b>              |

(2) copertura sopravento

$$\pm 0.96 \text{ kN/mq}$$

→  
Direzione del vento →  
→



**NOTA: La somma della pressione dovuta al carico del vento ed a quello della pressione aerodinamica dei treni sulle superfici orizzontali non deve essere minore a 1.5kN/m<sup>2</sup>.**

Nel caso specifico si ha:

$$p = 0.391 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.985 \times 1.24 = 0.96$$

$$p + q_{3k} = 0.96 + 0.41 = 1.37 \text{ kN/m}^2$$

La pressione sulle superfici orizzontali dovuta al carico del vento è stata incrementata a  **$p = 1.09 \text{ kN/m}^2$** . Si veda §6.4.7.

#### 6.4.6.2 Superfici verticali parallele al binario

##### 6.4.6.2.1 Carico di vento agente sulla fascia perimetrale

Nel caso in esame la fascia perimetrale della pensilina può essere assimilata a una trave a parete piena. In base al punto C3.3.10.4.1 il coefficiente di forma  $c_p$  si determina in base al parametro

$$\phi = S_p/S = 1 \rightarrow c_p = 2.4 - 1 = 1.4$$

La pressione del vento sulla fascia perimetrale di copertura vale dunque:

$$p = 0.391 \times 1.985 \times 1.4 \times 1 = 1.09 \text{ kN/m}^2$$

A favore di sicurezza, l'altezza della fascia si assume essere pari a 0.8m. Nello specifico si ha:

$$p_1 = p \times h_{\text{fascia perimetrale}} = 1.09 \times 0.8 = 0.87 \text{ kN/m}$$

#### 6.4.6.2.2 Carico di vento agente sui pilastri HEB360

Il vento si calcola come nel caso precedente con la variante del coefficiente di forma. In base al punto C3.3.10.4.1 il coefficiente di forma  $c_p$  si determina in base al parametro, per profilo a parete piena.

$$\phi = S_p/S = 1 \rightarrow c_p = 2.4 - 1 = 1.4$$

La pressione del vento sui pilastri è dunque pari a:

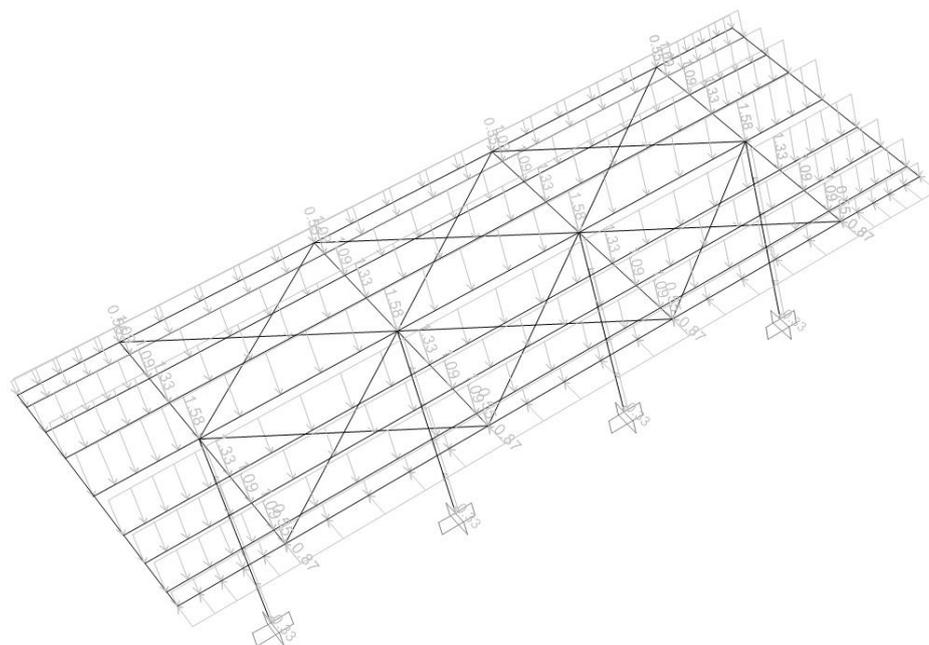
$$p = 0.39 \times 1.985 \times 1.4 \times 1 = 1.09 \text{ kN/m}^2$$

Nello sporcifico si ha:

$$p_2 = p \times h_{\text{HEB360}} = 1.09 \times 0.36 = 0.39 \text{ kN/m}$$

$$p_2 = p \times b_{\text{HEB360}} = 1.09 \times 0.30 = 0.33 \text{ kN/m}$$

Frame Span Loads (VENTO) (As Defined)

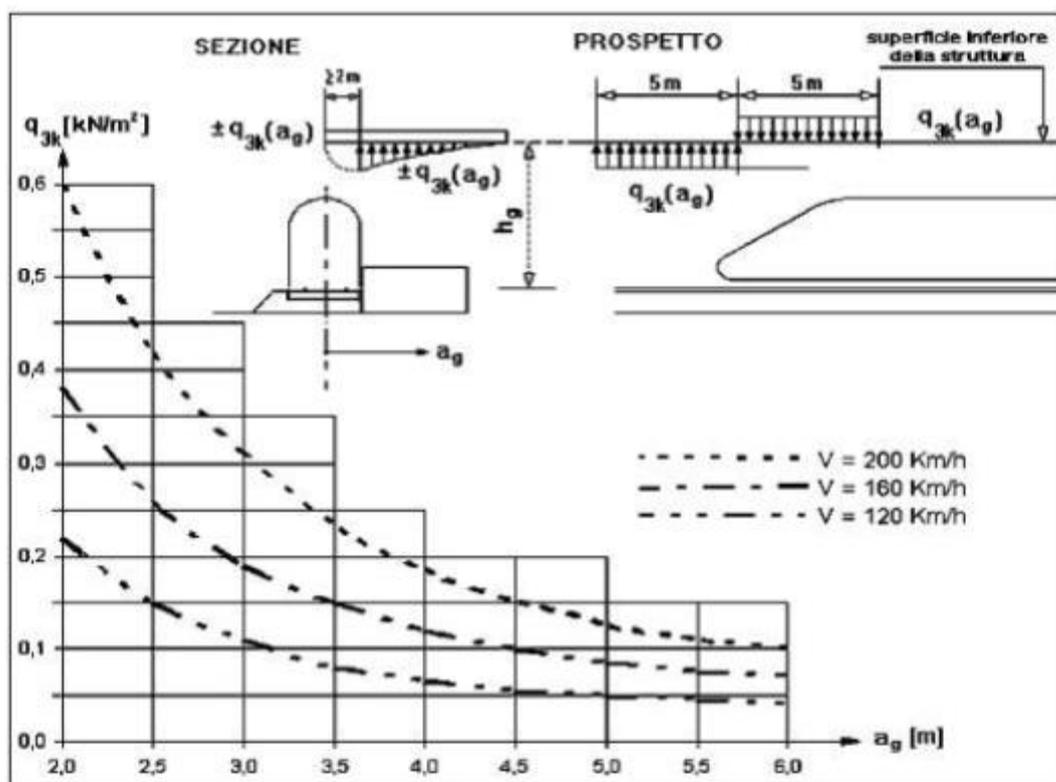


(CONDIZIONE VENTO)

### 6.4.7 Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei treni

#### 6.4.7.1 Superfici orizzontali parallele al binario

I valori caratteristici dell'azione  $\pm q_{3k}$ , relativi a superfici orizzontali adiacenti il binario sono forniti al punto 5.2.2.7 delle NTC. In particolare per superfici orizzontali poste in adiacenza al binario vale la figura 5.2.10



Se la distanza  $h_G$  supera i 3.80 m l'azione  $q_{3k}$  può essere ridotta del fattore  $k_3$ :

$$k_3 = (7.5 - h_G) / 3.7 = (7.5 - 4.95) / 3.7 = 0.68$$

Nel caso in esame assumendo per sicurezza una velocità pari a 200 km/h e una distanza pari a  $a_g$  2 metri si ottiene una pressione pari a  $q_{3k} = 0.68 \times 0.60 = 0.41 \text{ kN/m}^2$

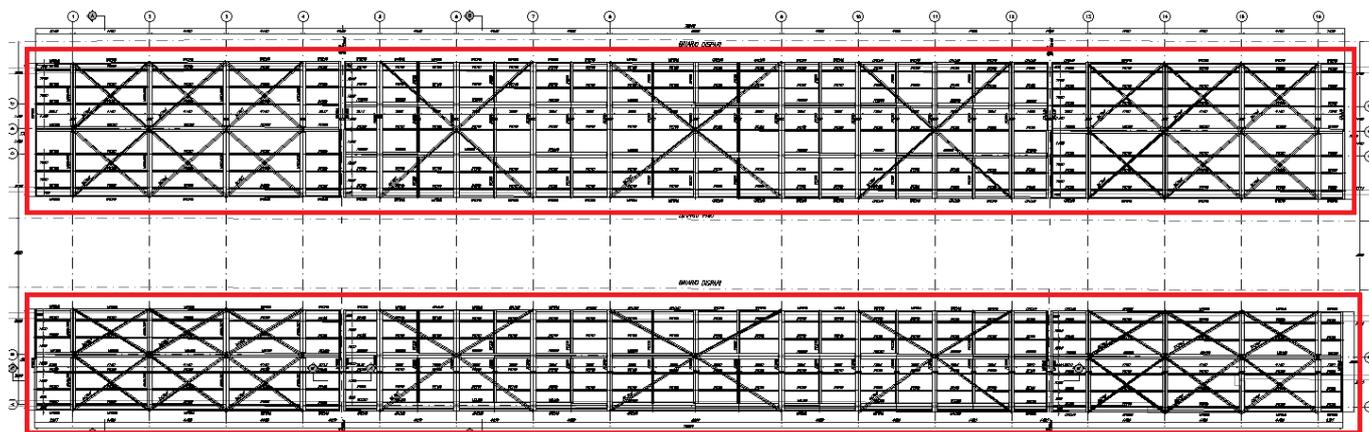
La misura assunta per la distanza tra pensilina e convoglio viene assunta a favore di sicurezza pari a 2 metri che rappresenta il valore al quale corrisponde la massima pressione.

Tali pressioni sono state considerate nel modello come carichi lineari applicati ai telai, coerentemente con le aree di influenza di ciascun telaio.

Sono state considerate differenti distribuzioni di pressione aerodinamica sugli elementi strutturali, ciascuna corrispondente ad una particolare configurazione del traffico ferroviario ai lati della pensilina.

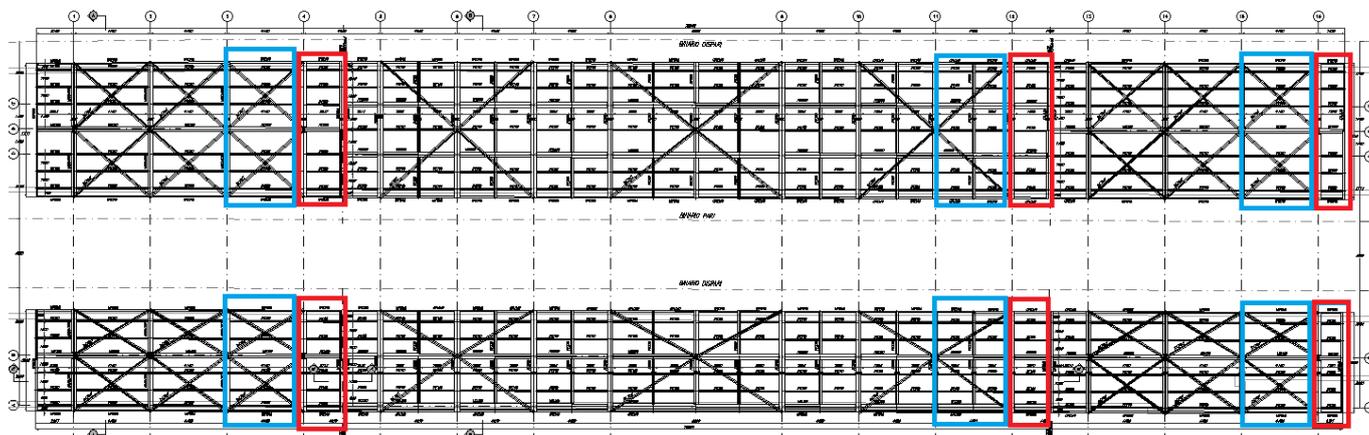
Nello specifico, sono stati individuati n° 4 casi (  depressione,  pressione):

- Condizione di carico 1: (EFFETTI AERODINAMICI 1)

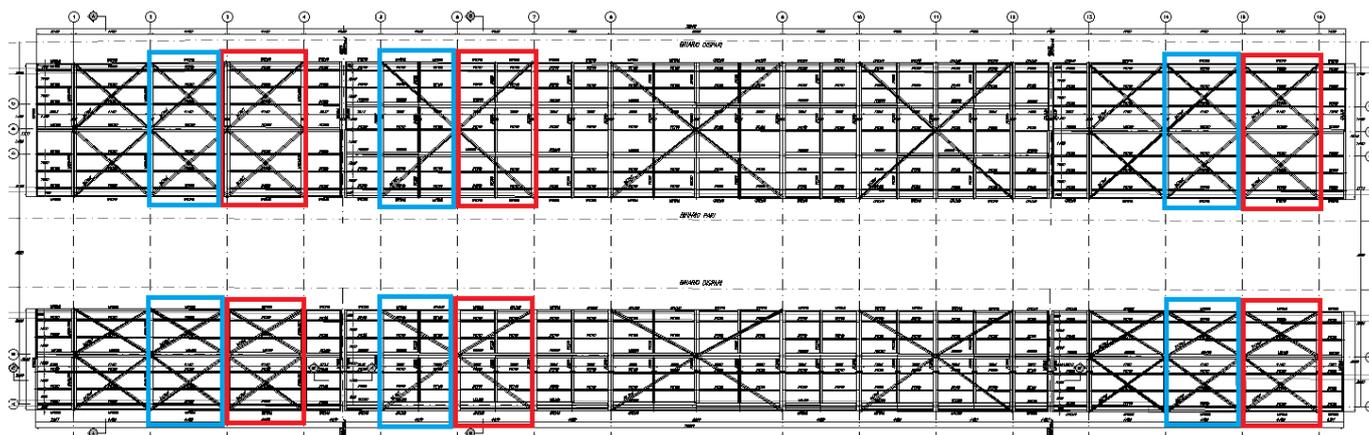


NOTA: Cautelativamente, la prima condizione di carico, ipotizza una distribuzione della pressione aerodinamica lungo tutto lo sviluppo della pensilina. Ulteriormente, per quanto riguarda le pensiline **tipo 1 e 2**, la quali sono situate tra due linee, i carichi calcolati sono stati raddoppiati, a favore di sicurezza.

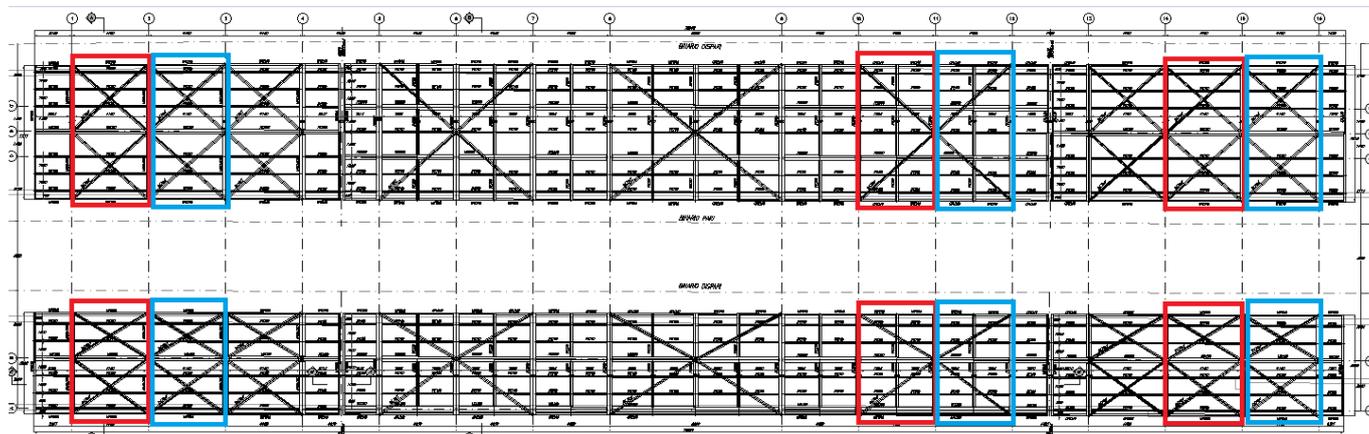
- Condizione di carico 2: (EFFETTI AERODINAMICI 2)



- Condizione di carico 3: (EFFETTI AERODINAMICI 3)

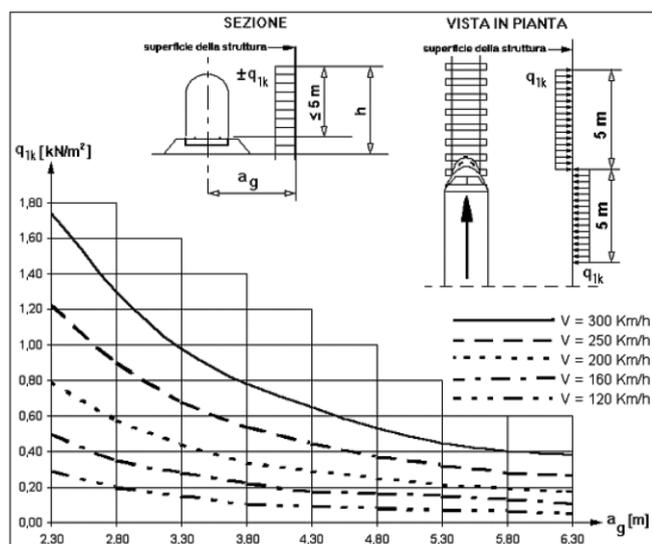


- Condizione di carico 4: (EFFETTI AERODINAMICI 4)



#### 6.4.7.2 Superfici verticali parallele al binario

I valori caratteristici dell'azione  $\pm q_{1k}$  relativi a superfici verticali parallele al binario sono forniti nella figura seguente, in funzione della distanza  $a_g$  dall'asse del binario più vicino.



Nel caso in esame assumendo per sicurezza una velocità pari a 200 km/h e una distanza pari  $a_g$  2 metri si ottiene:

$$q_{1k} = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

Il suddetto valore è relativo a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli; per i casi di forme aerodinamiche favorevoli, questi valori dovranno essere corretti per mezzo del fattore  $k_1$ , ove:

$k_1 = 0,85$  per convogli formati da carrozze con sagoma arrotondata;

$k_1 = 0,60$  per treni aerodinamici.

Nel caso in esame si assume conservativamente  $k_1 = 0.85$ .

Se l'altezza di un elemento strutturale (o parte della sua superficie di influenza) è  $\leq 1,0$  m o se la larghezza è  $\leq 2,50$  m, l'azione  $q_{1k}$  deve essere incrementata del fattore  $k_2 = 1.3$ .

Nel caso in esame l'altezza dei pilastri è  $> 2,50$  m, quindi l'azione  $q_{1k}$  non verrà essere incrementata del fattore  $k_2$ .

Complessivamente si ottiene quindi:

$$q_{1k} = 0.80 \times 0.85 = 0.68 \text{ kN/m}^2$$

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

#### 6.4.7.2.1 Pressione aerodinamica agente sulla fascia perimetrale

La pressione aerodinamica sulla fascia perimetrale si calcola con la variante del coefficiente di forma.

Nel caso in esame la fascia perimetrale della pensilina può essere assimilata a una trave a parete piena. In base al punto C3.3.10.4.1 il coefficiente di forma  $c_p$  si determina in base al parametro

$$\phi = S_p/S = 1 \rightarrow c_p = 2.4 - 1 = 1.4$$

La pressione aerodinamica sulla fascia perimetrale di copertura vale dunque:

$$q_1 = 0.68 \times 1.4 = 0.95 \text{ kN/m}^2$$

A favore di sicurezza, l'altezza della fascia si assume essere pari a 0.8m. Nello specifico si ha:

$$q_1' = q_1 \times h_{\text{fascia perimetrale}} = 0.95 \times 0.8 = 0.76 \text{ kN/m}$$

#### 6.4.7.2.2 Carico di vento agente sui pilastri HEB360

Il vento si calcola come nel caso precedente con la variante del coefficiente di forma. In base al punto C3.3.10.4.1 il coefficiente di forma  $c_p$  si determina in base al parametro, per profilo a parete piena.

$$\phi = S_p/S = 1 \rightarrow c_p = 2.4 - 1 = 1.4$$

La pressione aerodinamica sui pilastri è dunque pari a:

$$q_1 = 0.68 \times 1.4 = 0.95 \text{ kN/m}^2$$

Nello specifico si ha:

$$q_1'' = q_1 \times b_{\text{HEB}} = 0.95 \times 0.3 = 0.29 \text{ kN/m}$$

$$q_1''' = q_1 \times h_{\text{HEB}} = 0.95 \times 0.36 = 0.34 \text{ kN/m}$$

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

#### 6.4.8 Carichi di pali TE (Tensione Elettrica)

##### 6.4.8.1 Carichi caratteristici alla base delle paline TE che insistono sui pilastri della pensilina:

$$N_{TE} = 18.5 \text{ kN (CONDIZIONE Nte)}$$

$$V_{TE,tras} = 12 \text{ kN}; M_{TE,tras} = 54 \text{ kN.m (CONDIZIONE V1te)}$$

$$V_{TE,long} = 3 \text{ kN}; M_{TE,long} = 5 \text{ kN.m (CONDIZIONE V2te)}$$

Le forze sono ubicate nel punto superiore, del pilastro della pensilina tipologia 2, il quale è maggiormente sollecitato e presenta una luce di gran lunga maggiore, pari a circa 10m, in corrispondenza della zona adiacente al sottopasso (elab. di rif. NM2503D44CLFV1300002A).

##### 6.4.8.2 Rottura della catenaria

Si dovrà considerare l'eventualità che si verifichi la rottura della catenaria nel punto più sfavorevole per la struttura. La forza trasmessa alla struttura in conseguenza di un simile evento si considererà come una forza di natura statica agente in direzione parallela all'asse dei binari, di intensità pari a 20kN e applicata sui sostegni alla quota del filo.

Il carico trasmesso alla struttura, dalla rottura della catenaria, è di natura eccezionale.

Analogamente a come detto nel punto precedente, le forze sono ubicate nei punti superiori dei pilastri maggiormente sollecitati in corrispondenza del sottopasso (elab. di rif. NM2503D44CLFV1300002A).

(ROTTURA\_CATENARIA)

### 6.4.9 Azione sismica

Sulla base di quanto riportato al paragrafo 5 si riporta nel seguito lo spettro elastico e di progetto allo SLV utilizzato per condurre l'analisi dinamica lineare della struttura. Seguono i parametri considerati nel calcolo sismico della pensilina:

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

##### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0.093 g |
| $F_a$        | 2.606   |
| $T_c$        | 0.317 s |
| $S_g$        | 1.500   |
| $C_c$        | 1.534   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |

##### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1.500   |
| $\eta$ | 1.000   |
| $T_B$  | 0.162 s |
| $T_C$  | 0.486 s |
| $T_D$  | 1.973 s |

##### Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

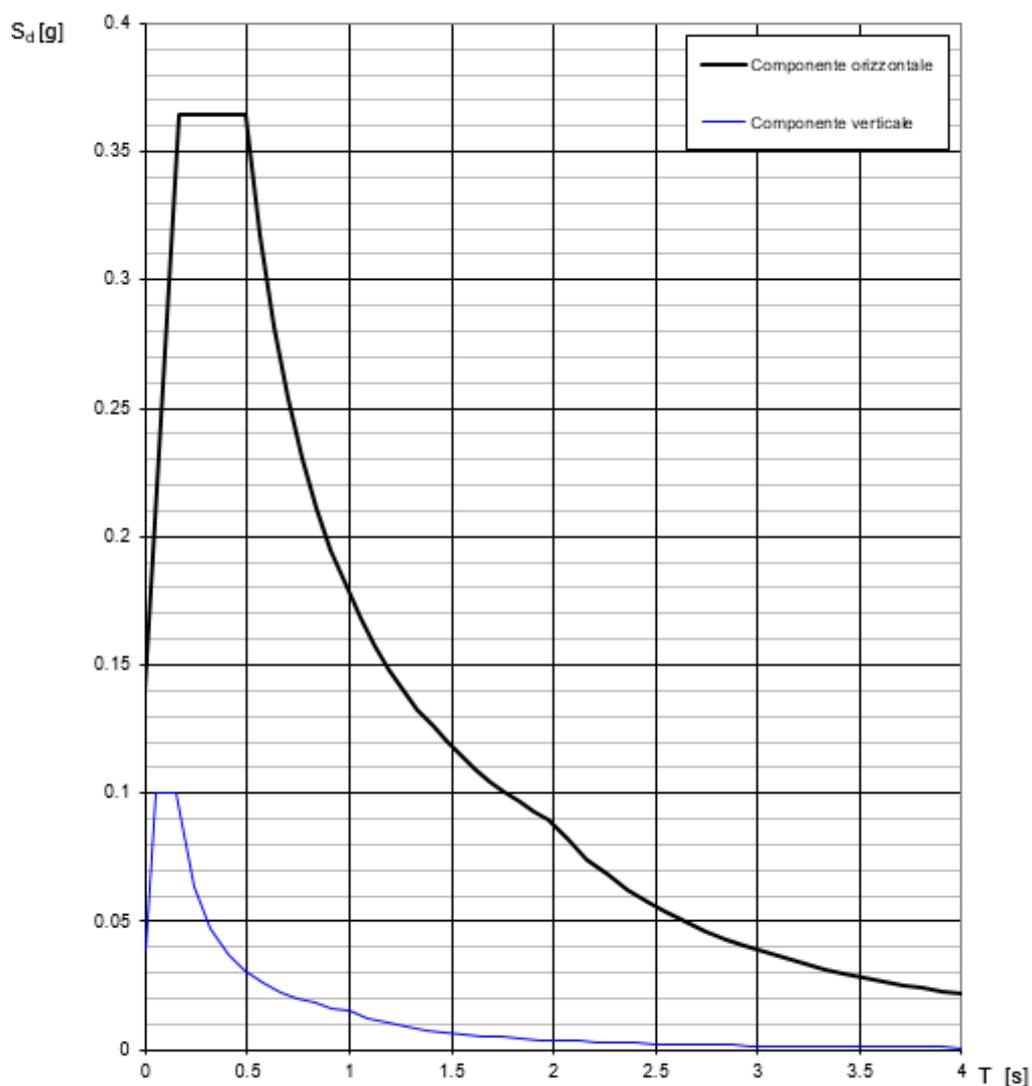
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultime 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

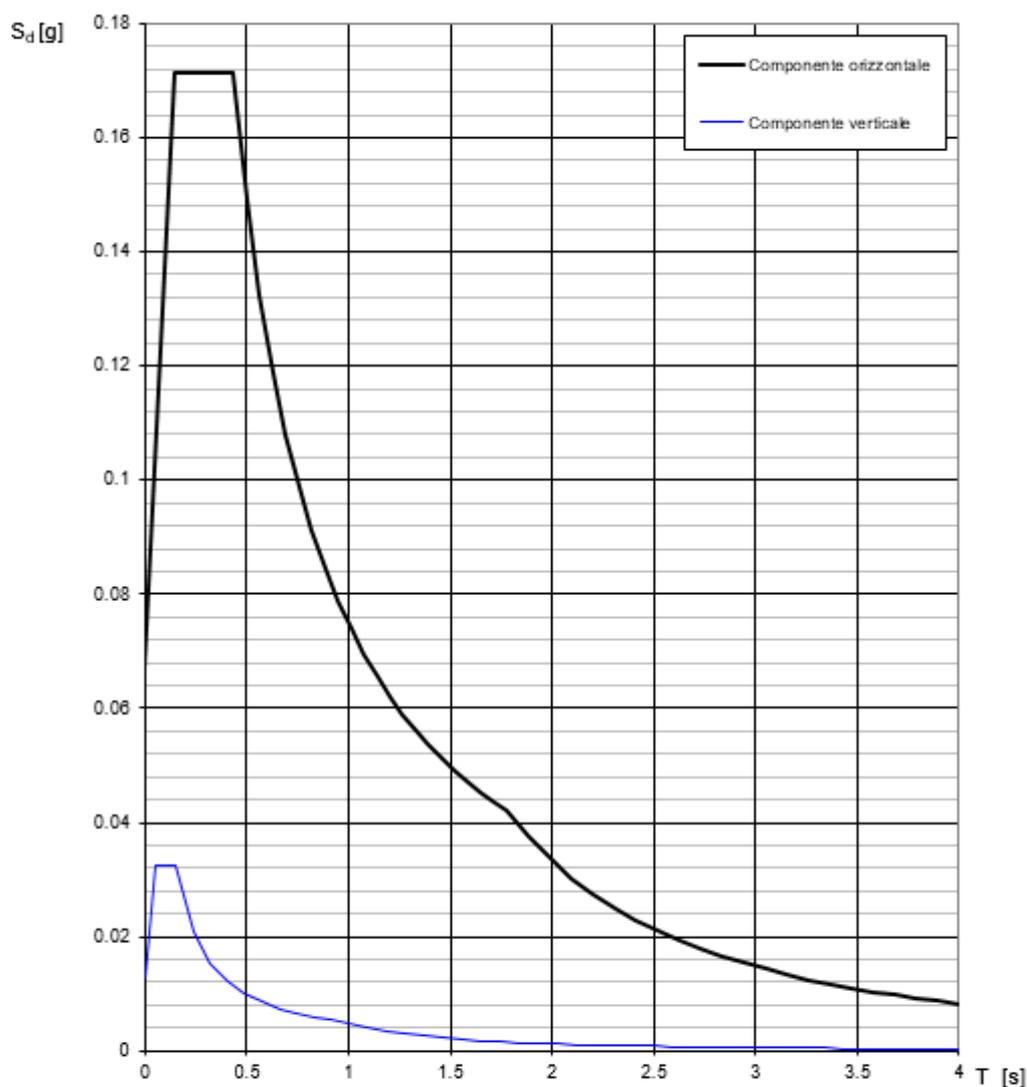
|       | T [s] | Se [g] |
|-------|-------|--------|
|       | 0.000 | 0.140  |
| $T_B$ | 0.162 | 0.364  |
| $T_C$ | 0.486 | 0.364  |
|       | 0.557 | 0.318  |
|       | 0.628 | 0.282  |
|       | 0.699 | 0.254  |
|       | 0.770 | 0.230  |
|       | 0.840 | 0.211  |
|       | 0.911 | 0.194  |
|       | 0.982 | 0.180  |
|       | 1.053 | 0.168  |
|       | 1.123 | 0.158  |
|       | 1.194 | 0.148  |
|       | 1.265 | 0.140  |
|       | 1.336 | 0.133  |
|       | 1.406 | 0.126  |
|       | 1.477 | 0.120  |
|       | 1.548 | 0.114  |
|       | 1.619 | 0.109  |
|       | 1.690 | 0.105  |
|       | 1.760 | 0.101  |
|       | 1.831 | 0.097  |
|       | 1.902 | 0.093  |
| $T_D$ | 1.973 | 0.090  |
|       | 2.069 | 0.082  |
|       | 2.166 | 0.075  |
|       | 2.262 | 0.068  |
|       | 2.359 | 0.063  |
|       | 2.455 | 0.058  |
|       | 2.552 | 0.054  |
|       | 2.648 | 0.050  |
|       | 2.745 | 0.046  |
|       | 2.842 | 0.043  |
|       | 2.938 | 0.040  |
|       | 3.035 | 0.038  |
|       | 3.131 | 0.036  |
|       | 3.228 | 0.034  |
|       | 3.324 | 0.032  |
|       | 3.421 | 0.030  |
|       | 3.517 | 0.028  |
|       | 3.614 | 0.027  |
|       | 3.710 | 0.025  |
|       | 3.807 | 0.024  |
|       | 3.903 | 0.023  |
|       | 4.000 | 0.022  |

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



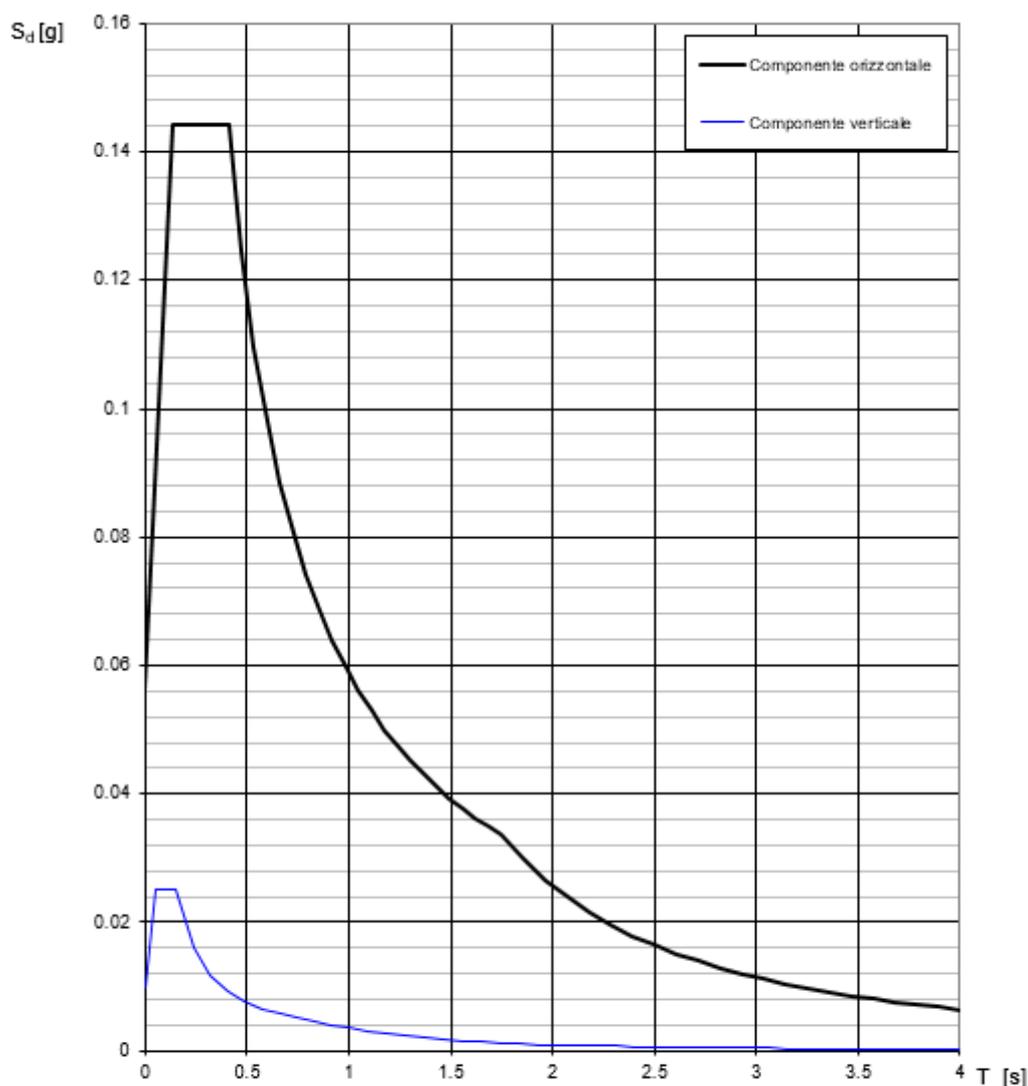
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLD**



La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLO**



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

NOTA: La costruzione oggetto della presente relazione, soggetta all'azione sismica, è stata progettata considerando un comportamento strutturale in campo elastico. Il fattore di struttura utilizzato per le componenti orizzontali dell'azione sismica è pari a 1.

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

## 6.5 Combinazioni di carico

Ai fini della determinazione delle sollecitazioni di verifica, le azioni elementari descritte al precedente paragrafo, vanno combinate nei vari stati limite di verifica previsti (Esercizio, Stati limite Ultimo statico e Sismico) in accordo a quanto previsto al punto 2.5.3 delle NTC18, tenendo conto dell'approccio di verifica scelto; a tal fine, si riportano per maggiore chiarezza le espressioni generali dei criteri di combinazione delle azioni definiti al 2.5.3 delle DM 17.01.18:

– Combinazione fondamentale. generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

– Combinazione caratteristica (rara). generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

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

– Combinazione frequente generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili;

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

– Combinazione quasi permanente. generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

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

– Combinazione sismica. impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_x \pm 0.30 \times E_y \pm 0.30 \times E_z \text{ oppure}$$

$$E = \pm 0.30 \times E_x \pm 1.00 \times E_y \pm 0.30 \times E_z \text{ oppure}$$

$$E = \pm 1.00 \times E_x \pm 0.30 \times E_y \pm 1.00 \times E_z$$

avendo indicato con  $E_x$ ,  $E_y$  e  $E_z$  rispettivamente le componenti orizzontali (X e Y) e verticale (Z) dell'azione sismica.

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

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

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| Coefficiente  |             |               | EQU <sup>(1)</sup>  | A1                  | A2   |
|---|-------------|---------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti                                       | favorevoli  | $\gamma_{G1}$ | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,10                | 1,35                | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>        | favorevoli  | $\gamma_{G2}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Ballast <sup>(3)</sup>                                  | favorevoli  | $\gamma_B$    | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>             | favorevoli  | $\gamma_Q$    | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,45                | 1,45                | 1,25 |
| Azioni variabili  | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Precompressione   | favorevole  | $\gamma_P$    | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevole |               | 1,00 <sup>(5)</sup> | 1,00 <sup>(6)</sup> | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole  | $\gamma_{Ce}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevole | d             | 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 della colonna A2.

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

| Azioni           |   | $\psi_0$            | $\psi_1$            | $\psi_2$   |
|------------------|---|---------------------|---------------------|------------|
| Azioni singole   | Carico sul rilevato a tergo delle spalle                | 0,80                | 0,50                | 0,0        |
| da traffico      | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80                | 0,50                | 0,0        |
| Gruppi di carico | $gr_1$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0        |
|                  | $gr_2$  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | -          |
|                  | $gr_3$  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0        |
|                  | $gr_4$  | 1,00                | 1,00 <sup>(1)</sup> | 0,0        |
| Azioni del vento | $F_{wk}$  | 0,60                | 0,50                | 0,0        |
| Azioni da neve   | in fase di esecuzione<br>SLU e SLE                      | 0,80<br>0,0         | 0,0<br>0,0          | 0,0<br>0,0 |
| Azioni termiche  | $T_k$   | 0,60                | 0,60                | 0,50       |

<sup>(1)</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 2.5.I - Valori dei coefficienti di combinazione

| Categoria/Azione variabile  | $\Psi_{0j}$ | $\Psi_{1j}$ | $\Psi_{2j}$ |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Categoria A - Ambienti ad uso residenziale  | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria B - Uffici  | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento   | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria D - Ambienti ad uso commerciale   | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale<br>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0         | 0,9         | 0,8         |
| Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)                                  | 0,7         | 0,7         | 0,6         |

|   |                            |     |     |
|---|----------------------------|-----|-----|
| Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,7                        | 0,5 | 0,3 |
| Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione   | 0,0                        | 0,0 | 0,0 |
| Categoria I – Coperture praticabili   | da valutarsi caso per caso |     |     |
| Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)                                    | da valutarsi caso per caso |     |     |
| Vento   | 0,6                        | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)  | 0,5                        | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)  | 0,7                        | 0,5 | 0,2 |
| Variazioni termiche   | 0,6                        | 0,5 | 0,0 |

Nello specifico si ha:

| Gruppo   | Tipo        | $\gamma$  | $\Psi_0$ | $\Psi_1$ | $\Psi_2$ |
|--|-------------|-----------|----------|----------|----------|
| Carichi permanenti strutturali                     | Permanente  | 1.35/1.00 | 1        | 1        | 1        |
| Carichi permanenti non-strutturali                 | Permanente  | 1.5/0.8*  | 1        | 1        | 1        |
| Variabile - Catenaria                              | Variabile   | 1.5       | 0.8      | 0.5      | 0        |
| Temperatura  | Variabile   | 1.5       | 0.6      | 0.5      | 0.5      |
| Neve (<1000mslm)                                   | Variabile   | 1.5       | 0.5      | 0.2      | 0        |
| Vento  | Variabile   | 1.5       | 0.6      | 0.5      | 0        |
| Variabili-copertura (cat. H1) - Carico distribuito | Variabile   | 1.5       | 0        | 0        | 0        |
| Variabili-Pressione aerodinamica                   | Variabile   | 1.45      | 0.8      | 0.5      | 0        |
| Rottura - Catenaria                                | Accidentale | 1         | 0        | 0        | 0        |
| Sisma X-Y-Z  | Sismico     | 1         | -        | -        | -        |

\* Nel caso in cui si ha una condizione di sottovento si è ipotizzato un coefficiente di sicurezza del carico NON-STRUTT pari ad 0.8 anziché 0, ipotizzando che l'assenza della superficie riduca il carico di sottovento a valori trascurabili.

Nello specifico si ha:

| <b>Condizione di carico</b> | <b>Tipo</b> |
|-----------------------------|-------------|
| MODAL                       | LinModal    |
| PESO_PROPRIO                | LinStatic   |
| COPERTURA                   | LinStatic   |
| CARICHI_VARIABILI           | LinStatic   |
| NTE                         | LinStatic   |
| V1TE                        | LinStatic   |
| V2TE                        | LinStatic   |
| ROTTURA_CATENARIA           | LinStatic   |
| EFFETTI_AERODINAMICI_1      | LinStatic   |
| EFFETTI_AERODINAMICI_2      | LinStatic   |
| EFFETTI_AERODINAMICI_3      | LinStatic   |
| EFFETTI_AERODINAMICI_4      | LinStatic   |
| NEVE                        | LinStatic   |
| VENTO                       | LinStatic   |
| SLV_U1                      | LinRespSpec |
| SLV_U2                      | LinRespSpec |
| SLV_U3                      | LinRespSpec |
| SLD_U1                      | LinRespSpec |
| SLD_U2                      | LinRespSpec |
| SLD_U3                      | LinRespSpec |
| TEMPERATURA                 | LinStatic   |











OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE

|          |       |          |             |      |           |
|----------|-------|----------|-------------|------|-----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO    |
| NM25     | 03    | D 44     | CLFV1300001 | A    | 48 di 103 |

RELAZIONE DI CALCOLO

|              | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |      |  |  |  |  |      |      |      |
|--------------|---|------|-----|-----|-----|--|--|--|--|------|------|------|------|--|--|--|--|------|------|------|
| SLD_24       | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  | -0.3 | 0.3  | -1   |      |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_63       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | 1    | 1    | 1    |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_64       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 1    | 1    | 1    |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_65       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | 1    | -1   | 1    |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_66       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 1    | -1   | 1    |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_67       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | 1    | 1    | -1   |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_68       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 1    | 1    | -1   |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_69       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | 1    | -1   | -1   |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_70       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 0.5 | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 1    | -1   | -1   |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_71       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |      |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_72       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 0.6  | 0.6  | 0.6  |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_73       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | -0.6 | 0.6  |      |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_74       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 0.6  | -0.6 | 0.6  |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_75       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | 0.6  | -0.6 |      |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_76       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 0.6  | 0.6  | -0.6 |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_77       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | 0.6  | -0.6 | -0.6 |      |  |  |  |  |      |      |      |
| SLU_78       | γ | 1.35 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |  |  |  |  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   | 1   | 0.6 |  |  |  |  | -0.6 | 0.6  | -0.6 | -0.6 |  |  |  |  |      |      |      |
| ECCEZIONALE1 | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  | 1    |      |      |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  | 0.5  |      |      |      |  |  |  |  |      |      |      |
| ECCEZIONALE2 | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  | 1    |      |      |      |  |  |  |  |      |      |      |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  | -0.5 |      |      |      |  |  |  |  |      |      |      |
| SLO_1        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 0.3  | 0.3  |
| SLO_2        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -1   | 0.3  | 0.3  |
| SLO_3        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | -0.3 | 0.3  |
| SLO_4        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 0.3  | -0.3 |
| SLO_5        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | -0.3 | -0.3 |
| SLO_6        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -1   | -0.3 | -0.3 |
| SLO_7        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -1   | -0.3 | 0.3  |
| SLO_8        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -1   | 0.3  | -0.3 |
| SLO_9        | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 0.3  | 1    | 0.3  |
| SLO_10       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -0.3 | 1    | 0.3  |
| SLO_11       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 0.3  | -1   | 0.3  |
| SLO_12       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 0.3  | 1    | -0.3 |
| SLO_13       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 0.3  | -1   | -0.3 |
| SLO_14       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -0.3 | -1   | -0.3 |
| SLO_15       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -0.3 | -1   | 0.3  |
| SLO_16       | γ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | 1    | 1    | 1    |
|              | ψ | 1    | 1   |     |     |  |  |  |  |      |      |      |      |  |  |  |  | -0.3 | 1    | -0.3 |



## 7 RISULTATI ANALISI

### 7.1 Risultati dell'analisi modale

La tabella seguente rappresenta i rapporti di massa modale partecipanti:

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios |          |          |          |             |             |             |             |          |             |             |             |            |           |           |          |
|--|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|----------|
| OutputCase                             | StepType | StepNum  | Period   | UX          | UY          | UZ          | SumUX       | SumUY    | SumUZ       | RX          | RY          | RZ         | SumRX     | SumRY     | SumRZ    |
| Text                                   | Text     | Unitless | Sec      | Unitless    | Unitless    | Unitless    | Unitless    | Unitless | Unitless    | Unitless    | Unitless    | Unitless   | Unitless  | Unitless  | Unitless |
| MODAL                                  | Mode     | 1        | 0.658284 | 9.758E-07   | 1.75E-12    | 1.653E-10   | 9.758E-07   | 1.75E-12 | 1.653E-10   | 1.579E-10   | 2.57E-08    | 0.00546    | 1.579E-10 | 2.57E-08  | 0.00546  |
| MODAL                                  | Mode     | 2        | 0.636792 | 9.046E-08   | 0.0085      | 4.851E-09   | 0.000001066 | 0.0085   | 5.016E-09   | 0.00211     | 8.095E-10   | 0.00151    | 0.00211   | 2.651E-08 | 0.00696  |
| MODAL                                  | Mode     | 3        | 0.56637  | 3.194E-09   | 0.14253     | 4.656E-08   | 0.000001069 | 0.15103  | 5.157E-08   | 0.03533     | 1.341E-07   | 0.33065    | 0.03745   | 1.606E-07 | 0.33761  |
| MODAL                                  | Mode     | 4        | 0.551881 | 0.000002362 | 0.1302      | 9.452E-08   | 0.000003432 | 0.28122  | 1.461E-07   | 0.03217     | 2.679E-08   | 0.01843    | 0.06961   | 1.874E-07 | 0.35604  |
| MODAL                                  | Mode     | 5        | 0.540008 | 0.21791     | 3.152E-09   | 2.722E-15   | 0.21791     | 0.28122  | 1.461E-07   | 5.919E-10   | 0.00762     | 0.03715    | 0.06961   | 0.00762   | 0.39319  |
| MODAL                                  | Mode     | 6        | 0.531618 | 0.21114     | 0.00000124  | 0.000003404 | 0.42905     | 0.28122  | 0.00000355  | 0.000001247 | 0.00719     | 0.03583    | 0.06962   | 0.01481   | 0.42902  |
| MODAL                                  | Mode     | 7        | 0.380679 | 5.523E-12   | 0.56264     | 3.027E-12   | 0.42905     | 0.84386  | 0.00000355  | 0.08068     | 3.028E-12   | 0.20846    | 0.1503    | 0.01481   | 0.63748  |
| MODAL                                  | Mode     | 8        | 0.365432 | 5.416E-12   | 0.00076     | 3.854E-12   | 0.42905     | 0.84461  | 0.00000355  | 0.00011     | 2.576E-12   | 0.07488    | 0.15041   | 0.01481   | 0.71237  |
| MODAL                                  | Mode     | 9        | 0.250736 | 4.504E-10   | 0.00722     | 9.349E-07   | 0.42905     | 0.85183  | 0.000004485 | 0.00026     | 0.000002644 | 0.01674    | 0.15066   | 0.01481   | 0.72911  |
| MODAL                                  | Mode     | 10       | 0.244813 | 3.623E-09   | 0.00469     | 1.816E-10   | 0.42905     | 0.85652  | 0.000004485 | 0.00013     | 4.494E-12   | 0.00001735 | 0.15079   | 0.01481   | 0.72913  |
| MODAL                                  | Mode     | 11       | 0.233662 | 4.727E-08   | 1.241E-11   | 5.851E-09   | 0.42905     | 0.85652  | 0.000004491 | 4.961E-09   | 2.845E-07   | 0.00097    | 0.15079   | 0.01481   | 0.7301   |
| MODAL                                  | Mode     | 12       | 0.231816 | 3.271E-09   | 0.00589     | 1.505E-09   | 0.42905     | 0.86241  | 0.000004492 | 0.0008      | 2.025E-10   | 0.00199    | 0.1516    | 0.01481   | 0.73209  |
| MODAL                                  | Mode     | 13       | 0.210629 | 6.268E-09   | 0.000002523 | 2.323E-09   | 0.42905     | 0.86241  | 0.000004494 | 5.786E-07   | 1.836E-09   | 0.00023    | 0.1516    | 0.01481   | 0.73231  |
| MODAL                                  | Mode     | 14       | 0.206187 | 0.56802     | 8.175E-11   | 1.029E-07   | 0.99707     | 0.86241  | 0.000004597 | 8.735E-08   | 0.02008     | 0.09684    | 0.1516    | 0.03489   | 0.82915  |
| MODAL                                  | Mode     | 15       | 0.189552 | 5.868E-09   | 1.147E-11   | 1.21E-09    | 0.99707     | 0.86241  | 0.000004599 | 1.04E-09    | 3.994E-07   | 0.00122    | 0.1516    | 0.03489   | 0.83037  |
| MODAL                                  | Mode     | 16       | 0.18647  | 5.846E-08   | 0.00463     | 1.363E-10   | 0.99707     | 0.86704  | 0.000004599 | 0.00007097  | 1.555E-09   | 0.00016    | 0.15167   | 0.03489   | 0.83053  |
| MODAL                                  | Mode     | 17       | 0.173054 | 5.042E-10   | 0.06466     | 0.000003219 | 0.99707     | 0.9317   | 0.00003679  | 0.00151     | 0.00008754  | 0.15       | 0.15318   | 0.03497   | 0.98053  |

| TABLE: Modal Load Participation Ratios |              |      |         |         |
|--|--------------|------|---------|---------|
| OutputCase                             | ItemType     | Item | Static  | Dynamic |
| Text                                   | Text         | Text | Percent | Percent |
| MODAL                                  | Acceleration | UX   | 99.9864 | 99.6513 |
| MODAL                                  | Acceleration | UY   | 98.7893 | 92.1572 |
| MODAL                                  | Acceleration | UZ   | 0.0399  | 0.0047  |

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - 1 = 0.00028; T = 1.51910

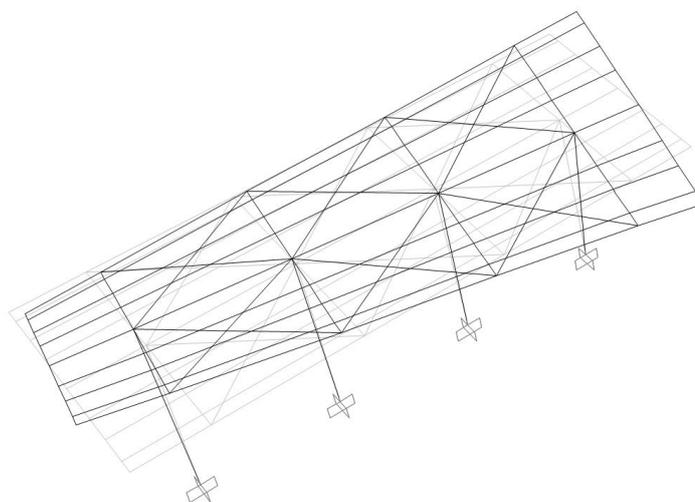
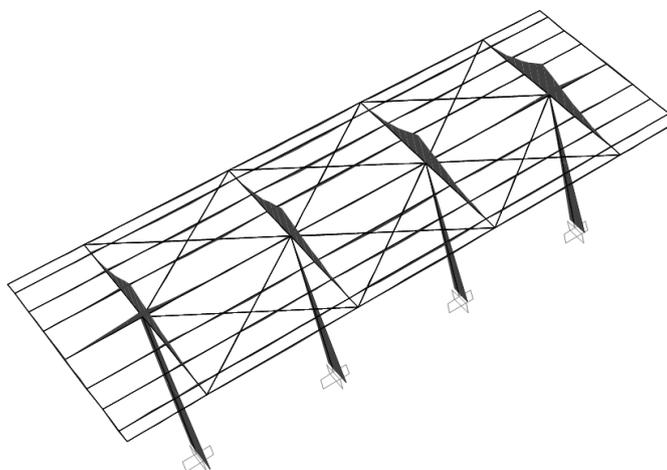


Figura 12 – Deformazione modale (Modo 1, T=0,658 s)

## 7.2 Stati Limite Ultimo (SLU)

### 7.2.1 Involuppo diagrammi delle sollecitazioni di progetto

Moment 3-3 Diagram (INV\_SLU)



Moment 3-3 Diagram (INV\_SLU)

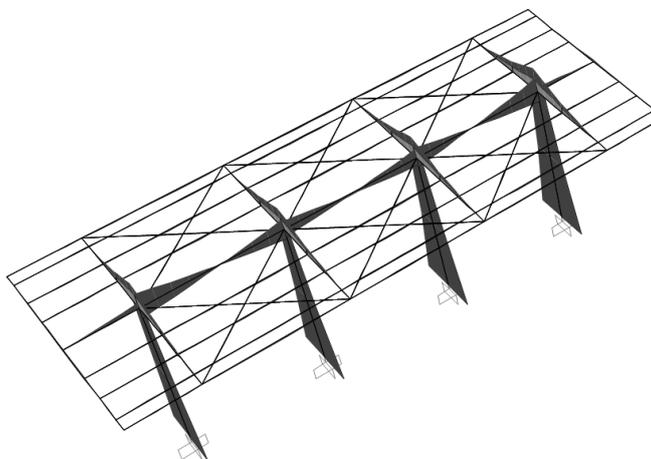
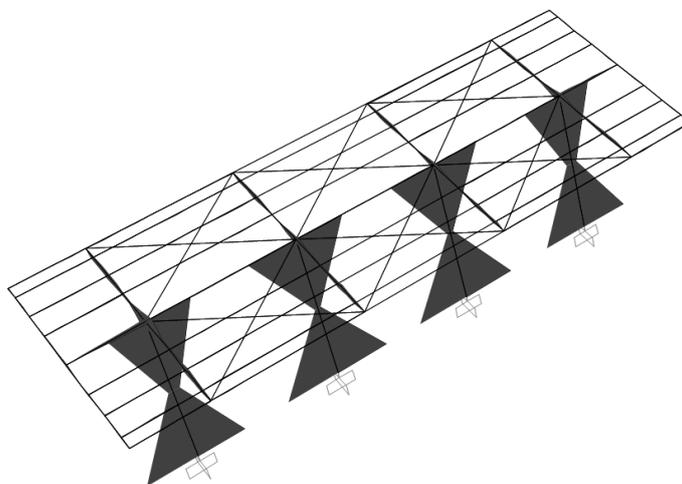
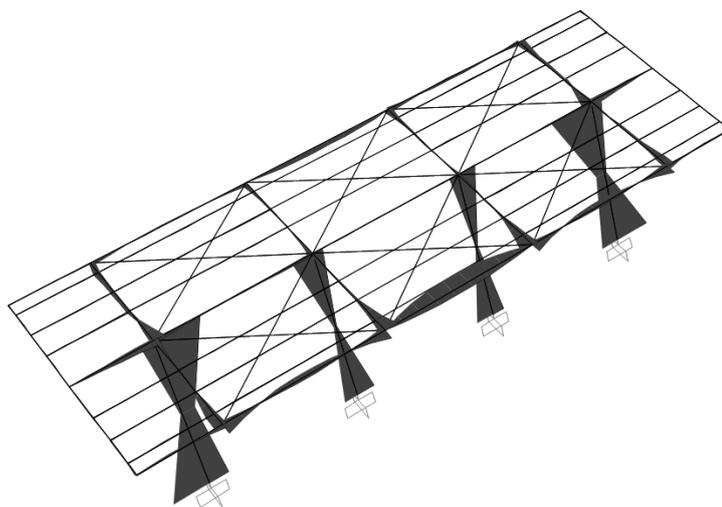
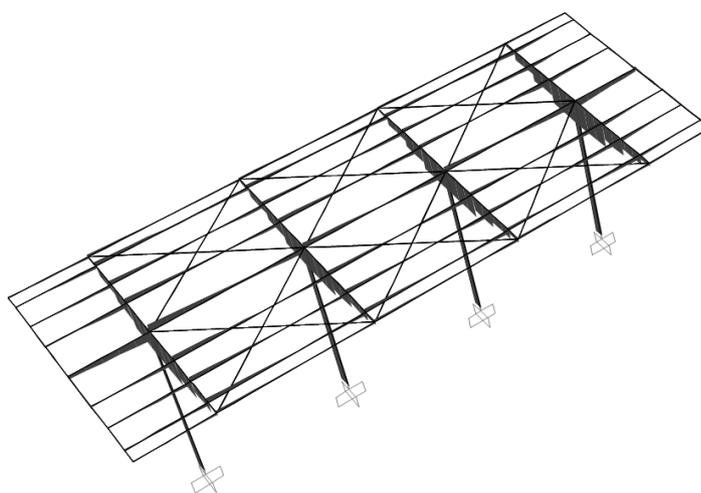


Figura 13 – Momenti flettenti (asse maggiore) da INV\_SLU-SLV [kN.m]

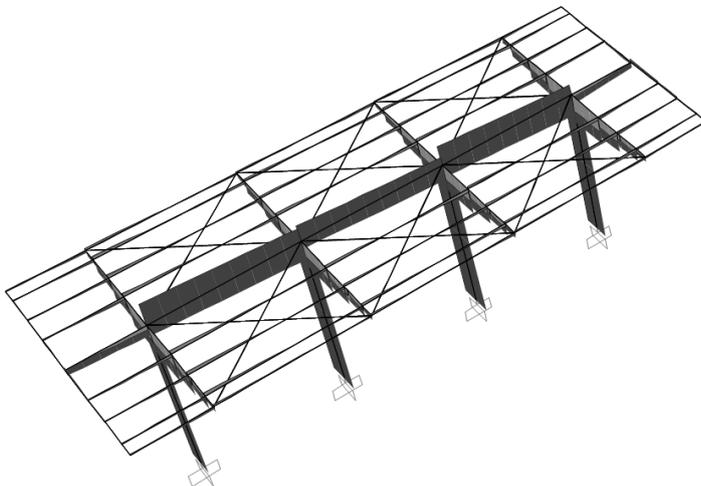


*Figura 14 – Momenti flettenti (asse minore) da INV\_SLU-SLV [kN.m]*

Shear Force 2-2 Diagram (INV\_SLU)

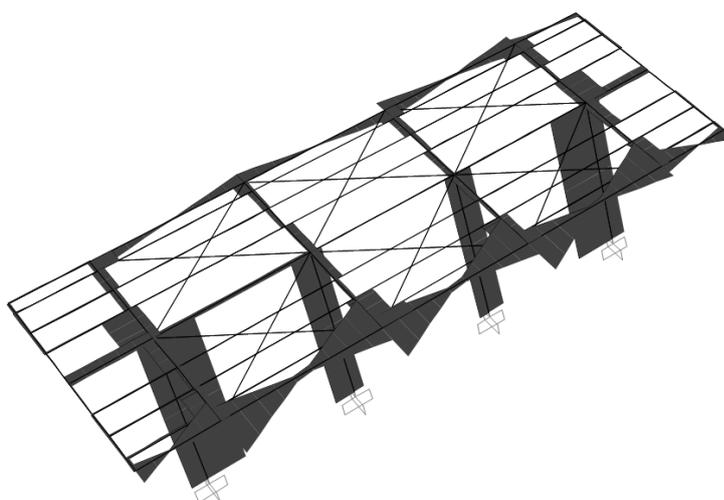


Shear Force 2-2 Diagram (INV\_SLV)

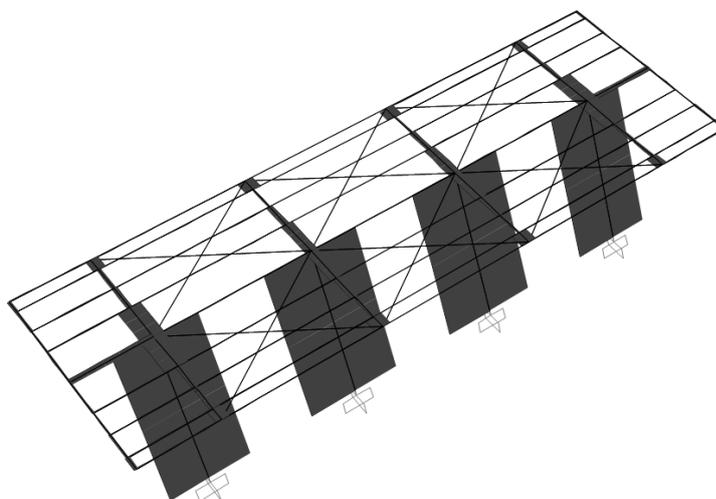


*Figura 15 – Taglio (asse maggiore) da INV\_SLU-SLV [kN]*

Shear Force 3-3 Diagram (INV\_SLU)

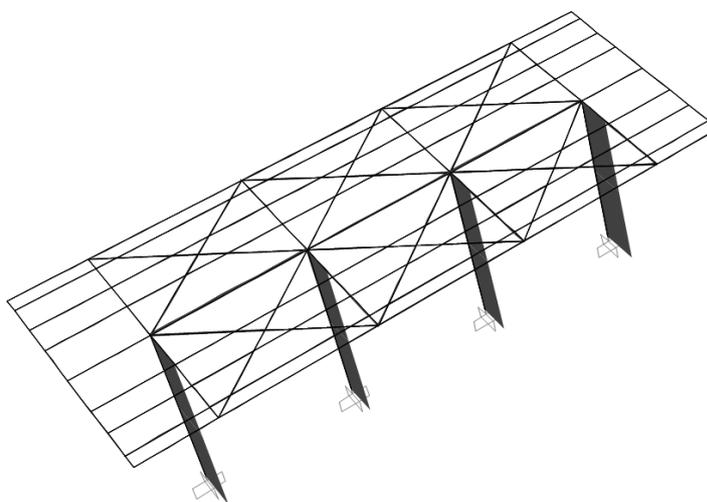


Shear Force 3-3 Diagram (INV\_SLV)



*Figura 16 – Taglio (asse minore) da INV\_SLU-SLV [kN]*

Axial Force Diagram (INV\_SLU)



Axial Force Diagram (INV\_SLV)

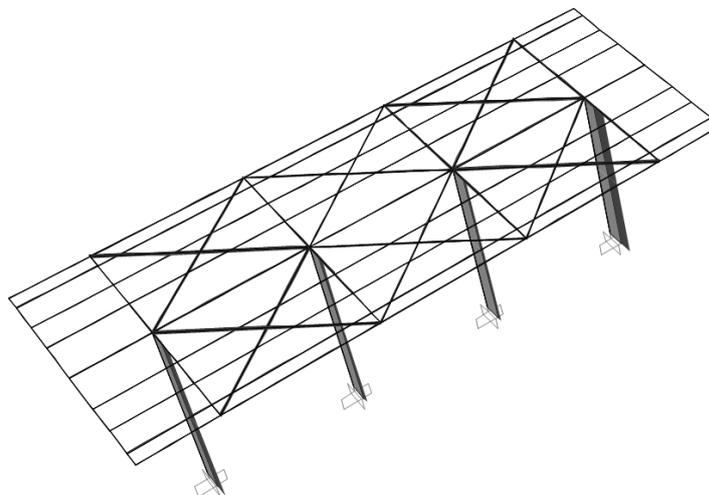


Figura 17 – Sforzi normali da INV\_SLU-SLV [kN]

|   |  |                         |             |                  |                          |
|---|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |
|   | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br><br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 |

### 7.3 Stati Limite di Esercizio (SLE)

Deformed Shape (INV\_SLE)

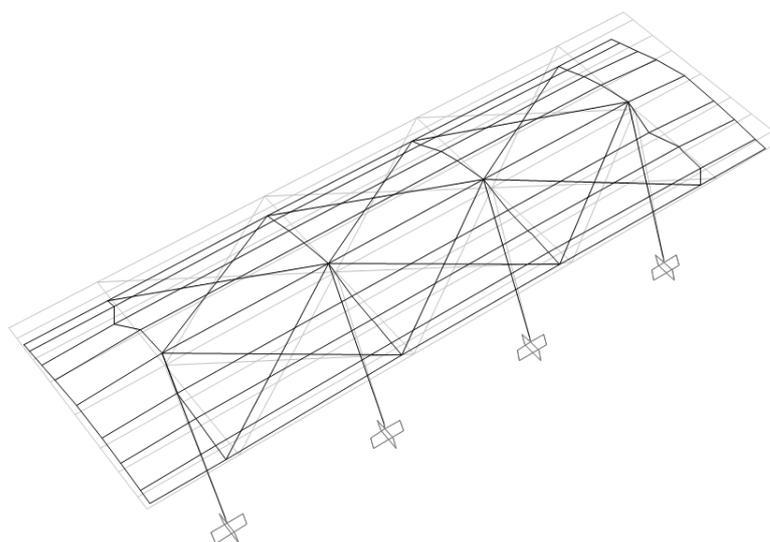


Figura 18 – Deformazioni verticali da INV\_SLE\_Rara [mm]

## 8 CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI

I criteri generali di verifica utilizzati per la valutazione delle capacità resistenti delle sezioni, per le condizioni SLU, sia per quelle SLE, sono quelli definiti al par. 4.2 del DM 17.01.18.

## 9 VERIFICHE DELLE MEMBRATURE METALLICHE

In seguito si riportano i risultati delle verifiche di resistenza delle membrature metalliche. Le verifiche sono state effettuate tramite il modulo "Steel Frame Design" del programma SAP2000

Steel P-M Interaction Ratios (Italian N1(L),018)

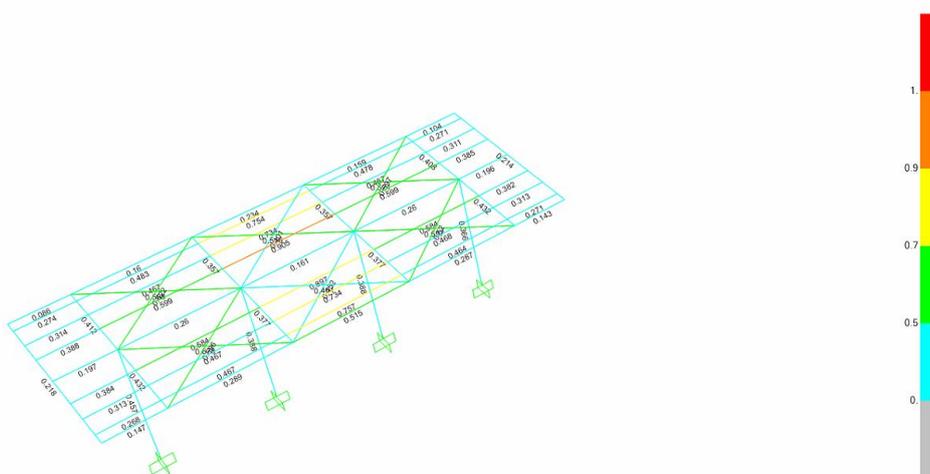
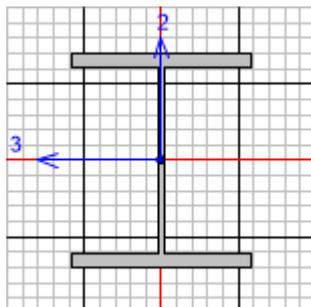


Figura 19 – Tasso di sfruttamento delle membrature

## 9.1 Verifiche delle colonne HEB360

Seguono le verifiche di resistenza strutturale della sezione, che contraddistingue i pilastri della struttura della pensilina condotte con il software SAP2000 (si considera la sezione maggiormente sollecitata).



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

|              |              |                |                             |
|--------------|--------------|----------------|-----------------------------|
| Frame : 2852 | X Mid: -55.  | Combo: SLU_68  | Design Type: Column         |
| Length: 5.35 | Y Mid: 13.1  | Shape: HE360B  | Frame Type: Non Dissipative |
| Loc : 2.675  | Z Mid: 2.675 | Class: Class 1 | Rolled : Yes                |

Interaction=Method B      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No

|              |              |              |            |
|--------------|--------------|--------------|------------|
| GammaM0=1.05 | GammaM1=1.05 | GammaM2=1.25 |            |
| An/Ag=1.     | RLLF=1.      | PLLF=0.      | D/C Lim=1. |

|               |               |            |                  |                   |
|---------------|---------------|------------|------------------|-------------------|
| Aeff=0.018    | eNy=0.        | eNz=0.     |                  |                   |
| A=0.018       | Iyy=4.319E-04 | iyy=0.154  | Wel,yy=0.002     | Weff,yy=0.002     |
| It=2.980E-06  | Izz=1.014E-04 | izz=0.075  | Wel,zz=6.760E-04 | Weff,zz=6.760E-04 |
| Iw=2.888E-06  | Iyz=0.        | h=0.36     | Wpl,yy=0.003     | Av,y=0.014        |
| E=2100000000. | fy=275000.    | fu=430000. | Wpl,zz=0.001     | Av,z=0.006        |

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

| Location | Ned      | Med,yy  | Med,zz | Ved,z  | Ved,y  | Ted    |
|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 2.675    | -259.317 | 134.024 | 3.458  | 20.361 | -5.096 | -0.074 |

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.457 =  $0.108 + 0.323 + 0.026$  < 1. OK  

$$= \frac{NEd}{(\chi_z N Rk / \Gamma_{M1})} + k_{zy} \frac{(My, Ed + NEd eNy)}{(\chi_{LT} My, Rk / \Gamma_{M1})} + k_{zz} \frac{(Mz, Ed + NEd eNz)}{(Mz, Rk / \Gamma_{M1})}$$
 (NTC Eq C4.2.38)

### AXIAL FORCE DESIGN

|       | Ned<br>Force | Nc,Rd<br>Capacity | Nt,Rd<br>Capacity |           |       |  |
|-------|--------------|-------------------|-------------------|-----------|-------|--|
| Axial | -259.317     | 4740.476          | 4740.476          |           |       |  |
|       | Npl,Rd       | Nu,Rd             | Ncr,T             | Ncr,TF    | An/Ag |  |
|       | 4740.476     | 5603.76           | 12444.943         | 12444.943 | 1.    |  |

| Curve        | Alpha | Ncr  | LambdaBar | Phi   | Chi   | Nb,Rd    |
|--------------|-------|------|-----------|-------|-------|----------|
| Major (y-y)  | b     | 0.34 | 31274.81  | 0.399 | 0.613 | 4392.019 |
| MajorB(y-y)  | b     | 0.34 | 31274.81  | 0.399 | 0.613 | 4392.019 |
| Minor (z-z)  | c     | 0.49 | 4424.221  | 1.061 | 1.273 | 2396.586 |
| MinorB(z-z)  | c     | 0.49 | 12697.593 | 0.626 | 0.8   | 3649.254 |
| Torsional TF | c     | 0.49 | 12444.943 | 0.632 | 0.806 | 3631.218 |

MOMENT DESIGN

|             | Med<br>Moment | Med, span<br>Moment | Mm, Ed<br>Moment | Meq, Ed<br>Moment |
|-------------|---------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Major (y-y) | 134.024       | 192.042             | 134.024          | 174.231           |
| Minor (z-z) | 3.458         | 17.091              | 3.458            | 6.836             |

|             | Mc, Rd<br>Capacity | Mv, Rd<br>Capacity | Mn, Rd<br>Capacity | Mb, Rd<br>Capacity |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Major (y-y) | 702.69             | 702.69             | 702.69             | 590.018            |
| Minor (z-z) | 270.286            | 270.286            | 270.286            |                    |

| LTB | Curve<br>b | AlphaLT | LambdaBarLT | PhiLT | ChiLT | psi   | Mcr      |
|-----|------------|---------|-------------|-------|-------|-------|----------|
|     |            | 0.34    | 0.665       | 0.8   | 0.84  | 1.311 | 1669.853 |

| Factors | kyy   | kyz   | kzy   | kzz   |
|---------|-------|-------|-------|-------|
|         | 0.767 | 0.251 | 0.991 | 0.419 |

SHEAR DESIGN

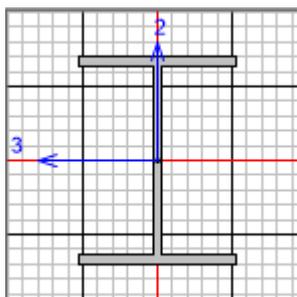
|           | Ved<br>Force | Ted<br>Torsion | Vc, Rd<br>Capacity | Stress<br>Ratio | Status<br>Check |
|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Major (z) | 20.361       | 0.074          | 921.818            | 0.022           | OK              |
| Minor (y) | 5.096        | 0.074          | 2141.522           | 0.002           | OK              |

| Vpl, Rd | Eta<br>Reduction | LambdaBarW |    |       |
|---------|------------------|------------|----|-------|
|         |                  | 921.818    | 1. | 0.309 |

**La verifica ha esito positivo!**

## 9.2 Verifiche delle mensole (H400x300)

Seguono le verifiche di resistenza strutturale della sezione che contraddistingue le mensole della struttura della pensilina condotte con il software SAP2000 (si considera la sezione maggiormente sollecitata).



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

|              |               |                     |                             |
|--------------|---------------|---------------------|-----------------------------|
| Frame : 2888 | X Mid: -55.   | Combo: SLU_77       | Design Type: Beam           |
| Length: 3.95 | Y Mid: 11.125 | Shape: Mensola 3.95 | Frame Type: Non Dissipative |
| Loc : 2.6    | Z Mid: 5.35   | Class: Class 1      | Rolled : No                 |

Interaction=Method B                      MultiResponse=Envelopes                      P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No

|              |              |              |            |
|--------------|--------------|--------------|------------|
| GammaM0=1.05 | GammaM1=1.05 | GammaM2=1.25 |            |
| An/Ag=1.     | RLLF=1.      | PLLF=0.      | D/C Lim=1. |

|              |               |            |                   |                    |
|--------------|---------------|------------|-------------------|--------------------|
| Aeff=0.016   | eNy=0.        | eNz=0.     |                   |                    |
| A=0.016      | Iyy=2.576E-04 | iyy=0.127  | Wel, yy=0.002     | Weff, yy=0.002     |
| It=1.815E-06 | Izz=9.007E-05 | izz=0.075  | Wel, zz=6.005E-04 | Weff, zz=6.005E-04 |
| Iw=1.765E-06 | Iyz=0.        | h=0.3      | Wpl, yy=0.002     | Av, y=0.012        |
| E=210000000. | fy=275000.    | fu=430000. | Wpl, zz=9.146E-04 | Av, z=0.004        |

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

| Location | Ned     | Med, yy | Med, zz | Ved, z  | Ved, y | Ted   |
|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 2.6      | -11.486 | -5.853  | -3.612  | -14.916 | -0.735 | 0.342 |

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.432 = 0.003 + 0.42 + 0.009 < 1. OK  

$$= \frac{NEd}{\chi_z N R_k / \Gamma_{M1}} + \frac{k_{zy} (M_y, Ed + NEd eNy)}{(\chi_{LT} M_y, R_k / \Gamma_{M1})} + \frac{k_{zz} (M_z, Ed + NEd eNz)}{(M_z, R_k / \Gamma_{M1})}$$
 (NTC Eq C4.2.38)

### AXIAL FORCE DESIGN

|              | Ned      | Nc, Rd    | Nt, Rd    |           |       |          |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|
| Axial        | Force    | Capacity  | Capacity  |           |       |          |
|              | -11.486  | 4164.286  | 4164.286  |           |       |          |
|              | Npl, Rd  | Nu, Rd    | Ncr, T    | Ncr, TF   | An/Ag |          |
|              | 4164.286 | 4922.64   | 86300.785 | 86300.785 | 1.    |          |
| Curve        | Alpha    | Ncr       | LambdaBar | Phi       | Chi   | Nb, Rd   |
| Major (y-y)  | b 0.34   | 34215.282 | 0.357     | 0.591     | 0.943 | 3925.322 |
| MajorB (y-y) | b 0.34   | 34215.282 | 0.357     | 0.591     | 0.943 | 3925.322 |
| Minor (z-z)  | c 0.49   | 88792.905 | 0.222     | 0.53      | 0.989 | 4117.816 |
| MinorB (z-z) | c 0.49   | 88792.905 | 0.222     | 0.53      | 0.989 | 4117.816 |
| Torsional TF | c 0.49   | 86300.785 | 0.225     | 0.531     | 0.987 | 4111.081 |

**MOMENT DESIGN**

|             | Med<br>Moment | Med, span<br>Moment | Mm, Ed<br>Moment | Meq, Ed<br>Moment |
|-------------|---------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Major (y-y) | -5.853        | -258.79             | -15.946          | -84.921           |
| Minor (z-z) | -3.612        | -3.612              | -9.84            | -1.129            |

|             | Mc, Rd<br>Capacity | Mv, Rd<br>Capacity | Mn, Rd<br>Capacity | Mb, Rd<br>Capacity |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Major (y-y) | 506.393            | 506.393            | 506.393            | 506.393            |
| Minor (z-z) | 239.545            | 239.545            | 239.545            |                    |

| LTB | Curve<br>c | AlphaLT | LambdaBarLT | PhiLT | ChiLT | psi   | Mcr       |
|-----|------------|---------|-------------|-------|-------|-------|-----------|
|     |            | 0.49    | 0.166       | 0.505 | 1.    | 1.498 | 19387.661 |

| Factors | kyy   | kyz   | kzy   | kzz   |
|---------|-------|-------|-------|-------|
|         | 0.441 | 0.347 | 0.822 | 0.579 |

**SHEAR DESIGN**

|           | Ved<br>Force | Ted<br>Torsion | Vc, Rd<br>Capacity | Stress<br>Ratio | Status<br>Check |
|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Major (z) | 14.916       | 0.342          | 589.722            | 0.025           | OK              |
| Minor (y) | 0.735        | 0.342          | 1814.529           | 0.              | OK              |

| Reduction | Vpl, Rd | Eta | LambdaBarW |
|-----------|---------|-----|------------|
|           | 589.722 | 1.  | 0.212      |

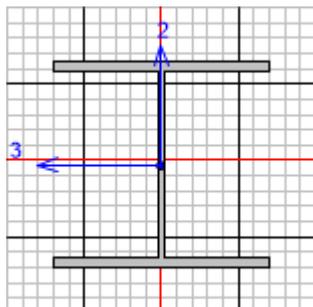
**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

|            | VMajor<br>Left | VMajor<br>Right |
|------------|----------------|-----------------|
| Major (V2) | 102.01         | 14.082          |

**La verifica ha esito positivo!**

### 9.3 Verifiche delle travi longitudinali HEA260

Seguono le verifiche di resistenza strutturale della sezione che contraddistingue le travi longitudinali della struttura della pensilina condotte con il software SAP2000 (si considera la sezione maggiormente sollecitata).



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

|         |      |                |                |                             |
|---------|------|----------------|----------------|-----------------------------|
| Frame : | 2814 | X Mid: -52.775 | Combo: SLV 8   | Design Type: Beam           |
| Length: | 4.45 | Y Mid: 13.1    | Shape: HE260A  | Frame Type: Non Dissipative |
| Loc :   | 4.45 | Z Mid: 5.35    | Class: Class 1 | Rolled : Yes                |

Interaction=Method B                      MultiResponse=Envelopes                      P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No

|              |              |              |            |
|--------------|--------------|--------------|------------|
| GammaM0=1.05 | GammaM1=1.05 | GammaM2=1.25 |            |
| An/Ag=1.     | RLLF=1.      | PLLF=0.      | D/C Lim=1. |

|              |               |            |                   |                    |
|--------------|---------------|------------|-------------------|--------------------|
| Aeff=0.009   | eNy=0.        | eNz=0.     |                   |                    |
| A=0.009      | Iyy=1.045E-04 | iy=0.11    | Wel, yy=8.360E-04 | Weff, yy=8.360E-04 |
| It=0.        | Izz=3.668E-05 | iz=0.065   | Wel, zz=2.822E-04 | Weff, zz=2.822E-04 |
| Iw=0.        | Iyz=0.        | h=0.25     | Wpl, yy=9.200E-04 | Av, y=0.007        |
| E=210000000. | fy=275000.    | fu=430000. | Wpl, zz=4.300E-04 | Av, z=0.003        |

**STRESS CHECK FORCES & MOMENTS**

|          |       |         |         |         |        |        |
|----------|-------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Location | Ned   | Med, yy | Med, zz | Ved, z  | Ved, y | Ted    |
| 4.45     | 1.873 | -59.371 | -0.102  | -13.804 | -0.036 | -0.002 |

**PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)**

D/C Ratio: 0.26 = 0. + 0.26 + 0. < 1. OK  

$$= \frac{NED}{(\chi_z NRk / \Gamma_{M1})} + k_{zy} \frac{(M_y, Ed + NED eNy)}{(\chi_{LT} M_y, Rk / \Gamma_{M1})} + k_{zz} \frac{(M_z, Ed + NED eNz)}{(M_z, Rk / \Gamma_{M1})}$$
(NTC Eq C4.2.38)

**AXIAL FORCE DESIGN**

|       |       |          |          |
|-------|-------|----------|----------|
|       | Ned   | Nc, Rd   | Nt, Rd   |
| Axial | Force | Capacity | Capacity |
|       | 1.873 | 2273.333 | 2273.333 |

|  |          |          |          |          |       |
|--|----------|----------|----------|----------|-------|
|  | Npl, Rd  | Nu, Rd   | Ncr, T   | Ncr, TF  | An/Ag |
|  | 2273.333 | 2687.328 | 6019.935 | 6019.935 | 1.    |

|              |       |      |           |       |       |        |          |
|--------------|-------|------|-----------|-------|-------|--------|----------|
| Curve        | Alpha | Ncr  | LambdaBar | Phi   | Chi   | Nb, Rd |          |
| Major (y-y)  | b     | 0.34 | 10937.431 | 0.467 | 0.655 | 0.898  | 2042.543 |
| MajorB (y-y) | b     | 0.34 | 10937.431 | 0.467 | 0.655 | 0.898  | 2042.543 |
| Minor (z-z)  | c     | 0.49 | 3839.09   | 0.789 | 0.955 | 0.669  | 1521.694 |
| MinorB (z-z) | c     | 0.49 | 3839.09   | 0.789 | 0.955 | 0.669  | 1521.694 |
| Torsional TF | c     | 0.49 | 6019.935  | 0.63  | 0.804 | 0.768  | 1745.117 |

**MOMENT DESIGN**

|             | Med<br>Moment | Med, span<br>Moment | Mm, Ed<br>Moment | Meq, Ed<br>Moment |
|-------------|---------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Major (y-y) | -59.371       | -59.371             | -59.371          | -59.371           |
| Minor (z-z) | -0.102        | -0.102              | -0.091           | -0.093            |

|             | Mc, Rd<br>Capacity | Mv, Rd<br>Capacity | Mn, Rd<br>Capacity | Mb, Rd<br>Capacity |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Major (y-y) | 240.952            | 240.952            | 240.952            | 228.747            |
| Minor (z-z) | 112.619            | 112.619            | 112.619            |                    |

| LTB | Curve<br>b | AlphaLT | LambdaBarLT | PhiLT | ChiLT | psi   | Mcr      |
|-----|------------|---------|-------------|-------|-------|-------|----------|
|     |            | 0.34    | 0.417       | 0.624 | 0.949 | 2.369 | 1452.648 |

| Factors | kyy | kyz  | kzy | kzz   |
|---------|-----|------|-----|-------|
|         | 0.4 | 0.55 | 1.  | 0.916 |

**SHEAR DESIGN**

|           | Ved<br>Force | Ted<br>Torsion | Vc, Rd<br>Capacity | Stress<br>Ratio | Status<br>Check |
|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Major (z) | 27.389       | 0.002          | 434.542            | 0.063           | OK              |
| Minor (y) | 0.041        | 0.002          | 1057.341           | 3.861E-05       | OK              |

| Reduction | Vpl, Rd | Eta | LambdaBarW |
|-----------|---------|-----|------------|
|           | 434.542 | 1.  | 0.368      |

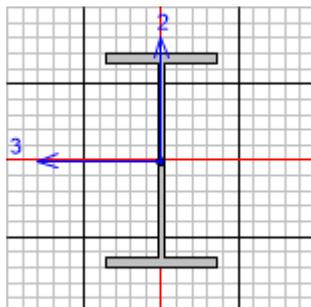
**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

| VMajor<br>Left | VMajor<br>Right | Major (V2) |                   |
|----------------|-----------------|------------|-------------------|
|                |                 |            | 24.52      27.389 |

**La verifica ha esito positivo!**

## 9.4 Verifiche degli arcarecci IPE 180

Seguono le verifiche di resistenza strutturale della sezione scelta per gli arcarecci longitudinali condotte con il software SAP2000 (si considera la sezione maggiormente sollecitata).



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

|              |                |                |                             |
|--------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| Frame : 2824 | X Mid: -48.325 | Combo: SLU_39  | Design Type: Beam           |
| Length: 4.45 | Y Mid: 14.55   | Shape: IPE180  | Frame Type: Non Dissipative |
| Loc : 4.45   | Z Mid: 5.35    | Class: Class 1 | Rolled : Yes                |

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No

|              |              |              |            |
|--------------|--------------|--------------|------------|
| GammaM0=1.05 | GammaM1=1.05 | GammaM2=1.25 |            |
| An/Ag=1.     | RLLF=1.      | PLLF=0.      | D/C Lim=1. |

|              |               |            |                  |                   |
|--------------|---------------|------------|------------------|-------------------|
| Aeff=0.002   | eNy=0.        | eNz=0.     |                  |                   |
| A=0.002      | Iyy=1.317E-05 | iy=0.074   | Wel,yy=1.463E-04 | Weff,yy=1.463E-04 |
| It=0.        | Izz=1.010E-06 | izz=0.021  | Wel,zz=2.220E-05 | Weff,zz=2.220E-05 |
| Iw=0.        | Iyz=0.        | h=0.18     | Wpl,yy=1.660E-04 | Av,y=0.002        |
| E=210000000. | fy=275000.    | fu=430000. | Wpl,zz=3.460E-05 | Av,z=0.001        |

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

| Location | Ned    | Med,yy | Med,zz | Ved,z  | Ved,y | Ted       |
|----------|--------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| 4.45     | -1.435 | 0.     | 0.     | 14.408 | 0.    | 8.188E-06 |

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.905 = 0.016 + 0.889 + 0. < 1. OK  

$$= \frac{NEd}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{(M_{y,Ed} + NEd e_{Ny})}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{(M_{z,Ed} + NEd e_{Nz})}{(M_{z,Rk}/\gamma_{M1})}$$
 (NTC Eq C4.2.38)

### AXIAL FORCE DESIGN

|       | Ned    | Nc,Rd    | Nt,Rd    |
|-------|--------|----------|----------|
| Axial | Force  | Capacity | Capacity |
|       | -1.435 | 625.952  | 625.952  |

| Npl,Rd  | Nu,Rd   | Ncr,T   | Ncr,TF  | An/Ag |
|---------|---------|---------|---------|-------|
| 625.952 | 739.944 | 775.692 | 775.692 | 1.    |

| Curve        | Alpha | Ncr  | LambdaBar | Phi   | Chi   | Nb,Rd |
|--------------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|
| Major (y-y)  | a     | 0.21 | 1378.43   | 0.691 | 0.79  | 0.852 |
| MajorB (y-y) | a     | 0.21 | 1378.43   | 0.691 | 0.79  | 0.852 |
| Minor (z-z)  | b     | 0.34 | 105.711   | 2.493 | 3.999 | 0.14  |
| MinorB (z-z) | b     | 0.34 | 105.711   | 2.493 | 3.999 | 0.14  |

OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO    |
|----------|-------|----------|-------------|------|-----------|
| NM25     | 03    | D 44     | CLFV1300001 | A    | 65 di 103 |

RELAZIONE DI CALCOLO

Torsional TF b 0.34 775.692 0.92 1.046 0.648 405.613

**MOMENT DESIGN**

|             | Med<br>Moment | Med, span<br>Moment | Mm, Ed<br>Moment | Meq, Ed<br>Moment |
|-------------|---------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Major (y-y) | 0.            | 15.831              | 0.               | 11.873            |
| Minor (z-z) | 0.            | 0.                  | 0.               | 0.                |

|             | Mc, Rd<br>Capacity | Mv, Rd<br>Capacity | Mn, Rd<br>Capacity | Mb, Rd<br>Capacity |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Major (y-y) | 43.476             | 43.476             | 43.476             | 17.764             |
| Minor (z-z) | 9.062              | 9.062              | 9.062              |                    |

| LTB | Curve<br>b | AlphaLT<br>0.34 | LambdaBarLT<br>1.35 | PhiLT<br>1.606 | ChiLT<br>0.409 | psi<br>1.136 | Mcr<br>25.065 |
|-----|------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
|-----|------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|--------------|---------------|

| Factors | kyy<br>0.951 | kyz<br>0.614 | kzy<br>0.998 | kzz<br>1.023 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|

**SHEAR DESIGN**

|           | Ved<br>Force | Ted<br>Torsion | Vc, Rd<br>Capacity | Stress<br>Ratio | Status<br>Check |
|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Major (z) | 14.408       | 8.188E-06      | 169.416            | 0.085           | OK              |
| Minor (y) | 0.           | 8.188E-06      | 229.961            | 0.              | OK              |

| Reduction | Vpl, Rd<br>169.416 | Eta<br>1. | LambdabarW<br>0.382 |
|-----------|--------------------|-----------|---------------------|
|-----------|--------------------|-----------|---------------------|

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

| Major (V2) | VMajor<br>Left<br>14.408 | VMajor<br>Right<br>14.408 |
|------------|--------------------------|---------------------------|
|------------|--------------------------|---------------------------|

**La verifica ha esito positivo!**

### 9.5 Verifiche dei controventi 2xL70x70x7

I controventi vengono modellati con elementi frame a cui si assegnano dei release di tipo M2-M3 ed un modulo elastico dimezzato. Nel modello di calcolo sono stati considerati reagenti sia a trazione, che a compressione nell'ambito dell'analisi statica lineare. Le verifiche di resistenza, comunque, sono eseguite con il doppio dello sforzo assiale agente del controvento.

Seguono le verifiche di resistenza strutturale della sezione scelta per i controventi condotte con un calcolo manuale (si considera la sezione maggiormente sollecitata).

Asial Force Diagram (INV\_SLV)

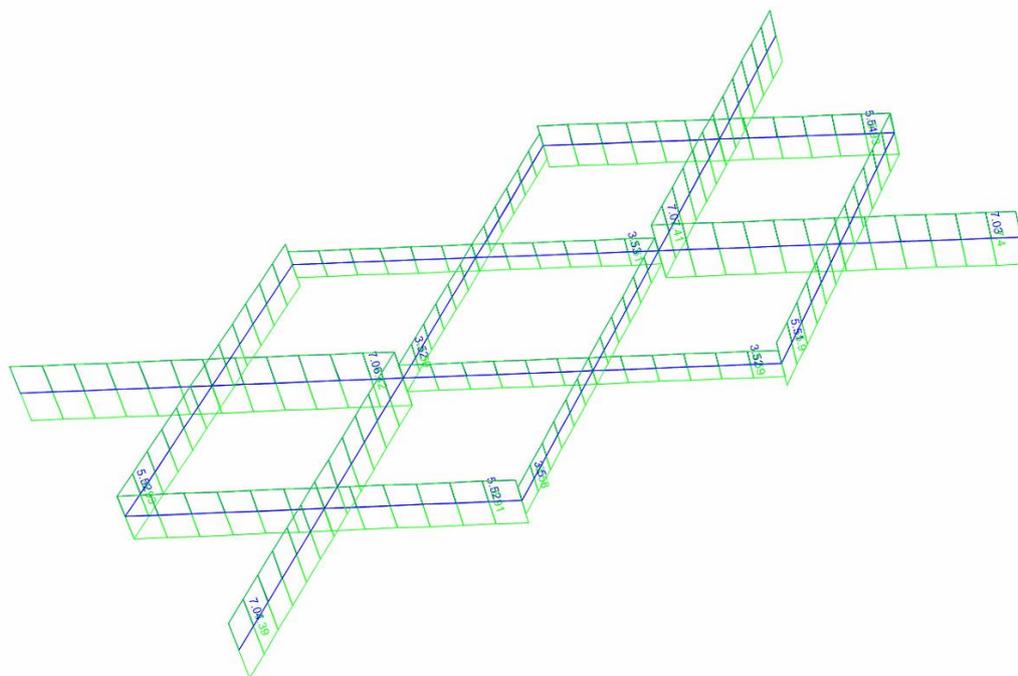
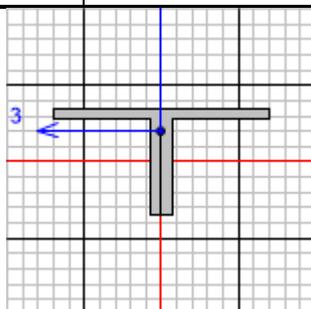


Figura 20 – Sforzi normali da INV-SLV [kN]



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Interaction=Method B  
Consider Torsion? No

MultiResponse=Envelopes

P-Delta Done? No

GammaM0=1.05  
An/Ag=1.

GammaM1=1.05  
RLLF=1.

GammaM2=1.25  
PLLF=0.

D/C Lim=1.

Aeff=0.002  
A=0.002  
It=0.  
Iw=0.  
E=105000000.

eNy=0.  
Iyy=0.  
Izz=1.576E-06  
Iyz=0.  
fy=275000.

eNz=0.  
iyy=0.021  
izz=0.029  
h=0.07  
fu=430000.

Wel, yy=1.682E-05  
Wel, zz=2.251E-05  
Wpl, yy=3.120E-05  
Wpl, zz=3.705E-05

Weff, yy=1.682E-05  
Weff, zz=2.251E-05  
Av, y=8.134E-04  
Av, z=9.800E-04

Iyz=0.  
Rot= 90. deg

Imax=1.576E-06  
Imin=0.

imax=0.029  
imin=0.021

Wel, zz, maj=2.251E-05  
Wel, zz, min=1.682E-05

Numero elemento: 2920

Sforzo assiale massimo: N=7.06 kN (comb. inv\_SLV dal modelo SAP2000)

$N_{Ed} = 2 \times N = 14.12 \text{ kN}$

$N_{Rd} = A \times f_y / \gamma_{M0} = 429.12 \text{ kN}$

$N_{Ed} < N_{Rd}$

**La verifica ha esito positivo!**

## 9.6 Verifiche tabelle output complete

**TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Italian NTC 2018**

| Frame | DesignSec      | DesignTy | Ratic    | RatioTy | Comb   |
|-------|----------------|----------|----------|---------|--------|
| 2822  | IPE180         | Beam     | 0.896587 | PMM     | SLU_39 |
| 3051  | IPE180         | Beam     | 0.757032 | PMM     | SLU_77 |
| 3056  | IPE180         | Beam     | 0.753912 | PMM     | SLU_75 |
| 2991  | IPE180         | Beam     | 0.733933 | PMM     | SLU_39 |
| 2825  | IPE180         | Beam     | 0.733595 | PMM     | SLU_39 |
| 2827  | IPE180         | Beam     | 0.583774 | PMM     | SLU_73 |
| 2817  | IPE180         | Beam     | 0.583659 | PMM     | SLU_75 |
| 2823  | UPN240         | Beam     | 0.514933 | PMM     | SLU_74 |
| 3055  | IPE180         | Beam     | 0.483151 | PMM     | SLU_75 |
| 3057  | IPE180         | Beam     | 0.477869 | PMM     | SLU_39 |
| 2992  | IPE180         | Beam     | 0.467712 | PMM     | SLU_39 |
| 2990  | IPE180         | Beam     | 0.467451 | PMM     | SLU_39 |
| 2820  | IPE180         | Beam     | 0.46736  | PMM     | SLU_39 |
| 2830  | IPE180         | Beam     | 0.467126 | PMM     | SLU_39 |
| 3050  | IPE180         | Beam     | 0.46708  | PMM     | SLU_77 |
| 3052  | IPE180         | Beam     | 0.464354 | PMM     | SLU_39 |
| 2852  | HE360B         | Column   | 0.457304 | PMM     | SLU_68 |
| 2891  | Mensola 3.95   | Beam     | 0.431625 | PMM     | SLU_73 |
| 2888  | Mensola 3.95   | Beam     | 0.431552 | PMM     | SLU_77 |
| 2892  | Mensola 3.95.1 | Beam     | 0.41158  | PMM     | SLU_75 |
| 2895  | Mensola 3.95.1 | Beam     | 0.407883 | PMM     | SLU_72 |
| 2850  | HE360B         | Column   | 0.388341 | PMM     | SLV_1  |
| 2851  | HE360B         | Column   | 0.388282 | PMM     | SLV_1  |
| 2781  | IPE180         | Beam     | 0.388155 | PMM     | SLU_75 |
| 2775  | IPE180         | Beam     | 0.385106 | PMM     | SLU_71 |
| 2784  | IPE180         | Beam     | 0.383559 | PMM     | SLU_77 |
| 2778  | IPE180         | Beam     | 0.382167 | PMM     | SLU_73 |
| 2889  | Mensola 3.95   | Beam     | 0.377223 | PMM     | SLU_39 |
| 2890  | Mensola 3.95   | Beam     | 0.377121 | PMM     | SLU_39 |
| 2849  | HE360B         | Column   | 0.365745 | PMM     | SLV_1  |
| 2893  | Mensola 3.95.1 | Beam     | 0.35726  | PMM     | SLU_39 |
| 2894  | Mensola 3.95.1 | Beam     | 0.357156 | PMM     | SLU_39 |
| 2782  | IPE180         | Beam     | 0.314447 | PMM     | SLU_75 |
| 2988  | IPE180         | Beam     | 0.313358 | PMM     | SLU_73 |
| 2989  | IPE180         | Beam     | 0.313074 | PMM     | SLU_77 |
| 2776  | IPE180         | Beam     | 0.311314 | PMM     | SLU_71 |
| 2818  | UPN240         | Beam     | 0.288953 | PMM     | SLU_77 |
| 2828  | UPN240         | Beam     | 0.286542 | PMM     | SLU_73 |
| 3054  | IPE180         | Beam     | 0.274494 | PMM     | SLU_77 |
| 3048  | IPE180         | Beam     | 0.270866 | PMM     | SLU_73 |
| 3053  | IPE180         | Beam     | 0.270545 | PMM     | SLU_73 |
| 3049  | IPE180         | Beam     | 0.267856 | PMM     | SLU_75 |
| 2812  | HE260A         | Beam     | 0.260428 | PMM     | SLV_1  |
| 2814  | HE260A         | Beam     | 0.260375 | PMM     | SLV_1  |
| 2826  | UPN240         | Beam     | 0.234391 | PMM     | SLU_41 |
| 2896  | UPN240         | Beam     | 0.217502 | PMM     | SLU_72 |
| 2897  | UPN240         | Beam     | 0.213951 | PMM     | SLU_78 |
| 2780  | HE260A         | Beam     | 0.197463 | PMM     | SLU_74 |
| 2774  | HE260A         | Beam     | 0.196166 | PMM     | SLU_76 |
| 2813  | HE260A         | Beam     | 0.161088 | PMM     | SLV_1  |
| 2821  | UPN240         | Beam     | 0.160342 | PMM     | SLU_42 |
| 2831  | UPN240         | Beam     | 0.15871  | PMM     | SLU_41 |
| 2785  | UPN240         | Beam     | 0.146585 | PMM     | SLU_77 |
| 2779  | UPN240         | Beam     | 0.142709 | PMM     | SLU_71 |
| 2777  | UPN240         | Beam     | 0.104422 | PMM     | SLU_35 |
| 2783  | UPN240         | Beam     | 0.085914 | PMM     | SLU_75 |

## 10 VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ

### 10.1 Verifiche di spostamenti verticali

Gli spostamenti attesi in copertura, per la prima tipologia di pensilina, dati dalla combinazione SLE rara governante e dai carichi permanenti risultano pari a 17.9mm e 4.1mm:

Deformed Shape (INV\_SLE)

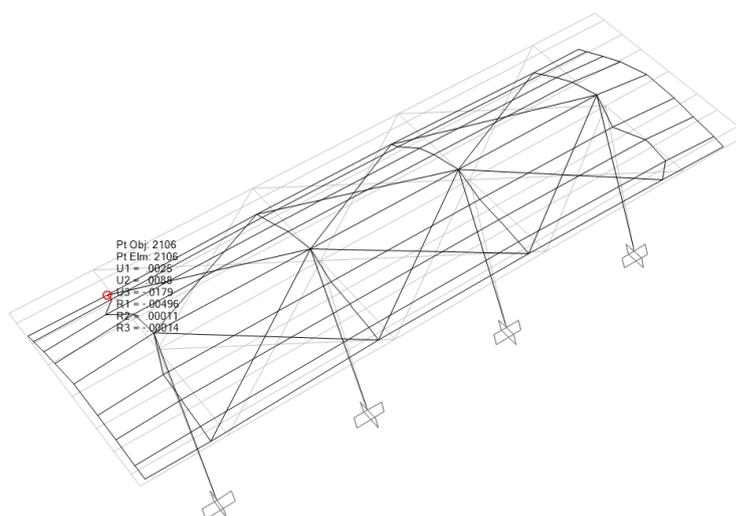


Figura 21 – Spostamenti massimi attesi

Deformed Shape (PP)

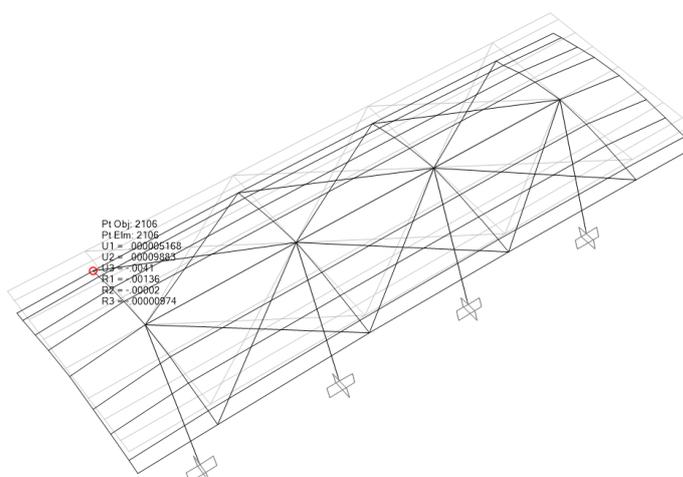


Figura 22 – Spostamenti massimi dai carichi permanenti

La verifica secondo il §4.2.4.2.1 del DM2018 fornisce i seguenti risultati:

- spostamento elastico dovuto alla combinazione SLE:

$$\delta_{\max} = 17.9 \text{ mm}$$

- spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti:

$$\delta_1 = 4.1 \text{ mm}$$

- spostamento elastico dovuto ai carichi variabili:

$$\delta_2 = 17.9 - 4.1 = 13.8 \text{ mm}$$

- spostamento massimo nello stato finale  $\delta_{\max} = 17.9 \text{ mm}$

La deformabilità degli elementi della copertura è pertanto:

$$L / \delta_2 = 2 \times 3950 / 13.8 = 572$$

$$L / \delta_{\max} = 2 \times 3950 / 17.9 = 441$$

$$L / 572 \leq L / 250$$

$$L / 441 \leq L / 200$$

lunghezza dello sbalzo = 3.95m

Si ha dunque:  $L = 2 \times 3.95 = 7.9\text{m}$

**La verifica risulta soddisfatta.**

La verifica di deformabilità degli altri elementi strutturali è sintetizzata nella tabella seguente:

| Elementi                                 | $\delta_{\max}$ [mm] | $\delta_2$ [mm] | $\delta_1$ [mm] | L [mm] | Limite $\delta_{\max}$ [mm] | Limite $\delta_2$ [mm] | Verifica |
|--|----------------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------------------|------------------------|----------|
| 1 HEA 260- travi longitudinali- mezzeria | 2.1                  | 1.8             | 0.3             | 4450   | 22.3                        | 17.8                   | OK       |
| 2 HEA 260- travi longitudinali- mensola  | 4.5                  | 2.7             | 1.8             | 4400   | 22.0                        | 17.6                   | OK       |
| 3 H400x300- travi trasversali- mensola   | 17.9                 | 13.8            | 4.1             | 7900   | 39.5                        | 31.6                   | OK       |
| 4 IPE180- arcarecci- mensola             | 17                   | 12.5            | 4.5             | 4400   | 22.0                        | 17.6                   | OK       |
| 5 IPE180- arcarecci- mezzeria            | 13.3                 | 9.4             | 3.9             | 4450   | 22.3                        | 17.8                   | OK       |

## 10.2 Verifiche di spostamenti laterali

Gli spostamenti laterali massimi in testa ai pilastri, in direzione Y, dovuti a forze orizzontali, risultanti dalla combinazione SLE\_08, sono pari a 8.2 mm

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

| Load Case Name    | Load Case Type | Scale Factor |
|-------------------|----------------|--------------|
| PESO PROPRIO      | Linear Static  | 1.           |
| PESO PROPRIO      | Linear Static  | 1            |
| COPERTURA         | Linear Static  | 1.           |
| NEVE              | Linear Static  | 0.5          |
| VENTO             | Linear Static  | 1.           |
| C.AERO-MENSOLA-SX | Linear Static  | 0.8          |
| TEMPERATURA       | Linear Static  | -0.6         |

Deformed Shape (SLE\_R\_08)

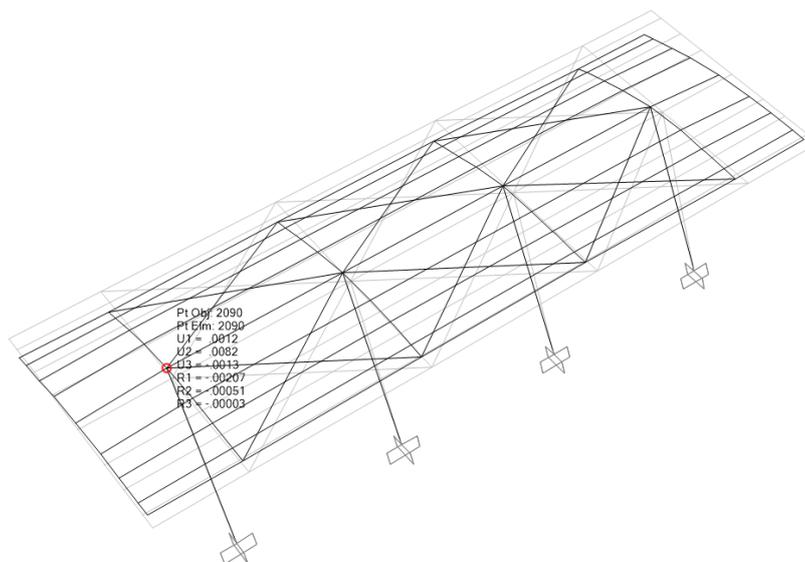


Figura 23 – Spostamenti massimi Y per il SLE\_08

Gli spostamenti laterali massimi in testa ai pilastri, in direzione X in copertura, dovuti a forze orizzontali, risultanti dalla combinazione SLE49, sono pari a 2.1 mm.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

| Load Case Name   | Load Case Type | Scale Factor |
|------------------|----------------|--------------|
| PESO PROPRIO     | Linear Static  | 1.           |
| PESO PROPRIO     | Linear Static  | 1.           |
| COPERTURA        | Linear Static  | 1.           |
| VENTO            | Linear Static  | 0.6          |
| CAERO-MENSOLA-DX | Linear Static  | 0.8          |
| TEMPERATURA      | Linear Static  | -1.          |

Deformed Shape (SLE\_R\_49)

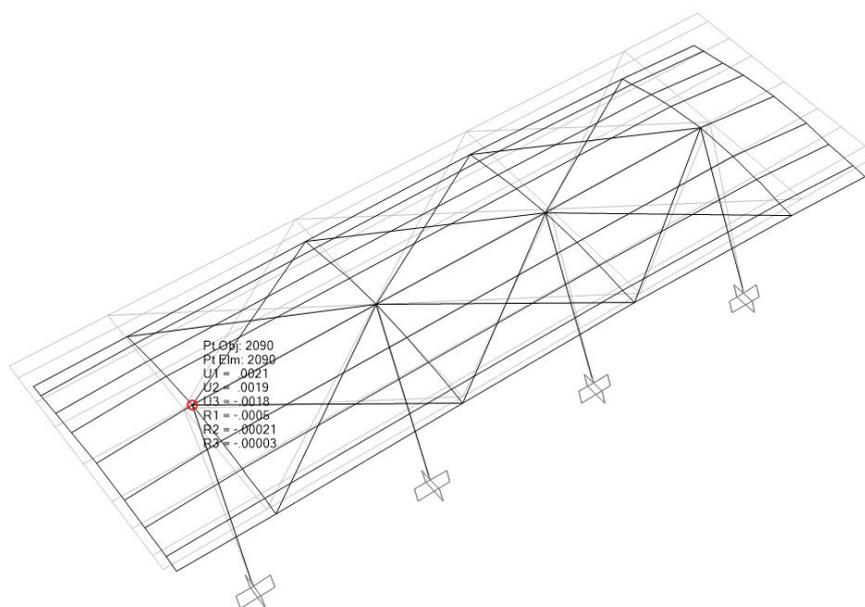


Figura 24 – Spostamenti massimi X per il SLE\_49

|   |  |                        |                             |                                     |                      |                                |
|---|--|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                        |                             |                                     |                      |                                |
| <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>                | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p>   | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> | <p>FOGLIO</p> <p>73 di 103</p> |

La verifica secondo il §4.2.4.2.2 del DM2018 fornisce i seguenti risultati:

spostamento laterale dovuto ai carichi variabili  $\delta=8.2$  mm

$$\delta/h \leq 1/300$$

$$\delta=8.2 \text{ mm} \leq 5750/300=19.2 \text{ mm}$$

**La verifica risulta soddisfatta.**

### 10.3 Verifiche di rigidezza

Gli spostamenti laterali in testa ai pilastri, in direzione Y, risultanti dalle combinazioni il SLO\_09, sono pari a 5.5 mm.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

| Load Case Name | Load Case Type    | Scale Factor |
|----------------|-------------------|--------------|
| Peso_Proprio   | Linear Static     | 1.           |
| Peso_Proprio   | Linear Static     | 1.           |
| Copertura      | Linear Static     | 1.           |
| SLD_U1         | Response Spectrum | 0.3          |
| SLD_U2         | Response Spectrum | 1.           |
| SLD_U3         | Response Spectrum | 0.3          |

Deformed Shape (SLD\_09)

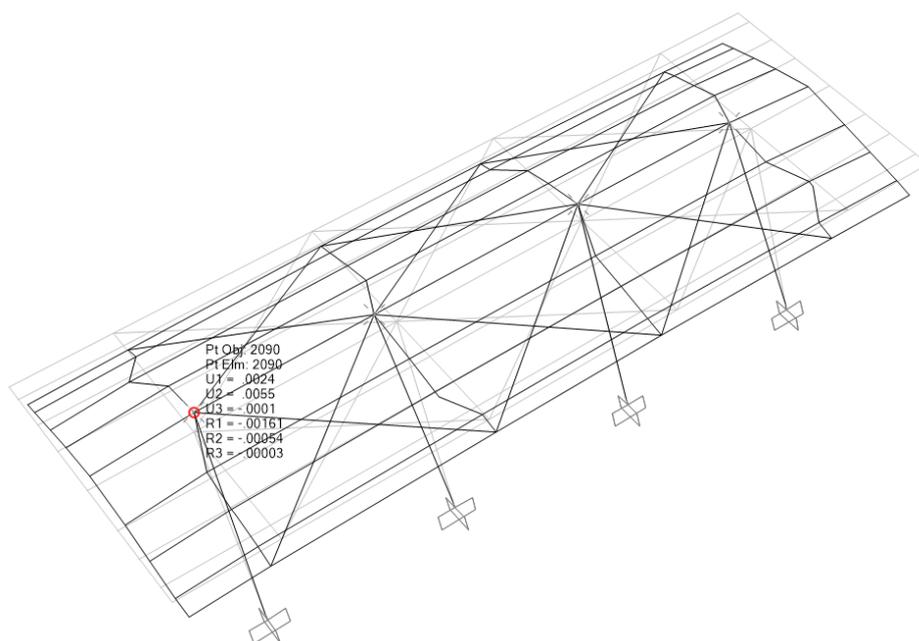


Figura 25 – Spostamenti massimi Y per il SLO\_09

Gli spostamenti laterali in testa ai pilastri, in direzione X, risultanti dalle combinazioni il SLO\_01, sono pari a 7.8 mm.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options:

Define Combination of Load Case Results

| Load Case Name | Load Case Type    | Scale Factor |
|----------------|-------------------|--------------|
| Peso_Proprio   | Linear Static     | 1.           |
| Peso_Proprio   | Linear Static     | 1.           |
| Copertura      | Linear Static     | 1.           |
| SLO_U1         | Response Spectrum | 1.           |
| SLO_U2         | Response Spectrum | 0.3          |
| SLO_U3         | Response Spectrum | 0.3          |

Deformed Shape (SLO\_01)

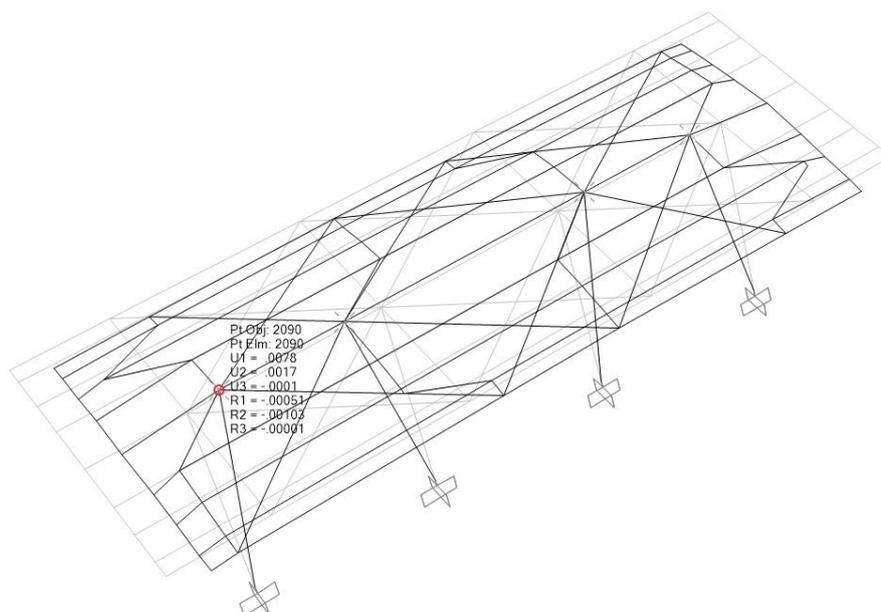


Figura 26 – Spostamenti massimi X per il SLO\_01



PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA

TRATTA PIADENA- MANTOVA

OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE

RELAZIONE DI CALCOLO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO    |
|----------|-------|----------|-------------|------|-----------|
| NM25     | 03    | D 44     | CLFV1300001 | A    | 76 di 103 |

La verifica secondo il §7.3.6.1 del DM2018 fornisce i seguenti risultati:

$$q.dr \leq 0,005 \times 2/3 \times h$$

$$dr = 7.8 \text{ mm} < 0.005 \times 2/3 \times 5350 = 19.2 \text{ mm}$$

**La verifica risulta soddisfatta.**

## 10.4 Verifiche di buckling secondo la Circolare Applicativa C4.2.3.4

L'analisi di buckling è stata condotta per la combinazioni di carico SLE Rare più gravose, sia in termini di spostamenti verticali, che di orizzontali massimi, le quali, nel caso della tipologia in esame, sono stati sviluppati dalla combinazione SLE\_R\_08, che include le seguenti condizioni di carico:

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)   
Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

| Load Case Name    | Load Case Type | Scale Factor |
|-------------------|----------------|--------------|
| PESO PROPRIO      | Linear Static  | 1.           |
| PESO PROPRIO      | Linear Static  | 1.           |
| COPERTURA         | Linear Static  | 1.           |
| NEVE              | Linear Static  | 0.5          |
| VENTO             | Linear Static  | 1.           |
| C.AERO-MENSOLA-SX | Linear Static  | 0.8          |
| TEMPERATURA       | Linear Static  | -0.6         |

La combinazione buckling è stata determinata nel modo seguente:

Load Case Data - Buckling

Load Case Name   Notes  Load Case Type

Stiffness to Use  
 Zero Initial Conditions - Unstressed State  
 Stiffness at End of Nonlinear Case   
Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

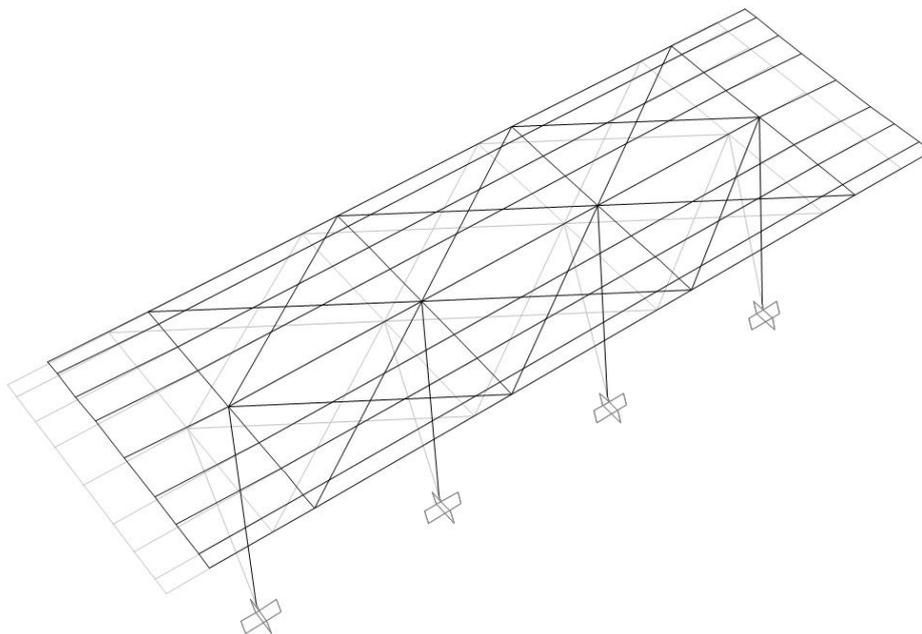
Loads Applied

| Load Type    | Load Name         | Scale Factor |
|--------------|-------------------|--------------|
| Load Pattern | TEMPERAT          | -0.6         |
| Load Pattern | PESO PROPRIO      | 1            |
| Load Pattern | COPERTURA         | 1            |
| Load Pattern | NEVE              | 0.5          |
| Load Pattern | VENTO             | 1            |
| Load Pattern | C.AERO-MENSOLA-SX | 0.8          |
| Load Pattern | TEMPERATURA       | -0.6         |

Other Parameters  
Number of Buckling Modes    
Eigenvalue Convergence Tolerance

La struttura presenta il seguente comportamento:

Deformed Shape (BUCKLING) - Mode 1 - Factor 33.31381



Dalla figura si evince, che  $\alpha_{cr} = 33 > 10$ .

L'analisi globale della struttura può essere eseguita con la teoria del primo ordine.

### 10.5 Verifiche degli effetti delle non-linearità geometriche secondo NTC18 §7.3.1

Le non linearità geometriche, sono prese in conto tramite il fattore  $\theta$ , che è definito nel modo seguente:

$$\theta = P \times d_{Er} / V \times h;$$

dove:

$h = 5.75\text{m}$  – l'altezza del piano in esame

$d_{Er} = 0.016\text{m}$  – spostamento orizzontale del piano agli SLV

| Joint Displacements |             |        |          |          |           |          |          |          |
|---------------------|-------------|--------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| OutputCa            | CaseType    | StepTy | U1       | U2       | U3        | R1       | R2       | R3       |
| Text                | Text        | Text   | m        | m        | m         | Radians  | Radians  | Radians  |
| SLV_9               | Combination | Max    | 0.007084 | 0.016409 | -0.000115 | 0.004704 | 0.000328 | 0.000082 |

$P = 340\text{ kN}$  è il carico verticale totale

$V = 72\text{ kN}$  è il carico orizzontale totale in direzione dello spostamento del piano

| TABLE: Joint Reactions |          |             |        |      |          |          |
|------------------------|----------|-------------|--------|------|----------|----------|
| Joint                  | OutputCa | CaseType    | StepTy | F1   | F2       | F3       |
| 2126                   | SLV_9    | Combination | Max    | 7.84 | 19.84    | 75.73    |
| 2127                   | SLV_9    | Combination | Max    | 8.32 | 19.83    | 75.73    |
| 2128                   | SLV_9    | Combination | Max    | 5.69 | 16.36    | 94.32    |
| 2217                   | SLV_9    | Combination | Max    | 8.20 | 16.35    | 94.32    |
|                        |          |             |        |      | <b>V</b> | <b>P</b> |
|                        |          |             |        |      | 72.38    | 340.11   |

Si ha, dunque:

$\theta = 340 \times 0.016 / 72 \times 5.75 = 0.013 < 0.1$  – Gli effetti delle non linearità geometriche possono essere trascurate.

## 10.6 Verifiche del giunto strutturale

Gli spostamenti laterali in copertura della pensilina, dovuti alle combinazioni SLV sono pari a 22.7 mm.

Deformed Shape (INV\_SLV)

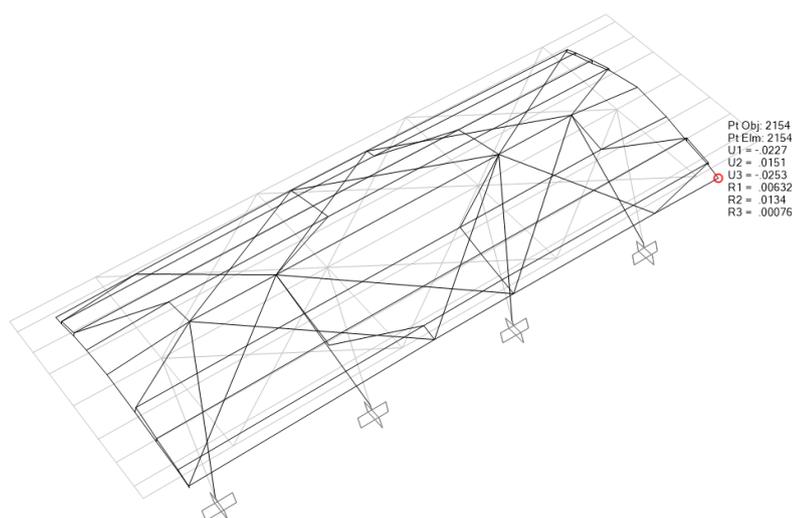


Figura 27 – Spostamenti massimi per il SLV

Gli spostamenti laterali in copertura della pensilina ,dovuti allo carico Temperatura sono pari a 2.6 mm.

Deformed Shape (TEMPERATURA)

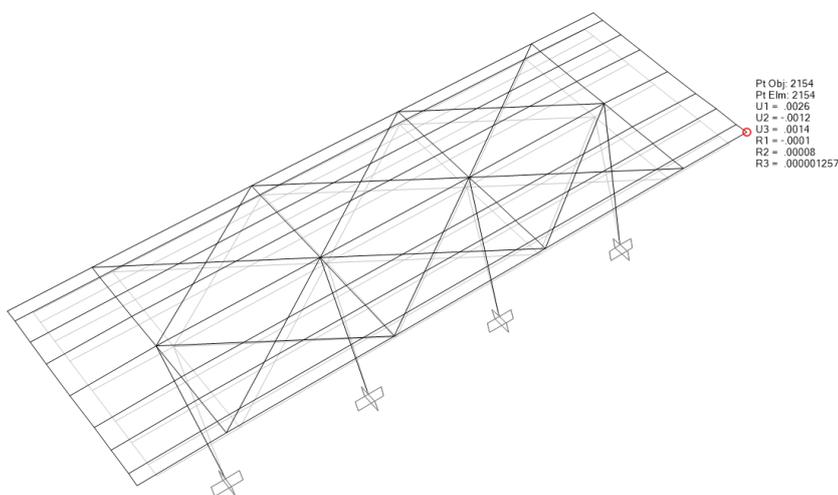


Figura 28 – Spostamenti massimi per il Temperatura



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA**

**TRATTA PIADENA- MANTOVA**

OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE

RELAZIONE DI CALCOLO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO    |
|----------|-------|----------|-------------|------|-----------|
| NM25     | 03    | D 44     | CLFV1300001 | A    | 81 di 103 |

Il giunto tra i moduli della pensilina è di 100 mm.

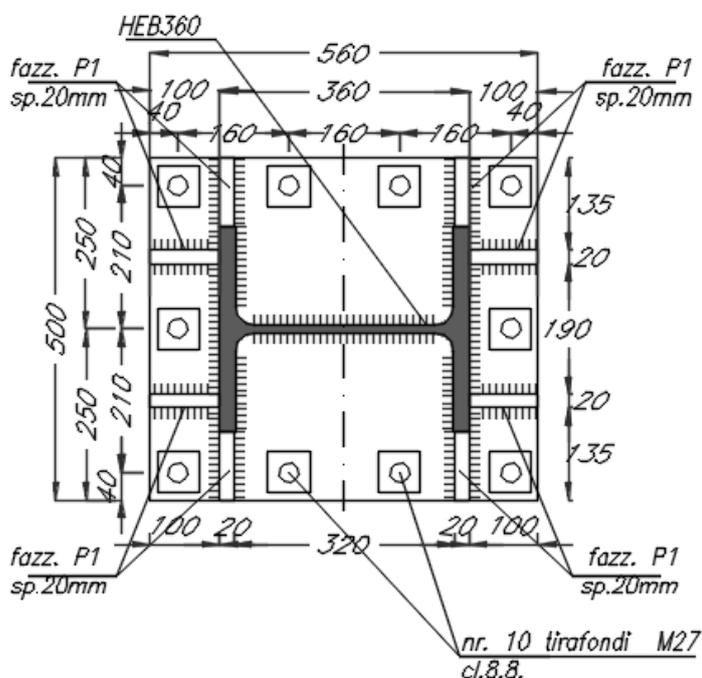
$$2x(d_{SLV} + d_T) = 50.6 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

**La verifica risulta soddisfatta.**

## 11 VERIFICA DEI TIRAFONDI

### 11.1 Verifiche dell'acciaio

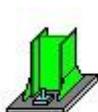
Le verifiche della connessione è stata effettuata tramite il programma Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020.



Sollecitazioni di progetto :

**TABLE: Joint Reactions**

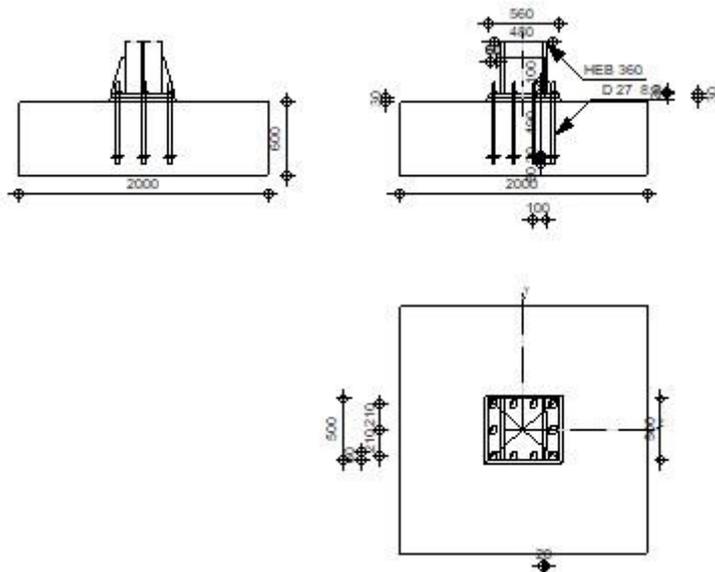
| Joint | OutputCa | CaseType    | StepTy | F1    | F2     | F3     | M1       | M2      | M3        |
|-------|----------|-------------|--------|-------|--------|--------|----------|---------|-----------|
| Text  | Text     | Text        | Text   | KN    | KN     | KN     | KN-m     | KN-m    | KN-m      |
| 2127  | SLV_9    | Combination | Max    | 8.315 | 19.827 | 75.731 | 122.6201 | 25.0106 | 0.0008351 |



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020  
**Calcolo del plinto della colonna incastrato**  
Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009



Coefficiente  
**0.50**



### Generale

N. giunto: 2

Nome del giunto: Fixed base column

### Geometria

### Colonna

Profilato: HEB 360

|            |               |                    |   |
|------------|---------------|--------------------|---|
| $L_c =$    | 5.00          | [m]                | Lunghezza della colonna                         |
| $a =$      | 0.0           | [Deg]              | Angolo d'inclinazione                           |
| $h_c =$    | 360           | [mm]               | Altezza della sezione della colonna             |
| $b_{fc} =$ | 300           | [mm]               | Larghezza della sezione della colonna           |
| $t_{wc} =$ | 13            | [mm]               | Spessore dell'anima della sezione della colonna |
| $t_{fc} =$ | 23            | [mm]               | Spessore dell'ala della sezione della colonna   |
| $r_c =$    | 27            | [mm]               | Raggio di raccordo della sezione della colonna  |
| $A_c =$    | 18100         | [mm <sup>2</sup> ] | Area della sezione della colonna                |
| $I_{yc} =$ | 43190000<br>0 | [mm <sup>4</sup> ] | Momento di inerzia della sezione della colonna  |

Materiale: S275

|            |        |       |                                    |
|------------|--------|-------|------------------------------------|
| $f_{yc} =$ | 275.00 | [MPa] | Resistenza                         |
| $f_{uc} =$ | 430.00 | [MPa] | Limite di resistenza del materiale |

Plinto della colonna

|            |     |      |           |
|------------|-----|------|-----------|
| $l_{pd} =$ | 560 | [mm] | Lunghezza |
| $b_{pd} =$ | 500 | [mm] | Larghezza |
| $t_{pd} =$ | 30  | [mm] | Spessore  |

Materiale: S275

|             |        |       |                                    |
|-------------|--------|-------|------------------------------------|
| $f_{ypd} =$ | 275.00 | [MPa] | Resistenza                         |
| $f_{upd} =$ | 430.00 | [MPa] | Limite di resistenza del materiale |

Ancoraggio

Il piano di taglio attraversa la parte FILETTATA del bullone.

|            |                        |  |
|------------|------------------------|--|
| Classe =   | 8.8                    | Classe di ancoraggi                                |
| $f_{yb} =$ | 640.00 [MPa]           | Limite di plasticità del materiale del bullone     |
| $f_{ub} =$ | 800.00 [MPa]           | Resistenza del materiale del bullone alla trazione |
| $d =$      | 27 [mm]                | Diametro del bullone                               |
| $A_s =$    | 459 [mm <sup>2</sup> ] | Area della sezione efficace del bullone            |
| $A_v =$    | 573 [mm <sup>2</sup> ] | Area della sezione del bullone                     |
| $n_H =$    | 4                      | Numero di colonne dei bulloni                      |
| $n_V =$    | 3                      | Numero di file di bulloni                          |

Distanza orizzontale  $e_{Hi}$  = 160;160 [mm]

Distanza verticale  $e_{Vi}$  = 210 [mm]

### Dimensioni di ancoraggi

$L_1 =$  100 [mm]

$L_2 =$  490 [mm]

$L_3 =$  50 [mm]

### Piastrina di resistenza

$l_p =$  100 [mm] Lunghezza

$b_p =$  100 [mm] Larghezza

$t_p =$  20 [mm] Spessore

Materiale: S275

$f_y = 275.00$  [MPa] Resistenza

### Rondella

$l_{wd} = 60$  [mm] Lunghezza

$b_{wd} = 60$  [mm] Larghezza

$t_{wd} = 20$  [mm] Spessore

### Irrigidimento

$w_s = 500$  [mm] Larghezza

$h_s = 300$  [mm] Altezza

$t_s = 20$  [mm] Spessore

$d_1 = 20$  [mm] Intaglio

$d_2 = 20$  [mm] Intaglio

### Coefficienti di materiale

$g_{M0} = 1.00$  Coefficiente di sicurezza parziale

$g_{M2} = 1.25$  Coefficiente di sicurezza parziale

$g_C = 1.50$  Coefficiente di sicurezza parziale

### Plinto di fondazione

$L = 2000$  [mm] Lunghezza del plinto

$B = 2000$  [mm] Larghezza del plinto

$H = 600$  [mm] Altezza del plinto

## Calcestruzzo

Class  
e C30

$f_{ck} = 30.00$  [MPa] Resistenza caratteristica alla compressione

## Getto di sigillatura

$t_g = 30$  [mm] Spessore del getto di sigillatura

$f_{ck,g} = 12.00$  [MPa] Resistenza caratteristica alla compressione

$C_{f,d} = 0.30$  Coeff. di attrito tra la piastra di base e il calcestruzzo

## Saldature

$a_p = 12$  [mm] Piastra principale del plinto della colonna

$a_s = 12$  [mm] Irrigidimenti

## Carichi

Condizione Calcolo manuale.

$N_{j,Ed} = -75.73$  [kN] Azione assiale

$V_{j,Ed,y} = 8.32$  [kN] Azione tagliante

$V_{j,Ed,z} = 19.83$  [kN] Azione tagliante

$M_{j,Ed,y} = 122.62$  [kN\*m] Momento flettente

$M_{j,Ed,z} = 25.01$  [kN\*m] Momento flettente

## Risultati

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

Zona di compressione

### COMPRESSIONE DEL CALCESTRUZZO

$f_{cd} = 20.00$  [MPa] Resistenza di calcolo alla compressione EN 1992-1:[3.1.6.(1)]

$f_j = 28.46$  [MPa] Resistenza di calcolo del materiale del giunto sotto la piastra di base [6.2.5.(7)]

$$c = t_p \cdot \ddot{O}(f_{yp}/(3 \cdot f_j \cdot g_{M0}))$$

$c = 54$  [mm] Larghezza dell'appoggio addizionale [6.2.5.(4)]

$b_{eff} = 130$  [mm] Larghezza efficace della zona di contatto sotto l'ala [6.2.5.(3)]

$l_{eff} = 408$  [mm] Lunghezza efficace della zona di contatto sotto l'ala [6.2.5.(3)]

$A_{c0} = 53069$  [mm<sup>2</sup>] Zona di contatto della piastra di base e della fondazione EN 1992-1:[6.7.(3)]

$A_{c1} = \frac{39352}{2}$  [mm<sup>2</sup>] Area di calcolo massima della ripartizione del carico EN 1992-1:[6.7.(3)]

$$F_{rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \ddot{O}(A_{c1}/A_{c0}) \leq 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd}$$

$F_{rd,u} = 2890.25$  [kN] Resistenza del calcestruzzo alla pressione EN 1992-1:[6.7.(3)]

$b_j = 0.67$  Coefficiente di riduzione per la compressione [6.2.5.(7)]

$$f_{jd} = b_j \cdot F_{rd,u} / (b_{eff} \cdot l_{eff})$$

$f_{jd} = 36.31$  [MPa] Resistenza di calcolo del materiale del giunto [6.2.5.(7)]

$A_{c,n} = 154090$  [mm<sup>2</sup>] Area di compressione efficace [6.2.8.2.(1)]

$A_{c,y} = 64587$  [mm<sup>2</sup>] Area di flessione My [6.2.8.3.(1)]

$A_{c,z} = 64587$  [mm<sup>2</sup>] Area di flessione Mz [6.2.8.3.(1)]

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} \cdot f_{jd}$$

$F_{c,Rd,n} = 5594.71$  [kN] Resistenza del calcestruzzo alla compressione [6.2.8.2.(1)]

$F_{c,Rd,y} = 2345.04$  [kN] Resistenza del calcestruzzo alla flessione  $M_y$  [6.2.8.3.(1)]

$F_{c,Rd,z} = 2345.04$  [kN] Resistenza del calcestruzzo alla flessione  $M_z$  [6.2.8.3.(1)]

### ALA E ANIMA DELLA COLONNA IN COMPRESSIONE

$CL = 1.00$  Classe di sezione EN 1993-1-1:[5.5.2]

$W_{pl,y} = \frac{404300}{0}$  [mm<sup>3</sup>] Fattore plastico della sezione EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{c,Rd,y} = 1111.83$  [kN\*m] Resistenza di calcolo della sezione alla flessione EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_{f,y} = 338$  [mm] Distanza tra i centri di gravità delle ali [6.2.6.7.(1)]

$$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$$

$F_{c,fc,Rd,y} = 3294.30$  [kN] Resistenza dell'ala compressa e dell'anima [6.2.6.7.(1)]

$W_{pl,z} = \frac{263200}{0}$  [mm<sup>3</sup>] Fattore plastico della sezione EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{c,Rd,z} = 723.80$  [kN\*m] Resistenza di calcolo della sezione alla flessione EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_{f,z} = 249$  [mm] Distanza tra i centri di gravità delle ali [6.2.6.7.(1)]

$$F_{c,fc,Rd,z} = M_{c,Rd,z} / h_{f,z}$$

$F_{c,fc,Rd,z} = 2908.71$  [kN] Resistenza dell'ala compressa e dell'anima [6.2.6.7.(1)]

### RESISTENZA DEL PLINTO NELLA ZONA COMPRESSA

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$N_{j,Rd} = 5594.71$  [kN]      Resistenza del plinto alla compressione assiale [6.2.8.2.(1)]

$$F_{C,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$$

$F_{C,Rd,y} = 2345.04$  [kN]      Resistenza del plinto nella zona compressa [6.2.8.3]

$$F_{C,Rd,z} = \min(F_{c,Rd,z}, F_{c,fc,Rd,z})$$

$F_{C,Rd,z} = 2345.04$  [kN]      Resistenza del plinto nella zona compressa [6.2.8.3]

Zona in trazione

#### ROTTURA DEL BULLONE D'ANCORAGGIO

$A_b = 459$  [mm<sup>2</sup>]      Area efficace del bullone [Tabella 3.4]

$f_{ub} = 800.00$  [MPa]      Resistenza del materiale del bullone alla trazione [Tabella 3.4]

$\beta = 0.85$       Coefficiente di riduzione della resistenza del bullone [3.6.1.(3)]

$$F_{t,Rd,s1} = \beta * 0.9 * f_{ub} * A_b / \gamma_{M2}$$

$F_{t,Rd,s1} = 224.73$  [kN]      Resistenza del bullone alla rottura [Tabella 3.4]

$$F_{t,Rd,s} = F_{t,Rd,s1}$$

$F_{t,Rd,s} = 224.73$  [kN]      Resistenza del bullone alla rottura

#### RESISTENZA DELL'ANCORAGGIO ALLA TRAZIONE

$$F_{t,Rd} = F_{t,Rd,s}$$

$F_{t,Rd} = 224.73$  [kN]      Resistenza dell'ancoraggio alla trazione

#### FLESSIONE DELLA PIASTRA DI BASE

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

### Momento flettente $M_{j,Ed,y}$

$$l_{eff,1} = 223 \quad [mm] \quad \text{Lunghezza efficace per un bullone per il modo 1} \quad [6.2.6.5]$$

$$l_{eff,2} = 223 \quad [mm] \quad \text{Lunghezza efficace per un bullone per il modo 2} \quad [6.2.6.5]$$

$$m = 46 \quad [mm] \quad \text{Distanza del bullone dal bordo di irrigidimento} \quad [6.2.6.5]$$

$$M_{pl,1,Rd} = 13.79 \quad [kN*m] \quad \text{Resistenza plastica della piastra per il modo 1} \quad [6.2.4]$$

$$M_{pl,2,Rd} = 13.79 \quad [kN*m] \quad \text{Resistenza plastica della piastra per il modo 2} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{1188.0}{7} \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra per il modo 1} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,2,Rd} = 631.13 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra per il modo 2} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,3,Rd} = 674.18 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra per il modo 3} \quad [6.2.4]$$

$$F_{t,pl,Rd,y} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{t,pl,Rd,y} = 631.13 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra in trazione} \quad [6.2.4]$$

### Momento flettente $M_{j,Ed,z}$

$$l_{eff,1} = 158 \quad [mm] \quad \text{Lunghezza efficace per un bullone per il modo 1} \quad [6.2.6.5]$$

$$l_{eff,2} = 158 \quad [mm] \quad \text{Lunghezza efficace per un bullone per il modo 2} \quad [6.2.6.5]$$

$$m = 46 \quad [mm] \quad \text{Distanza del bullone dal bordo di irrigidimento} \quad [6.2.6.5]$$

$$M_{pl,1,Rd} = 9.77 \quad [kN*m] \quad \text{Resistenza plastica della piastra per il modo 1} \quad [6.2.4]$$

$$M_{pl,2,Rd} = 9.77 \quad [kN*m] \quad \text{Resistenza plastica della piastra per il modo 2} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,1,Rd} = 841.54 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra per il modo 1} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,2,Rd} = 642.07 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra per il modo 2} \quad [6.2.4]$$

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

### Momento flettente $M_{j,Ed,z}$

$$l_{eff,1} = 158 \quad [mm] \quad \text{Lunghezza efficace per un bullone per il modo 1} \quad [6.2.6.5]$$

$$F_{T,3,Rd} = 898.91 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra per il modo 3} \quad [6.2.4]$$

$$F_{t,pl,Rd,z} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{t,pl,Rd,z} = 642.07 \quad [kN] \quad \text{Resistenza della piastra in trazione} \quad [6.2.4]$$

### RESISTENZA DELL'ANIMA DELLA COLONNA ALLA TRAZIONE

#### Momento flettente $M_{j,Ed,z}$

$$t_{wc} = 13 \quad [mm] \quad \text{Spessore efficace dell'anima della colonna} \quad [6.2.6.3.(8)]$$

$$b_{eff,t,wc} = 341 \quad [mm] \quad \text{Larghezza efficace dell'anima in trazione} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$A_{vc} = 6096 \quad [mm^2] \quad \text{Area al taglio} \quad EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]$$

$$w = 0.78 \quad \text{Coefficiente di riduzione per l'interazione con il taglio} \quad [6.2.6.3.(4)]$$

$$F_{t,wc,Rd,z} = w b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$$

$$F_{t,wc,Rd,z} = 916.07 \quad [kN] \quad \text{Resistenza dell'anima della colonna} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

### RESISTENZA DEL PLINTO NELLA ZONA IN TRAZIONE

$$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$$

$$F_{T,Rd,y} = 631.13 \quad [kN] \quad \text{Resistenza del plinto nella zona tesa} \quad [6.2.8.3]$$

$$F_{T,Rd,z} = \min(F_{t,pl,Rd,z}, F_{t,wc,Rd,z})$$

$$F_{T,Rd,z} = 642.07 \quad [kN] \quad \text{Resistenza del plinto nella zona tesa} \quad [6.2.8.3]$$

### Controllo della resistenza del giunto

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad (6.24) \qquad 0.01 < 1.00 \qquad \text{verificato} \quad (0.01)$$

$$e_y = 1619 \quad [\text{mm}] \quad \text{Eccentricità dell'azione assiale} \quad [6.2.8.3]$$

$$z_{c,y} = 169 \quad [\text{mm}] \quad \text{Braccio di leva } F_{C,Rd,y} \quad [6.2.8.1.(2)]$$

$$z_{t,y} = 240 \quad [\text{mm}] \quad \text{Braccio di leva } F_{T,Rd,y} \quad [6.2.8.1.(3)]$$

$$M_{j,Rd,y} = 287.99 \quad [\text{kN*m}] \quad \text{Resistenza del giunto alla flessione} \quad [6.2.8.3]$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad (6.23) \qquad 0.43 < 1.00 \qquad \text{verificato} \quad (0.43)$$

$$e_z = 330 \quad [\text{mm}] \quad \text{Eccentricità dell'azione assiale} \quad [6.2.8.3]$$

$$z_{c,z} = 124 \quad [\text{mm}] \quad \text{Braccio di leva } F_{C,Rd,z} \quad [6.2.8.1.(2)]$$

$$z_{t,z} = 210 \quad [\text{mm}] \quad \text{Braccio di leva } F_{T,Rd,z} \quad [6.2.8.1.(3)]$$

$$M_{j,Rd,z} = 344.51 \quad [\text{kN*m}] \quad \text{Resistenza del giunto alla flessione} \quad [6.2.8.3]$$

$$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad (6.23) \qquad 0.07 < 1.00 \qquad \text{verificato} \quad (0.07)$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0 \qquad 0.50 < 1.00 \qquad \text{verificato} \quad (0.50)$$

### Taglio

### PRESSIONE DEL BULLONE D'ANCORAGGIO SULLA PIASTRA DI BASE

#### Taglio della forza $V_{j,Ed,y}$

$$a_{d,y} = \frac{0.4}{6} \quad \text{Coeff. di posizione dei bulloni: nella direzione del taglio} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

$$a_{b,y} = \frac{0.4}{6} \quad \text{Coeff. per il calcolo della resistenza } F_{1,vb,Rd} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

### Taglio della forza $V_{j,Ed,y}$

$$a_{d,y} = \frac{0.4}{6} \quad \text{Coeff. di posizione dei bulloni: nella direzione del taglio} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

$$k_{1,y} = \frac{2.1}{6} \quad \text{Coeff. di posizione dei bulloni: perpendicolari alla direzione del taglio} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} * a_{b,y} * f_{up} * d * t_p / g_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = \frac{276.9}{8} \quad [\text{kN}] \quad \text{Resistenza del bullone d'ancoraggio alla pressione sulla piastra di base} \quad [\text{6.2.2.(7)}]$$

### Taglio della forza $V_{j,Ed,z}$

$$a_{d,z} = \frac{0.4}{6} \quad \text{Coeff. di posizione dei bulloni: nella direzione del taglio} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

$$a_{b,z} = \frac{0.4}{6} \quad \text{Coeff. per il calcolo della resistenza } F_{1,vb,Rd} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

$$k_{1,z} = \frac{2.1}{6} \quad \text{Coeff. di posizione dei bulloni: perpendicolari alla direzione del taglio} \quad [\text{Tabella 3.4}]$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} * a_{b,z} * f_{up} * d * t_p / g_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = \frac{276.9}{8} \quad [\text{kN}] \quad \text{Resistenza del bullone d'ancoraggio alla pressione sulla piastra di base} \quad [\text{6.2.2.(7)}]$$

### TAGLIO DEL BULLONE D'ANCORAGGIO

$$a_b = 0.25 \quad \text{Coeff. per il calcolo della resistenza } F_{2,vb,Rd} \quad [\text{6.2.2.(7)}]$$

$$A_{sb} = 459 \quad [\text{mm}^2] \quad \text{Area della sezione efficace del bullone} \quad [\text{6.2.2.(7)}]$$

$$f_{ub} = 800.00 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Resistenza del materiale del bullone alla trazione} \quad [\text{6.2.2.(7)}]$$

$$g_{M2} = 1.25 \quad \text{Coefficiente di sicurezza parziale} \quad [\text{6.2.2.(7)}]$$

$$F_{2,vb,Rd} = a_b \cdot f_{ub} \cdot A_{sb} / g_{M2}$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{72.8}{5} \text{ [kN]} \quad \text{Resistenza del bullone al taglio - senza effetto della leva} \quad [6.2.2.(7)]$$

### SLITTAMENTO DEL PLINTO

$$C_{f,d} = 0.30 \quad \text{Coeff. di attrito tra la piastra di base e il calcestruzzo} \quad [6.2.2.(6)]$$

$$N_{c,Ed} = 75.73 \text{ [kN]} \quad \text{Azione di compressione} \quad [6.2.2.(6)]$$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

$$F_{f,Rd} = 22.72 \text{ [kN]} \quad \text{Resistenza allo slittamento} \quad [6.2.2.(6)]$$

### CONTROLLO DEL TAGLIO

$$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = 751.24 \text{ [kN]} \quad \text{Resistenza del giunto al taglio } V_{j,Rd}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0.01 < 1.00 \quad \text{verificato (0.01)}$$

$$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,z} = 751.24 \text{ [kN]} \quad \text{Resistenza del giunto al taglio } V_{j,Rd}$$

$$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0.03 < 1.00 \quad \text{verificato (0.03)}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0.04 < 1.00 \quad \text{verificato (0.04)}$$

Controllo degli irrigidimenti

**Irrigidimento perpendicolare all'anima (sul prolungamento delle ali della colonna)**

$M_1 = 4.30$  [kN\*m] Momento flettente dell'irrigidimento

$Q_1 = 86.00$  [kN] Azione tagliante dell'irrigidimento

$z_s = 84$  [mm] Posizione dell'asse neutro (dalla base della piastra)

$I_s = 14091750$  [mm<sup>4</sup>] Momento di inerzia dell'irrigidimento

$s_d = 1.64$  [MPa] Sollecitazione normale a contatto dell'irrigidimento e piastra EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]

$s_g = 7.51$  [MPa] Sollecitazione normale nelle fibre superiori EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]

$t = 14.33$  [MPa] Sollecitazione tangenziale nell'irrigidimento EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]

$s_z = 24.88$  [MPa] Sollecitazione equivalente a contatto dell'irrigidimento e piastra EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]

$\max (s_g, t / (0.58), s_z) / (f_{yp}/g_{M0}) \leq 1.0$  (6.1)  $0.09 < 1.00$  **verificato** (0.09)

#### Saldature tra la colonna e la piastra della base

$s_\wedge = 47.96$  [MPa] Sollecitazione normale nella saldatura [4.5.3.(7)]

$t_\wedge = 47.96$  [MPa] Sollecitazione tangenziale perpendicolare [4.5.3.(7)]

$t_{yII} = 0.35$  [MPa] Sollecitazione tangenziale parallela a  $V_{j,Ed,y}$  [4.5.3.(7)]

$t_{zII} = 2.62$  [MPa] Sollecitazione tangenziale parallela a  $V_{j,Ed,z}$  [4.5.3.(7)]

$b_w = 0.85$  Coefficiente dovuto alla resistenza [4.5.3.(7)]

$s_\wedge / (0.9 \cdot f_v / g_{M2}) \leq 1.0$  (4.1)  $0.15 < 1.00$  **verificato** (0.15)

$\sqrt{(s_\wedge^2 + 3.0 (t_{yII}^2 + t_\wedge^2)) / (f_v / (b_w \cdot g_{M2}))} \leq 1.0$  (4.1)  $0.24 < 1.00$  **verificato** (0.24)

$\sqrt{(s_\wedge^2 + 3.0 (t_{zII}^2 + t_\wedge^2)) / (f_v / (b_w \cdot g_{M2}))} \leq 1.0$  (4.1)  $0.10 < 1.00$  **verificato** (0.10)

#### Saldature verticali degli irrigidimenti

### Irrigidimento perpendicolare all'anima (sul prolungamento delle ali della colonna)

$$s_{\wedge} = 8.45 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione normale nella saldatura} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$t_{\wedge} = 8.45 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione tangenziale perpendicolare} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$t_{\parallel} = 11.94 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione tangenziale parallela} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$s_z = 26.71 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione totale equivalente} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$b_w = 0.85 \quad \text{Coefficiente dovuto alla resistenza} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\max (s_{\wedge}, t_{\parallel} * \ddot{O}3, s_z) / (f_u / (b_w * g_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0.07 < 1.00 \quad \text{verificato} \quad (0.07)$$

Saldature orizzontali degli irrigidimenti

### Irrigidimento perpendicolare all'anima (sul prolungamento delle ali della colonna)

$$s_{\wedge} = 25.34 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione normale nella saldatura} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$t_{\wedge} = 25.34 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione tangenziale perpendicolare} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$t_{\parallel} = 17.31 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione tangenziale parallela} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$s_z = 58.88 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Sollecitazione totale equivalente} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$b_w = 0.85 \quad \text{Coefficiente dovuto alla resistenza} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\max (s_{\wedge}, t_{\parallel} * \ddot{O}3, s_z) / (f_u / (b_w * g_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0.15 < 1.00 \quad \text{verificato} \quad (0.15)$$

Rigidezza del giunto

### Momento flettente $M_{j,Ed,y}$

$$b_{eff} = 130 \quad [\text{mm}] \quad \text{Larghezza efficace della zona di contatto sotto l'ala} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$l_{eff} = 408 \quad [\text{mm}] \quad \text{Lunghezza efficace della zona di contatto sotto l'ala} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$k_{13,y} = E_c * \ddot{O}(b_{eff} * l_{eff}) / (1.275 * E)$$

|  |  |                         |             |                  |                          |           |
|--|--|-------------------------|-------------|------------------|--------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b><br><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b> |                         |             |                  |                          |           |
|  | OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE<br>RELAZIONE DI CALCOLO  | COMMESSA<br><b>NM25</b> | LOTTO<br>03 | CODIFICA<br>D 44 | DOCUMENTO<br>CLFV1300001 | REV.<br>A |

$k_{13,y} = 23$  [mm] Coefficiente di rigidezza del calcestruzzo in compressione [Tabella 6.11]

$l_{eff} = 223$  [mm] Lunghezza efficace per un bullone per il modo 2 [6.2.6.5]

$m = 46$  [mm] Distanza del bullone dal bordo di irrigidimento [6.2.6.5]

$$k_{15,y} = 0.425 * l_{eff} * t_p^3 / (m^3)$$

$k_{15,y} = 26$  [mm] Coefficiente di rigidezza della piastra di base in trazione [Tabella 6.11]

$L_b = 310$  [mm] Lunghezza efficace del bullone di ancoraggio [Tabella 6.11]

$$k_{16,y} = 1.6 * A_b / L_b$$

$k_{16,y} = 2$  [mm] Coefficiente di rigidezza dell'ancoraggio in trazione [Tabella 6.11]

$l_{0,y} = 0.38$  Snellezza della colonna [5.2.2.5.(2)]

$S_{j,ini,y} = 74029.13$  [kN\*m] Rigidezza di rotazione iniziale [Tabella 6.12]

$S_{j,rig,y} = \frac{531237.0}{0}$  [kN\*m] Rigidezza del giunto rigido [5.2.2.5]

$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$  SEMI-RIGIDO [5.2.2.5.(2)]

### Momento flettente $M_{j,Ed,z}$

$$k_{13,z} = E_c * \ddot{O}(A_{c,z}) / (1.275 * E)$$

$k_{13,z} = 25$  [mm] Coefficiente di rigidezza del calcestruzzo in compressione [Tabella 6.11]

$l_{eff} = 158$  [mm] Lunghezza efficace per un bullone per il modo 2 [6.2.6.5]

$$l_{eff} = 158 \quad [\text{mm}] \quad \text{Lunghezza efficace per un bullone per il modo } \frac{2}{2} \quad [6.2.6.5]$$

$$m = 46 \quad [\text{mm}] \quad \text{Distanza del bullone dal bordo di irrigidimento} \quad [6.2.6.5]$$

$$k_{15,z} = 0.425 * l_{eff} * t_p^3 / (m^3)$$

$$k_{15,z} = 18 \quad [\text{mm}] \quad \text{Coefficiente di rigidezza della piastra di base in trazione} \quad [\text{Tabella 6.11}]$$

$$L_b = 310 \quad [\text{mm}] \quad \text{Lunghezza efficace del bullone di ancoraggio} \quad [\text{Tabella 6.11}]$$

$$k_{16,z} = 1.6 * A_b / L_b$$

$$k_{16,z} = 2 \quad [\text{mm}] \quad \text{Coefficiente di rigidezza dell'ancoraggio in trazione} \quad [\text{Tabella 6.11}]$$

$$l_{0,z} = 0.78 \quad \text{Snellezza della colonna} \quad [5.2.2.5.(2)]$$

$$S_{j,ini,z} = 63368.12 \quad [\text{kN*m}] \quad \text{Rigidezza di rotazione iniziale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,rig,z} = \frac{124722.0}{0} \quad [\text{kN*m}] \quad \text{Rigidezza del giunto rigido} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini,z} < S_{j,rig,z} \quad \text{SEMI-RIGIDO} \quad [5.2.2.5.(2)]$$

**Giunto conforme alla norma**

Coefficiente

0.50

|   |   |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|---|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA</b></p> <p><b>TRATTA PIADENA- MANTOVA</b></p> |                                    |                        |                             |                                     |                      |
|   | <p>OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>  | <p>COMMESSA</p> <p><b>NM25</b></p> | <p>LOTTO</p> <p>03</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D 44</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CLFV1300001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> |

## 11.2 Verifiche nel cls

Per il calcolo a strappo dei tirafondi di ancoraggio e dello strappo del cono in cls si fa riferimento alla **DD\_CEN\_TS\_1992-4-2-2009 – Design of fasteners for use in concrete – Part 4-2: Headed Fasteners.**

Il calcolo è stato effettuato tramite un foglio excel

La forza di trazione nel un singolo tirafondo, maggiormente sollecitato è stata calcolata cautelativamente pari a:

$$N_{Ed} = M_{Ed,x} / n_x \cdot b_x + M_{Ed,y} / n_y \cdot b_y = 122 / 3 \cdot 0.46 + 25 / 4 \cdot 0.42 = \mathbf{103 \text{ kN}}$$

$b_x = 0.46 \text{ m}$  – interasse x tra le file estreme di tirafondi

$b_y = 0.42 \text{ m}$  – interasse y tra le file estreme di tirafondi

$n_x = 3$  numero di tirafondi in singola fila

$n_y = 4$  numero di tirafondi in singola fila

Il contributo della forza di compressione, agente nel giunto è stato omesso, a favore di sicurezza.

Si prevedono 2 uncini Ø12 per tirafondo, con lunghezza d'ancoraggio  $l_1$  pari a 500mm, per garantire la resistenza a strappo del cono di cls.

La verifica:



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO- CREMONA- MANTOVA**

**TRATTA PIADENA- MANTOVA**

OPERE D'ARTE MINORI - PENSILINE

RELAZIONE DI CALCOLO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO   | REV. | FOGLIO     |
|----------|-------|----------|-------------|------|------------|
| NM25     | 03    | D 44     | CLFV1300001 | A    | 101 di 103 |

Sollecitazione di progetto

$N_{Ed} = 103$  [kN] forza assiale nel singolo tirafondo in zona di trazione

1. Strappo del singolo tirafondo di ancoraggio dal calcestruzzo § 6.2.3

$$N_{Rk,p} = 6 \cdot A_h \cdot f_{ck,cube} \cdot \psi_{ucr,N}$$

Classe di resistenza del calcestruzzo

C30/37

$f_{ck,cube} = 30$  [MPa]

$f_{ctd} = 1.35$  [MPa]

Tirafondi di ancoraggio

M27

$d = 27$  [mm]

Dimensioni della piastrina di resistenza

$l_p = 100$  [mm]

$b_p = 100$  [mm]

$$A_h = b_p \cdot l_p - \pi \cdot d^2 / 4$$

$A_h = 94.27$  [cm<sup>2</sup>]

$\psi_{ucr,N} = 1.00$  per calcestruzzi fessurati

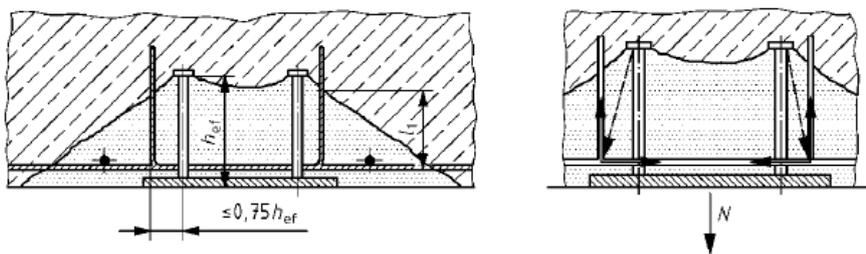
$N_{Rk,p} = 1696.94$  [kN]

La verifica

$N_{Ed} = 103 < N_{Rk,p} = 1696.94$

2. Strappo del cono di calcestruzzo

Per garantire la resistenza a strappo del cono del cls, si provvede armatura secondo il punto § 6.2.3 della DD\_CEN\_TS\_1992-4-2-2009 – Design of fasteners for use in concrete - Part 4-2: Headed Fasteners



Solamente e staffe disposte a distanza minore di  $0.75h_{ef}$  possono essere considerate effettive

La lunghezza d'ancoraggio  $l_1$  non deve essere minore a  $4d_s$  per staffe piegate, comunque non fuori dal cono di strappo

$$N_{Rd,a} = \sum_n \frac{l_1 \cdot \pi \cdot d_s \cdot f_{bd}}{\alpha}$$

$l_1 = 500$  [mm] lunghezza di ancoraggio delle staffe

$d_s = 12$  [mm] diametro delle staffe

$n = 2$  numero di staffe corrispondente ad un tirafondo

$\alpha = 0.7$  fattore d'influenza

|                                       |        |       |              |        |  |  |  |  |
|---------------------------------------|--------|-------|--------------|--------|--|--|--|--|
| $f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$ |        |       |              |        |  |  |  |  |
| $\eta_1 =$                            | 0.7    |       |              |        |  |  |  |  |
| $\eta_2 =$                            | 1      |       |              |        |  |  |  |  |
| $f_{bd} =$                            | 3.04   | [MPa] |              |        |  |  |  |  |
| $N_{Rd,a} =$                          | 163.59 | [kN]  |              |        |  |  |  |  |
| $N_{Ed} =$                            | 103    | <     | $N_{Rd,a} =$ | 163.59 |  |  |  |  |