

PROGETTO EUROPEO "INIWAS"
ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL
TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA
I LOTTO/ 1 STRALCIO/PARTE

DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA
SUL CANALE BOICELLI

PROGETTO ESECUTIVO

RUP:

Dott. Claudio Miccoli

PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Stefano Cassarini

GRUPPO DI LAVORO:

Stigea s.r.l.

Dott. Ing. M. Bolognesi

Dott. Ing. M. Baratta

Geom. R. Marini

Studio tecnico Vitali

Geom. G.F. Vitali

SOCOTEC Italia s.r.l.

Dott. Geol. G. Ferioli



TITOLO:

Relazione di calcolo Opere Provvisorie

ELABORATO:

B.2.1

| REV. : | DATA: | OGGETTO: | REDATTO: | VERIFICATO: | APPROVATO: | SCALA: |
|--------|-------------|-----------|------------|--------------|--------------|---|
| 0 | GIUGNO 2019 | EMISSIONE | M. BARATTA | M. BOLOGNESI | S. CASSARINI | - |
| 1 | AGOSTO 2019 | REVISIONE | M. BARATTA | M. BOLOGNESI | - | NOME FILE: B_2_1_433_521_v4_Rel_calc_ponte_provvisorio.pdf |
| - | - | - | - | - | - | DATA: 24/06/2019 |
| - | - | - | - | - | - | |
| - | - | - | - | - | - | |

Ogni riproduzione, utilizzazione o cessione del presente disegno a terzi senza autorizzazione è punibile penalmente secondo i termini di legge

| | | | | | | |
|--|----------|-------|-----------|-----------|------|---------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 2 di 59 |

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 7 |
| 7. INQUADRAMENTO GEOTECNICO | 9 |
| 8. CODICE DI CALCOLO | 10 |
| 8.1. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO | 10 |
| 8.2. AFFIDABILITA' DEL CODICE UTILIZZATO | 10 |
| 9. DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO | 11 |
| 10. SEZIONI | 16 |
| 11. CARICHI AGENTI SULLA STRUTTURA | 19 |
| 11.1. ANALISI DEI CARICHI | 19 |
| 11.2. COMBINAZIONI DI CARICO | 26 |
| 12. STATO DI SOLLECITAZIONE | 27 |
| 12.1. PALANCOLE | 27 |
| 12.2. TRAVE DI RIPARTIZIONE | 31 |
| 12.3. TRAVE-PUNTELLO | 34 |
| 13. STATO DI DEFORMAZIONE IN ESERCIZIO | 37 |
| 14. VERIFICHE STRUTTURALI | 40 |
| 14.1. PALANCOLA | 40 |
| 14.2. TRAVE DI RIPARTIZIONE | 50 |
| 14.3. TRAVE-PUNTELLO | 51 |
| 14.4. PIATTO DI ATTACCO TRAVE DI RIPARTIZIONE | 52 |
| 15. VERIFICA DI PORTANZA DELLA PALANCOLA | 54 |
| 16. VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE | 56 |
| ALLEGATO 1 - TABULATI DI CALCOLO | 58 |

| | | | | | | |
|---|----------|-------|-----------|-----------|------|---------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 3 di 59 |

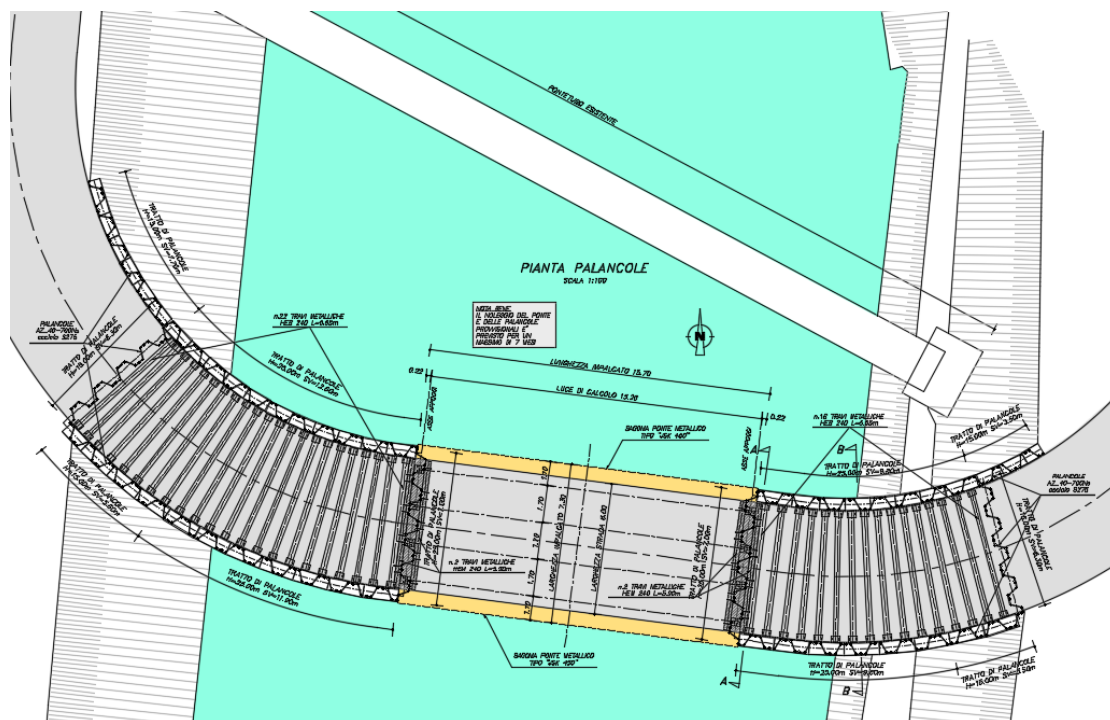
1. PREMESSA

La presente relazione si inquadra nell'ambito della progettazione esecutiva dei lavori di adeguamento dell'idrovia ferrarese al traffico V classe europea (Lotto I – stralcio I).

Oggetto specifico di questa trattazione sono il calcolo e le verifiche strutturali e geotecniche del ponte provvisorio che si rende necessario, ai fini del mantenimento della viabilità, durante i lavori di demolizione e nuova costruzione del ponte Bardella sul canale Boicelli.

Tale opera è costituita da n.2 spalle realizzate con palancole metalliche tipo AZ40-700N, coronate in testa da una trave di ripartizione HEM240 su cui appoggiano, con interassi di valore sempre inferiore a 1.00m, travi di profilo HEM240 che ricoprono la doppia funzione di puntelli e appoggi per il grigliato metallico che forma il piano carrabile.

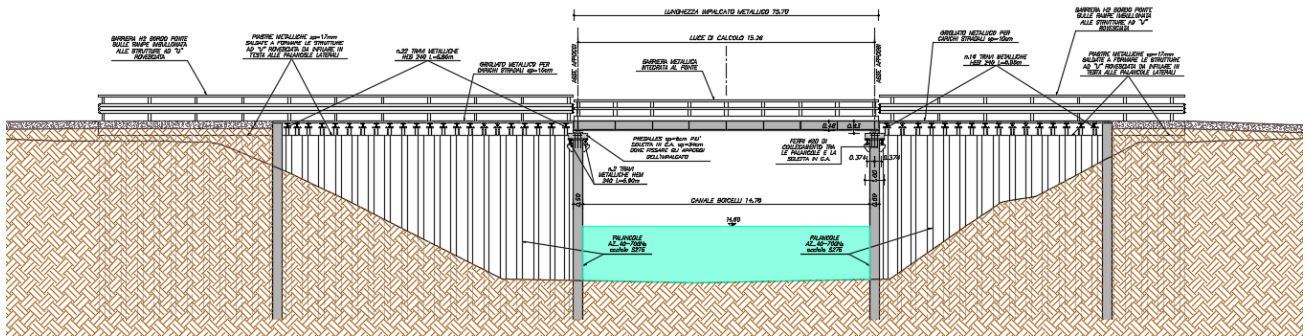
Sulle due spalle sopra descritte poggia un impalcato metallico tipo Janson JSK 450, di dimensioni in pianta 15.70x7.30m.



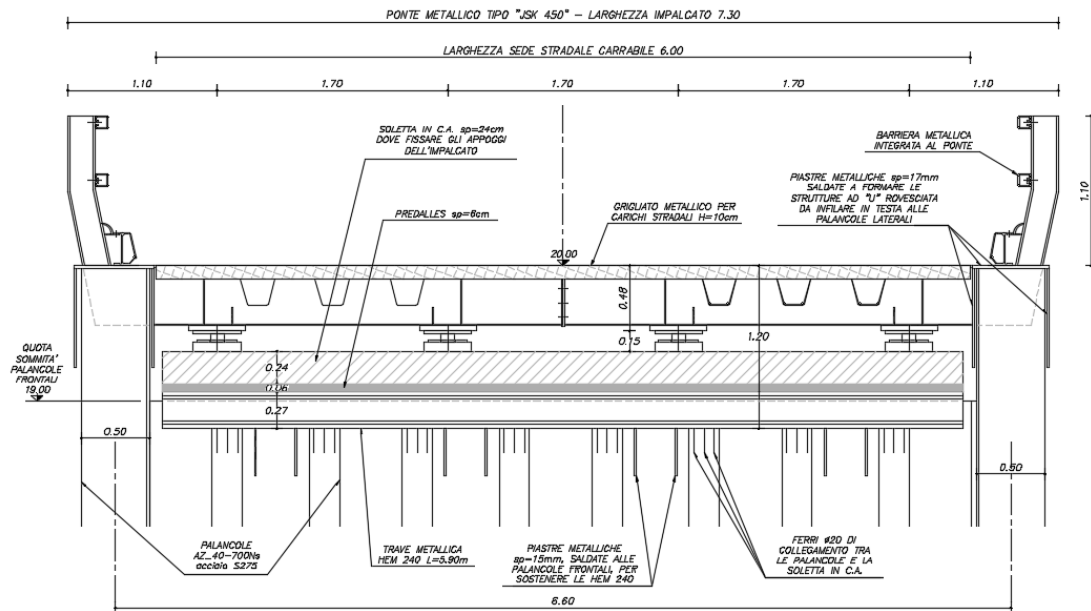
Planimetria

PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO

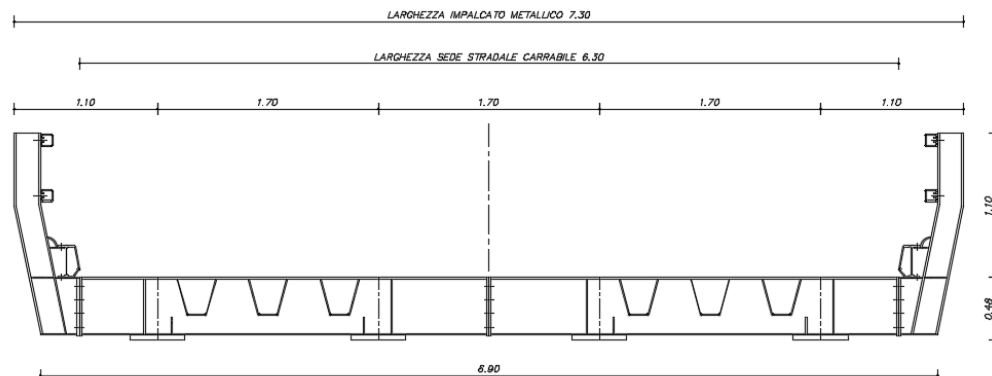
| COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|---------|
| 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 4 di 59 |



Sezione longitudinale



Sezione trasversale sulla spalla



Sezione trasversale dell'impalcato

Per il dettaglio delle caratteristiche geometriche di tale opera si rimanda ai relativi elaborati grafici.

| | | | | | | |
|---|---|--------------|--------------------|---------------------|-----------|-------------------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI | | | | | |
| | Progetto esecutivo | | | | | |
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 | FOGLIO 5 di 59 |

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione degli elementi strutturali è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente in merito al dimensionamento delle strutture.

Si riportano nel seguito le leggi ed i regolamenti cui si è fatto riferimento nella progettazione delle opere trattate in questa relazione:

- D. M. 17/01/2018 – Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare C.S.LL.PP. 21/012019, n.7 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17/01/2018.
- D.M. 14/01/2008 - Norme tecniche per le Costruzioni 2008;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale;
- UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici;
- UNI EN 1991-1-2:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
- UNI EN 1991-1-3:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve;
- UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento;
- UNI EN 1991-1-5:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche;
- UNI EN 1991-1-6:2005 26/09/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione;
- UNI EN 1991-1-7:2006 05/12/2006 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali;
- UNI EN 1991-2:2005 01/03/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti;
- UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1992-1-2:2005 01/04/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;

- UNI EN 1992-2:2006 26/01/2006 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi;
- UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-1-2:2005 01/07/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti;
- UNI EN 1993-1-9:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-9: Fatica;
- UNI EN 1993-2:2007 25/01/2007 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti di acciaio;
- UNI ENV 1993-5:2002 01/01/2002 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole;
- UNI EN 1994-1-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1994-1-2:2005 27/10/2005 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- UNI EN 1994-2:2006 12/01/2006 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti;
- UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006 09/02/2006 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- Annessi nazionali degli eurocodici approvati nel 2011.

Il calcolo e le verifiche degli elementi strutturali sono effettuati secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite, in accordo con le NTC2018 e relative specificazioni.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si illustrano le caratteristiche dei materiali previsti per le opere in progetto.

➤ **Conglomerato cementizio per le seggiole di appoggio**

| | |
|---|---|
| Classe | C28/35 |
| Resistenza caratteristica cubica | $f_{ck,cube} = 35.00 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza caratteristica cilindrica | $f_{ck,cyl} = 28.00 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5 = 15.86 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza a trazione media | $f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 2.76 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza a trazione (frattile 5%) | $f_{ctk 0,05} = 0,7 * f_{ctm} = 1.94 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza a trazione di calcolo | $f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c = 1.29 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza a compressione (comb. Rara) | $\sigma_c = 0.60 * f_{ck} = 16.80 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza a compressione (comb. Quasi Perm.) | $\sigma_c = 0.45 * f_{ck} = 12.60 \text{ N/mm}^2$ |
| Classe di esposizione | XC2 |
| Classe di consistenza | S4 |
| Diametro massimo inerte | 32 mm |

➤ **Acciaio per cemento armato**

| | |
|--|---|
| Classe | B450C |
| Tensione di snervamento caratteristica | $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione caratteristica a rottura | $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza di calcolo | $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1,15 = 391,30 \text{ N/mm}^2$ |

➤ **Acciaio da carpenteria per le palancole**

| | |
|--|-------------------------------|
| Classe | S275 |
| Tensione di snervamento caratteristica | $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione di rottura | $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione di rottura | $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$ |

➤ **Acciaio da carpenteria per travi di coronamento e travi-puntello**

| | |
|--|-------------------------------|
| Classe | S355 |
| Tensione di snervamento caratteristica | $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione di rottura | $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione di rottura | $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$ |

➤ **Acciaio per bulloni e dadi**

Classe 10.9

Tensione di snervamento caratteristica $f_{yk} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tensione di rottura $f_{tk} = 1000 \text{ N/mm}^2$

7. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico utilizzato nella presente relazione è stato definito sulla base delle indicazioni riportate sulla relazione geologico-geotecnica allegata. Si riportano i parametri essenziali:

La profondità della falda è stata rilevata nel foro di prova penetrometrica come indicato nella tabella sottostante.

| Punto di rilievo | Profondità da p.c. (m) | Data rilievo |
|------------------|------------------------|--------------|
| SCPTU 1 | -4.50 m | 30/05/2019 |
| SCPTU 2 | -5.30 m | 30/05/2019 |

| Penetrometria | UNITA' 1 | UNITA' 2 | UNITA' 4 | UNITA' 5 |
|-------------------------------|----------------------------------|---|--|---------------|
| | ARGILLE LIMOSE CORPO ARGINALE | ARGILLE LIMOSE CON LENTI SABBIOSE | SABBIE CON RARE INTERCALAZIONI ARGILLOSE | SABBIE LIMOSE |
| Limite sup. (m) | 3.5 | 4.8 | 13.4 | 24.1 |
| Limite inf. (m) | 4.8 | 13.4 | 24.1 | 30.0 |
| γ (Mg/m ³) | 1.87 | 1.88 | 1.97 | 1.99 |
| media dati | 1.88 | 1.88 | 1.97 | 1.99 |
| dev. Stand | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| n° dati | 91 | 774 | 920 | 998 |
| Cu (kPa) | 125 | 67 | - | - |
| media dati | 134 | 70 | - | - |
| dev. Stand | 52 | 41 | - | - |
| n° dati | 91 | 774 | - | - |
| Φ (°) | - | - | 35.9 | 36.8 |
| media dati | - | - | 36.0 | 36.9 |
| dev. Stand | - | - | 1.7 | 1.1 |
| n° dati | - | - | 920 | 998 |
| G ₀ (MPa) | 62.1 | 47.9 | 121.7 | 216.4 |
| media dati | 64.0 | 48.6 | 123.0 | 217.9 |
| dev. Stand | 10.6 | 12.7 | 22.7 | 28.9 |
| n° dati | 91 | 774 | 920 | 998 |
| M (MPa) | 25.8 | 9.0 | 113.9 | 202.5 |
| media dati | 27.8 | 9.6 | 115.2 | 204.0 |
| dev. Stand | 11.5 | 10.1 | 23.5 | 28.3 |
| n° dati | 91 | 774 | 920 | 998 |
| Eu (MPa) | 61.7 | 39.6 | 92.4 | 163.1 |
| media dati | 68.0 | 42.1 | 93.3 | 164.3 |
| dev. Stand | 33.2 | 42.6 | 16.5 | 21.6 |
| n° dati | 78 | 774 | 920 | 998 |
| Dr (%) | - | - | 59.7 | 74.0 |
| media dati | - | - | 60.3 | 74.4 |
| dev. Stand | - | - | 12.5 | 7.4 |
| n° dati | - | - | 920 | 998 |
| OCR | 4.8 | 1.6 | - | - |
| media dati | 5.2 | 1.6 | - | - |
| dev. Stand | 2.4 | 0.8 | - | - |
| n° dati | 91 | 774 | - | - |

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

8. CODICE DI CALCOLO

Il calcolo agli elementi finiti della struttura è stato condotto mediante l'utilizzo del software MIDAS CIVIL 2019 ver.1.1.

8.1. Origine e caratteristiche del codice di calcolo

MIDAS Information Technology, Co., Ltd.

SKn Technopark Tech-center 15th fl. 190-1 Sangdaewon1-dong

Jungwon-gu, Seongnam, Gyeonggi-do, 462-721, Korea

Tel: 82-31-789-2000 Fax: 82-31-789-2001

- n° di serie della licenza: *U001-09640*
- Intestato alla Ditta : *STIGEA S.r.l., Bologna*

Si allega la licenza d'uso:



8.2. Affidabilità del codice utilizzato

La documentazione di validazione a corredo del software, fornita dal distributore del prodotto e preliminarmente esaminata dal progettista, è disponibile presso STIGEA S.r.l., via Irnerio n.10, Bologna.

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

9. DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Per la modellazione dei palancolati, si sono considerati elementi di palanca di tipo “beam” posizionati ad un interasse $i=1.00m$, per poter ragionare, in termini di verifica, sulle proprietà della sezione tipicamente fornite in riferimento allo sviluppo unitario.

In termini di rigidezza, tale approssimazione risulta assolutamente compatibile con la tipologia di calcolo eseguito, tanto più in virtù del fatto che non si considerano, sulla struttura in esame, gli effetti di azioni orizzontali di natura sismica dato il suo carattere provvisorio: in tal senso, la modellazione di una struttura con rigidezza alle azioni orizzontali inferiore rispetto a quella reale non costituisce alcun disturbo rispetto al corretto dimensionamento e verifica dell’opera.

Inoltre, per tenere in conto del susseguirsi di moduli da 0.70m con orientamento speculare, si è considerata un’alternanza delle due diverse sezioni (semimoduli 1 e 2).

La presenza del ponte Janson è stata schematizzata, ai fini del presente calcolo, tramite una soletta in c.a. equivalente ($s=0.40m$); a valle del calcolo si è eseguito il controllo rispetto alla validità di tale ipotesi. Effettuando pertanto il confronto tra le reazioni vincolari (dovute ai soli carichi permanenti) emerse dal calcolo effettuato con la soletta equivalente e quelle reali tipiche dell’impalcato tipo Janson previsto, prendendo come riferimento l’appoggio della trave di bordo, si è ottenuto:

| AZIONI SULLE FONDAZIONI [kN] - [kNm] | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-----|--------------|----------|-----|--------------|-----|------|--------------|-----------------------|------|-------|-----|
| Appoggi | Permanente | | | Traffico | | | | | | Traffico - Fren./acc. | | Vento | |
| | Z | Mx | Attrito X | UDL | | | TS | | | X | Y | X | Y |
| | | | | Z | Mx | Attrito X | Z | Mx | Attrito X | | | | |
| A-1 | 95 | -14 | | 132 | -17 | | 291 | -159 | | ±402 | ±101 | ±21 | ±41 |
| A-2 | 83 | 0 | ±109 | 90 | -61 | ±44 | 485 | -121 | ±291 | | | | |
| A-3 | 95 | 14 | | 55 | -14 | | 194 | 48 | | | | | |
| B-1 | 95 | -14 | | 132 | -17 | | 291 | -159 | | ±0 | ±101 | ±0 | ±41 |
| B-2 | 83 | 0 | ±109 | 90 | -61 | ±44 | 485 | -121 | ±291 | | | | |
| B-3 | 95 | 14 | | 55 | -14 | | 194 | 48 | | | | | |

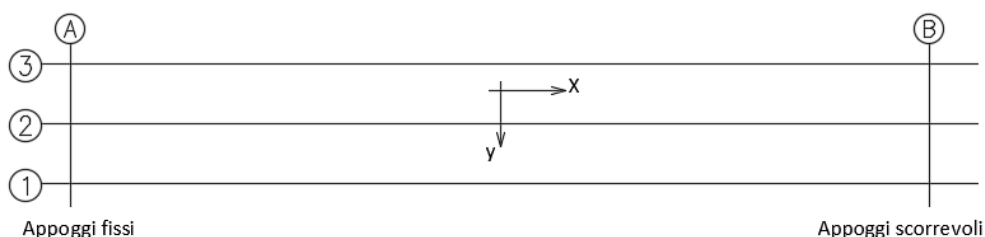


Tabella delle reazioni vincolari del ponte Janson

L’appoggio del ponte alle sottostrutture è stato modellato tramite elementi “elastic link” aventi rigidezze nelle tre direzioni principali coerenti con lo schema statico tipico dell’impalcato tipo Janson previsto.

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

La somma delle reazioni vincolari verticali, date dai soli carichi permanenti, degli appoggi dell'impalcato equivalente modellato risulta:

$$\Sigma R_v = 1296 \text{ kN}$$

Si ottiene pertanto, considerando il valor medio sul singolo appoggio

$$R_v = 216 \text{ kN}$$

Si conclude, pertanto, che le reazioni vincolari trasmesse dall'impalcato equivalente modellato siano doppie rispetto a quelle reali.

Tale differenza, certamente cautelativa, non si ritenga comporti un eccessivo sovradimensionamento dell'opera. Data la particolarità e la snellezza dell'opera, infatti, si è ritenuto di dovere assumere ipotesi largamente conservative in merito all'opera in esame, cautelandosi in modo particolare rispetto alle deformazioni in esercizio e a eventuali fenomeni di instabilità.

Il piano stradale, in corrispondenza delle spalle, è previsto rialzato con grigliato di classe 4 (per il traffico senza limitazioni di portata), appoggiato su travi HEM240, che svolgono anche la funzione di puntellamento per i palancolati, poste ad interasse inferiore a $i=1.00\text{m}$.

Tali travi appoggiano su una sella realizzata grazie alla presenza della trave di ripartizione HEM240 che corona la testa dei palancolati.

Nella modellazione effettuata si è tenuto conto dell'eccentricità di tale trave di ripartizione rispetto all'asse del palancolato.

I vincoli del modello sono costituiti da molle alla Winkler che simulano la resistenza laterale esercitata dal terreno sui moduli di palanca, che fungono da elementi di fondazione della struttura; in accordo con la caratterizzazione geotecnica dei terreni si è assunta una rigidità $k_{w-v} = k_{w-h} = 3.00 \text{ daN/cm}^3$.

Per la descrizione dettagliata dei profili utilizzati per ogni elemento strutturale e per la geometria della struttura si rimanda ai seguenti capitoli e agli elaborati grafici.

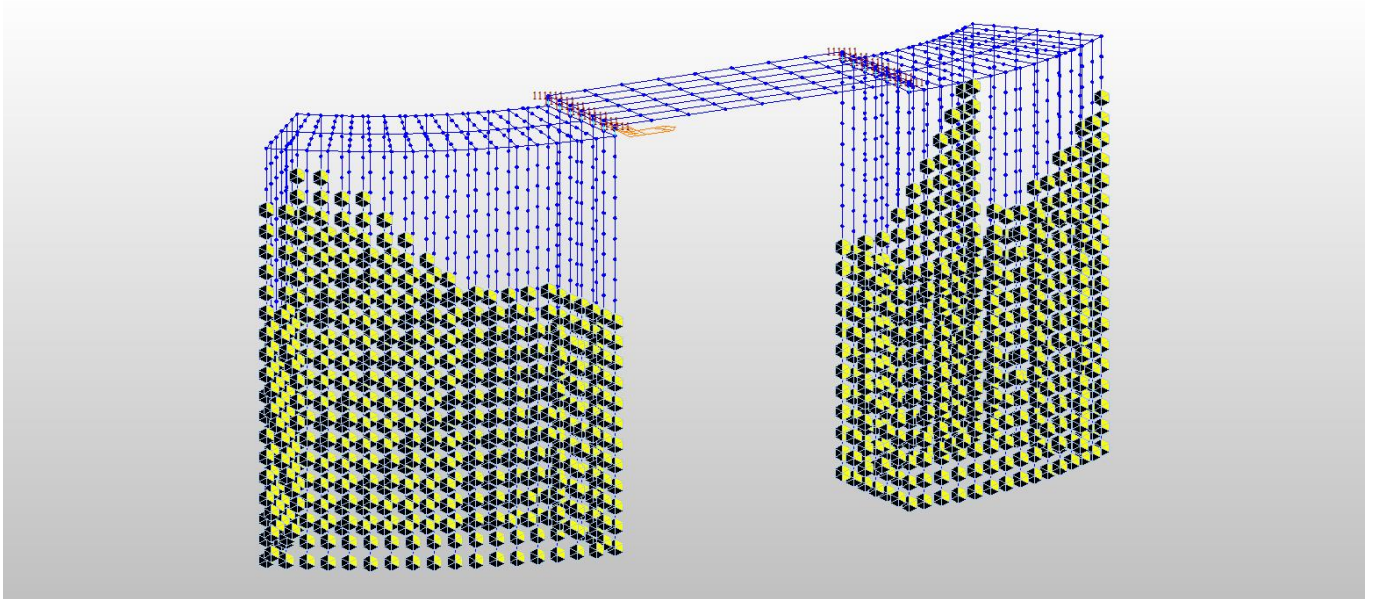


Figura 1 Modello di calcolo

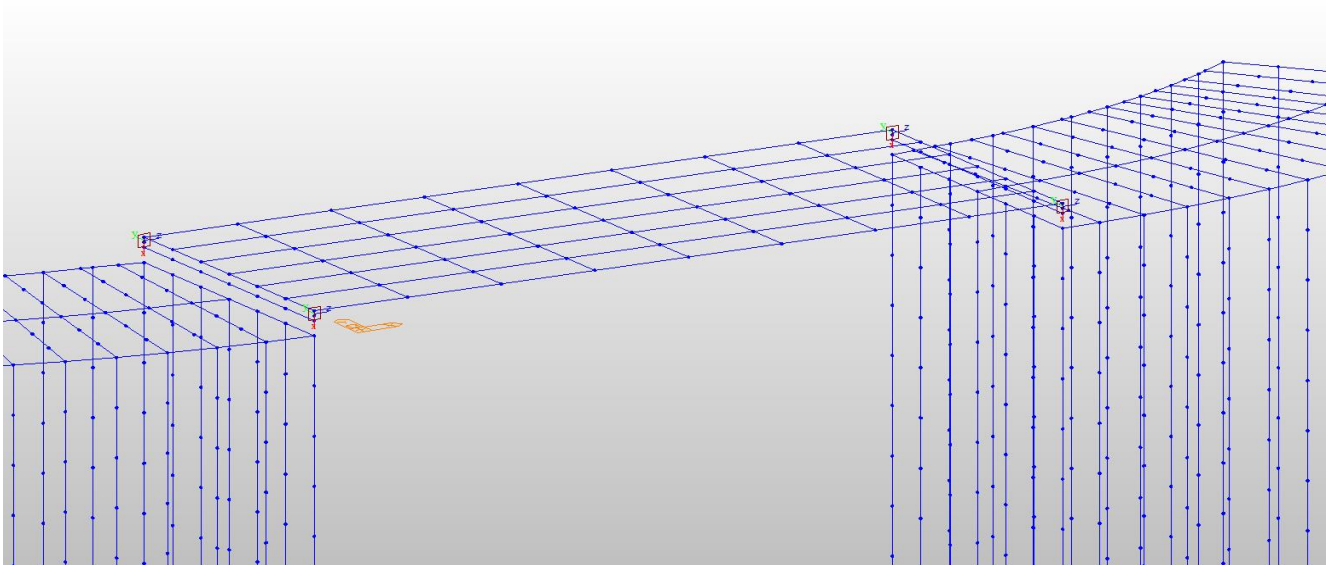


Figura 2 Modello di calcolo appoggi

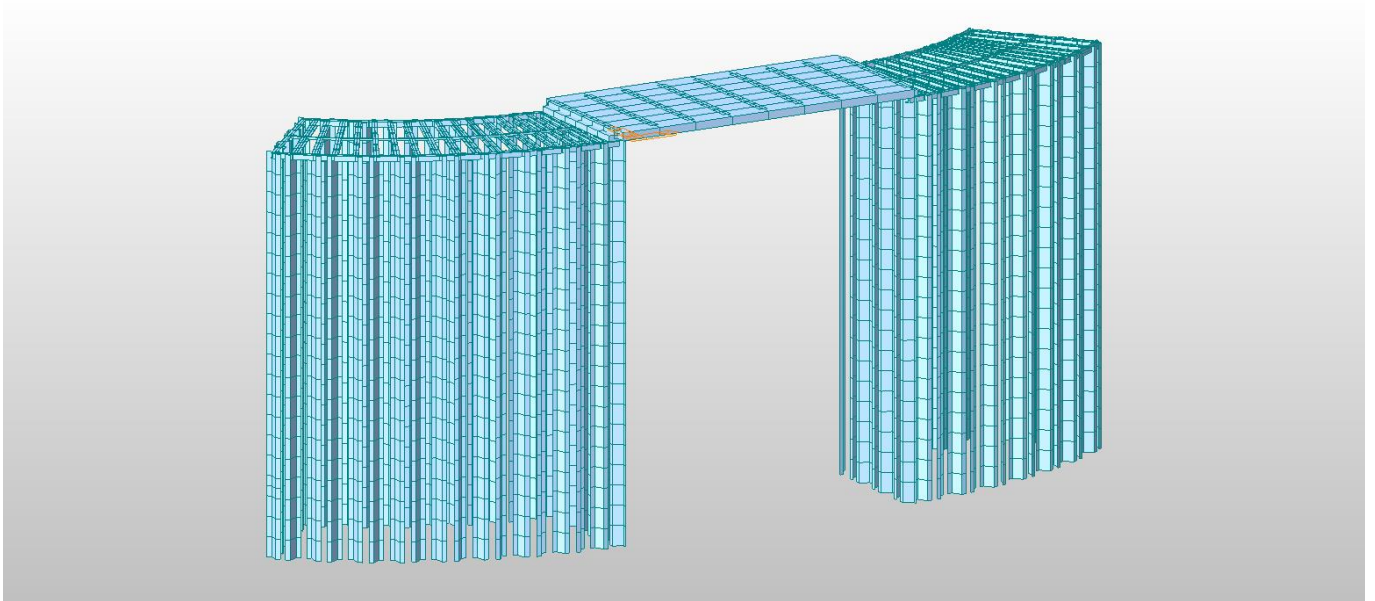


Figura 3 Rendering strutturale

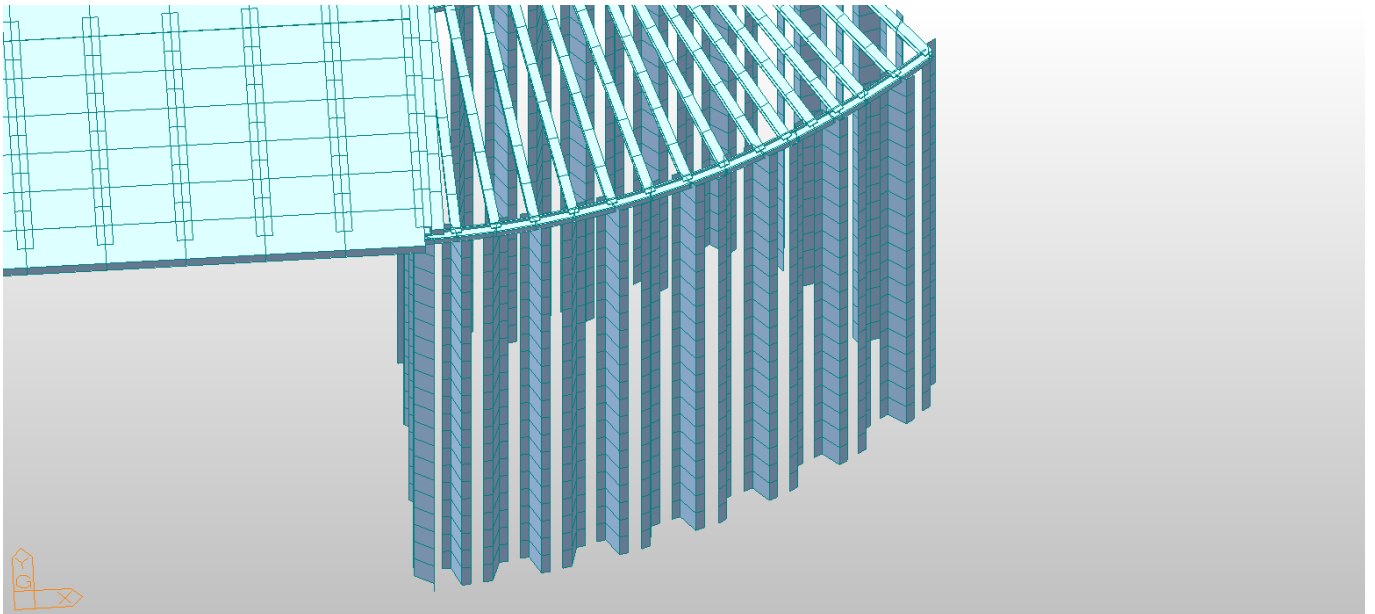


Figura 4 Rendering strutturale particolare

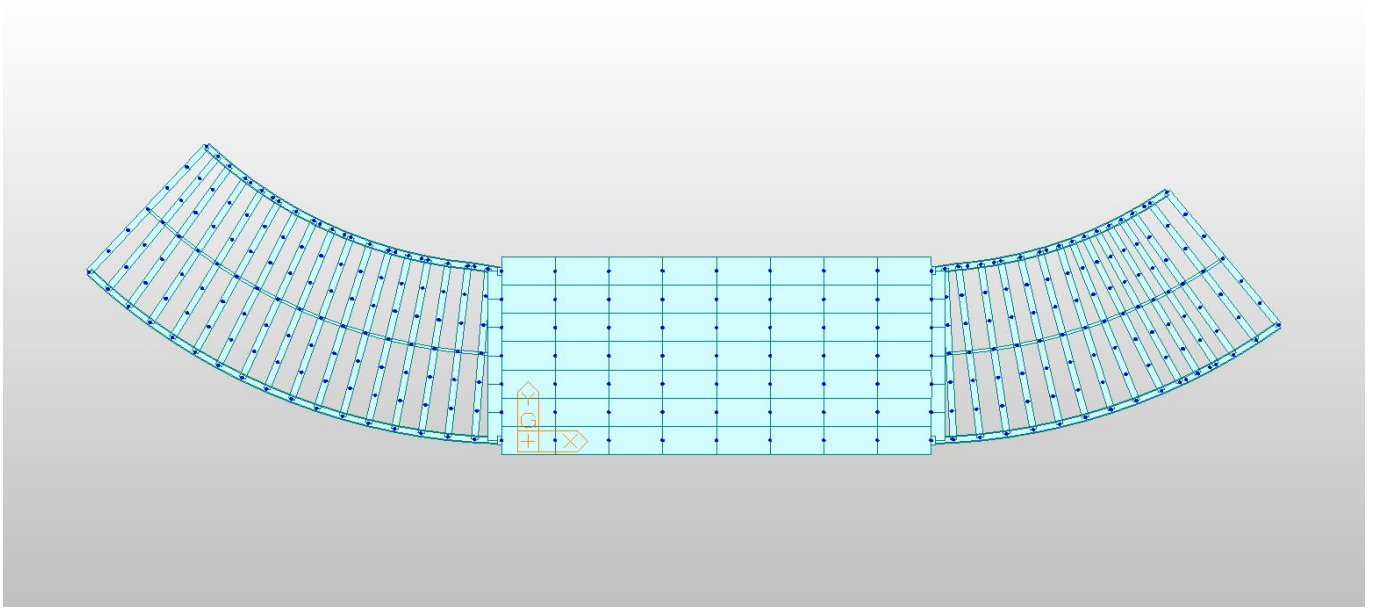


Figura 5 Rendering strutturale pianta

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |


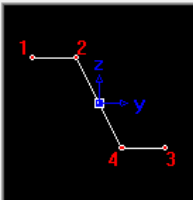
10. SEZIONI

Nel modello di calcolo si sono considerate le seguenti sezioni, relativamente ai diversi elementi strutturali:

- Palancola AZ 40-700N – semimodulo 1

Section ID: ? General Section

Name: Built-Up Section


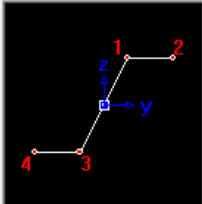
Import SEC Files...

| Section Properties | | |
|--------------------|--------------|-----|
| Area | 1.48649e-002 | m^2 |
| Asy | 0.00000e+000 | m^2 |
| Asz | 0.00000e+000 | m^2 |
| Ixx | 1.16103e-006 | m^4 |
| Iyy | 5.81535e-004 | m^4 |
| Izz | 5.00501e-004 | m^4 |
| Cyp | 0.3498 | m |
| Cym | 0.3502 | m |
| Czp | 0.2474 | m |
| Czm | 0.2485 | m |
| Qyb | 0.0916 | m^2 |
| Qzb | 0.0387 | m^2 |
| Peri:O | 0.00000e+000 | m |
| Peri:I | 0.00000e+000 | m |
| Cent:y | 0.3502 | m |
| Cent:z | 0.2400 | m |
| y1 | -0.3502 | m |

- Palancola AZ 40-700N – semimodulo 2 (specchiato)

Section ID: ? General Section

Name: Built-Up Section

Import SEC Files...

| Section Properties | | |
|--------------------|--------------|-----|
| Area | 1.48649e-002 | m^2 |
| Asy | 0.00000e+000 | m^2 |
| Asz | 0.00000e+000 | m^2 |
| Ixx | 1.16103e-006 | m^4 |
| Iyy | 5.81535e-004 | m^4 |
| Izz | 5.00501e-004 | m^4 |
| Cyp | 0.3502 | m |
| Cym | 0.3498 | m |
| Czp | 0.2474 | m |
| Czm | 0.2485 | m |
| Qyb | 0.0916 | m^2 |
| Qzb | 0.0387 | m^2 |
| Peri:O | 0.00000e+000 | m |
| Peri:I | 0.00000e+000 | m |
| Cent:y | 0.3498 | m |
| Cent:z | 0.2400 | m |
| y1 | 0.1203 | m |

➤ Trave di ripartizione

Section ID: 3

I-Section

Name: Trave ripartizione

DB: UNI

Sect. Name: HEM240

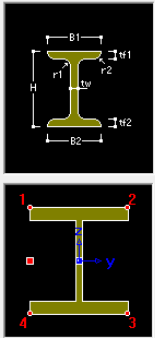
Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)

| | | |
|-----|-------|---|
| H | 0.27 | m |
| B1 | 0.248 | m |
| tw | 0.018 | m |
| tf1 | 0.032 | m |
| B2 | 0 | m |
| tf2 | 0 | m |
| r1 | 0.021 | m |
| r2 | 0 | m |

Consider Shear Deformation.
 Consider Warping Effect(7th DOF)

Offset: Left-Center



➤ Trave-puntello

Section ID: 2

I-Section

Name: Travi-puntello

DB: UNI

Sect. Name: HEM240

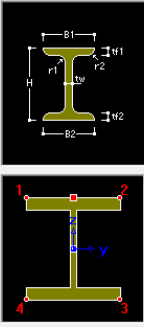
Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)

| | | |
|-----|-------|---|
| H | 0.27 | m |
| B1 | 0.248 | m |
| tw | 0.018 | m |
| tf1 | 0.032 | m |
| B2 | 0 | m |
| tf2 | 0 | m |
| r1 | 0.021 | m |
| r2 | 0 | m |

Consider Shear Deformation.
 Consider Warping Effect(7th DOF)

Offset: Center-Top



➤ Seggiola

Section ID: 7

Solid Rectangle

Name: Seggiola c.a.

DB: AISC10(US)

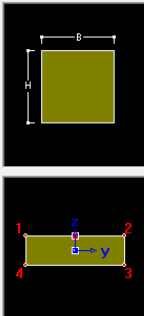
Sect. Name: [Empty]

Built-Up Section

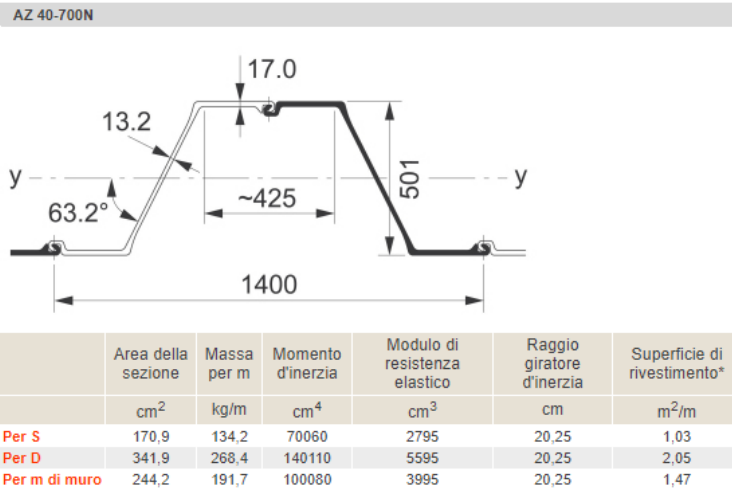
Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)

| | | |
|---|-----|---|
| H | 0.3 | m |
| B | 1 | m |



Riguardo alla sezione di palancola adottata, si allega la scheda tecnica di un produttore per la definizione di dettaglio delle caratteristiche in termini di geometria, peso, rigidità, resistenza.



| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

11. CARICHI AGENTI SULLA STRUTTURA

11.1. Analisi dei carichi

Nel modello di calcolo si sono applicati alla struttura i seguenti carichi:

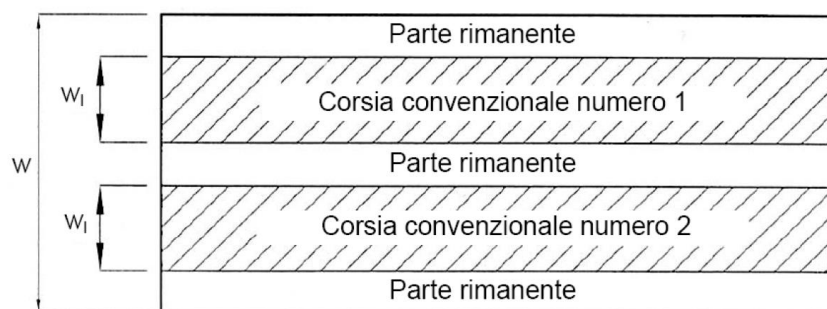
- Peso proprio elementi strutturali in c.a. $\gamma_{cls} = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Peso proprio elementi strutturali in acciaio (+15%) $\gamma_{acc} = 78.50 \text{ kN/m}^3$
- Carico permanente portato- grigliato in acciaio $q_{perm} = 1.70 \text{ kN/m}^2$
- Variazioni termiche lineari $\Delta T_u = \pm 25^\circ \text{ C}$
- Pressione del vento su struttura e colonna di carico $p_{vento} = 2.50 \text{ kN/m}^2$
- Carichi da traffico NTC 2018 par. 5.1.3.3
- Frenamento NTC 2008 par. 5.1.3.5

Per quanto riguarda il peso dell'acciaio, valutato automaticamente dal programma di calcolo sulla base degli elementi strutturali considerati nel modello, si è considerato un incremento del 15% per tener conto della presenza di piastre, bulloni, saldature, controventi orizzontali, irrigidimenti.

Per quanto riguarda i carichi da traffico si è fatto riferimento ai carichi dati dal D.M. 17.01.2018 per i ponti di Ia Categoria, secondo quanto previsto dalle NTC 2018 par. 5.1.3.3, di cui seguono gli estratti.

Le larghezze w_i delle corsie convenzionali su una carreggiata ed il massimo numero (intero) possibile di tali corsie su di essa sono indicati nella figure sottostanti tratte dalle Norme Tecniche. Se non diversamente specificato, qualora la carreggiata di un impalcato da ponte sia divisa in due parti separate da una zona spartitraffico centrale, si distinguono i casi seguenti:

- se le parti sono separate da barriere di sicurezza mobili o da altro dispositivo di ritenuta, l'intera carreggiata, inclusa la zona spartitraffico centrale, è divisa in corsie convenzionali.
- se le parti sono separate da barriere di sicurezza mobili o da altro dispositivo di ritenuta, l'intera carreggiata, inclusa la zona spartitraffico centrale, è divisa in corsie convenzionali.



| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

Tabella 5.1.I - Numero e Larghezza delle corsie

| Larghezza di carreggiata "w" | Numero di corsie convenzionali | Larghezza di una corsia convenzionale [m] | Larghezza della zona rimanente [m] |
|------------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|
| $w < 5,40 \text{ m}$ | $n_l = 1$ | 3,00 | $(w-3,00)$ |
| $5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$ | $n_l = 2$ | $w/2$ | 0 |
| $6,0 \text{ m} \leq w$ | $n_l = \text{Int}(w/3)$ | 3,00 | $w - (3,00 \times n_l)$ |

La disposizione e la numerazione delle corsie va determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto. Per ogni singola verifica il numero di corsie da considerare caricate, la loro disposizione sulla carreggiata e la loro numerazione vanno scelte in modo che gli effetti della disposizione dei carichi risultino i più sfavorevoli. La corsia che, caricata, dà l'effetto più sfavorevole è numerata come corsia Numero 1; la corsia che dà il successivo effetto più sfavorevole è numerata come corsia Numero 2, ecc. Per ciascuna singola verifica e per ciascuna corsia convenzionale, si applicano gli Schemi di Carico definiti nel seguito per una lunghezza e per una disposizione longitudinale, tali da ottenere l'effetto più sfavorevole.

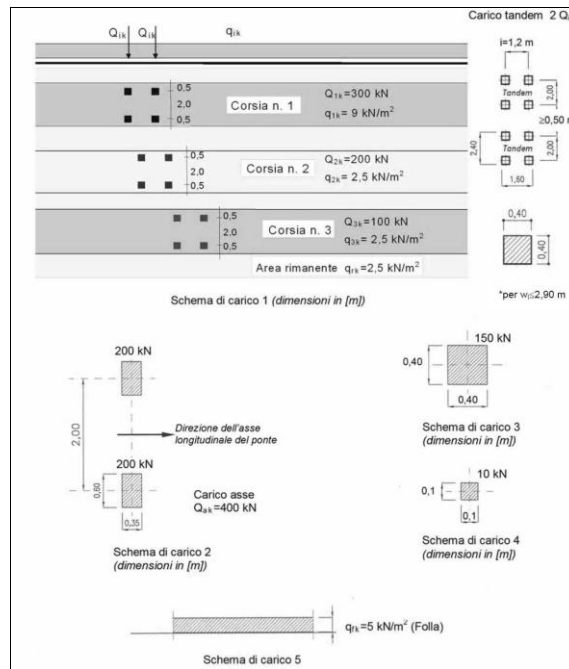
Si riportano di seguito gli schemi di carico considerati. Essi definiscono le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici:

SC1 - Schema di Carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.

SC2 - Schema di Carico 2: è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.

SC4 - Schema di Carico 4: è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurvias e sulle passerelle pedonali.

SC5 - Schema di Carico 5: costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di $5,0 \text{ kN/m}^2$. Il valore di combinazione è invece di $2,5 \text{ kN/m}^2$. Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.



Schemi di carico

| Gruppo di azioni | Carichi sulla carreggiata | | | | Carichi su marciapiedi e piste ciclabili | |
|------------------|---|----------------------------------|--|-----------------------|--|---|
| | Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6) | Veicoli speciali | Folla (Schema di carico 5) | Frenatura q_3 | Forza centrifuga q_4 | Carico uniformemente distribuito |
| 1 | Valore caratteristico | | | | | Schema di carico 5 con valore di combinazione $2,5\text{ kN/m}^2$ |
| 2 a | Valore frequente | | | Valore caratteristico | | |
| 2 b | Valore frequente | | | | Valore caratteristico | |
| 3 (*) | | | | | | Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0\text{ kN/m}^2$ |
| 4 (**) | | | Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0\text{ kN/m}^2$ | | | Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0\text{ kN/m}^2$ |
| 5 (***) | Da definirsi per il singolo progetto | Valore caratteristico o nominale | | | | |

Valori caratteristici delle azioni da traffico

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

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente Ψ_0 di combinazione | Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| Vento q_s | Vento a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| | Esecuzione | 0,8 | ---- | 0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| Neve q_s | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Si è pertanto considerata la presenza di n.2 corsie di carico convenzionali, la cui posizione è stata permutata automaticamente dal software al fine di ottenere la massimizzazione delle diverse sollecitazioni.

Per quanto riguarda l'azione da frenamento si è considerato, come prescritto dalla Norma:

5.1.3.5 Azione longitudinale di frenamento o di accelerazione: q_3

La forza di frenamento o di accelerazione q_3 è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6(2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad (5.1.4)$$

per i ponti di 1ª categoria ed a

$$144 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6(2Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad (5.1.5)$$

per i ponti di 2ª categoria, essendo w_1 la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

da cui:

$$q_3 = H_{\text{fren}} = 0,6 \times 2 \times 300 + 0,1 \times 9 \times 3 \times 45,50 = 482,85 \text{ kN}$$

applicata come forza distribuita lungo l'intero sviluppo della struttura.

Si è ritenuta l'azione della neve trascurabile rispetto all'azione dei carichi accidentali mobili; non si è inoltre considerata la presenza di forze centrifughe essendo l'impalcato in retto.

Data la natura provvisoria dell'opera, in accordo con la Norma, non si sono considerati gli effetti dell'azione sismica sul sistema terreno-struttura.

Nelle seguenti figure sono illustrati i casi di carico applicati nel modello (ad esclusione del peso proprio degli elementi strutturali, computato automaticamente dal software):

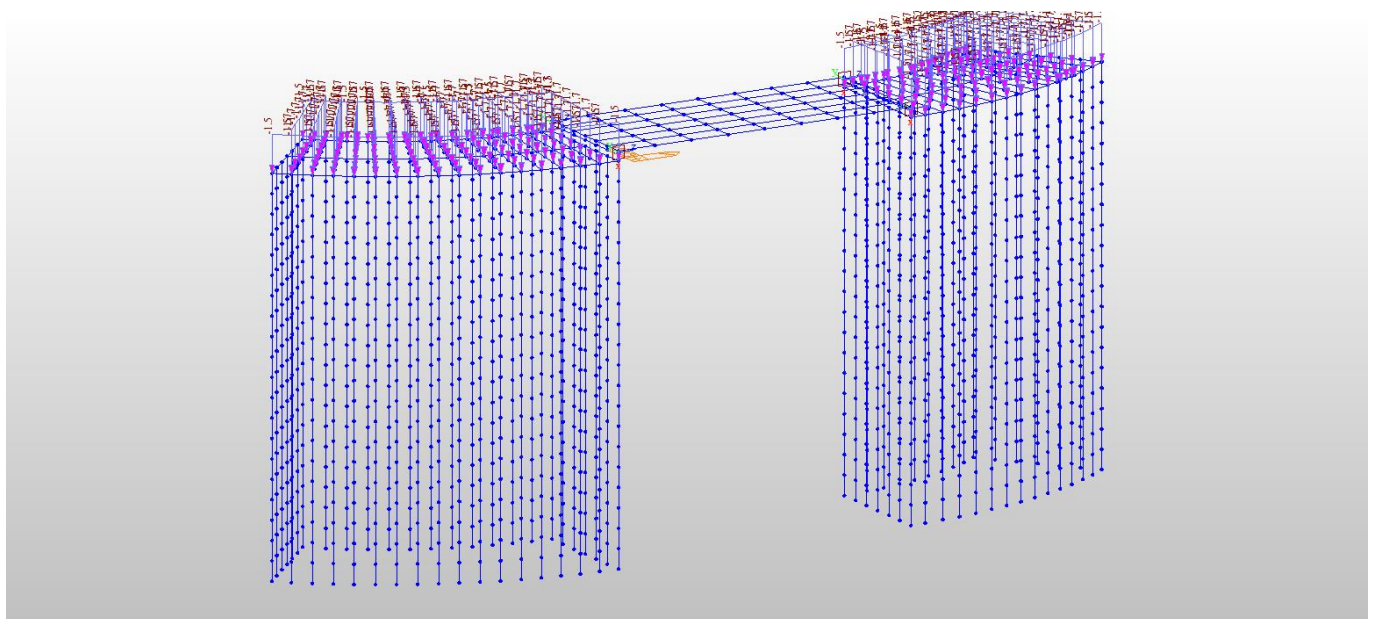


Figura 6 Carichi permanenti portati

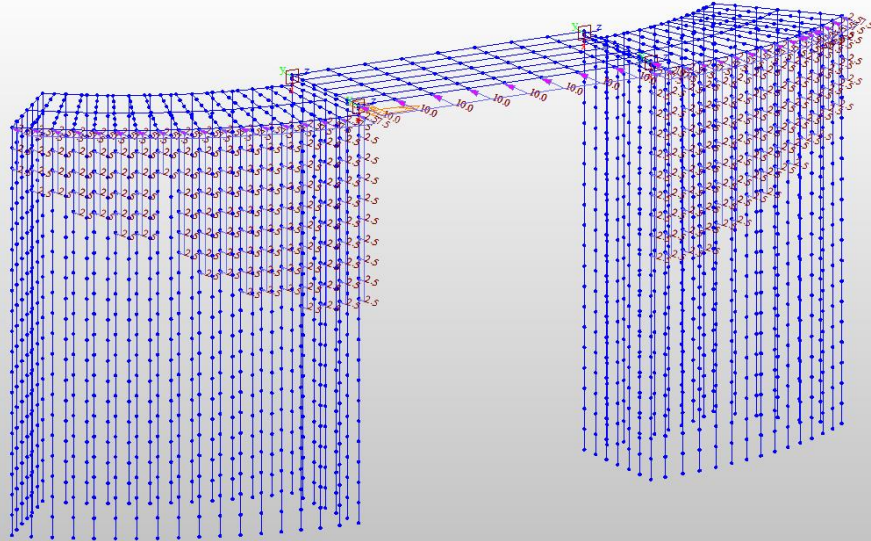


Figura 7 Vento

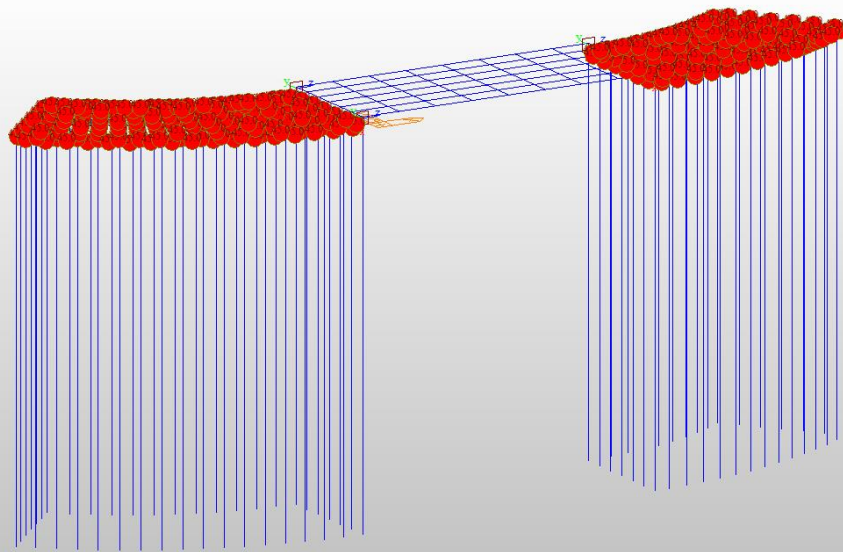


Figura 8 DT uniforme

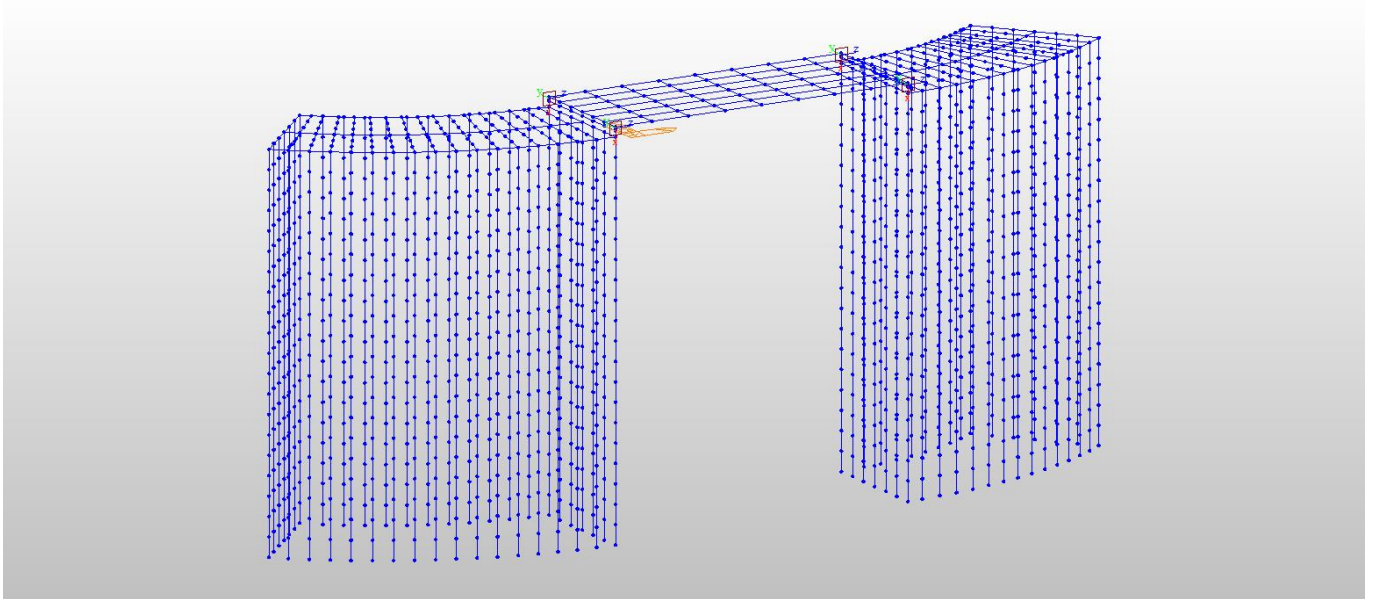


Figura 9 Corsia carichi da traffico

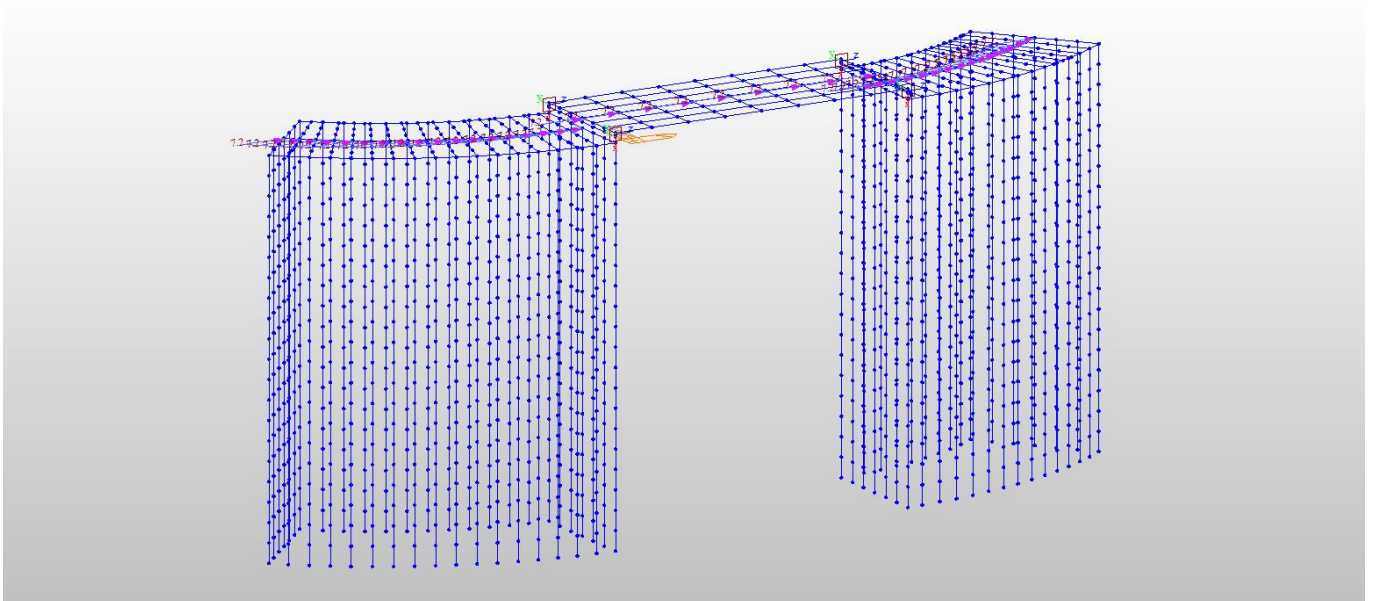


Figura 10 Frenamento

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

11.2. Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al Cap. 2 delle NTC2018.

I carichi sono denominati:

- G_k valore caratteristico del carico permanente, costituito dai pesi propri e dalla pressione del terreno;
- Q_k valore caratteristico di carichi accidentali di tipo stradale.

Gli stati limite introducono dei coefficienti moltiplicativi γ sulle azioni di calcolo, generalmente maggiori dell'unità.

Parimenti per le resistenze dei materiali si introducono dei coefficienti riduttivi applicati alle resistenze dei materiali.

➤ Combinazione fondamentale agli SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

➤ Stati Limite di Esercizio

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Rara} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Nelle NTC2018 sono contenute diverse tabelle con i coefficienti moltiplicativi da utilizzare per le varie combinazioni SLU ed SLE, si riporta quella per le azioni di calcolo SLU;

| CARICHI | EFFETTO | SIMBOLO γ_F | EQU | A1 (STR) | A2 (GEO) |
|---|-------------|-----------------------|------|-------------|-------------|
| <i>Permanenti</i> | favorevole | γ_{G1} | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| | sfavorevole | | 1.1 | 1.35 | 1.0 |
| <i>Permanenti non strutturali</i> | favorevole | γ_{G2} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevole | | 1.5 | 1.35 | 1.0 |
| <i>Variabili</i> | favorevole | γ_{Qi} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevole | | 1.5 | 1.5 | 1.3 |
| <i>Variabili da traffico</i> (da Tab. 5.1.V NTC) | favorevole | γ_Q | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | sfavorevole | | 1.35 | 1.35 | 1.15 |

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

| | | | | | | |
|---|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 27 di 59 |

12. STATO DI SOLLECITAZIONE

Nel presente paragrafo si riportano gli involuipi delle componenti di azione interna più significative emerse dal calcolo, rispettivamente per ogni elemento strutturale.

La notazione "MAX" e "MIN" riportata nelle legende dei diagrammi si riferisce alla numerazione dei n.2 elementi finiti che presentano i valori estremanti della sollecitazione in oggetto.

12.1. Palancole

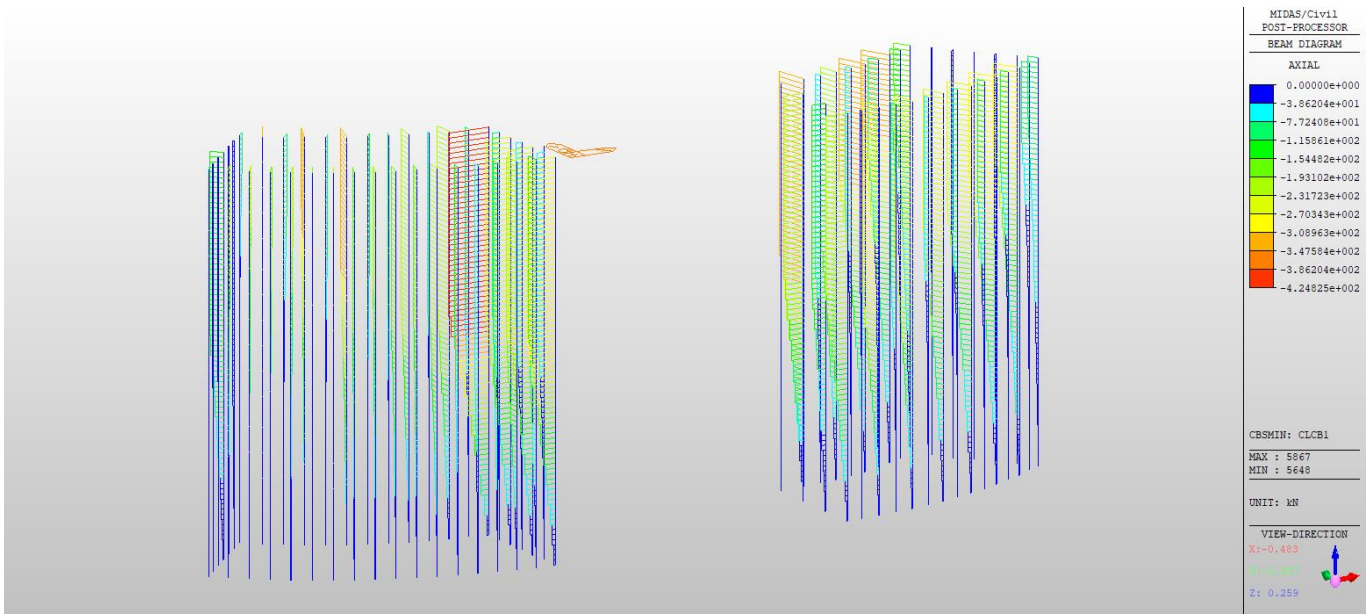


Figura 11 PALANCOLE Nmax SLU1

| | | | | | | |
|--|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 28 di 59 |

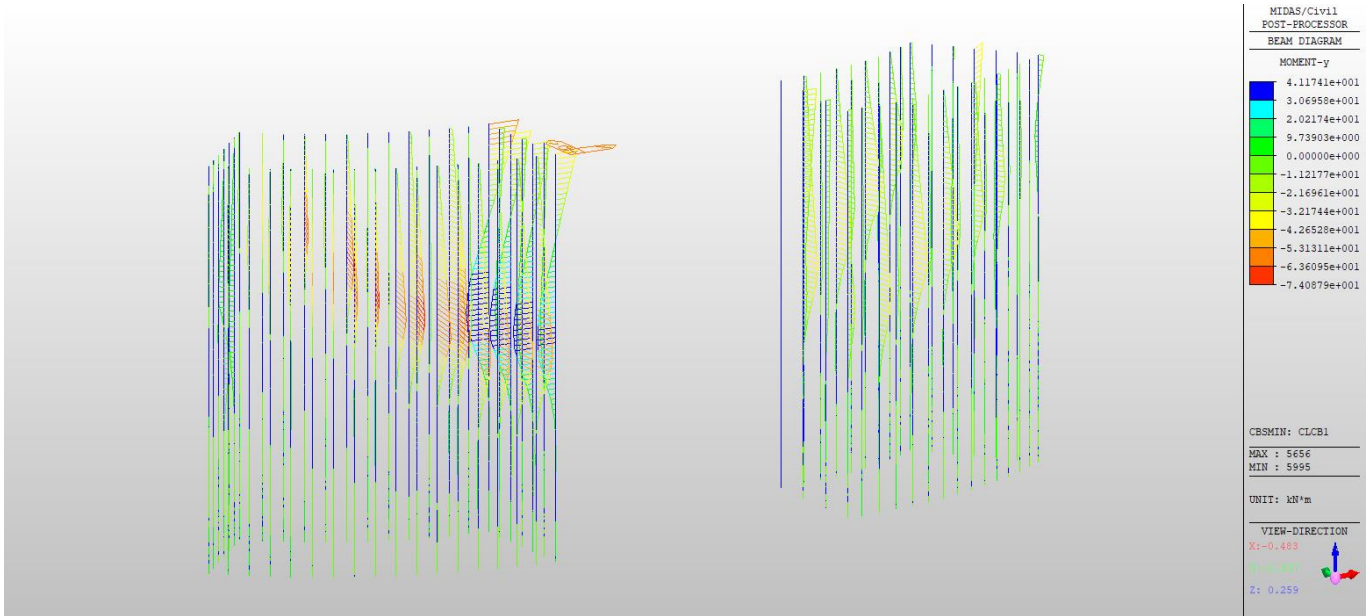


Figura 12 PALANCOLE My max SLU1

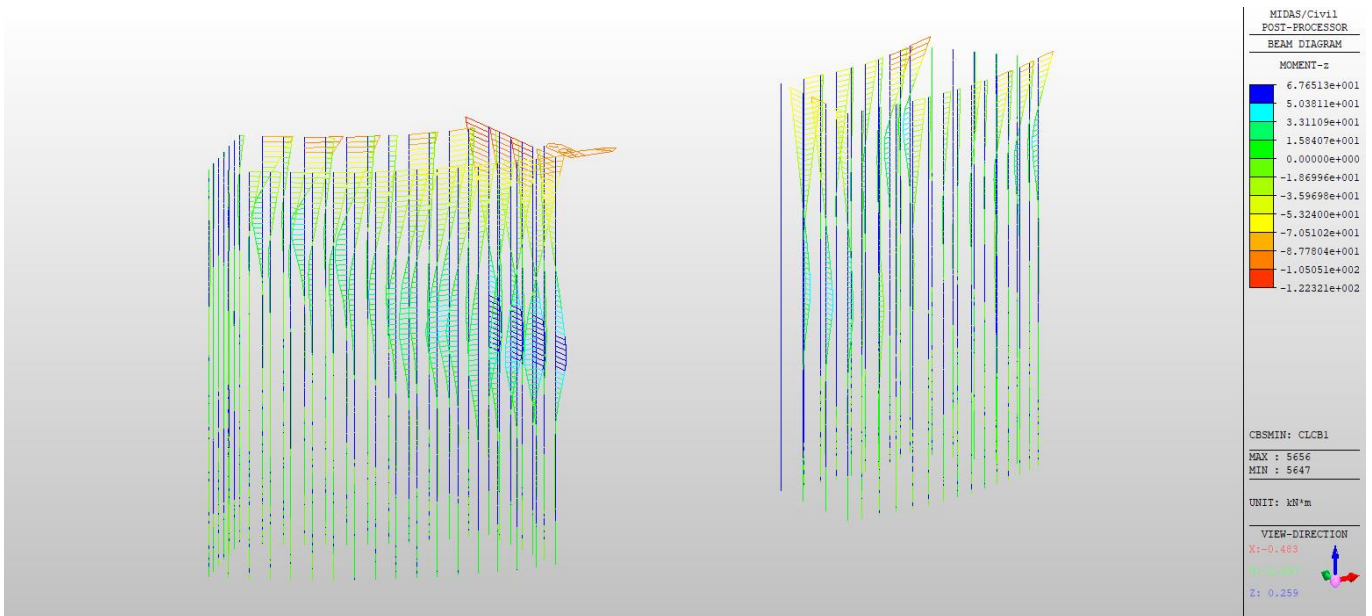


Figura 13 PALANCOLE Mz max SLU1

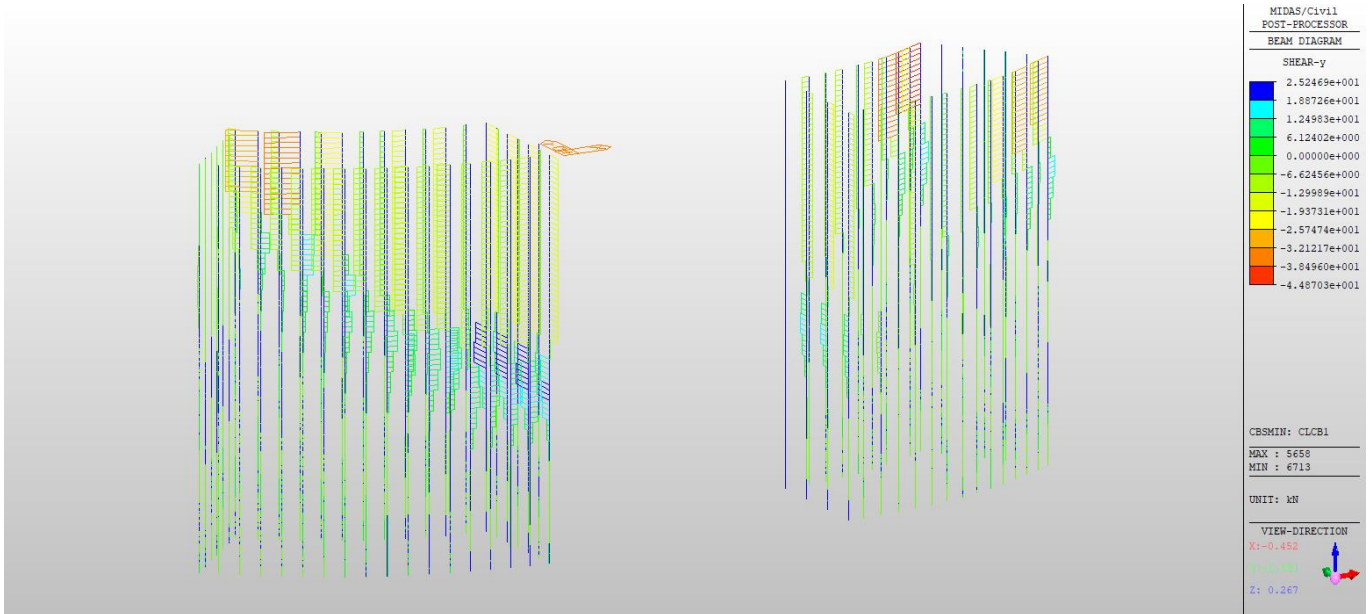


Figura 14 PALANCOLE Fy max SLU1

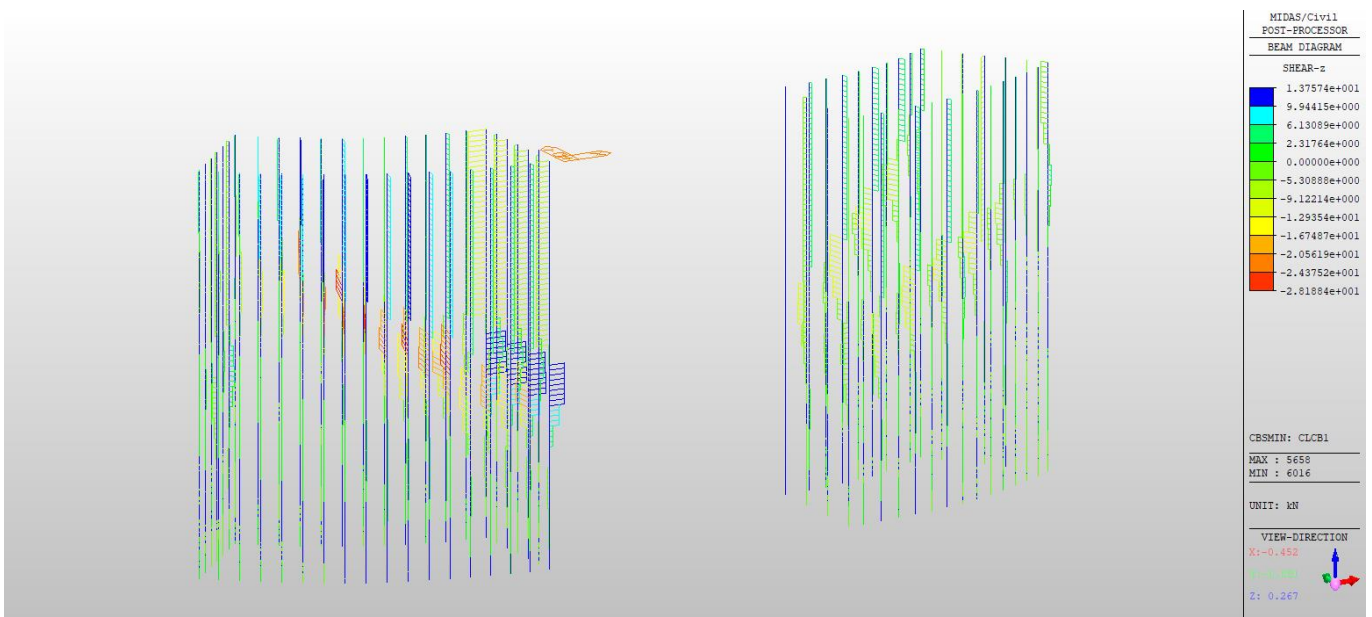


Figura 15 PALANCOLE Fz max SLU1

PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO

| COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 30 di 59 |

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

12.2. Trave di ripartizione

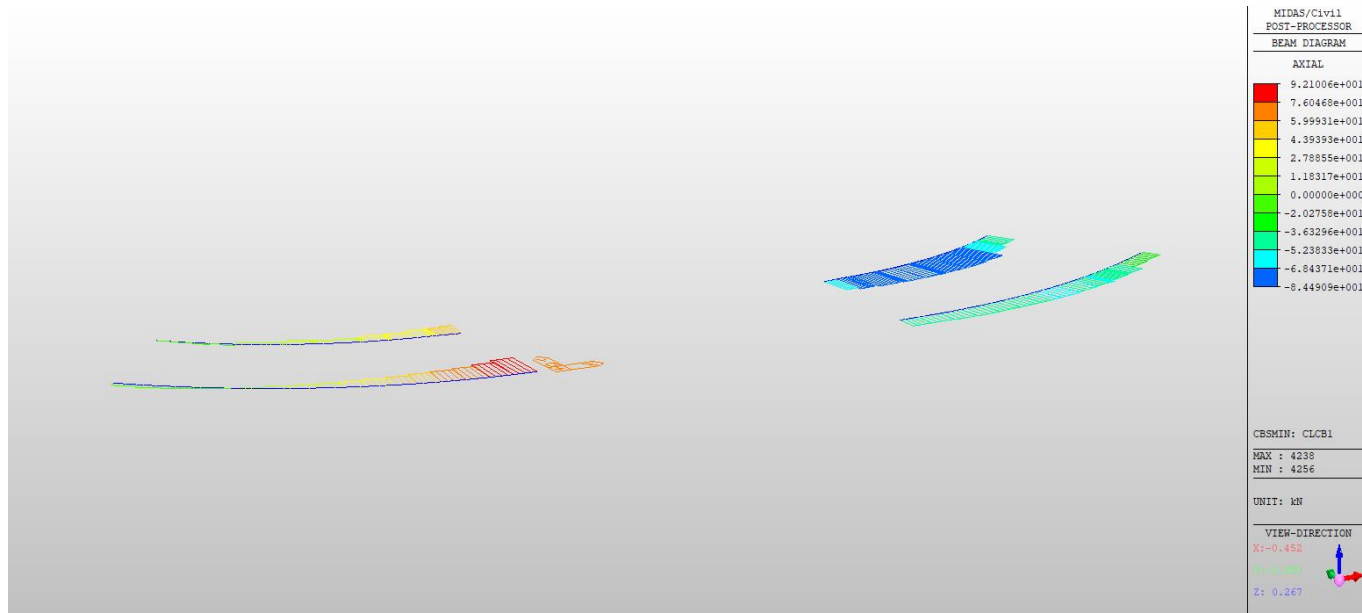


Figura 16 TRAVE RIPARTIZIONE Nmin SLU1

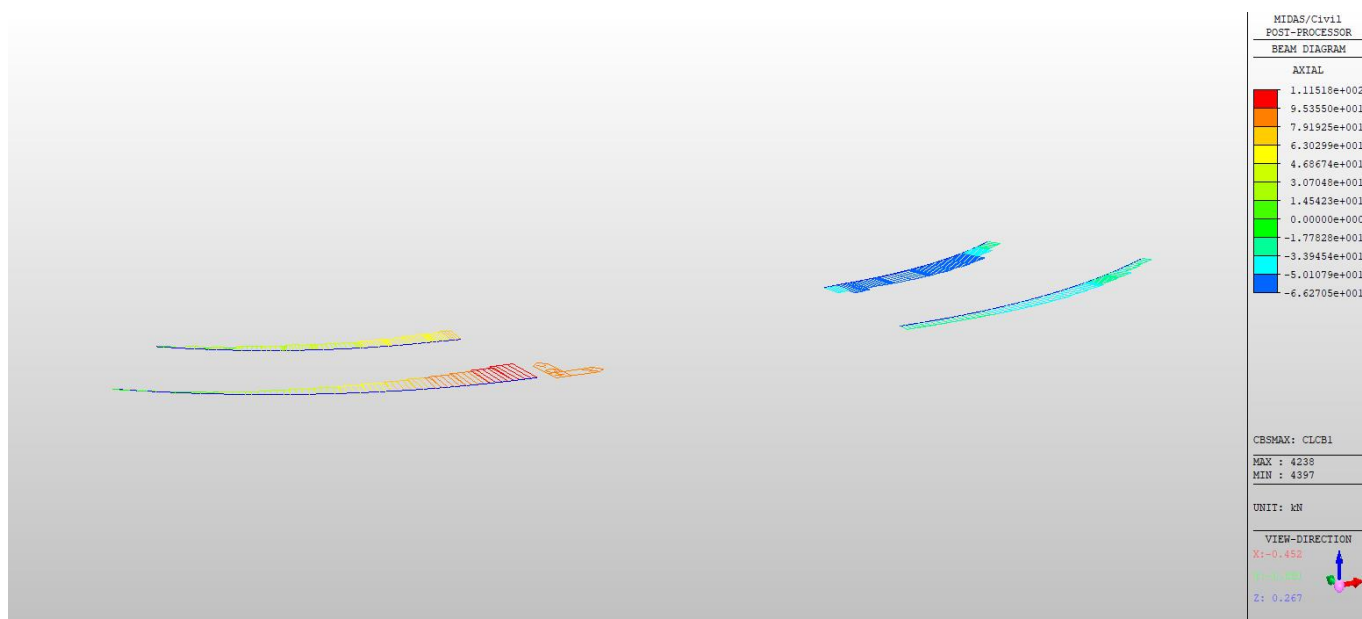


Figura 17 TRAVE RIPARTIZIONE Nmax SLU1

| | | | | | | |
|--|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 32 di 59 |

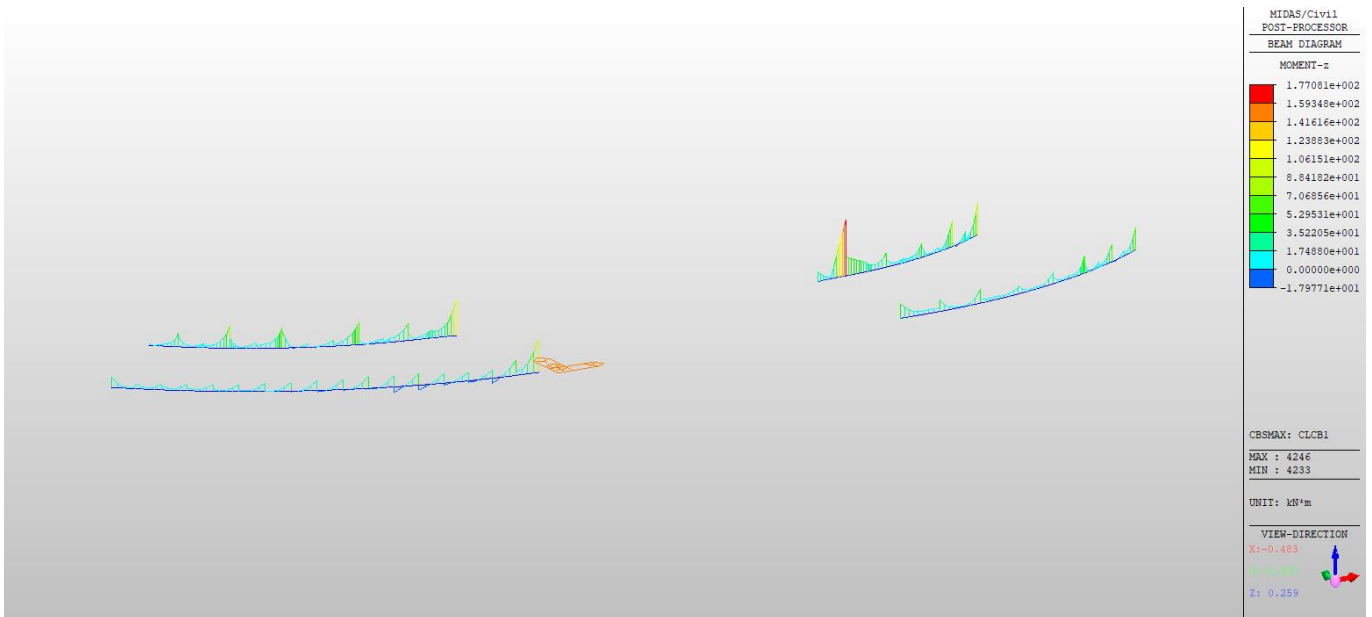


Figura 18 TRAVE RIPARTIZ Mz max SLU1

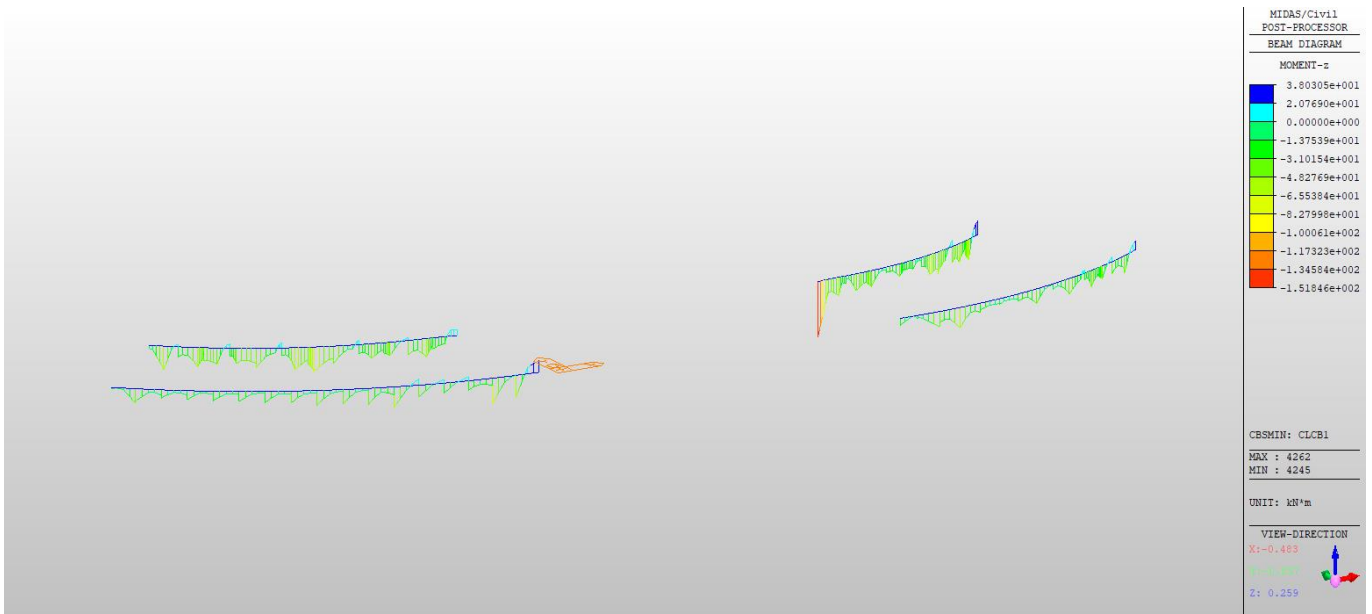


Figura 19 TRAVE RIPARTIZ Mz min SLU1

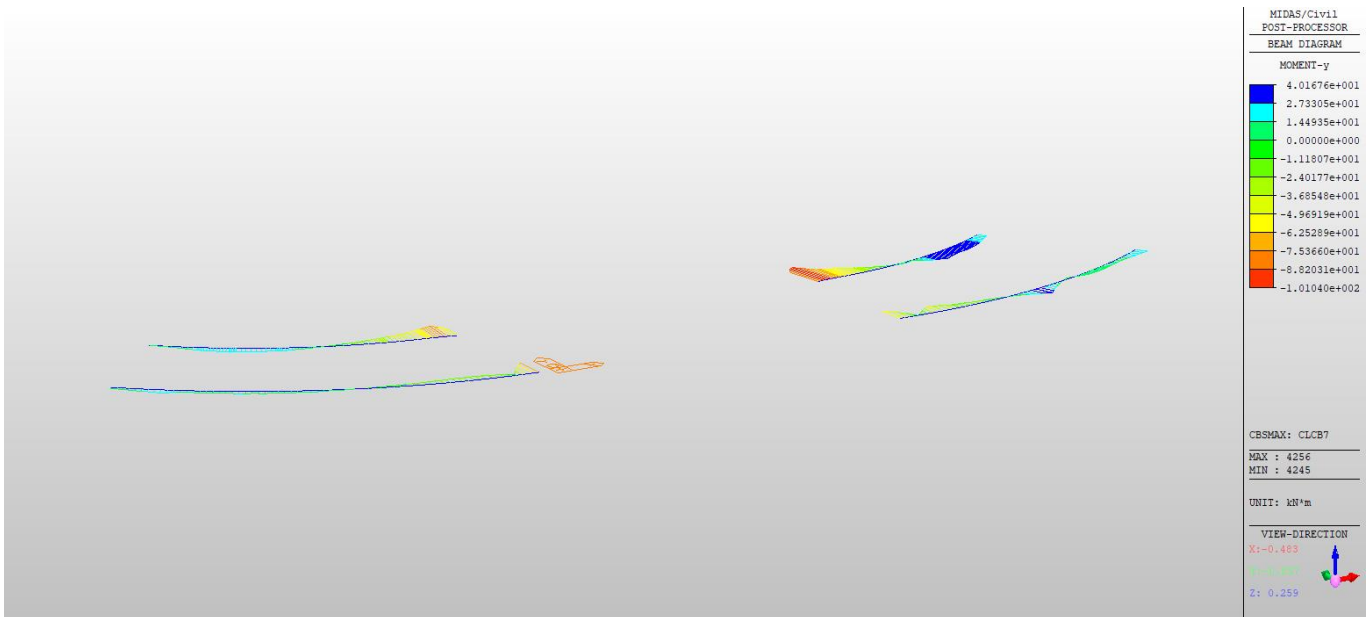


Figura 20 TRAVE RIPART My max SLU7

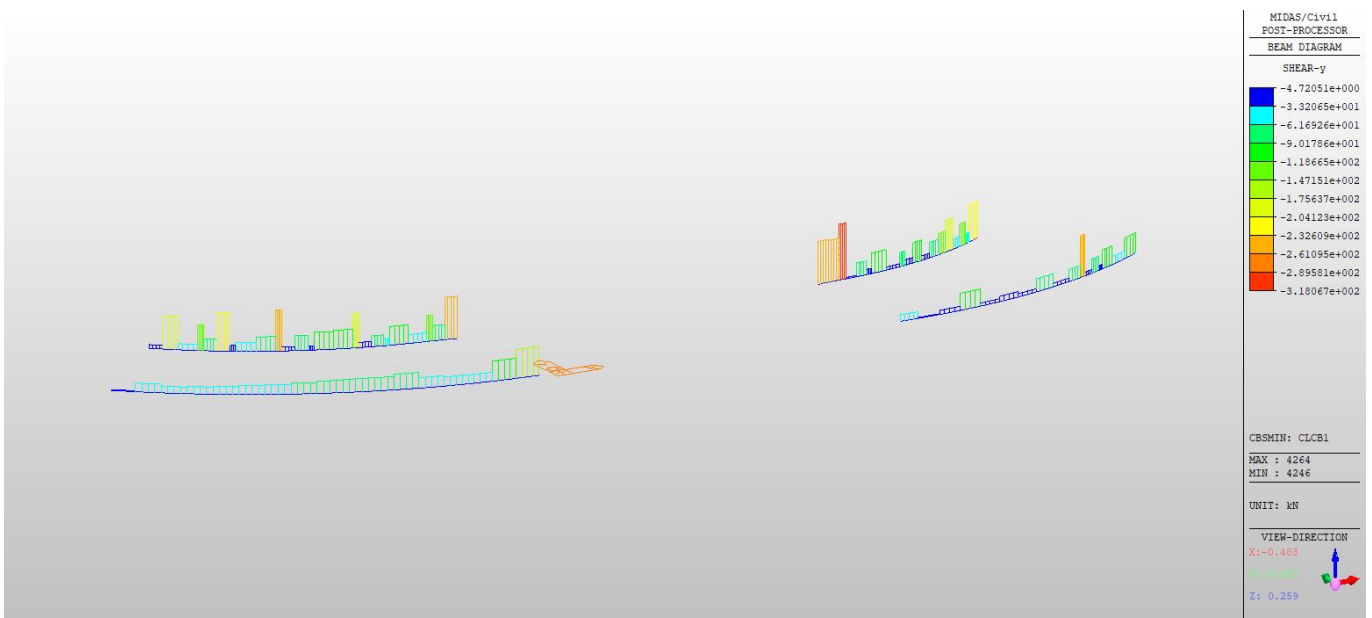


Figura 21 TRAVE RIPARTIZ Fy max SLU1

| | | | | | | |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

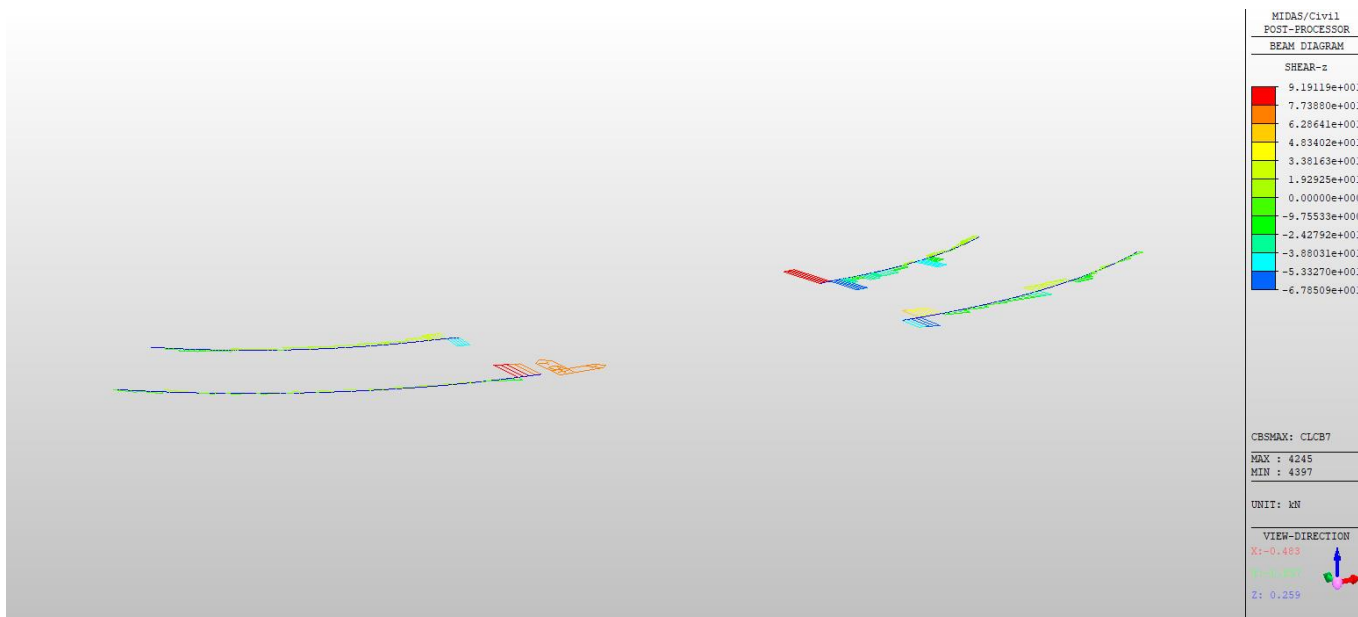


Figura 22 TRAVE RIPART Fz max SLU7

12.3. Trave-puntello

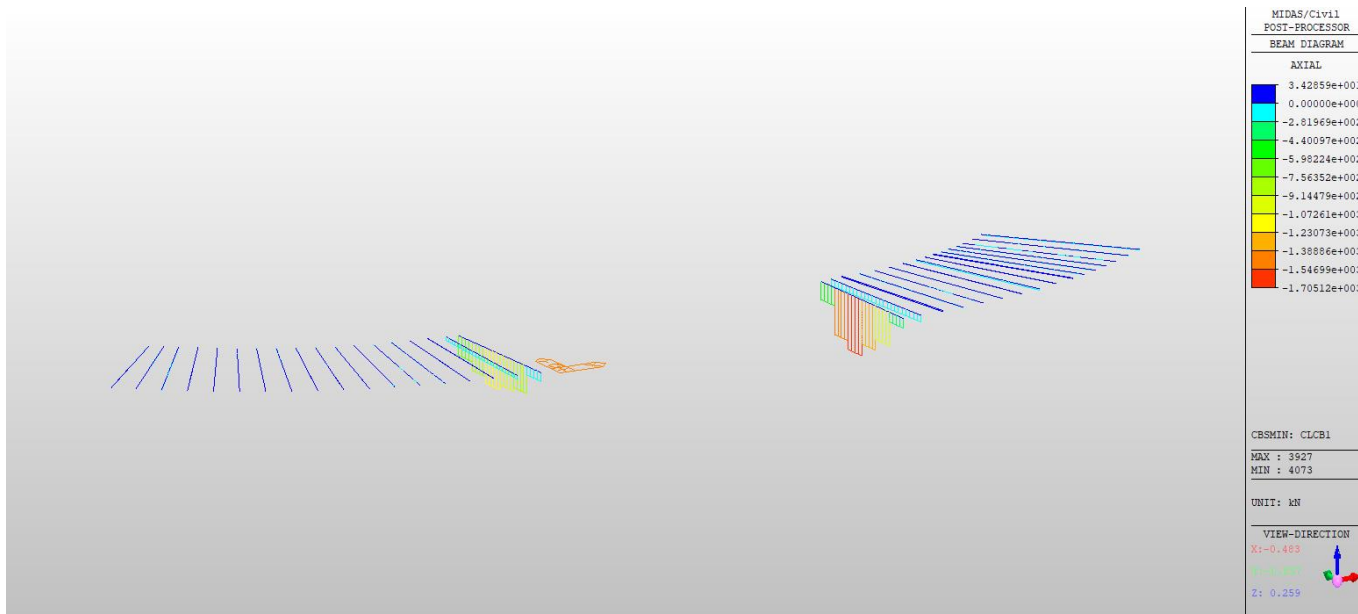


Figura 23 TRAVI PUNTELLO Nmax SLU1

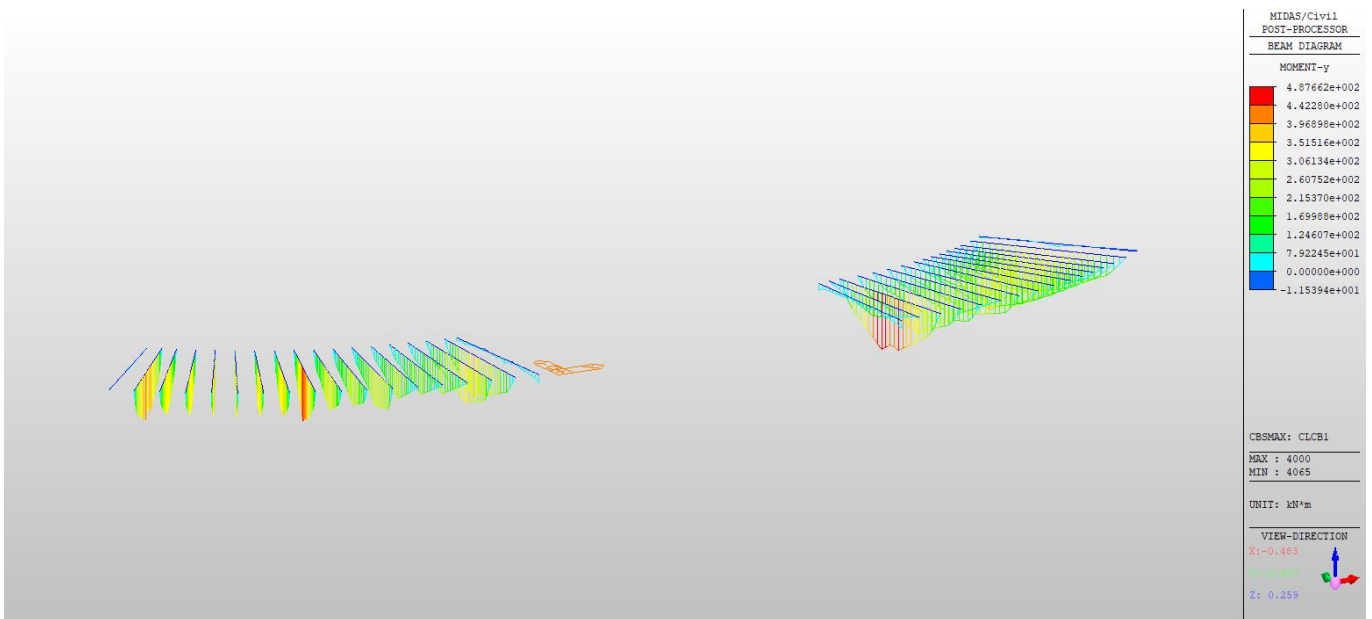


Figura 24 TRAVI PUNTELLO My max SLU1

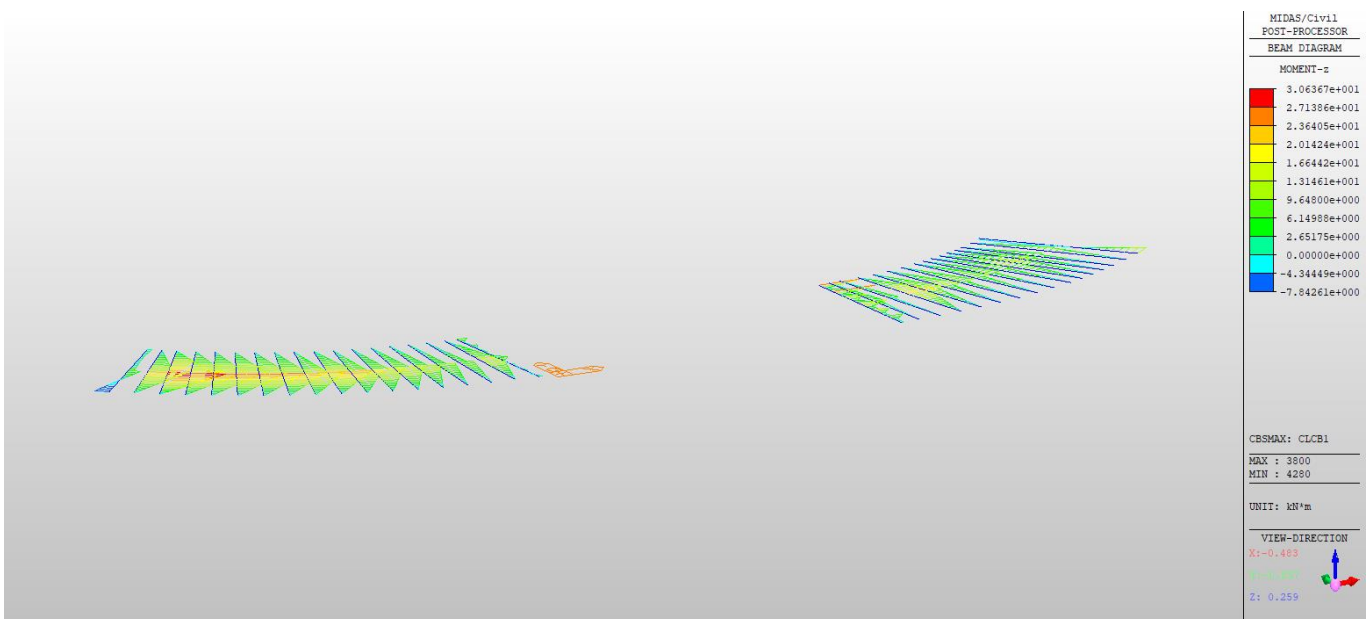


Figura 25 TRAVE PUNTELLO Mz max SLU1

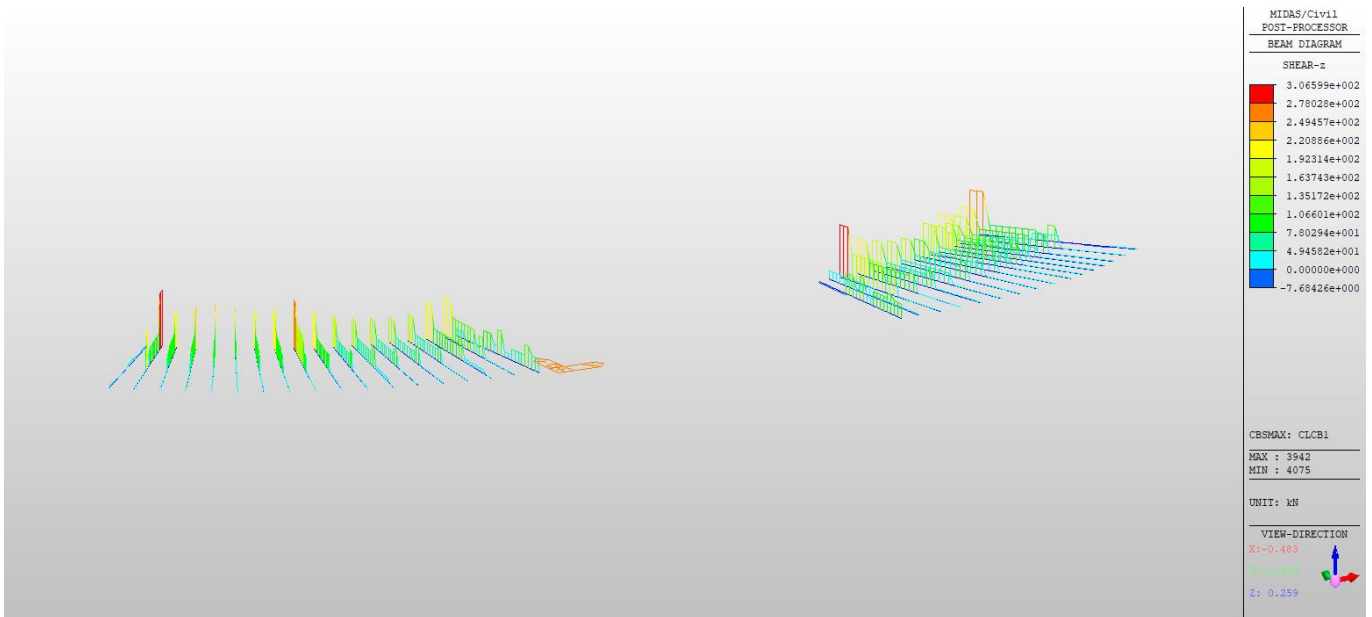


Figura 26 TRAVE PUNTELLO Fz max SLU1

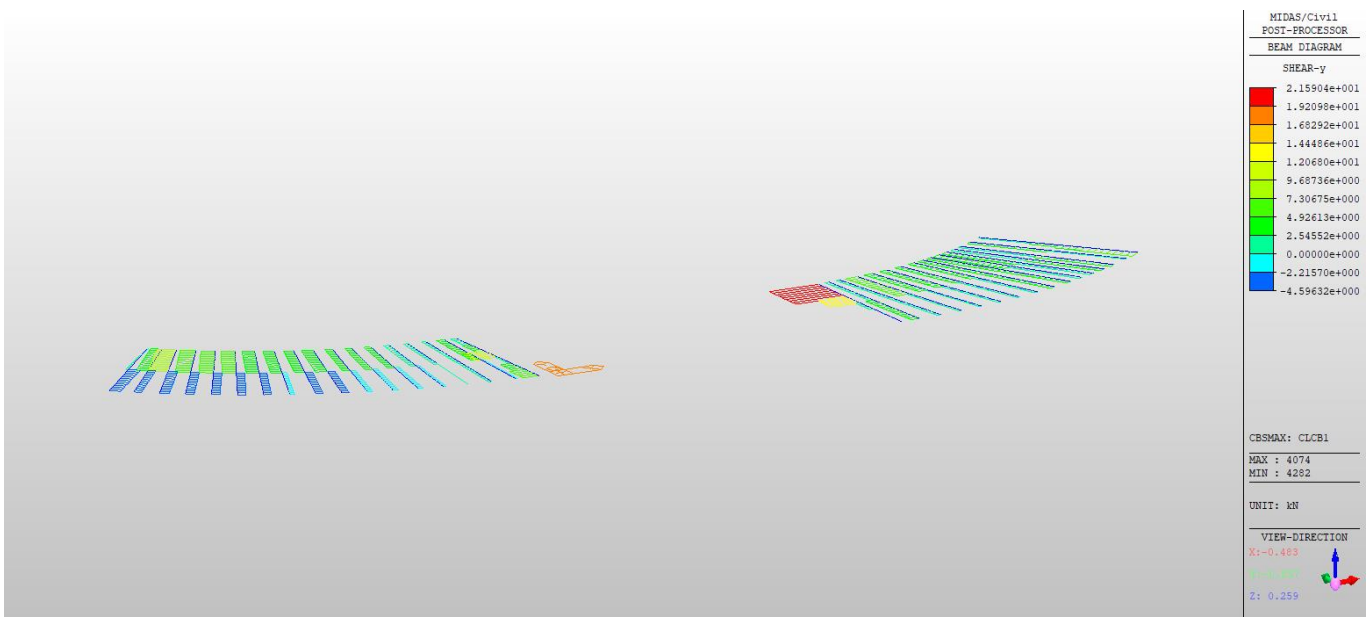


Figura 27 TRAVE PUNTELLO Fy max SLU1

| | | | | | | |
|---|---|---------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI | | | | | |
| | Progetto esecutivo | | | | | |
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 | FOGLIO 37 di 59 |

13. STATO DI DEFORMAZIONE IN ESERCIZIO

Si valutano gli spostamenti orizzontali dei nodi dell'impalcato, nelle direzioni longitudinale e perpendicolare all'asse del ponte, per le combinazioni agli Stati Limite di Esercizio rare (la notazione "MAX" e "MIN" riportata nelle legende dei diagrammi si riferisce alla numerazione dei n.2 elementi finiti che presentano i valori estremanti della componente di spostamento in oggetto):

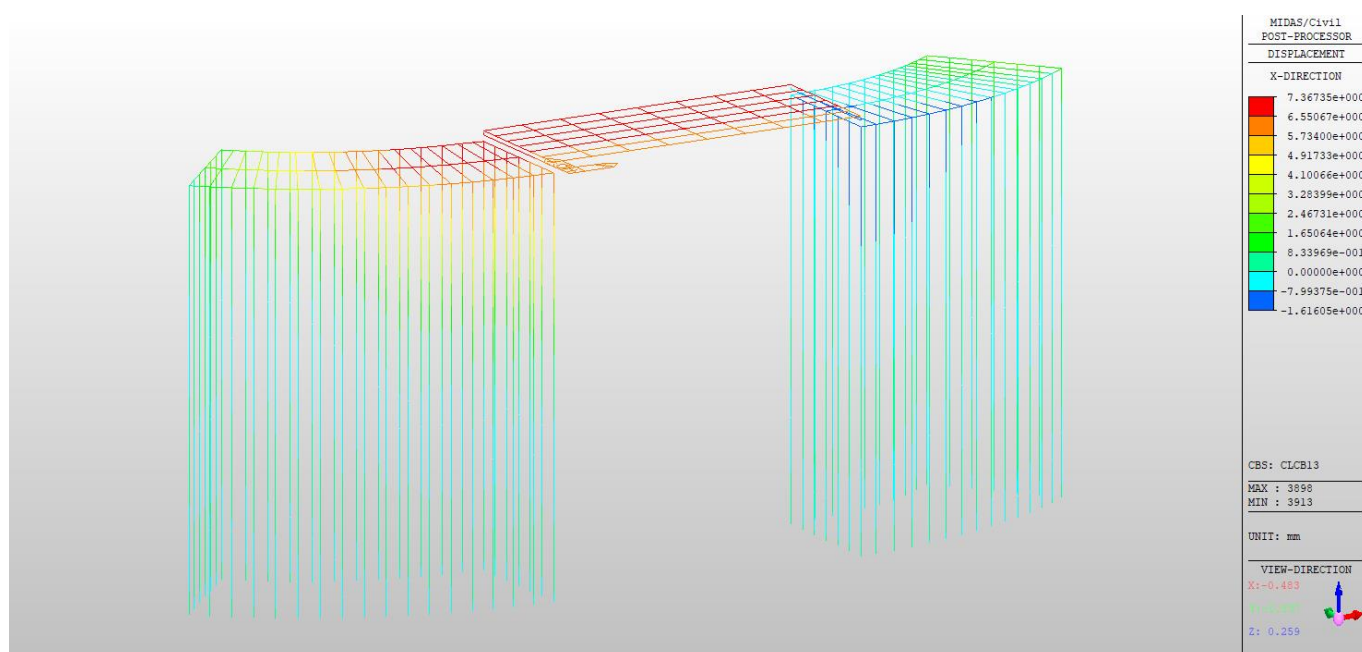


Figura 28 DX max SLER13

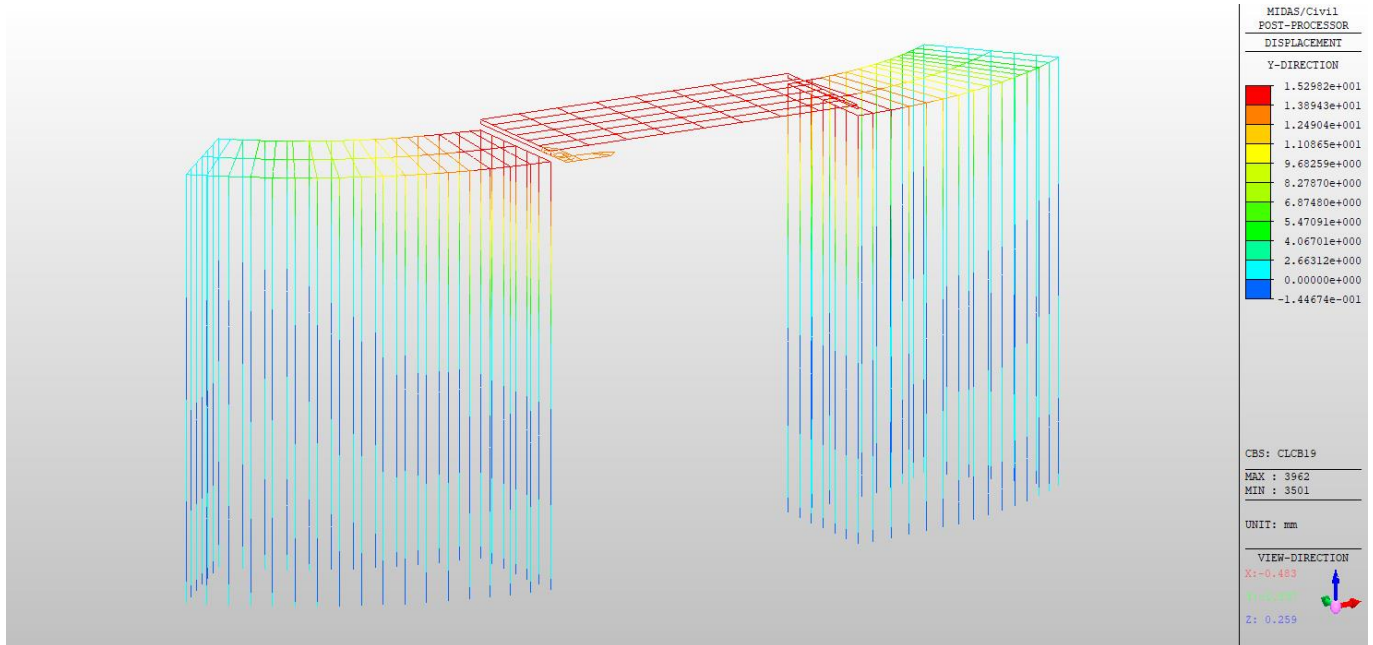


Figura 29 DYmax SLER19

Il massimo spostamento orizzontale trasversale dell'impalcato risulta:

$$\delta_{x-\max} = 7 \text{ mm (COMB. SLER13)}$$

Il massimo spostamento orizzontale trasversale dell'impalcato risulta:

$$\delta_{y-\max} = 15 \text{ mm (COMB. SLER19)}$$

valori compatibili con la tipologia di struttura in esame.

Per quanto concerne la verifica di deformabilità dell'impalcato Janson, si rimanda alla documentazione tecnica redatta dal fornitore.

PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO

| COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 39 di 59 |

14. VERIFICHE STRUTTURALI

Nei seguenti paragrafi si riportano i risultati delle verifiche agli SLU e agli SLE effettuate per ogni elemento strutturale.

14.1. Palancola

Effettuando la verifica a pressoflessione e taglio dell'elemento di palancola di sezione tipo AZ 40-700N, avendo trascurato nel calcolo il vincolamento ai fianchi dell'elemento dovuto alla presenza dei gargami, si ottiene (facendo riferimento a EC3):

I - Section 1

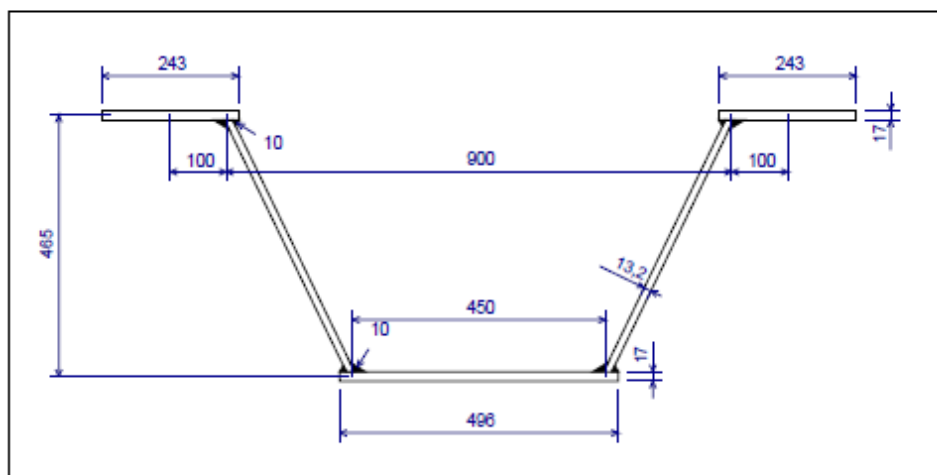


Figure 1 : Section 1 (in mm)

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| Description : | AZ40-700 |
| Steel grade : | S275 |
| Reduction curve for yield strength : | EN 10025 |
| Young's modulus : | E = 210000 MPa |

I.1 - Points of the section 1

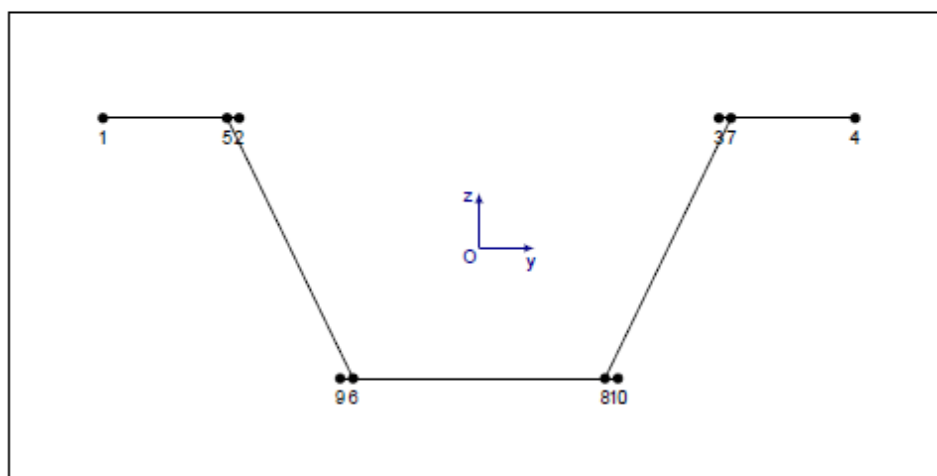


Figure 2 : Points of the section 1

Table 1 : Points of the section 1.

| No | y (cm) | z (cm) |
|----|--------|--------|
| 1 | -67,15 | 23,25 |
| 2 | -42,85 | 23,25 |
| 3 | 42,85 | 23,25 |
| 4 | 67,15 | 23,25 |
| 5 | -45 | 23,25 |
| 6 | -22,5 | -23,25 |
| 7 | 45 | 23,25 |
| 8 | 22,5 | -23,25 |
| 9 | -24,8 | -23,25 |
| 10 | 24,8 | -23,25 |

I.2 - Plates of the section 1

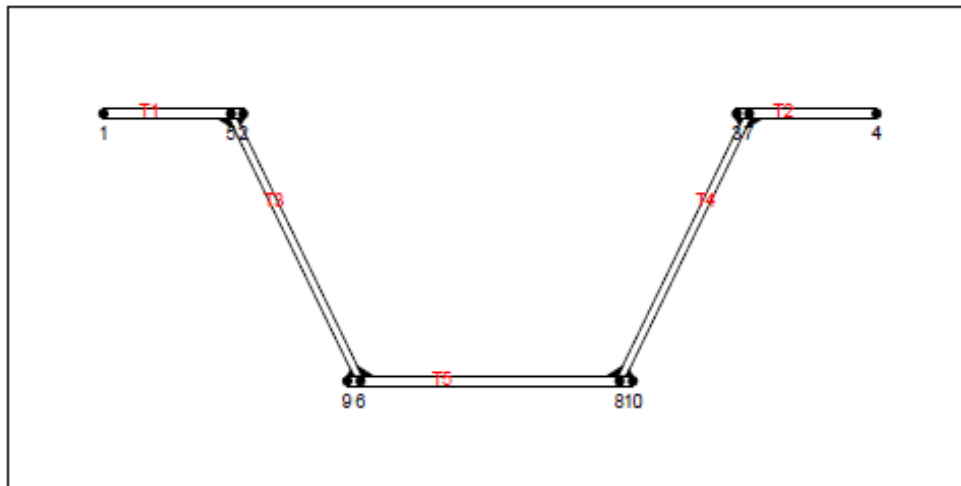


Figure 3 : Plates of the section 1

Table 2 : Plates of the section 1.

| No | Left end | Right end | Thickness (mm) | Length (mm) | Yield strength (MPa) | ϵ |
|----|----------|-----------|----------------|-------------|----------------------|------------|
| T1 | Point 1 | Point 2 | 17 | 243 | 265 | 0,9417 |
| T2 | Point 3 | Point 4 | 17 | 243 | 265 | 0,9417 |
| T3 | Point 5 | Point 6 | 13,2 | 516,58 | 275 | 0,9244 |
| T4 | Point 7 | Point 8 | 13,2 | 516,58 | 275 | 0,9244 |
| T5 | Point 9 | Point 10 | 17 | 498 | 265 | 0,9417 |

| | | | | | | |
|---|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 42 di 59 |

Calculation type : Shear lag and Plate buckling (Shear lag before Plate buckling)
 Verification of section resistances : Yes
 Calculation of MfRd and MplRd according to EN 1993-1-5 §7.1 Yes

Parameters for plate buckling calculation

Calculation method : Iterative
 Weldings taken into account in calculations : No
 Calculation method for elastic critical buckling stress : Analytical
 Reduction function : EN 1993-1-5 §4.4(2)
 Tolerance for iterative procedures : $\epsilon = 0,1 \%$

Parameters for shear lag calculation

Calculation method : EN 1993-1-5 §3.3 NOTE 3
 Plates taken into account in shear lag calculation : T1 T2 T5
 Effective length : $L_e = 15 \text{ m}$
 Verification zone : Sagging bending

1.7 - Calculation results

- Reduction factors due to shear lag effects

Calculation parameters

Calculation method : EN 1993-1-5 §3.3 Note 3
 Effective calculation length : $L_e = 1500 \text{ cm}$
 Verification zone : Sagging bending

Plate T1

Panel 1

Calculation width : $b_0 = 17,15 \text{ cm}$
 $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$

Effective width factor :

$\beta = 1,0$

Reduction factor :

$k_{red} = \beta = 1$

Panel 2

Calculation width : $b_0 = 7,15 \text{ cm}$
 $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$

Effective width factor :

$\beta = 1,0$

Reduction factor :

$k_{red} = \beta = 1$

Plate T2

Panel 1

Calculation width : $b_0 = 7,15 \text{ cm}$
 $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$

Effective width factor :

$\beta = 1,0$

Reduction factor :

$k_{red} = \beta = 1$

Panel 2

Calculation width : $b_0 = 17,15 \text{ cm}$
 $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$

Effective width factor :

$\beta = 1,0$

Reduction factor :

$k_{red} = \beta = 1$

Plate T3

I.3 - Panels of the section

Table 3 : Panels of the section 1.

| Plate | Panel | Left end | Right end | $e_1^{(1)}$ (cm) | $e_2^{(2)}$ (cm) | $d_{nr,1}^{(3)}$ (cm) | $d_{nr,2}^{(4)}$ (cm) | $L_c^{(5)}$ (cm) |
|-------|-------|----------|-----------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| T1 | 1 | Point 1 | Point 5 | 0 | 0 | 0 | 0,3219 | 21,83 |
| | 2 | Point 5 | Point 2 | 0 | 0 | 1,144 | 0 | 1,006 |
| T2 | 1 | Point 3 | Point 7 | 0 | 0 | 0 | 1,144 | 1,006 |
| | 2 | Point 7 | Point 4 | 0 | 0 | 0,3219 | 0 | 21,83 |
| T3 | 1 | Point 5 | Point 6 | 0 | 0 | 0,3194 | 0,3194 | 49,13 |
| T4 | 1 | Point 7 | Point 8 | 0 | 0 | 0,3194 | 0,3194 | 49,13 |
| T5 | 1 | Point 9 | Point 6 | 0 | 0 | 0 | 1,144 | 1,156 |
| | 2 | Point 6 | Point 8 | 0 | 0 | 0,3219 | 0,3219 | 44,36 |
| | 3 | Point 8 | Point 10 | 0 | 0 | 1,144 | 0 | 1,156 |

Note:

- (1) Distance from the left end of the panel
- (2) Distance from the right end of the panel
- (3) Non-reductive width from the left end
- (4) Non-reductive width from the right end
- (5) Calculation length of the panel

No stiffener has been defined

I.4 - Slabs of the section 1

No slab has been defined

I.5 - Sollicitations

Coordinates system for sollicitations :

Working

Table 4 : Sollicitations.

| No | N (kN) | M_y (kN.m) | M_z (kN.m) | $M_y^{(*)}$ (kN.m) | $M_z^{(*)}$ (kN.m) |
|----|--------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 333 | 108 | 216 | -216 | 108 |

Note:

- (*) : Sollicitations in the calculation coordinates system

I.6 - Calculation parameters

Calculation coordinates system :

Main

Stiffeners taken into account in properties calculation of the net section :

No

Tolerance for the transfert angle between coordinates :

$\epsilon_{\phi} = 5^\circ$

Partial factor for steel profiles :

$\gamma_{M0} = 1$

Calculation type : Shear lag and Plate buckling (Shear lag before Plate buckling)
 Verification of section resistances : Yes
 Calculation of MfRd and MplRd according to EN 1993-1-5 §7.1 Yes

Parameters for plate buckling calculation

| | |
|---|------------------------|
| Calculation method : | Iterative |
| Weldings taken into account in calculations : | No |
| Calculation method for elastic critical buckling stress : | Analytical |
| Reduction function : | EN 1993-1-5 §4.4(2) |
| Tolerance for iterative procedures : | $\varepsilon = 0,1 \%$ |

Parameters for shear lag calculation

| | |
|--|-------------------------|
| Calculation method : | EN 1993-1-5 §3.3 NOTE 3 |
| Plates taken into account in shear lag calculation : | T1 T2 T5 |
| Effective length : | $L_e = 15 \text{ m}$ |
| Verification zone : | Sagging bending |

1.7 - Calculation results
- Reduction factors due to shear lag effects
Calculation parameters

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Calculation method : | EN 1993-1-5 §3.3 Note 3 |
| Effective calculation length : | $L_e = 1500 \text{ cm}$ |
| Verification zone : | Sagging bending |

Plate T1
Panel 1

| | |
|--------------------------|--|
| Calculation width : | $b_0 = 17,15 \text{ cm}$ $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$ |
| Effective width factor : | $\beta = 1,0$ |
| Reduction factor : | $k_{red} = \beta = 1$ |

Panel 2

| | |
|--------------------------|---|
| Calculation width : | $b_0 = 7,15 \text{ cm}$ $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$ |
| Effective width factor : | $\beta = 1,0$ |
| Reduction factor : | $k_{red} = \beta = 1$ |

Plate T2
Panel 1

| | |
|--------------------------|---|
| Calculation width : | $b_0 = 7,15 \text{ cm}$ $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$ |
| Effective width factor : | $\beta = 1,0$ |
| Reduction factor : | $k_{red} = \beta = 1$ |

Panel 2

| | |
|--------------------------|--|
| Calculation width : | $b_0 = 17,15 \text{ cm}$ $\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$ |
| Effective width factor : | $\beta = 1,0$ |
| Reduction factor : | $k_{red} = \beta = 1$ |

Plate T3

Not considered

Plate T4

Not considered

Plate T5

Panel 1

Calculation width :

$$b_0 = 2,3 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$$

Effective width factor :

$$\beta = 1,0$$

$$k_{red} = \beta = 1$$

Reduction factor :

Panel 2

Calculation width :

$$b_0 = 22,5 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$$

Effective width factor :

$$\beta = 1,0$$

$$k_{red} = \beta = 1$$

Reduction factor :

Panel 3

Calculation width :

$$b_0 = 2,3 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow b_0 < L_e/50 = 30 \text{ cm}$$

Effective width factor :

$$\beta = 1,0$$

$$k_{red} = \beta = 1$$

Reduction factor :

- *Shear lag*

Effective section

Table 5 : Effective thickness.

| Plate | Panel | t_c (mm) |
|-------|-------|------------|
| T1 | 1 | 17 |
| | 2 | 17 |
| T2 | 1 | 17 |
| | 2 | 17 |
| T3 | 1 | 13,2 |
| T4 | 1 | 13,2 |
| T5 | 1 | 17 |
| | 2 | 17 |
| | 3 | 17 |

Properties of the effective section

$$A = 298,33 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 426100 \text{ cm}^4$$

$$W_{y,sup} = 6345,5 \text{ cm}^3$$

$$W_{y,inf} = 6345,5 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 112256 \text{ cm}^4$$

$$W_{z,sup} = 4632,4 \text{ cm}^3$$

$$W_{z,inf} = 4683,7 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 9820,8 \text{ cm}^3$$

$$z_G = 67,15 \text{ cm}$$

$$W_{pl,z} = 5211,6 \text{ cm}^3$$

$$y_G = 23,97 \text{ cm}$$

- Sollicitation 1 - Bending-Compression about y-y - Classe of the section

Classe of the section : 3

Table 6 : Classe of the section.

| Plate | Panel | c/t | ε | α | $\sigma_{c,1}$ (MPa) | $\sigma_{c,2}$ (MPa) | ψ | k_{σ} | Class |
|-------|-------|--------|---------------|----------|----------------------|----------------------|--------|--------------|-------|
| T1 | 1 | 12,84 | 0,9417 | 0 | | | | | 1 |
| | 2 | 0,5915 | 0,9417 | 0 | | | | | 1 |
| T2 | 1 | 0,5915 | 0,9417 | 1 | | | | | 1 |
| | 2 | 12,84 | 0,9417 | 1 | 189,24 | 275 | 0,8881 | 0,4586 | 3 |
| T3 | 1 | 37,22 | 0,9244 | 0 | | | | | 1 |
| T4 | 1 | 37,22 | 0,9244 | 1 | 188,14 | 104,06 | 0,5531 | | 3 |
| T5 | 1 | 0,6797 | 0,9417 | 0 | | | | | 1 |
| | 2 | 26,09 | 0,9417 | 0,5832 | | | | | 1 |
| | 3 | 0,6797 | 0,9417 | 1 | | | | | 1 |

- Sollicitation 1 - Bending-Compression about y-y - Iteration 1

Effective section

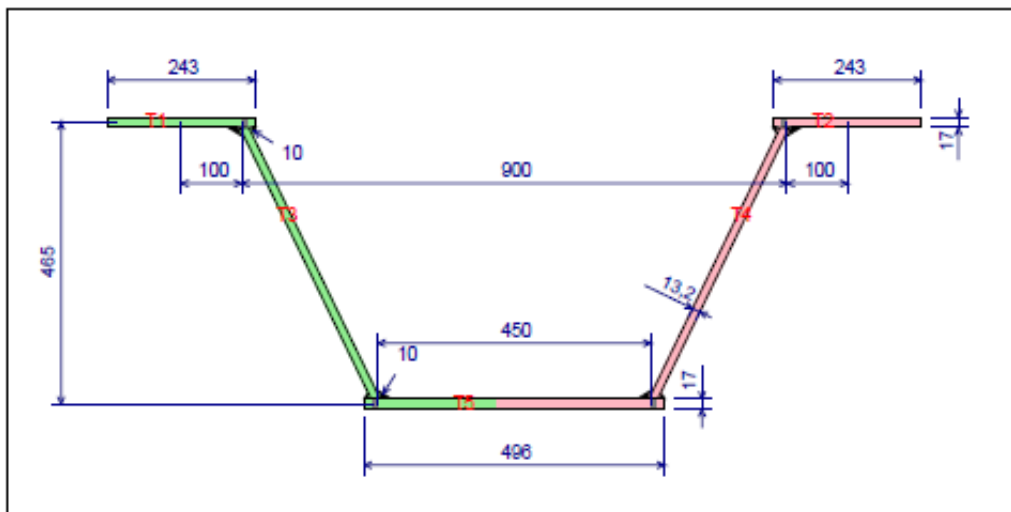


Figure 4 : Effective section

Table 7 : Effective section.

| Plate | Panel | Left end | | | | Right end | | | |
|-------|-------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | | $t_{c,1}$ (mm) | $d_{t,1}$ (cm) | $d_{c,1}$ (cm) | $d_{eff,1}$ (cm) | $t_{c,2}$ (mm) | $d_{t,2}$ (cm) | $d_{c,2}$ (cm) | $d_{eff,2}$ (cm) |
| T1 | 1 | 17 | 10,91 | 0 | 0 | 17 | 10,91 | 0 | 0 |
| | 2 | 17 | 0,5028 | 0 | 0 | 17 | 0,5028 | 0 | 0 |
| T2 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 1,008 | 1,008 |
| | 2 | 17 | 0 | 21,83 | 21,83 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| T3 | 1 | 13,2 | 24,57 | 0 | 0 | 13,2 | 24,57 | 0 | 0 |
| T4 | 1 | 13,2 | 0 | 22,1 | 22,1 | 13,2 | 0 | 27,03 | 27,03 |
| T5 | 1 | 17 | 0,5778 | 0 | 0 | 17 | 0,5778 | 0 | 0 |
| | 2 | 17 | 19,34 | 15,01 | 15,01 | 17 | 0 | 10,01 | 10,01 |
| | 3 | 17 | 0 | 1,156 | 1,156 | 17 | 0 | 0 | 0 |

Note:

t_c : Effective thickness
 d_t : Width of the tension part of the sub-panel
 d_c : Width of the compression part of the sub-panel
 d_{eff} : Effective width of the compression part of the sub-panel

Properties of the section

| | |
|--|---|
| $A = 298,33 \text{ cm}^2$ $I_y = 426100 \text{ cm}^4$ $W_{y,sup} = 6345,5 \text{ cm}^3$ $W_{y,inf} = 6345,5 \text{ cm}^3$ $z_G = 67,15 \text{ cm}$ | $I_z = 112256 \text{ cm}^4$ $W_{z,sup} = 4632,4 \text{ cm}^3$ $W_{z,inf} = 4683,7 \text{ cm}^3$ $y_G = 23,97 \text{ cm}$ |
|--|---|

- Sollicitation 1 - Bending-Compression about z-z - Classe of the section

Classe of the section : 3

Table 8 : Classe of the section.

| Plate | Panel | c/t | ε | α | $\sigma_{c,1}$ (MPa) | $\sigma_{c,2}$ (MPa) | η | k_σ | Class |
|-------|-------|--------|---------------|----------|----------------------|----------------------|--------|------------|-------|
| T1 | 1 | 12,84 | 0,9417 | 1 | 275 | 275 | 1 | 0,43 | 3 |
| | 2 | 0,5915 | 0,9417 | 1 | | | | | 1 |
| T2 | 1 | 0,5915 | 0,9417 | 1 | | | | | 1 |
| | 2 | 12,84 | 0,9417 | 1 | 275 | 275 | 1 | 0,43 | 3 |
| T3 | 1 | 37,22 | 0,9244 | 0,553 | | | | | 1 |

Table 8 (next) : Classe of the section.

| Plate | Panel | c/t | z | α | σ _{c,1} (MPa) | σ _{c,2} (MPa) | ψ | k _σ | Class |
|-------|-------|--------|--------|-------|------------------------|------------------------|---|----------------|-------|
| T4 | 1 | 37,22 | 0,9244 | 0,553 | | | | | 1 |
| T5 | 1 | 0,6797 | 0,9417 | 0 | | | | | 1 |
| | 2 | 26,09 | 0,9417 | 0 | | | | | 1 |
| | 3 | 0,6797 | 0,9417 | 0 | | | | | 1 |

- *Sollicitation 1 - Bending-Compression about z-z - Iteration 1*

Effective section

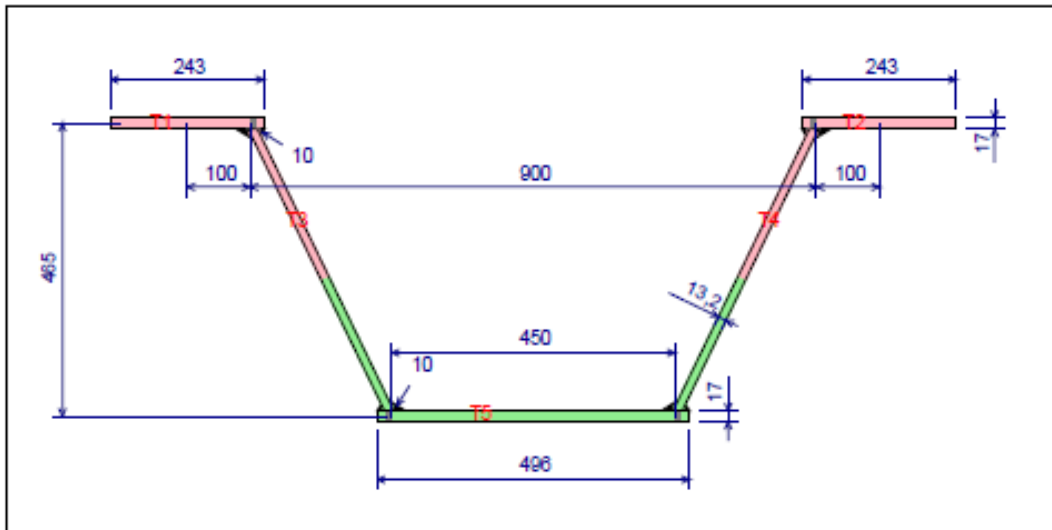


Figure 5 : Effective section

Table 9 : Effective section.

| Plate | Panel | Left end | | | | Right end | | | |
|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | t _{c,1} (mm) | d _{t,1} (cm) | d _{c,1} (cm) | d _{eff,1} (cm) | t _{c,2} (mm) | d _{t,2} (cm) | d _{c,2} (cm) | d _{eff,2} (cm) |
| T1 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 21,83 | 21,83 |
| | 2 | 17 | 0 | 1,006 | 1,006 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| T2 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 1,006 | 1,006 |
| | 2 | 17 | 0 | 21,83 | 21,83 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| T3 | 1 | 13,2 | 0 | 10,33 | 10,33 | 13,2 | 23,3 | 15,5 | 15,5 |
| T4 | 1 | 13,2 | 0 | 10,33 | 10,33 | 13,2 | 23,3 | 15,5 | 15,5 |

Table 9 (next) : Effective section.

| Plate | Panel | Left end | | | | Right end | | | |
|-------|-------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | | $t_{c,1}$ (mm) | $d_{t,1}$ (cm) | $d_{c,1}$ (cm) | $d_{eff,1}$ (cm) | $t_{c,2}$ (mm) | $d_{t,2}$ (cm) | $d_{c,2}$ (cm) | $d_{eff,2}$ (cm) |
| T5 | 1 | 17 | 0,5778 | 0 | 0 | 17 | 0,5778 | 0 | 0 |
| | 2 | 17 | 22,18 | 0 | 0 | 17 | 22,18 | 0 | 0 |
| | 3 | 17 | 0,5778 | 0 | 0 | 17 | 0,5778 | 0 | 0 |

Note:

t_c : Effective thickness
 d_t : Width of the tension part of the sub-panel
 d_c : Width of the compression part of the sub-panel
 d_{eff} : Effective width of the compression part of the sub-panel

Properties of the section

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $A = 298,33 \text{ cm}^2$ | $I_z = 112256 \text{ cm}^4$ |
| $I_y = 426100 \text{ cm}^4$ | $W_{z,sup} = 4632,4 \text{ cm}^3$ |
| $W_{y,sup} = 6345,5 \text{ cm}^3$ | $W_{z,inf} = 4683,7 \text{ cm}^3$ |
| $W_{y,inf} = 6345,5 \text{ cm}^3$ | $y_G = 23,97 \text{ cm}$ |
| $z_G = 67,15 \text{ cm}$ | |

- Cross section resistance

Table 10 : Cross section resistance.

| Sollicitation | N_{Ed} (kN) | $M_{y,Ed}^{(*)}$ (kN.m) | $M_{z,Ed}^{(*)}$ (kN.m) | $e_{y,N}$ (cm) | $e_{z,N}$ (cm) | A_{eff} (cm ²) | $W_{y,eff}$ (cm ³) | $W_{z,eff}$ (cm ³) | η_1 |
|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | 333 | -216 | 108 | 0 | 0 | 298,33 | 6345,5 | 4632,4 | 1,586E-3 |

Note:

(*) Sollicitations in the calculation coordinates system

- Design plastic resistant bending moments

Table 11 : Design plastic resistant bending moments.

| Sollicitation | N_{Ed} (kN) | $M_{y,Ed}^{(*)}$ (kN.m) | $M_{t,Rd}$ (kN.m) | $M_{pl,Rd}$ (kN.m) |
|---------------|---------------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 333 | 108 | 863,24 | 1841 |

Note:

(*) Sollicitations in the global coordinates system

Tutte le verifiche agli SLU e agli SLE risultano pertanto soddisfatte.

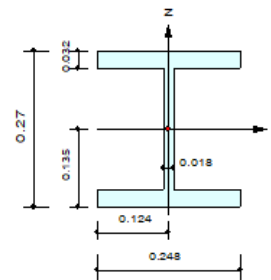
| | | | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 | FOGLIO 50 di 59 |
|---|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|

14.2. Trave di ripartizione

Effettuando le verifiche a pressoflessione, taglio e deformabilità della trave di ripartizione, costituita da un profilo HEM240, si è ottenuto:

1. Design Information

| | |
|---------------|---|
| Design Code | : Eurocode3-2:05 |
| Unit System | : kN, m |
| Member No | : 4245 |
| Material | : S355 (No:2) ($F_y = 355000$, $E_s = 210000000$) |
| Section Name | : Trave ripartizione (No:3) (Rolled : HEM240). |
| Member Length | : 0.51043 |



2. Member Forces

| | |
|-----------------|--|
| Axial Force | $F_{xx} = -20.431$ (LCB: 6-, POS:1) |
| Bending Moments | $M_y = -91.096$, $M_z = -180.91$ |
| End Moments | $M_{yi} = -91.096$, $M_{yj} = -47.267$ (for L_b) $M_{yi} = -91.096$, $M_{yj} = -47.267$ (for L_y) $M_{zi} = -180.91$, $M_{zj} = -37.426$ (for L_z) |
| Shear Forces | $F_{yy} = -291.73$ (LCB: 6-, POS:1/2) $F_{zz} = 140.064$ (LCB: 4+, POS:1/2) |

| | | | |
|-------------|---------|-------------|---------|
| Depth | 0.27000 | Web Thick | 0.01800 |
| Top F Width | 0.24800 | Top F Thick | 0.03200 |
| Bot.F Width | 0.24800 | Bot.F Thick | 0.03200 |
| Area | 0.02000 | Asz | 0.00486 |
| Clb | 0.05777 | Clz | 0.00769 |
| Iyy | 0.00024 | Izz | 0.00008 |
| Ybar | 0.12400 | Zbar | 0.13500 |
| Wely | 0.00180 | Welz | 0.00066 |
| ry | 0.11000 | rz | 0.00300 |

3. Design Parameters

| | |
|-----------------------------------|--|
| Unbraced Lengths | $L_y = 0.51043$, $L_z = 0.51043$, $L_b = 0.51043$ |
| Effective Length Factors | $K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$ |
| Equivalent Uniform Moment Factors | $C_{my} = 1.00$, $C_{mz} = 1.00$, $C_{mLT} = 1.00$ |

4. Checking Results

Axial Resistance

$$N_{Ed}/\text{MIN}[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 20.43/7100.00 = 0.003 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 91.096/751.180 = 0.121 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 180.915/355.266 = 0.509 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Combined Resistance

$$R_{NRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$$

$$R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\text{Alpha}} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\text{Beta}}$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{c_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{b_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{c_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{b_LT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{max} = \text{MAX}[R_{NRd}, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}), \text{MAX}(R_{c_LT1} + R_{b_LT1}, R_{c_LT2} + R_{b_LT2})] = 0.694 < 1.000 \dots\dots \text{O.K}$$

Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.087 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.113 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

5. Deflection Checking Results

$$L/250.0 = 0.0040 > 0.0001 \text{ (Memb:4238, LCB: 14, POS: 0.7m, Dir-Z)} \dots\dots\dots \text{O.K}$$

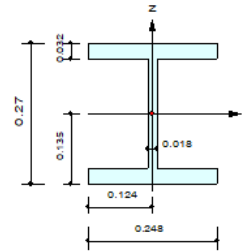
Tutte le verifiche agli SLU e agli SLE risultano pertanto soddisfatte.

14.3. Trave-puntello

Effettuando le verifiche a pressoflessione, taglio e deformabilità della trave di ripartizione, costituita da un profilo HEM240, si è ottenuto:

1. Design Information

Design Code : Eurocode3-2:05
 Unit System : kN, m
 Member No : 3821
 Material : S355 (No:2)
 (Fy = 355000, Es = 210000000)
 Section Name : Travi-puntello (No:2)
 (Rolled : HEM240).
 Member Length : 1.06815



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -0.5451 (LCB: 2+, POS:1/2)
 Bending Moments My = 460.535, Mz = 10.2447
 End Moments Myi = 410.989, Myj = 385.504 (for Lb)
 Myi = 410.989, Myj = 385.504 (for Ly)
 Mzi = 12.2936, Mzj = 8.19577 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = 3.83642 (LCB: 2+, POS:1/2)
 Fzz = 160.818 (LCB: 2+, POS:1/2)

| | | | |
|-------------|---------|-------------|---------|
| Depth | 0.27000 | Web Thick | 0.01800 |
| Top F Width | 0.24800 | Top F Thick | 0.03200 |
| Bot F Width | 0.24800 | Bot F Thick | 0.03200 |
| Area | 0.02000 | Asx | 0.00486 |
| Oyb | 0.05777 | Ozb | 0.00769 |
| Iyy | 0.00024 | Izz | 0.00008 |
| Ybar | 0.12400 | Zbar | 0.13500 |
| Wely | 0.00180 | Welz | 0.00056 |
| ry | 0.11000 | rz | 0.06390 |

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 1.06815, Lz = 1.06815, Lb = 1.06815
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cnz = 1.00, CmLT = 1.00

4. Checking Results

Axial Resistance
 $N_{Ed}/\text{MIN}[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 0.55/7100.00 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$

Bending Resistance
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 460.535/751.180 = 0.613 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 10.245/355.266 = 0.029 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$

Combined Resistance
 $R_{NRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$
 $R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\text{Alpha}} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\text{Beta}}$
 $R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$
 $R_{c_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{b_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{c_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{b_LT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{max} = \text{MAX}[R_{NRd}, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}), \text{MAX}(R_{c_LT1} + R_{b_LT1}, R_{c_LT2} + R_{b_LT2})] = 0.697 < 1.000 \dots \text{O.K}$

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.001 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.130 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$

$R_{b_L12} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_L1} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$
 $R_{max} = \text{MAX}[R_{NRd}, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}), \text{MAX}(R_{c_LT1} + R_{b_LT1}, R_{c_LT2} + R_{b_LT2})] = 0.697 < 1.000 \dots \text{O.K}$

Shear Resistance
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.001 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.130 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$

5. Deflection Checking Results

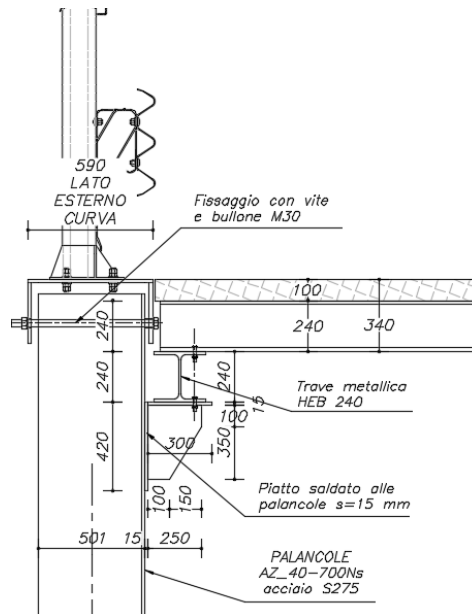
$L/250.0 = 0.0042 > 0.0001$ (Memb:4070, LCB: 17, POS: 0.5m, Dir-Z)..... O.K

Tutte le verifiche agli SLU e agli SLE risultano pertanto soddisfatte.

| | | | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 | FOGLIO 52 di 59 |
|---|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|

14.4. Piatto di attacco trave di ripartizione

Si effettua la verifica a taglio del piatto ($L=250\text{mm}$; $s=15\text{mm}$) di attacco della trave di ripartizione al palancoolato.



Particolare della piastra di attacco

Tale piatto, che funge da seggiola per la trave di ripartizione costituita dal profilo HEM240, risulta sollecitata da un taglio pari a:

$$V_{Sd} = 291.73 \text{ kN} \quad (\text{COMB. SLU1})$$

valore coincidente con quello del taglio massimo sulla trave di ripartizione, a meno del peso proprio del piatto stesso.

Si ottiene:

$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{3750 \times \frac{355}{\sqrt{3}}}{1.05 \times 1000} = 732.00 \text{ kN}$$

Risulta pertanto:

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = \frac{291.73}{732.00} = 0.40 < 1.00$$

La verifica è soddisfatta.

PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO

| COMMESSA | LOTTO | ELABORATO | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| 433 | I-1 | B_2_1 | 521_v4 | 1 | 53 di 59 |

15. VERIFICA DI PORTANZA DELLA PALANCOLA

Si effettua la verifica di portanza del palo circolare di superficie laterale equivalente in termini di perimetro dell'elemento di palanca (considerandone reagenti entrambe le superfici), trascurando il contributo della resistenza di punta dell'elemento.

Effettuando l'equivalenza sul perimetro, si ottiene pertanto:

$$D_{eq} = \frac{2p_{pal}}{\pi} \times 0.75 = \frac{2.12}{3.14} \times 0.75 = 0.50 \text{ m}$$

Ove 0.75 è un coefficiente correttivo che tiene conto della differenza del valore δ di attrito tra terreno-clc e terreno-acciaio.

Dal calcolo risultano i seguenti valori di N_{min} (compressione massima) in testa al singolo elemento di palanca:

➤ $N_{min-SLU} = 424.83 \text{ kN}$

Facendo riferimento ai parametri dei terreni e le stratigrafie riportati nella relazione geologico-geotecnica, si ottiene pertanto:

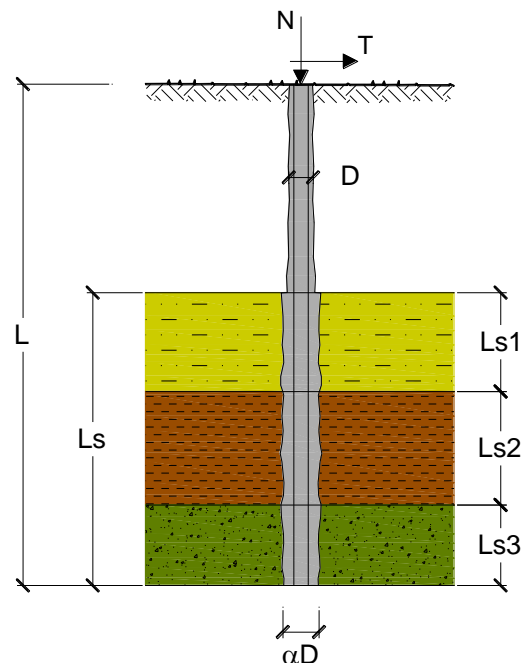
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: Ponte provvisorio Bardella

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

| | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|---------------|------------|------------|---------|
| N (kN) | 190.70 | 117.95 | 424.83 |
| T (kN) | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



| coefficienti parziali | | | azioni | | resistenza laterale | |
|--------------------------|----------|----------------------------------|------------|------------|---------------------|-------------------------|
| Metodo di calcolo | | | permanenti | variabili | γ_s | $\gamma_{s\text{traz}}$ |
| | | | γ_G | γ_Q | | |
| UD | A1+M1+R1 | <input type="radio"/> | 1.30 | 1.50 | 1.00 | 1.00 |
| | A2+M1+R2 | <input type="radio"/> | 1.00 | 1.30 | 1.45 | 1.60 |
| | A1+M1+R3 | <input checked="" type="radio"/> | 1.30 | 1.50 | 1.15 | 1.25 |
| | SISMA | <input type="radio"/> | 1.00 | 1.00 | 1.15 | 1.25 |
| DM88 | | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| definiti dal progettista | | | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.30 |

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | ≥ 10 | DM88 | prog. |
|---------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|-------|
| ξ_3 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| ξ_4 | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00 |

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0.5 (m)**

Lunghezza del micropalo (L): **25.00 (m)**

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): **30.0 (MN/m³)**

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto $Ql = \sum_i \pi * Ds_i * s_i * Is_i$

| Tipo di Terreno | Spessore Is_i (m) | α (-) | $Ds_i = \alpha * D$ (m) | S_i media (MPa) | S_i minima (MPa) | S_i calcolo (MPa) | Qs_i (kN) |
|------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| argille limose | 8.50 | 1.20 | 0.60 | 0.070 | 0.070 | 0.036 | 573.68 |
| sabbie argillose | 10.50 | 1.20 | 0.60 | 0.100 | 0.100 | 0.051 | 1012.38 |
| sabbie limose | 6.00 | 1.20 | 0.60 | 0.100 | 0.100 | 0.051 | 578.50 |

$Ls = 25.00 (m)$ $Ql = 2164.57 (kN)$

Capacità portante di punta $Qp = \%Punta * Ql$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$ $Qp = 0.00 (kN)$

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 2164.57 (kN)$

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$Fs = Qlim / N$ ($Fs > 1$)

$Fs = 5.10$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k * D_{am}$): **5.81 (N/mm²)**

$Pk = 2 * (\beta * Earm * Jarm)^{0.5}$ $\eta = Pk / N$ (consigliato $\eta > 10$)

$Pk = 10916.95 (MN)$ $\eta = 25.70$

La verifica di portanza è pertanto soddisfatta.

| | | | | | | |
|---|---|--------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI | | | | | |
| | Progetto esecutivo | | | | | |
| PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 | FOGLIO 56 di 59 |

16. VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Ai fini della valutazione della sicurezza della struttura nei confronti dei fenomeni di instabilità globale, si è effettuata un'analisi di buckling determinando i modi di instabilizzarsi della struttura sotto l'azione dei carichi permanenti e variabili in diverse combinazioni.

L'analisi è stata condotta sui primi 50 modi d'instabilizzarsi della struttura: per ragioni di sintesi si riporta solo quello maggiormente critico, che presenta un coefficiente di sicurezza $FS=4.29$.

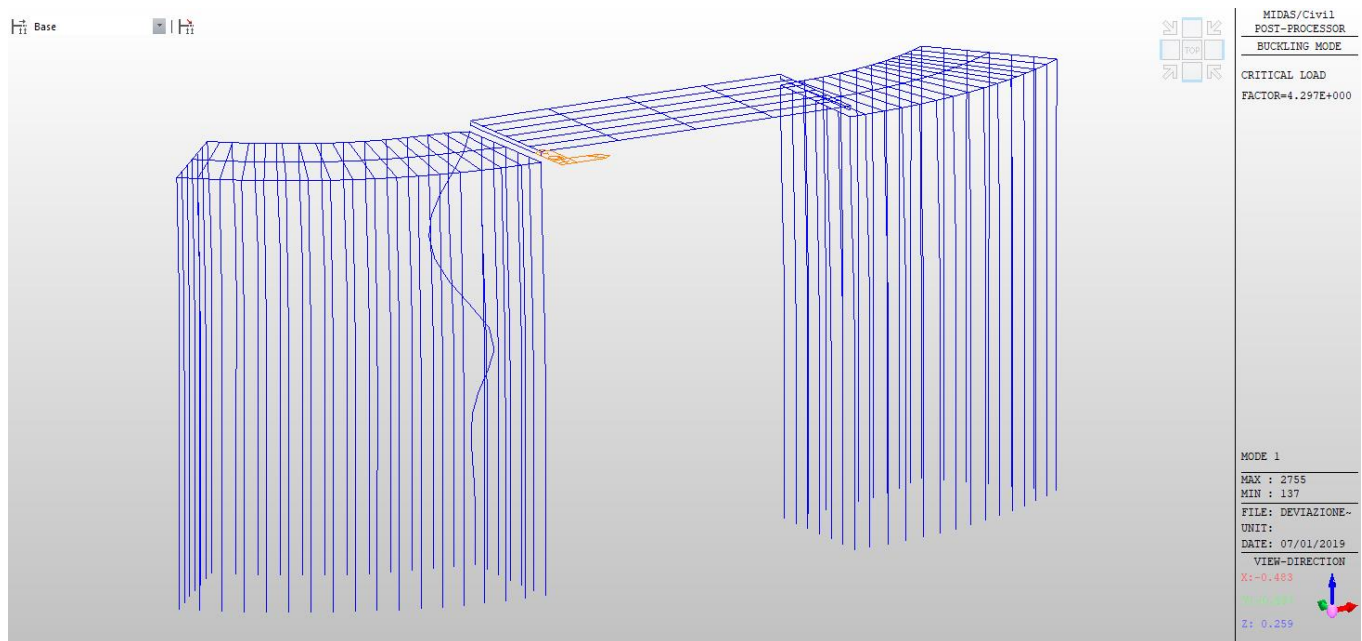


Figura 30 Modo di instabilità globale critico

Giova osservare come la verifica in esame sia stata condotta senza considerare il contributo stabilizzante dei gargami, essendo stato, ogni elemento di palancola, modellato come elemento “beam” isolato.

ALLEGATI

ALLEGATO 1 - TABULATI DI CALCOLO

Si allegano verifiche del ponte provvisorio tipo Janson JSK450.

| | | | | | | |
|---|--|------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|
|  | PROGETTO EUROPEO "INIWAS": ADEGUAMENTO DELL'IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO DI V CLASSE EUROPEA - I LOTTO/ 1 STRALCIO DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE BARDELLA SUL CANALE BOICELLI Progetto esecutivo | | | | | |
| | PONTE PROVVISORIO - RELAZIONE DI CALCOLO | COMMESSA 433 | LOTTO I-1 | ELABORATO B_2_1 | DOCUMENTO 521_v4 | REV. 1 |

ALLEGATO 2 - TABULATI DI CALCOLO

I tabulati relativi all'output del programma di calcolo Midas Civil 2019 sono allegati al presente progetto in formato digitale.