

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**VIADOTTI IN INTERFERENZA**

**IV02 - CAVALCAFERROVIA SU NV51**

Relazione di calcolo dell'impalcato in acciaio L=32m

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 09 CL IV0200 001 B

| Rev. | Descrizione         | Redatto                         | Data     | Verificato | Data     | Approvato     | Data     | Autorizzato Data   |
|------|---------------------|---------------------------------|----------|------------|----------|---------------|----------|--|
| A    | Emissione Esecutiva | ATI Sintagma<br>Rocksoil - Edin | Gen-2020 | A.Ferr<br> | Gen-2020 | A.Barreca<br> | Gen-2020 | <b>ITALFERR S.p.A.</b><br>U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti<br>Dott. Ing. Paolo Vittozzi<br>Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma<br>N° A 20783 |
| B    | Emissione Esecutiva | ATI Sintagma<br>Rocksoil - Edin | Mag-2020 | A.Ferr<br> | Mag-2020 | A.Barreca<br> | Mag-2020 |  |
|      |                     |                                 |          |            |          |               |          |  |
|      |                     |                                 |          |            |          |               |          |  |
|      |                     |                                 |          |            |          |               |          |  |
|      |                     |                                 |          |            |          |               |          |  |

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>             | <b>4</b>  |
| 1.1 Esecuzione del Manufatto.....                  | 4         |
| <b>2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>           | <b>5</b>  |
| <b>3. MATERIALI UTILIZZATI .....</b>               | <b>6</b>  |
| <b>4. MODELLO DI CALCOLO .....</b>                 | <b>7</b>  |
| <b>5. ANALISI DEI CARICHI.....</b>                 | <b>10</b> |
| 5.1 CARICHI PERMANENTI.....                        | 10        |
| 5.1.1 <i>Pesi propri (G1)</i> .....                | 10        |
| 5.1.2 <i>Carichi permanenti portati (G2)</i> ..... | 10        |
| 5.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI .....                | 11        |
| 5.2.1 <i>Azioni verticali da traffico</i> .....    | 11        |
| 5.2.2 <i>Azioni orizzontali</i> .....              | 12        |
| 5.2.2.1 Frenatura .....                            | 12        |
| 5.2.2.2 Forza centrifuga.....                      | 12        |
| 5.2.2.3 Urto sul sicurvia .....                    | 12        |
| 5.2.2.4 Attrito degli apparecchi di appoggio ..... | 13        |
| 5.3 AZIONI CLIMATICHE .....                        | 13        |
| 5.3.1 <i>Azione della neve</i> .....               | 13        |
| 5.3.2 <i>Variazione termica</i> .....              | 13        |
| 5.3.3 <i>Azione del vento</i> .....                | 14        |
| 5.4 AZIONE SISMICA.....                            | 15        |
| 5.5 COMBINAZIONI DI CALCOLO .....                  | 17        |
| <b>6. ELEMENTI TRAVI PRINCIPALI.....</b>           | <b>20</b> |
| <b>7. ANALISI MODALE.....</b>                      | <b>22</b> |
| <b>8. VERIFICHE SLU .....</b>                      | <b>24</b> |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 8.1        | diagrammi delle sollecitazioni .....        | 24        |
| 8.2        | VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI .....            | 33        |
| 8.2.1      | sezione a .....                             | 34        |
| 8.2.2      | sezione b .....                             | 38        |
| 8.2.3      | sezione c .....                             | 42        |
| 8.3        | Verifiche diaframmi .....                   | 46        |
| 8.4        | Verifiche controventi di falda .....        | 50        |
| <b>9.</b>  | <b>VERIFICHE SLE .....</b>                  | <b>52</b> |
| 9.1.1      | Fatica .....                                | 52        |
| 9.1.2      | Abbassamenti .....                          | 58        |
| <b>10.</b> | <b>REAZIONI AGLI APPOGGI .....</b>          | <b>59</b> |
| 10.1       | SCHEMA APPOGGI .....                        | 59        |
| 10.2       | REAZIONI APPOGGI .....                      | 59        |
| <b>11.</b> | <b>EFFETTI LOCALI .....</b>                 | <b>60</b> |
| 11.1       | VERIFICA DELLA SOLETTA .....                | 60        |
| 11.1.1     | Analisi dei carichi .....                   | 60        |
| 11.1.1.1   | Carichi permanenti portati .....            | 60        |
| 11.1.1.2   | Traffico .....                              | 61        |
| <b>12.</b> | <b>VALIDAZIONE MODELLO DI CALCOLO .....</b> | <b>72</b> |

## 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del corpo stradale ferroviario, delle opere d'arte e delle opere interferite relative al progetto definitivo della direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo nell'ambito del nuovo collegamento Palermo - Catania

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento dell'impalcato stradale della di luce 32m.

L'impalcato in oggetto è realizzato in sistema misto acciaio-calcestruzzo ed è caratterizzato da una larghezza complessiva di 11.2m.

L'impalcato in misto acciaio calcestruzzo è costituito da 4 travi metalliche longitudinali. Lo schema è di trave semplicemente appoggiata. Le travi principali hanno altezza di 1400m. Le travi sono connesse in direzione trasversale mediante traversi realizzati da profili metallici di tipo HEB900, diposti ad interesse di 5 m. La soletta presenta un'altezza variabile tra 26 e 35 cm circa.

Lo schema di vincolo dell'impalcato prevede, da un lato, apparecchi d'appoggio fissi (i due centrali) e multidirezionali (i due esterni), dall'altro un apparecchio unidirezionale longitudinale (uno dei due centrali) e tre multidirezionali.

### 1.1 ESECUZIONE DEL MANUFATTO

Ciascuna trave è costituita da due tipologie di conci saldati a piena penetrazione (o in alternativa bullonati).

Si prevede di realizzare il varo dell'impalcato con sollevamento delle travi dal basso, attraverso autogrù. Le travi saranno varate a coppia (o in alternativa singolarmente) e poi solidarizzate tramite montaggio in quota dei controventi orizzontali e dei trasversi. Tali elementi verranno collegati tramite bulloni a taglio ad alta resistenza, durante le ore di interruzione notturna del traffico sottostante.

La soletta in cemento armato sarà gettata in opera. Si prevede l'utilizzo di predalles prefabbricate autoportanti in c.a.. Le coppelle saranno provviste di aree libere, in corrispondenza delle piattabande delle travi sottostanti, per il posizionamento dei connettori saldati.

Una volta disposte le coppelle sulla travata metallica si effettuerà prima la posa dell'armatura trasversale integrativa e dell'armatura longitudinale di ripartizione e quindi il getto a spessore definitivo.

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- [N1] **Legge 05/01/1971 n°1086:** Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- [N2] **Legge 02/02/1974 n°64:** Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- [N3] **D.M. del 17 Gennaio 2018:** Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- [N4] **C.M. 21/01/2019 n.7:** Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- [N5] **RFI DTC SI PS MA IFS 001 C del 21/12/2018:** Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture;
- [N6] **RFI DTC SI PS SP IFS 001 C del 21/12/2018:** Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- [N7] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle **specifiche tecniche di interoperabilità** per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) **N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;**

Tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in accordo alla istruzione fs 44 M e alla UNI EN **1090-2** (classe di esecuzione exc4 eccetto camminamenti e grigliati per i quali, come previsto sull'appendice b, si puo' utilizzare la classe di esecuzione exc2).

### 3. MATERIALI UTILIZZATI

#### Calcestruzzo per predalle

- CLASSE DI RESISTENZA MINIMA C32/40
- TIPO CEMENTO CEM I÷V
- RAPPORTO A/C :  $\leq 0.50$
- CLASSE MINIMA DI CONSISTENZA : S4
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC4
- COPRIFERRO = 35 mm
- DIAMETRO MASSIMO INERTI : 20 mm

#### Calcestruzzo per solette impalcato

- CLASSE DI RESISTENZA MINIMA C32/40
- TIPO CEMENTO CEM III÷V
- RAPPORTO A/C :  $\leq 0.50$
- CLASSE MINIMA DI CONSISTENZA : S4
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC4
- COPRIFERRO = 40 mm (\*)
- DIAMETRO MASSIMO INERTI : 25 mm

#### Acciaio per armature

IN BARRE E RETI ELETTRICALDARE

B450C saldabile che presenta le seguenti caratteristiche :

- Tensione di snervamento caratteristica  $f_{yk} > 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura  $f_{tk} > 540 \text{ N/mm}^2$
- $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

#### Acciaio per carpenteria metallica

ACCIAIO S355J0 UNI EN 10025

Per profilati e lamiere

ACCIAIO S355J2 UNI EN 10025

Per travi ed elementi saldati

ACCIAIO S 235 JR+ C450 ST37/3K  $f_y \geq 350 \text{ N/mm}^2$

Per pioli

$f_m \geq 450 \text{ N/mm}^2$  EN 13918

#### BULLONI:

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

GIOCO FORO BULLONE – STRUTTURE PRINCIPALI:

- 0.3 mm (compresa tolleranza della vite)

GIOCO FORO BULLONE – GRIGLIATI E STRUTTURE PROVVISORIE

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

#### SALDATURE:

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

(\*) : I VALORI DI COPRIFERRO RIPORTATI SI RIFERISCONO AD OPERE CON VITA NOMINALE DI 75 ANNI. PER COSTRUZIONI CON VITA NOMINALE DI 100 ANNI TALI VALORI DOVRANNO ESSERE AUMENTATI DI 5 mm.

## 4. MODELLO DI CALCOLO

Per valutare a livello globale le sollecitazioni e le deformazioni delle varie parti che costituiscono il viadotto (travi, soletta, trasversi, ecc.) sotto le varie azioni di progetto, sono state effettuate modellazioni con il programma agli elementi finiti SAP2000.

Nello studio globale longitudinale dell'impalcato si sono utilizzati tre modelli le cui rigidità si differenziano nei tre casi di sezione costituita da solo acciaio, sezione composta omogeneizzata per azioni istantanee e sezione composta omogeneizzata per azioni di lunga durata.

Il modello di calcolo per ogni fase è stato ipotizzato come graticcio composto da 4 travi e da trasversi di collegamento in carpenteria metallica.

La soletta è modellata con elementi trave che ne schematizzano il comportamento trasversale. Per ottenerne il corretto funzionamento si sono introdotti bracci fittizi, di rigidità infinita, che connettono i baricentri delle membrature.

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

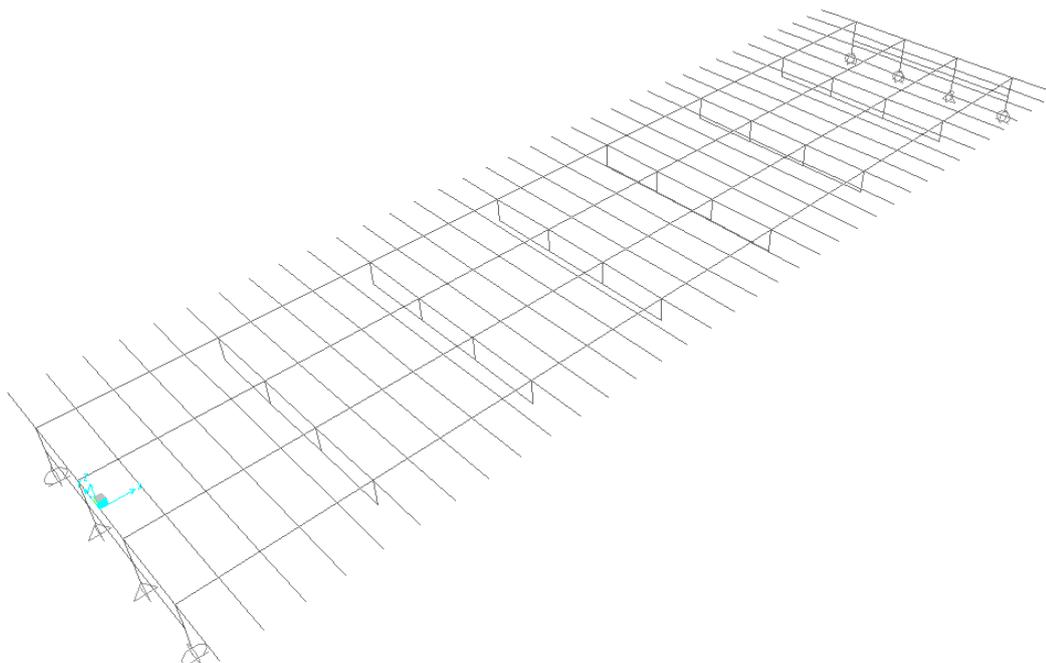


Figura 1. Modello di calcolo impalcato-Sap2000

Per la valutazione dell'effetto del ritiro del cls, sulla sezione mista dell'impalcato si è fatto riferimento al §11.2.10.6 del D.M.'18

**Cls a t=0**

|          |   |         |                   |   |
|----------|---|---------|-------------------|---|
| $R_{ck}$ | = | 40      | N/mm <sup>2</sup> | Resistenza a compressione cubica caratteristica     |
| $f_{ck}$ | = | 33.2    | N/mm <sup>2</sup> | Resistenza a compressione cilindrica caratteristica |
| $f_{cm}$ | = | 41.2    | N/mm <sup>2</sup> | Resistenza a compressione cilindrica media          |
| $\alpha$ | = | 1.0E-05 |                   |   |
| $E_{cm}$ | = | 33643   | N/mm <sup>2</sup> | Modulo elastico secante medio                       |

**Tempo e ambiente**

|              |   |          |                 |  |
|--------------|---|----------|-----------------|--|
| $t_s$        | = | 2        | gg              | età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento |
| $t_0$        | = | 28       | gg              | età del calcestruzzo in giorni al momento del carico                   |
| $t$          | = | 25500000 | gg              | età del calcestruzzo in giorni   |
| $h_0=2A_c/u$ | = | 600      | mm              | dimensione fittizia dell'elemento di cls                               |
| $A_c$        | = | 3360000  | mm <sup>2</sup> | sezione dell'elemento  |
| $u$          | = | 11200    | mm              | perimetro a contatto con l'atmosfera                                   |
| $RH$         | = | 75       | %               | umidità relativa percentuale   |

Coefficiente di viscosità  $\phi(t, t_0)$  e modulo elastico  $EC_t$  a tempo "t"

|  |        |  |
|--|--------|--|
| $\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) =$  | 1.982  |  |
| $\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$  | 93.22  | coeff nominale di viscosità  |
| $\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \right] \alpha_2 =$   | 1.256  | coeff che tiene conto dell'umidità   |
| $\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$ | 0.892  | coeff per la resistenza del cls  |
| $\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$ | 0.968  | coeff per la resistenza del cls  |
| $\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$   | 2.617  | coeff che tiene conto della resistenza del cls                                 |
| $\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$  | 0.475  | coeff per l'evoluzione della viscosità nel tempo                               |
| $t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$   | 32.46  | coeff per la variabilità della viscosità nel tempo                             |
| $\alpha =$   | 1      | coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R) |
| $\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0.3} =$   | 1.000  | coeff per la variabilità della viscosità nel tempo                             |
| $\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 =$   | 1382.5 | coeff che tiene conto dell'umidità relativa                                    |

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35\text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35\text{MPa} \end{cases} = 0.922 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11281951 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000349 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000291 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.999977$$

$K_b =$

0.7 parametro che dipende da  $h_0$  secondo il prospetto seguente

Valori di  $K_b$

| $h_0$ | $K_b$ |
|-------|-------|
| 100   | 1,0   |
| 200   | 0,85  |
| 300   | 0,75  |
| ≥500  | 0,70  |

Valori di  $K_b$  intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000416$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 0.896094$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ Mpa}$$

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11$$

coeff per il tipo di cemento (5 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)

coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000058 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca,00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000058$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{ritiro} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.72 \text{ }^\circ\text{C}$$

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura

Lo sforzo su ogni trave risulta pertanto

$$F = \varepsilon * E * b * s = 2957 \text{ kN}$$

Le eccentricità geometriche sono prese in conto direttamente nel modello.

## 5. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano nel presente capitolo le azioni considerate nel modello di calcolo per la determinazione delle sollecitazioni agenti.

### 5.1 CARICHI PERMANENTI

#### 5.1.1 PESI PROPRI (G1)

Agli elementi strutturali è stato attribuito un peso specifico del cemento armato pari a  $25 \text{ kN/m}^3$  come previsto dalle vigenti normative. Tale carico viene computato in automatico dal programma di calcolo agli elementi finiti.

Agli elementi strutturali è stato attribuito un peso specifico dell'acciaio pari a  $78.5 \text{ kN/m}^3$  come previsto dalle vigenti normative; si precisa tuttavia che al fine di computare masse e pesi dei piatti di irrigidimento dei fazzoletti e delle bullonature si è considerato un moltiplicatore del peso specifico pari a 1.10.

Tale carico viene computato in automatico dal programma di calcolo agli elementi finiti in funzione della lunghezza delle aste e della sezione assegnata.

Peso proprio delle 4 travi in acciaio (inclusi trasversi, irrigidimenti, ecc.) =  $40 \text{ kN/m}$

Peso proprio della soletta di spessore complessivo variabile =  $100 \text{ kN/m}$

Totale Peso proprio =  **$140 \text{ kN/m}$**

#### 5.1.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)

Pavimentazione stradale (compresi marciapiedi) =  $3 \text{ kN/mq} \cdot 11.2 = 33.6 \text{ kN/m}$

Guard rail = =  $2 \text{ kN/m}$

Barriere antirumore, parapetti, velette = =  $9 \text{ kN/m}$

Totale permanenti portati =  **$44.6 \text{ kN/m}$**

TOTALE AZIONI PERMANENTI AL METRO (G1+G2) =  $185.6 \text{ kN/m} \approx 190 \text{ kN/m}$ .

(TOTALE AZIONI PERMANENTI =  $190 \cdot 32 = 6080 \text{ kN}$ )

## 5.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

### 5.2.1 AZIONI VERTICALI DA TRAFFICO

In conformità alla normativa di riferimento (N.T.C.2018 §5.1.3.3), si prendono in considerazione i seguenti carichi mobili per ponti di 1° categoria:

#### SCHEMA DI CARICO 1

- prima colonna di carico costituita da due carichi assiali  $Q_{1k} = 300$  kN e un carico uniformemente distribuito  $q_{1k} = 9$  kN/m<sup>2</sup> su una larghezza convenzionale pari a 3.00m;
- seconda colonna di carico analoga alla precedente, ma con carichi rispettivamente pari a  $Q_{2k} = 200$  kN e  $q_{2k} = 2.5$  kN/m<sup>2</sup>;
- area rimanente costituita da un carico uniformemente distribuito pari a  $q_{rk} = 2.5$  kN/m<sup>2</sup>.

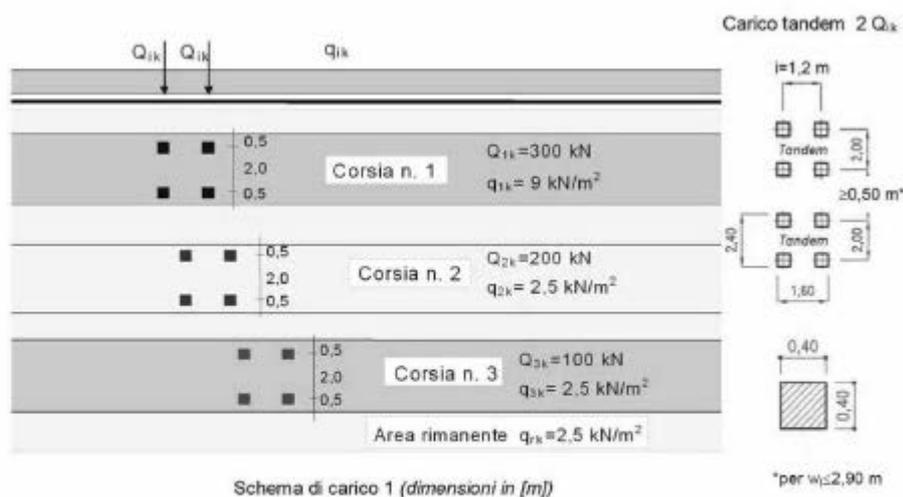


Figura 7: rappresentazione delle stese di carico.

In relazione alle dimensioni dell'impalcato sono state considerate 2 "corsie convenzionali" più una fascia di larghezza pari rispettivamente a 1.50 di "parte rimanente". I sovraccarichi mobili sono considerati nelle diverse disposizioni longitudinali e trasversali atte a generare le massime sollecitazioni nelle sezioni di verifica. Il modello di calcolo utilizzato è implementato nel programma di analisi strutturale agli elementi finiti SAP2000; tale codice di calcolo, tramite l'utility Moving Load Case, permette di costruire le linee di influenza relative alle distinte sollecitazioni per ciascun punto della struttura (inteso come ciascuna delle stazioni di output definite nell'ambito della descrizione del modello di calcolo), procedendo automaticamente nell'individuazione delle disposizioni longitudinali del carico mobile.

## SCHEMA DI CARICO 5 (FOLLA)

Valore del carico da folla =  $5 \text{ kN/m}^2$ , comprensivi degli effetti dinamici.

### 5.2.2 AZIONI ORIZZONTALI

#### 5.2.2.1 FRENATURA

Per i ponti di 1° categoria la forza di frenamento/accelerazione è determinata secondo la seguente relazione:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

La forza così calcolata si assume uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata ed include gli effetti di interazione, per cui si ottiene il seguente valore del carico da applicare lungo l'asse della corsia:

| Frenatura                 |     |    |
|---------------------------|-----|----|
| L                         | 32  | m  |
| q <sub>3</sub>            | 446 | kN |
| q <sub>3</sub> (filtrata) | 446 | kN |

f = 446 KN azione di frenamento/accelerazione

frip = f/L = 13.9 KN/m azione di frenamento/accelerazione

#### 5.2.2.2 FORZA CENTRIFUGA

L'opera è in rettifilo.

#### 5.2.2.3 URTO SUL SICURVIA

Sulla base delle prescrizioni normative (§5.1.3.10 N.T.C.2018), l'urto di un veicolo stradale sulle barriere sicurvias è stato modellato come una forza orizzontale applicata in corrispondenza delle barriere ad un'altezza pari a 1.0 m dal piano stradale. In particolare, ai fini del calcolo degli effetti locali sulla soletta d'impalcato, si è tenuto conto delle seguenti azioni:

- una forza pari a 100 kN considerata distribuita su 0.50 m diretta in direzione trasversale all'asse impalcato;
- un carico verticale isolato costituito dal *Secondo Schema di Carico*, posizionato in adiacenza al sicurvias stesso e disposto nella posizione più gravosa.

#### **5.2.2.4 ATTRITO DEGLI APPARECCHI DI APPOGGIO**

L'effetto dell'attrito è stato assunto pari al 3% dei carichi verticali applicati ad apparecchi di appoggio scorrevoli.

### **5.3 AZIONI CLIMATICHE**

#### **5.3.1 AZIONE DELLA NEVE**

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

#### **5.3.2 VARIAZIONE TERMICA**

Nelle verifiche dei singoli elementi è stata considerata una variazione termica uniforme pari a  $\pm 25^{\circ}\text{C}$  ed una variazione termica non uniforme (gradiente) pari a  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

### 5.3.3 AZIONE DEL VENTO

#### Azione del Vento - generale - NTC e EC 1-1-4:2005

| Condizione (ponte carico o scarico) |                                       | scarico | carico |       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------|--------|-------|
| Altitudine sul livello del mare     | as                                    | 250     | 250    | m     |
| Zona                                | Z                                     | 4       | 4      |       |
| Parametri                           | Vb,0                                  | 28      | 28     | m/s   |
| Parametri                           | ao                                    | 500     | 500    | m     |
| Parametri                           | ks                                    | 0.36    | 0.36   | 1/s   |
| Velocità di riferimento (Tr=50anni) | $v_b = v_{b0} * (1 + k_s(as/ao - 1))$ | 28      | 28     | m/s   |
| Periodo di ritorno considerato      | TR                                    | 150     | 150    | anni  |
|                                     | $\alpha_R$                            | 1.06    | 1.06   |       |
| Velocità di riferimento             | Vb(TR)                                | 29.71   | 29.71  | m/s   |
| Densità dell'aria                   | $\rho$                                | 1.25    | 1.25   | kg/mc |
| Pressione cinetica di riferimento   | $q_b = 0.5 * \rho * v_b^2$            | 0.55    | 0.55   | kN/mq |
| Classe di rugosità del terreno      | D                                     | D       | D      |       |
| Distanza dalla costa                |                                       | >10     | >10    | km    |
| Altitudine sul livello del mare     |                                       | <750    | <750   | m     |
| Categoria di esposizione del sito   | Cat                                   | II      | II     |       |

#### Vento su impalcato

|  |        |      |      |   |
|--|--------|------|------|---|
| Parametri  | kr     | 0.19 | 0.19 |   |
| Parametri  | z0     | 0.05 | 0.05 | m |
| Parametri  | zmin   | 4    | 4    | m |
| Altezza di riferimento per l'impalcato (EC punto 8.3.1(6)) | z      | 20   | 20   | m |
| Coefficiente di topografia                                 | ct     | 1    | 1    |   |
| Coefficiente di esposizione (z)                            | ce(z)  | 2.81 | 2.81 |   |
| Larghezza impalcato  | b      | 11.2 | 11.2 | m |
| Altezza impalcato  | h1     | 1.9  | 1.9  | m |
| Altezza veicoli o parapetto                                | h2     | 2    | 3    | m |
| Altezza totale impalcato (comprese le barriere o veicoli)  | dtot   | 3.9  | 4.9  | m |
| Rapporto di forma  | b/dtot | 2.87 | 2.29 |   |
| Coefficiente di forza (figura 8.3 EC)                      | cfx    | 1.64 | 1.81 |   |

#### Riepilogo

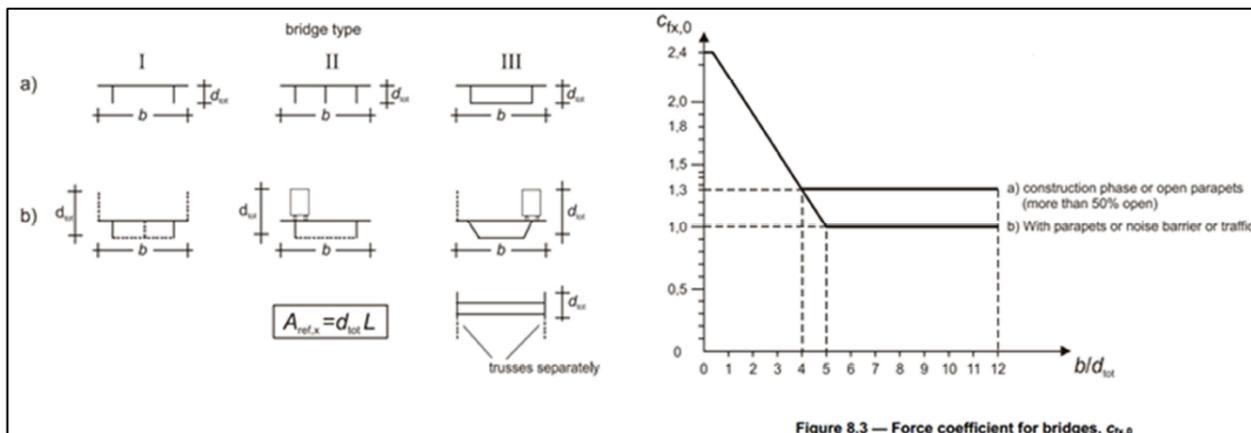
|  |            |      |      |       |
|--|------------|------|------|-------|
| Pressione cinetica di riferimento                  | qb         | 0.55 | 0.55 | kN/mq |
| Coefficiente di esposizione                        | ce         | 2.81 | 2.81 |       |
| Coefficiente di forza                              | cfx        | 1.64 | 1.81 |       |
| Altezza di riferimento (EC punto 8.3.1 (4) e (5))  | d          | 3.9  | 4.9  | m     |
| Forza statica equivalente a m/l                    | f=prodotto | 9.9  | 13.8 | kN/m  |
| Pressione statica equivalente                      | p=f/d      | 2.54 | 2.81 | kN/mq |
| Pressione statica equivalente (minima considerata) | pmin       | 1.5  | 1.5  | kN/mq |
| Forza statica equivalente a m/l considerata        | f          | 9.9  | 13.8 | kN/m  |

#### Vento impalcato a ponte scarico

|                                    |          |     |  |      |
|------------------------------------|----------|-----|--|------|
| Forza statica equivalente          | f        | 9.9 |  | kN/m |
| Luce impalcato                     | L        | 32  |  | m    |
| Forza trasversale al piano appoggi | FT=f*L/2 | 158 |  | kN/m |

#### Vento impalcato a ponte carico

|                                    |          |      |  |      |
|------------------------------------|----------|------|--|------|
| Forza statica equivalente          | f        | 13.8 |  | kN/m |
| Luce impalcato                     | L        | 32   |  | m    |
| Forza trasversale al piano appoggi | FT=f*L/2 | 220  |  | kN/m |



Come illustrato nel seguito l'eccentricità del punto di applicazione della risultante dell'azione pseudostatica del vento dall'asse neutro della sezione a breve termine determina un momento parassita calcolato come segue:

$$M_p = F \cdot e = 13.8 \cdot 1.0 = 13.8 \text{ kNm/m}$$

## 5.4 AZIONE SISMICA

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

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo:  Sito esterno al reticolo,  Interpolazione su 3 nodi,  Interpolazione corretta

Interpolazione:

...a "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, a "Ricerca per coordinate".

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

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

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

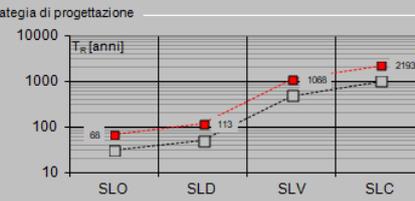
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

| Stati limite di esercizio - SLE | $T_R$ (anni) |
|---------------------------------|--------------|
| SLO - $P_{VR} = 81\%$           | 68           |
| SLD - $P_{VR} = 63\%$           | 113          |
| SLV - $P_{VR} = 10\%$           | 1068         |
| SLC - $P_{VR} = 5\%$            | 2193         |

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametrizzazione

Strategia di progettazione

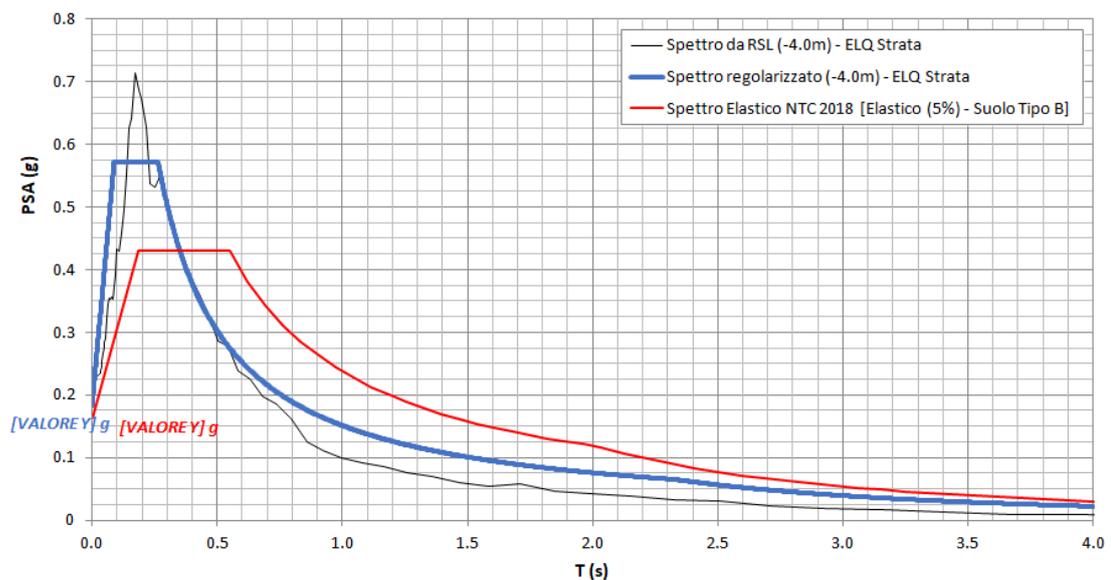


LEGENDA GRAFICO

- Strategie per costruzioni ordinarie
- Strategie scelte

Per il viadotto in esame è stato effettuato uno specifico studio di Risposta Sismica Locale del quale si riportano i risultati:

VI07 - prova: MASW3AS29



## 5.5 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Le combinazioni di carico s.l.u. statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. I carichi vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza, considerando l'eventualità più gravosa per la struttura.

Verifiche allo stato limite ultimo

La verifica di sicurezza agli stati limite ultimi è stata condotta controllando che risultasse, per ciascuna sollecitazione considerata:

$$R_d \geq E_d$$

in cui  $R_d$  rappresentano le resistenze di calcolo e  $E_d$  le sollecitazioni di calcolo nei vari elementi strutturali valutate per le azioni di calcolo  $F_d$  ottenute combinando le azioni caratteristiche nella forma

$$F_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \cdot \gamma_{Qki} \cdot Q_{ki} \quad : \text{combinazione statica}$$

$$F_d = E + G_k + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad : \text{combinazione sismica}$$

in cui si sono indicati:

- $G_{kj}$  : valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$  : valore caratteristico della azione variabile base per ogni combinazione
- $Q_{ki}$  : valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $E$  : valore caratteristico dell'azione sismica

I valori  $\gamma$  e  $\Psi$  sono riportati nelle seguenti tabelle.

Tabella 1: coefficienti parziali relativi alle azioni per la verifica agli SLU combinazione A1

| Azione                 | Simbolo    | Coefficiente parziale |
|------------------------|------------|-----------------------|
| Permanente sfavorevole | $\gamma_G$ | 1.35                  |
| Permanente favorevole  |            | 1.0                   |
| Variabile sfavorevole  | $\gamma_Q$ | 1.5                   |
| Variabile favorevole   |            | 0.0                   |

Tabella 2: coefficienti parziali relativi alle azioni per la verifica agli SLU combinazione A2

| Azione                                    | Simbolo        | Coefficiente parziale |
|---|----------------|-----------------------|
| Permanente sfavorevole                    | Y <sub>G</sub> | 1.0                   |
| Permanente favorevole                     |                | 1.0                   |
| Variabile veicolare sfavorevole veicolare | Y <sub>Q</sub> | 1.35                  |
| Variabile veicolare favorevole            |                | 0.0                   |

Tabella 3: coefficienti di combinazione

Le azioni di cui ai paragrafi precedenti sono combinate tra loro, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto relative agli elementi strutturali di volta in volta considerati in base a quanto prescritto dalle N.T.C nei § 2.5.3 e §5.1.3.12.

Tabella 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

| Gruppo di azioni | Carichi sulla carreggiata                           |                                  |  |                          |                                 | Carichi su marciapiedi e piste ciclabili                            |
|------------------|---|----------------------------------|--|--------------------------|---------------------------------|---|
|                  | Carichi verticali                                   |                                  |  | Carichi orizzontali      |                                 | Carichi verticali   |
|                  | Modello principale (Schema di carico 1, 2, 3, 4, 6) | Veicoli speciali                 | Folla (Schema di carico 5)   | Frenatura q <sub>3</sub> | Forza centrifuga q <sub>4</sub> | Carico uniformemente distribuito                                    |
| 1                | Valore caratteristico                               |                                  |  |                          |                                 | Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 2 a              | Valore frequente                                    |                                  |  | Valore caratteristico    |                                 |   |
| 2 b              | Valore frequente                                    |                                  |  |                          | Valore caratteristico           |   |
| 3 (*)            |   |                                  |  |                          |                                 | Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>  |
| 4 (**)           |   |                                  | Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup> |                          |                                 | Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>  |
| 5 (***)          | Da definirsi per il singolo progetto                | Valore caratteristico o nominale |  |                          |                                 |   |

(\*) Ponti di 3<sup>a</sup> categoria  
(\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
(\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

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

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

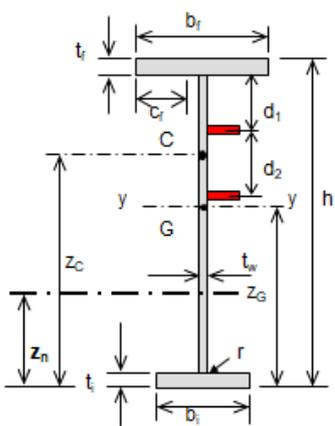
Tabella 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

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

## 6. ELEMENTI TRAVI PRINCIPALI

Appoggio - C1:

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE (I o T):



**SEZIONE A DOPPIA SIMMETRIA**

|  |                                      |         |
|--|--------------------------------------|---------|
| Altezza totale in campata                                      | h = cm                               | 140     |
| Larghezza piattabanda superiore                                | b <sub>f</sub> = cm                  | 90      |
| Larghezza piattabanda inferiore                                | b <sub>i</sub> = cm                  | 90      |
| Spessore anima   | t <sub>w</sub> = cm                  | 2       |
| Spessore piattabanda superiore                                 | t <sub>f</sub> = cm                  | 2.8     |
| Spessore piattabanda inferiore                                 | t <sub>i</sub> = cm                  | 2.8     |
| Raccordo anima-piattabanda                                     | r = cm                               | 0       |
| Altezza netta dell'anima                                       | d = cm                               | 134.4   |
| Sporgenza dell'ala superiore                                   | c <sub>f</sub> = cm                  | 44.00   |
| Sporgenza dell'ala inferiore                                   | c <sub>i</sub> = cm                  | 44.00   |
| Area della sezione irrigidita                                  | A = cm <sup>2</sup>                  | 778.40  |
| Posizione asse baricentrico                                    | z <sub>G</sub> = cm                  | 70.00   |
| Posizione asse neutro plastico                                 | z <sub>n</sub> = cm                  | 70.00   |
| Posizione a.n.p. per flessione pura                            | d <sub>2</sub> = cm                  | 70.00   |
| Posizione centro di taglio                                     | z <sub>C</sub> = cm                  | 70.00   |
| Momento di inerzia max.  | J <sub>y</sub> = cm <sup>4</sup>     | 2802242 |
| Momento di inerzia min.  | J <sub>z</sub> = cm <sup>4</sup>     | 340200  |
| Momento di inerzia torsionale                                  | J <sub>t</sub> = cm <sup>4</sup>     | 1683    |
| Modulo di res. esterno piattab. sup.                           | W <sub>ys</sub> = cm <sup>3</sup>    | 40032   |
| Modulo di res. esterno piattab. inf.                           | W <sub>yi</sub> = cm <sup>3</sup>    | 40032   |
| Modulo di res. interno piattab. sup.                           | W <sub>yas</sub> = cm <sup>3</sup>   | 41700   |
| Modulo di res. interno piattab. inf.                           | W <sub>yai</sub> = cm <sup>3</sup>   | 41700   |
| Modulo di res. min. = MIN (W <sub>ys</sub> , W <sub>yi</sub> ) | W <sub>d,min</sub> = cm <sup>3</sup> | 40032   |
| Modulo di resistenza plastico                                  | W <sub>pl</sub> = cm <sup>3</sup>    | 43986   |

Anima irrigidita ? **N** N° irrigid. **0** <= 4

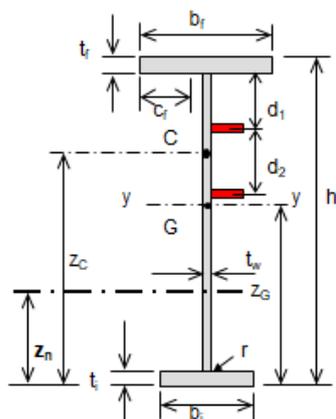
**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

|                                    | d ; d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub> |  |                      |        |
|------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|--|----------------------|--------|
| Larghezza/spessore : Anima         | d/t <sub>w</sub> = | 67.20          |                |                |  | α <sub>y</sub> =     | 0.500  |
| Piattabande                        | c/t =              | 15.71          |                |                |  | ψ <sub>y</sub> =     | -1.000 |
| asse neutro el. = cm 70.000        | α <sub>d</sub> =   | 0.500          |                |                |  |                      |        |
|                                    | φ <sub>d</sub> =   | -1.000         |                |                |  |                      |        |
|                                    | c <sub>y</sub> =   | 1.000          |                |                |  |                      |        |
| Limite larghezza/spessore anima :  | classe 1           | 58.58          |                |                |  |                      |        |
|                                    | classe 2           | 67.45          |                |                |  |                      |        |
|                                    | classe 3           | 100.89         |                |                |  |                      |        |
|                                    | k <sub>c</sub> =   |                |                |                |  |                      |        |
| Limite larghezza/spessore piattab. | classe 1           | 7.32           |                |                |  | classe dell'anima    | 2      |
|                                    | classe 2           | 8.14           |                |                |  | in cond. di incendio | 3      |
|                                    | classe 3           | 11.39          |                |                |  | classe piattabanda   | 4      |

**CLASSE SEZIONE** **4**

Campata – C2:

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE (I o T):



SEZIONE A DOPPIA SIMMETRIA

|  |                                      |         |
|--|--------------------------------------|---------|
| Altezza totale in campata                                      | h = cm                               | 140     |
| Larghezza piattabanda superiore                                | b <sub>1</sub> = cm                  | 90      |
| Larghezza piattabanda inferiore                                | b <sub>2</sub> = cm                  | 90      |
| Spessore anima   | t <sub>w</sub> = cm                  | 2       |
| Spessore piattabanda superiore                                 | t <sub>1</sub> = cm                  | 3.4     |
| Spessore piattabanda inferiore                                 | t <sub>2</sub> = cm                  | 3.4     |
| Raccordo anima-piattabanda                                     | r = cm                               | 0       |
| Altezza netta dell'anima                                       | d = cm                               | 133.2   |
| Sporgenza dell'ala superiore                                   | c <sub>1</sub> = cm                  | 44.00   |
| Sporgenza dell'ala inferiore                                   | c <sub>2</sub> = cm                  | 44.00   |
| Area della sezione irrigidita                                  | A = cm <sup>2</sup>                  | 885.20  |
| Posizione asse baricentrico                                    | z <sub>G</sub> = cm                  | 70.00   |
| Posizione asse neutro plastico                                 | z <sub>N</sub> = cm                  | 70.00   |
| Posizione a.n.p. per flessione pura                            | d <sub>z</sub> = cm                  | 70.00   |
| Posizione centro di taglio                                     | z <sub>C</sub> = cm                  | 70.00   |
| Momento di inerzia max.  | J <sub>y</sub> = cm <sup>4</sup>     | 3279729 |
| Momento di inerzia min.  | J <sub>z</sub> = cm <sup>4</sup>     | 413100  |
| Momento di inerzia torsionale                                  | J <sub>t</sub> = cm <sup>4</sup>     | 2723    |
| Modulo di res. esterno piattab. sup.                           | W <sub>ys</sub> = cm <sup>3</sup>    | 46853   |
| Modulo di res. esterno piattab. inf.                           | W <sub>yi</sub> = cm <sup>3</sup>    | 46853   |
| Modulo di res. interno piattab. sup.                           | W <sub>yas</sub> = cm <sup>3</sup>   | 49245   |
| Modulo di res. interno piattab. inf.                           | W <sub>yai</sub> = cm <sup>3</sup>   | 49245   |
| Modulo di res. min. = MIN (W <sub>ys</sub> , W <sub>yi</sub> ) | W <sub>d,min</sub> = cm <sup>3</sup> | 46853   |
| Modulo di resistenza plastico                                  | W <sub>pl</sub> = cm <sup>3</sup>    | 51129   |

Anima irrigidita ? **N** N° irrigid. **0** <= 4

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

|                                    |             | d ; d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub> |                      |                         |
|------------------------------------|-------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|-------------------------|
| Larghezza/spessore:                | Anima       | d/t <sub>w</sub> = | 66.60          |                |                |                      | α <sub>y</sub> = 0.500  |
|                                    | Piattabande | c/t =              | 12.94          |                |                |                      | ψ <sub>y</sub> = -1.000 |
| asse neutro el. = cm 70.000        |             | α <sub>d</sub> =   | 0.500          |                |                |                      |                         |
|                                    |             | φ <sub>d</sub> =   | -1.000         |                |                |                      |                         |
|                                    |             | c <sub>w</sub> =   | 1.000          |                |                |                      |                         |
| Limite larghezza/spessore anima:   | classe 1    |                    | 58.58          |                |                |                      |                         |
|                                    | classe 2    |                    | 67.45          |                |                |                      |                         |
|                                    | classe 3    |                    | 100.89         |                |                |                      |                         |
|                                    |             | k <sub>c</sub> =   |                |                |                |                      |                         |
| Limite larghezza/spessore piattab. | classe 1    |                    | 7.32           |                |                | classe dell'anima    | 2                       |
|                                    | classe 2    |                    | 8.14           |                |                | in cond. di incendio | 3                       |
|                                    | classe 3    |                    | 11.39          |                |                | classe piattabanda   | 4                       |
|                                    |             |                    |                |                |                |                      |                         |

CLASSE SEZIONE **4**

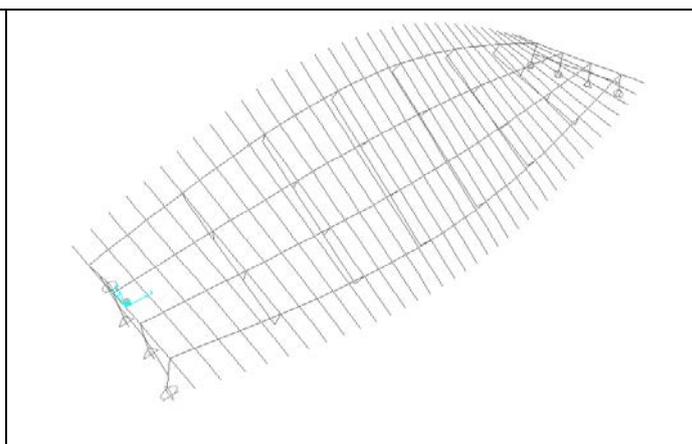
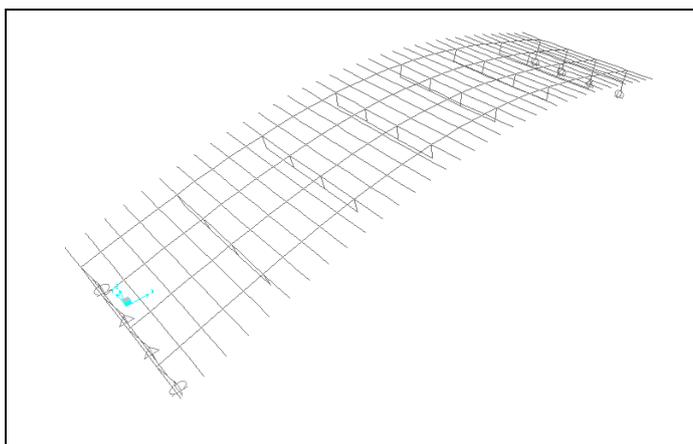
## 7. ANALISI MODALE

Si riportano in termini numerici, come output del modello di calcolo, i risultati dell'analisi modale dell'impalcato. Si riportano i primi 12 modi di vibrare che garantiscono l'eccitazione dell'85% della massa in tutte le componenti di spostamento.

Si evidenziano i primi 4 periodi propri di vibrare.

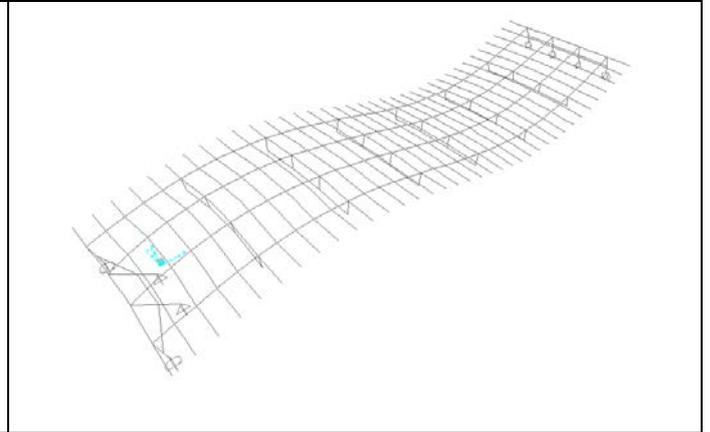
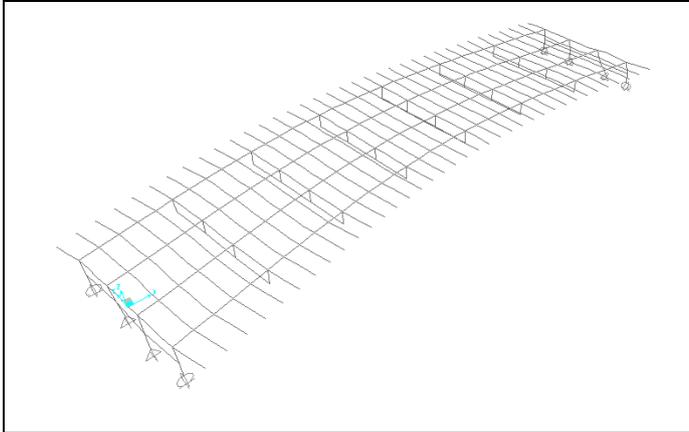
TABLE: Modal Participating Mass Ratios

| OutputCase | StepType | StepNum  | Period | UX       | UY       | UZ       | SumUX    | SumUY    | SumUZ    | RZ       | SumRZ    |
|------------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Text       | Text     | Unitless | Sec    | Unitless |
| MODAL1     | Mode     | 1        | 0.48   | 2.59%    | 0.00%    | 76.73%   | 2.59%    | 0.00%    | 76.73%   | 0.00%    | 0.00%    |
| MODAL1     | Mode     | 2        | 0.44   | 0.00%    | 0.02%    | 0.00%    | 2.59%    | 0.02%    | 76.73%   | 0.01%    | 0.01%    |
| MODAL1     | Mode     | 3        | 0.17   | 0.00%    | 87.98%   | 0.00%    | 2.59%    | 88.00%   | 76.73%   | 68.44%   | 68.45%   |
| MODAL1     | Mode     | 4        | 0.15   | 71.61%   | 0.00%    | 1.16%    | 74.20%   | 88.00%   | 77.89%   | 0.00%    | 68.45%   |
| MODAL1     | Mode     | 5        | 0.14   | 0.00%    | 0.04%    | 0.00%    | 74.20%   | 88.04%   | 77.89%   | 0.00%    | 68.45%   |
| MODAL1     | Mode     | 6        | 0.12   | 24.45%   | 0.00%    | 0.27%    | 98.65%   | 88.04%   | 78.16%   | 0.00%    | 68.45%   |
| MODAL1     | Mode     | 7        | 0.08   | 0.00%    | 0.01%    | 0.00%    | 98.65%   | 88.05%   | 78.16%   | 23.65%   | 92.11%   |
| MODAL1     | Mode     | 8        | 0.07   | 0.21%    | 0.00%    | 7.63%    | 98.85%   | 88.05%   | 85.79%   | 0.00%    | 92.11%   |
| MODAL1     | Mode     | 9        | 0.05   | 0.79%    | 0.00%    | 0.14%    | 99.64%   | 88.05%   | 85.93%   | 0.00%    | 92.11%   |
| MODAL1     | Mode     | 10       | 0.05   | 0.00%    | 10.63%   | 0.00%    | 99.64%   | 98.68%   | 85.93%   | 6.05%    | 98.16%   |
| MODAL1     | Mode     | 11       | 0.04   | 0.00%    | 0.52%    | 0.00%    | 99.64%   | 99.20%   | 85.93%   | 1.32%    | 99.48%   |
| MODAL1     | Mode     | 12       | 0.03   | 0.06%    | 0.00%    | 6.49%    | 99.71%   | 99.20%   | 92.42%   | 0.00%    | 99.48%   |



RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 23 di 72 |

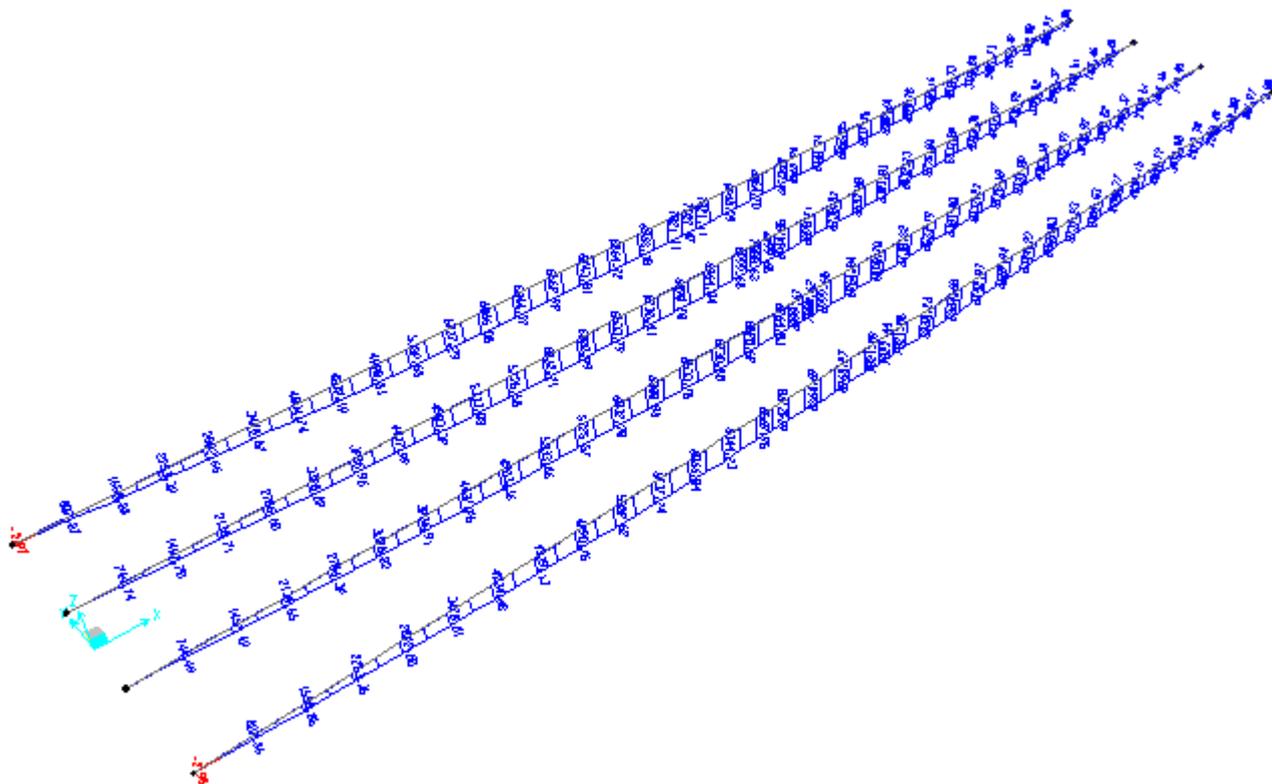


## 8. VERIFICHE SLU

Si effettuano le verifiche di resistenza degli elementi costituenti la carpenteria metallica combinando le azioni agenti allo S.L.U..

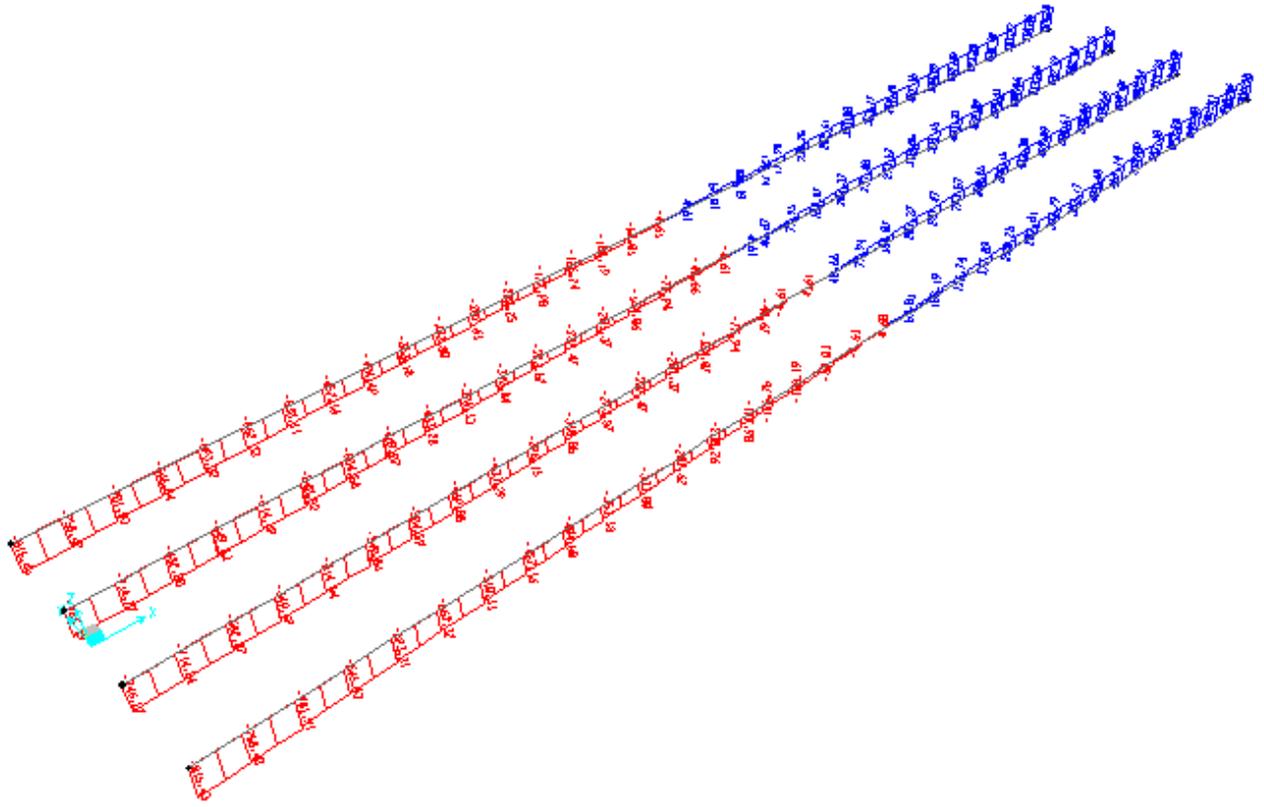
### 8.1 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI

Si riportano i diagrammi delle sollecitazioni relativi alle 3 fasi:



RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 25 di 72 |



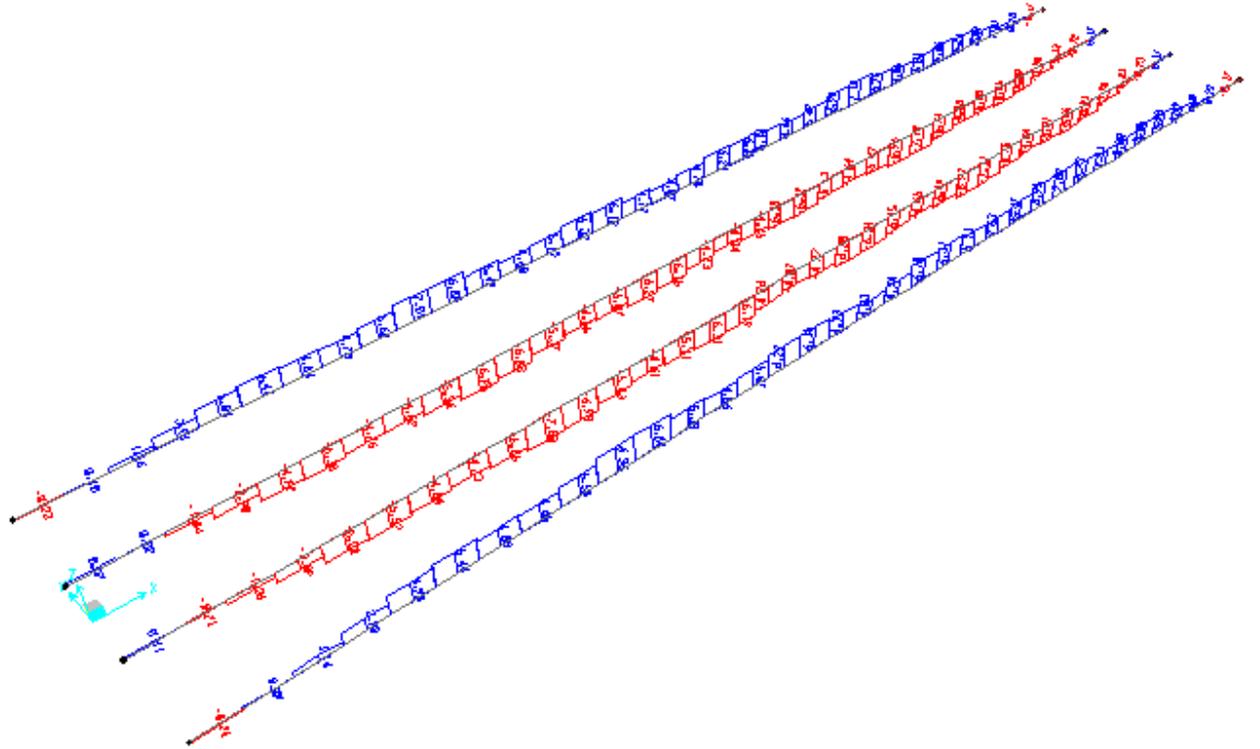
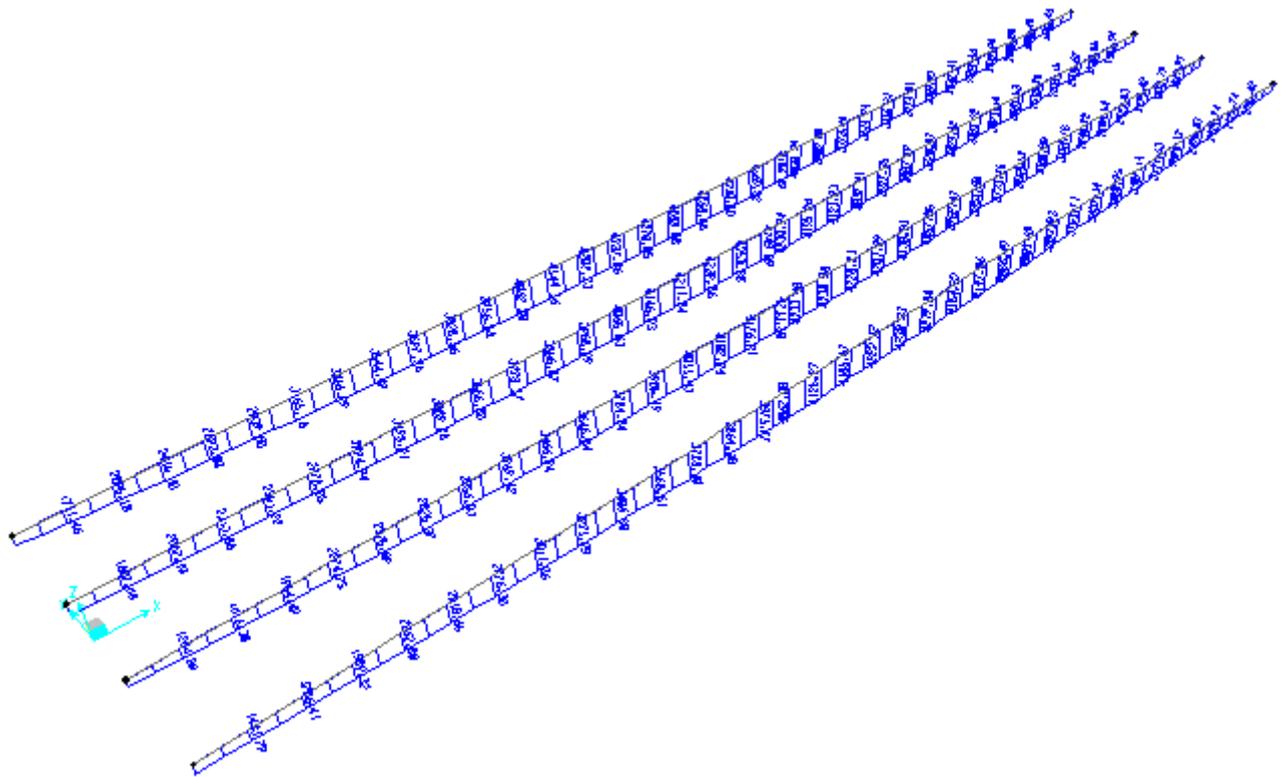


Figura 2. Fase 1 M-V-N (kN-m)

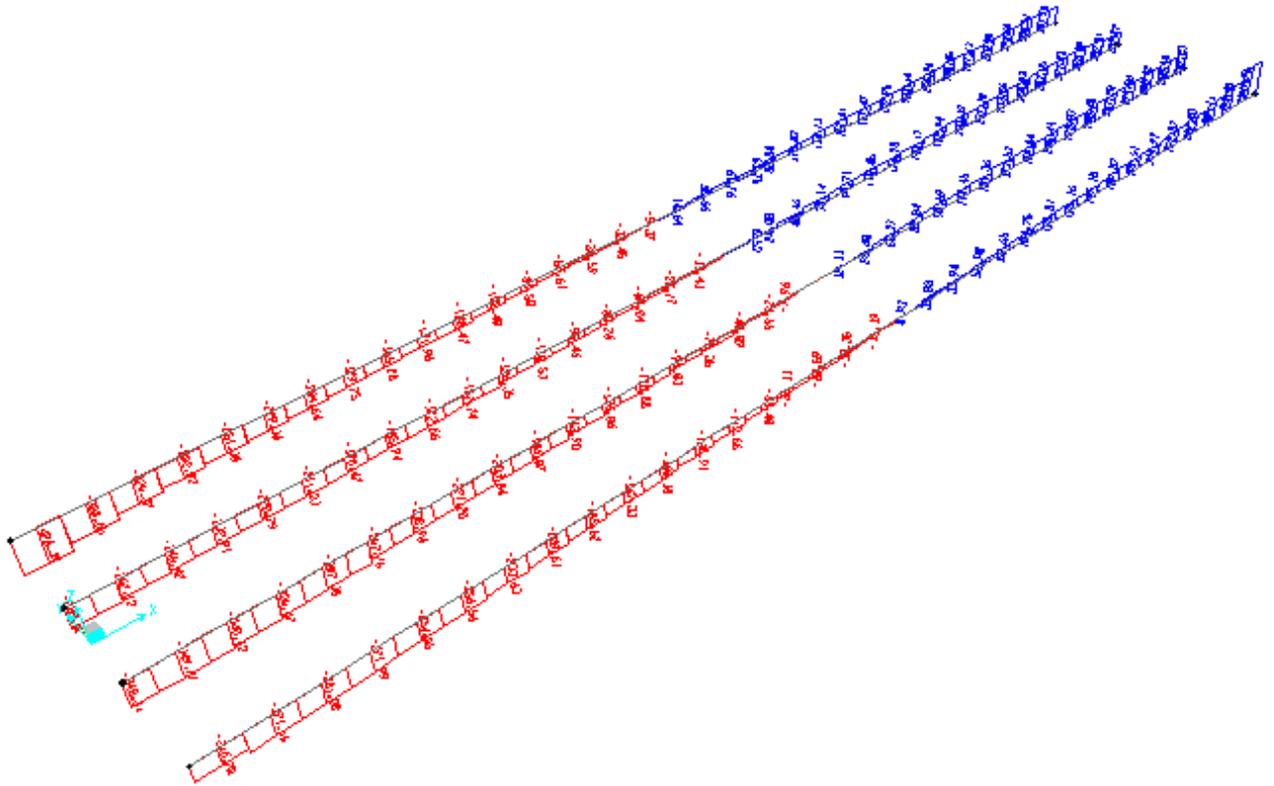
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02.00.001 | B    | 27 di 72 |



RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 28 di 72 |



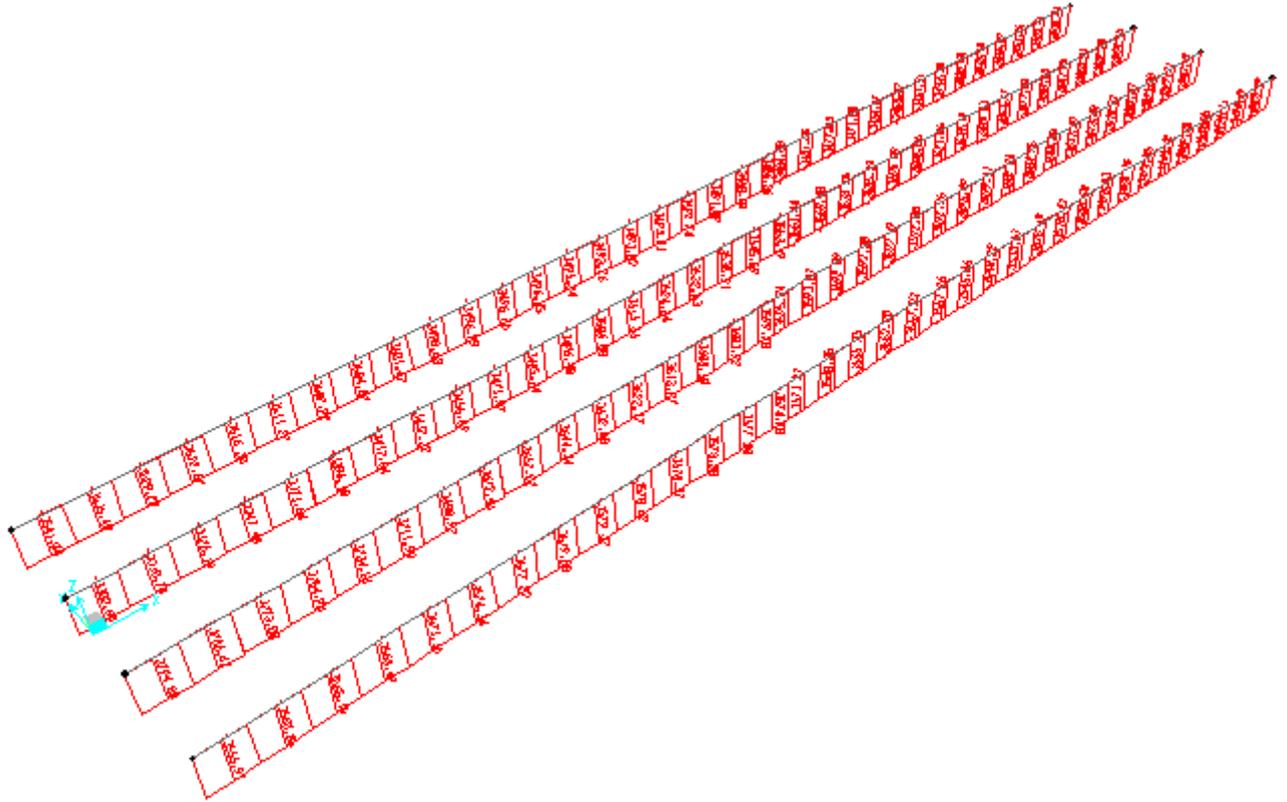
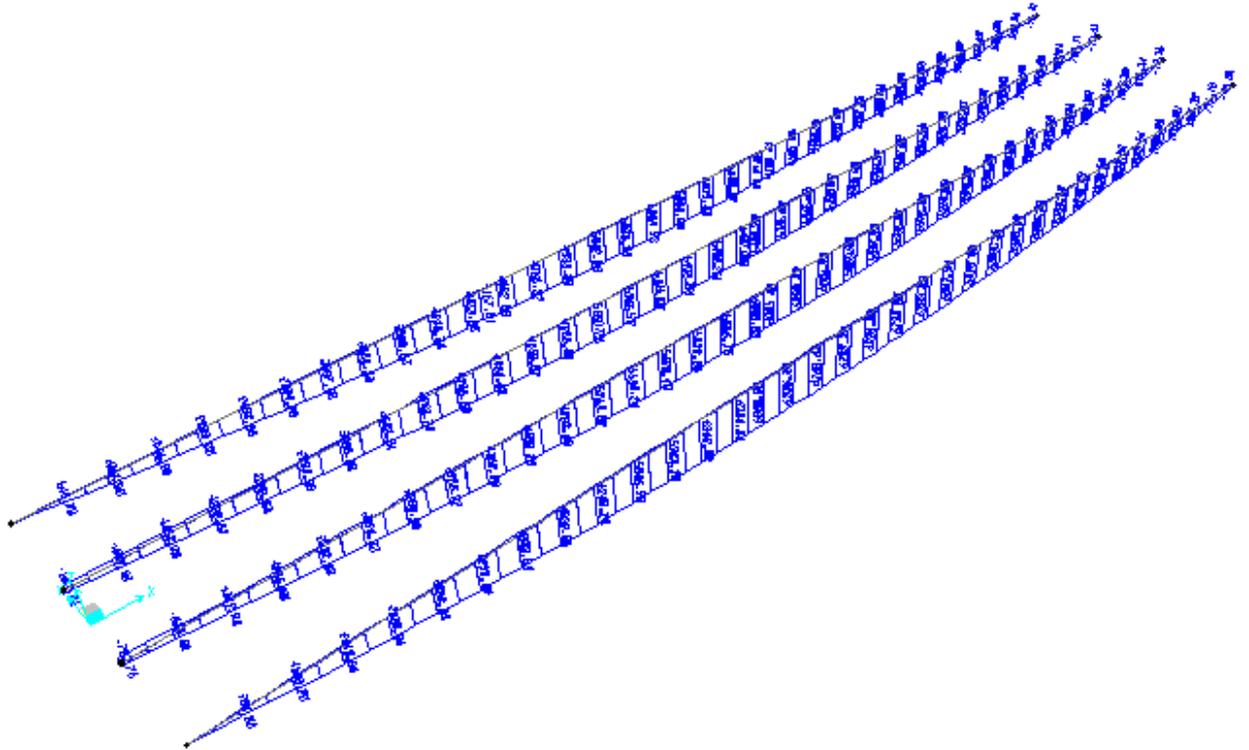


Figura 3. Fase 2 M-V-N (kN-m)

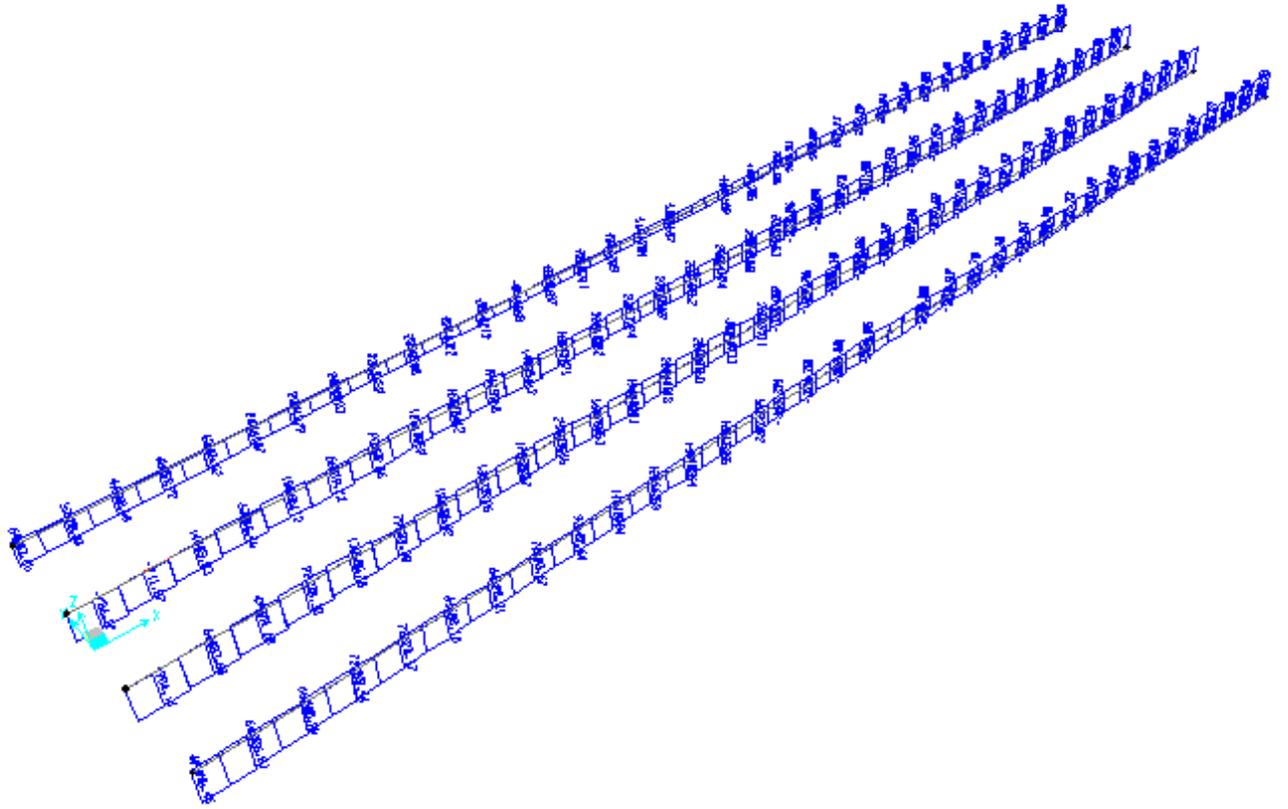
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 30 di 72 |



RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 31 di 72 |



| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02.00.001 | B    | 32 di 72 |

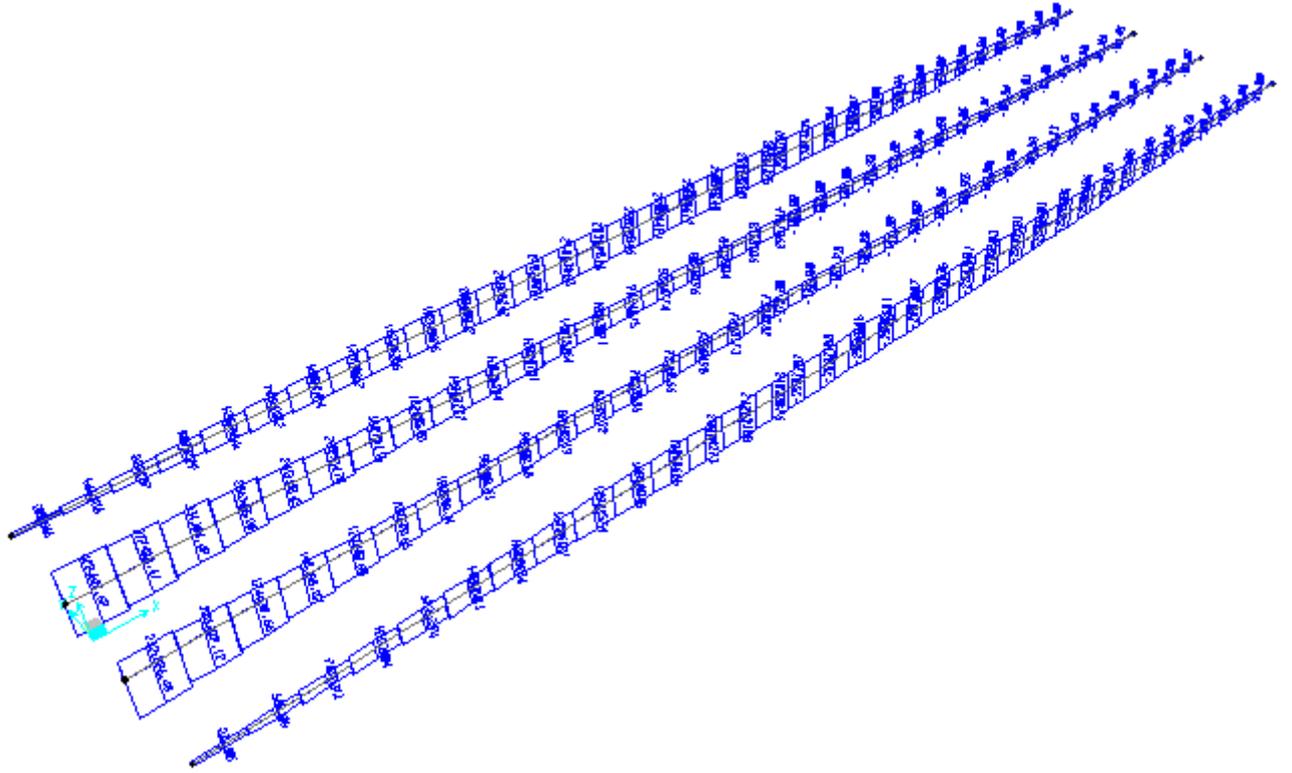
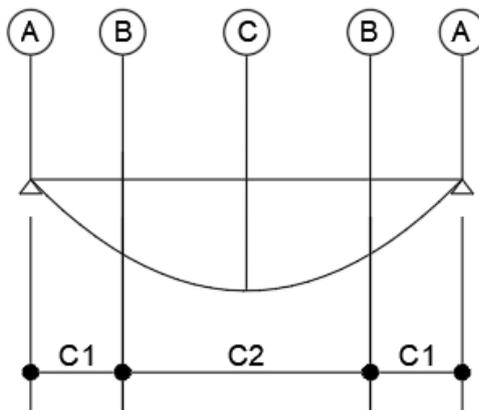


Figura 4. Fase 3 M-V-N (kN-m)

## 8.2 VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI

Nell'esposizione dei risultati delle analisi e delle verifiche si fa riferimento ad una numerazione delle sezioni, che è dettagliata nella figura successiva.



Riepilogo sollecitazioni SLU:

|   | FASE 1    |             |           | FASE 2    |             |           | FASE 3    |             |           |
|---|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
|   | <i>kN</i> | <i>kN*m</i> | <i>kN</i> | <i>kN</i> | <i>kN*m</i> | <i>kN</i> | <i>kN</i> | <i>kN*m</i> | <i>kN</i> |
|   | N         | M           | T         | N         | M           | T         | N         | M           | T         |
| A | 0         | 0           | 830       | 3549      | 2036        | 321       | 2780      | 906         | 821       |
| B | 0         | 4428        | 511       | 3549      | 3793        | 195       | 2780      | 5358        | 596       |
| C | 0         | 6846        | 20        | 3549      | 4730        | 20        | 2780      | 7668        | 300       |

Si riportano di seguito le verifiche delle travi d'impalcato secondo la teoria elastica, per ciascuna fase di carico:

$$R_i = [N_{Ed}/A \pm (N_{Ed} * e_N + M_{Ed}) / W_{eff}] / f_{yd}$$

### 8.2.1 SEZIONE A

#### Fase 1

#### VERIFICA DI STABILITÀ A TAGLIO DELL'ANIMA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\text{test}} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\text{test}} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.860119$$

$$k_{\text{test}} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{st1} &= 90 \text{ cm}^4 \\ I_{st} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\text{test}} &= 0.00 \\ d_{\text{eff},1} &= 134.40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$


$$\begin{aligned} k_{\tau} &= 5.92 \\ k_{\tau i} &= 5.92 \end{aligned}$$

$h_w / t = 67.20 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6296.35 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 271.78 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4798.41 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.164 < 1 \quad \tilde{\eta}_3 = 0.173 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$   $M_{f,Rd} = 928275 \text{ kNcm}$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd} \quad \tilde{\eta}_1 = 0.684848 \quad \eta_4 = < 1$$

## Fase 2

### sezione efficace omogenea:

|                                      |                                    |         |
|--------------------------------------|------------------------------------|---------|
| area sezione efficace omogenea       | Aom = cm <sup>2</sup>              | 1091    |
| posizione asse neutro sez. reagente  | zn = cm                            | 94.18   |
| momento di inerzia efficace          | Jom = cm <sup>4</sup>              | 4345605 |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | Wys = cm <sup>3</sup>              | 94851   |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | Wyi = cm <sup>3</sup>              | 46139   |
| modulo di res. esterno soletta C.A.  | Wy <sub>cs</sub> = cm <sup>3</sup> | 60511   |
| modulo di res. interno soletta C.A.  | Wy <sub>ci</sub> = cm <sup>3</sup> | 94851   |
| modulo di res. min. trave acciaio    | Wel,min = cm <sup>3</sup>          | 46139   |
| posizione asse neutro plastico       | xpl = cm                           | 65.97   |
| modulo di resistenza plastico        | Wpl = cm <sup>3</sup>              | 40208   |

## RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.860119$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{sl1} &= 90 \text{ cm}^4 \\ I_{sl} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\tau-st} &= 0.00 \\ d_{eff,1} &= 134.40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}$$


$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5.92 \\ k_{ci} &= 5.92 \end{aligned} \right\}$$

$h_w / t = 67.20 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6296.35 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 258.71 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4798.41 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.063 < 1 \quad \tilde{\eta}_3 = 0.067 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$$

$$\tilde{\eta}_1 = 0.624194$$

$$M_{f,Rd} = 928275 \text{ kNcm}$$

$$\eta_4 = < 1$$

### Fase 3

sezione efficace omogenea:

|                                      |                           |         |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|
| area sezione efficace omogenea       | Aom = cm <sup>2</sup>     | 1726    |
| posizione asse neutro sez. reagente  | zn = cm                   | 115.84  |
| momento di inerzia efficace          | Jom = cm <sup>4</sup>     | 5770442 |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | Wys = cm <sup>3</sup>     | 238847  |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | Wyi = cm <sup>3</sup>     | 49814   |
| modulo di res. esterno soletta C.A.  | Wyys = cm <sup>3</sup>    | 115042  |
| modulo di res. interno soletta C.A.  | Wyis = cm <sup>3</sup>    | 238847  |
| modulo di res. min. trave acciaio    | Wel,min = cm <sup>3</sup> | 49814   |
| posizione asse neutro plastico       | xpl = cm                  | 65.97   |
| modulo di resistenza plastico        | Wpl = cm <sup>3</sup>     | 73873   |

### RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.860119$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{sl1} &= 90 \text{ cm}^4 \\ I_{sl} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\tau-st} &= 0.00 \\ d_{eff,1} &= 134.40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}$$


$$\begin{aligned} k_{\tau} &= 5.92 \\ k_{ci} &= 5.92 \end{aligned}$$

$h_w / t = 67.20 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6296.35 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 269.19 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4798.41 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.162 < 1 \quad \tilde{\eta}_3 = 0.171 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$$

$$\tilde{\eta}_1 = 0.624194$$

$$M_{f,Rd} = 928275 \text{ kNcm}$$

$$\eta_4 = < 1$$

Riepilogo:

|                | Fase1 | Fase2 | Fase3 | Ver.   |              |
|----------------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Piat. Inf.     | 0     | 0.021 | 0.003 | ✓ 0.02 | <1           |
| Piat. Sup.     | 0     | 0.153 | 0.057 | ✓ 0.21 | <1           |
| $\sigma_{ls}$  |       | 3.68  | 4     | ✓ 7.68 | <18.1 Mpa    |
| $\sigma_{acc}$ |       |       |       | ✓ 0.00 | <39.1 kg/cmq |
| Taglio         | 0.164 | 0.063 | 0.162 | ✓ 0.39 | <1           |

## 8.2.2 SEZIONE B

### Fase 1

#### VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVE NELLA FASE DI COSTRUZIONE

|  |   |  |        |                         |
|--|---|--|--------|-------------------------|
| Area resistente a taglio :                   | $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$  | $A_v =$                                    | 268.80 | cm <sup>2</sup>         |
| Limite di resistenza plastica a taglio :     | $V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$   | $V_{pl,Rd} =$                              | 5247   | kN                      |
| $V_{Ed,max} < 50\% V_{pl,Rd}$                | $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$   | $\rho =$                                   | 0.000  |                         |
| Verifica di resistenza per sezione di classe | 4   | $A_w =$                                    | 268.8  | cm <sup>2</sup>         |
|  |   | $\gamma_{M0} =$                            | 1.05   |                         |
|  |   | $f_d = f_y / \gamma_{M0} =$                | 33.81  | kN/cm <sup>2</sup>      |
|  |   |  |        | cm <sup>3</sup>         |
| $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$                   | 0.000   | $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A =$      | 0.353  |                         |
| $r = (1-n) / (1-0.5 \cdot a) =$              | 1.000   | $r =$ fattore di riduzione                 |        |                         |
| $N_{1,Rd} = 0.25 \cdot N_{pl,Rd} =$          | 6579  | $N_{2,Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 =$ | 4544   |                         |
| $N_{v,Rd} = A_w \cdot (1-\rho) \cdot f_y$    |   | $N_{Ed} \leq N_{v,Rd}$ (cl <= 2) =         | 0      | kN                      |
| $N_{Ed} < \min(N_{1,Rd}; N_{2,Rd})$          |   | NO carico assiale                          | 0.390  | -0.390                  |
| in assenza di taglio :                       | $R_{M,N} = M_{Ed} / M_{N,Rd}$ o $[N_{Ed}/A + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_y] / f_d =$                              |  | 0.390  | < 1                     |
| con taglio : cl. >= 3                        | $R_{M,N,v} = [N_{Ed}/A_{rid,v} + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_{y,rid,v}] / f_d$                                    |  |        |                         |
| con taglio : cl. <= 2                        | $M_{Nv,Rd} = [W_{pl,y} \cdot v / (4 \cdot t_w) \cdot (\rho \cdot A_w^2 + N_{Ed}^2 / (1-\rho) \cdot f_y^2)] \cdot f_d$ | $M_{Nv,Rd} =$                              |        | kNcm                    |
| $v =$ fattore di simmetria =                 | $2 \cdot [(1 - (z_G - t_f) / h_w)^2 + ((z_G - t_f) / h_w)^2] =$   | 1.00000                                    |        | per sez. di classe <= 2 |
| se $V_{z,Ed} > 50\% V_{pl,Rd}$               | resistenza dell'area di taglio ridotta del fattore (1- $\rho$ )   | $R_{M,N,v} =$                              |        | < 1                     |

|                         |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Area efficace ridotta : |   | caratteristiche sezione efficace ridotta per taglio |
| flangia superiore :     | $A_{fl,min} = 200.12$ cm <sup>2</sup>         | $A_r'' = 720.92$ cm <sup>2</sup>                    |
| flangia inferiore :     | $A_{fl,inf} = 200.12$ cm <sup>2</sup>         | $z_G'' = 65.06$ cm                                  |
| anima :                 | $A_w \cdot (1-\rho) = 156.89$ cm <sup>2</sup> | $J_{yr}'' = 2514691$ cm <sup>4</sup>                |
|                         | $A_{eff,v} = 557.12$ cm <sup>2</sup>          | $W_{eff,s} = 33557$ cm <sup>3</sup>                 |
|                         | $W_{pl,y,fl} = 27456$ cm <sup>3</sup>         | $W_{eff,i} = 38650$ cm <sup>3</sup>                 |
|                         | $W_{eff,y,pl} = 40091$ cm <sup>3</sup>        | $W_{eff,min} = 33557$ cm <sup>3</sup>               |

#### VERIFICA DI STABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA

Coefficiente di stabilita' a taglio per piatti irrigiditi :  $\gamma_{M1} = 1.05$

$$\left. \begin{aligned} k_t &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_t &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.860119$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{h_w}}$$

$I_{st1} = 90$  cm<sup>4</sup>  
 $I_{st} = 0$  cm<sup>4</sup>  
 $k_{t,st} = 0.00$   
 $d_{eff,1} = 134.40$  cm

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_t = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$

$k_z = 5.92$   
 $k_{z1} = 5.92$

$h_w / t = 67.20 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilita' per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6296.35 \quad V_{b,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{f,Rd}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 209.94 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4798.41 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.102 < 1 \quad \tilde{\eta}_3 = 0.106 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$   $M_{f,Rd} = 928275$  kNcm

$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}$   $\tilde{\eta}_1 = 0.684848$   $\eta_4 = < 1$

## Fase 2

### sezione efficace omogenea:

|                                      |                                    |         |
|--------------------------------------|------------------------------------|---------|
| area sezione efficace omogenea       | Aom = cm <sup>2</sup>              | 1091    |
| posizione asse neutro sez. reagente  | zn = cm                            | 94.18   |
| momento di inerzia efficace          | Jom = cm <sup>4</sup>              | 4345605 |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | Wys = cm <sup>3</sup>              | 94851   |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | Wyi = cm <sup>3</sup>              | 46139   |
| modulo di res. esterno soletta C.A.  | Wy <sub>cs</sub> = cm <sup>3</sup> | 60511   |
| modulo di res. interno soletta C.A.  | Wy <sub>ci</sub> = cm <sup>3</sup> | 94851   |
| modulo di res. min. trave acciaio    | Wel,min = cm <sup>3</sup>          | 46139   |
| posizione asse neutro plastico       | xpl = cm                           | 65.97   |
| modulo di resistenza plastico        | Wpl = cm <sup>3</sup>              | 40208   |

## RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.860119$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{sl1} &= 90 \text{ cm}^4 \\ I_{sl} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\tau-st} &= 0.00 \\ d_{eff,1} &= 134.40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}$$


$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5.92 \\ k_{ci} &= 5.92 \end{aligned} \right\}$$

$h_w / t = 67.20 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6296.35 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 226.40 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4798.41 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.039 < 1$$

$$\tilde{\eta}_3 = 0.041 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$

$$M_{f,Rd} = 928275 \text{ kNcm}$$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$$

$$\tilde{\eta}_1 = 0.624194$$

$$\eta_4 = < 1$$

### Fase 3

sezione efficace omogenea:

|                                      |                           |         |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|
| area sezione efficace omogenea       | Aom = cm <sup>2</sup>     | 1726    |
| posizione asse neutro sez. reagente  | zn = cm                   | 115.84  |
| momento di inerzia efficace          | Jom = cm <sup>4</sup>     | 5770442 |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | Wys = cm <sup>3</sup>     | 238847  |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | Wyi = cm <sup>3</sup>     | 49814   |
| modulo di res. esterno soletta C.A.  | Wyys = cm <sup>3</sup>    | 115042  |
| modulo di res. interno soletta C.A.  | Wyis = cm <sup>3</sup>    | 238847  |
| modulo di res. min. trave acciaio    | Wel,min = cm <sup>3</sup> | 49814   |
| posizione asse neutro plastico       | xpl = cm                  | 65.97   |
| modulo di resistenza plastico        | Wpl = cm <sup>3</sup>     | 73873   |

### RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.860119$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{sl1} &= 90 \text{ cm}^4 \\ I_{sl} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\tau-st} &= 0.00 \\ d_{eff,1} &= 134.40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} k_{\tau} = 5.92 \\ k_{ci} = 5.92 \end{array} \right.$$

$h_w / t = 67.20 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6296.35 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 181.23 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4798.41 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.120 < 1 \quad \tilde{\eta}_3 = 0.124 < 0,5$$

$$\text{per } \tilde{\eta}_3 > 0,5 \quad \eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$$

$$\tilde{\eta}_1 = 0.624194$$

$$M_{f,Rd} = 928275 \text{ kNcm}$$

$$\eta_4 = < 1$$

Riepilogo:

|                | Fase1 | Fase2 | Fase3 | Ver.    |              |
|----------------|-------|-------|-------|---------|--------------|
| Piat. Inf.     | 0.339 | 0.134 | 0.261 | ✓ 0.73  | <1           |
| Piat. Sup.     | 0.39  | 0.208 | 0.112 | ✓ 0.71  | <1           |
| $\sigma_{ls}$  |       | 5.29  | 10.45 | ✓ 15.74 | <18.1 Mpa    |
| $\sigma_{acc}$ |       |       |       | ✓ 0.00  | <39.1 kg/cmq |
| Taglio         | 0.102 | 0.039 | 0.12  | ✓ 0.26  | <1           |

### 8.2.3 SEZIONE C

#### Fase 1

#### VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVE NELLA FASE DI COSTRUZIONE

|  |   |  |
|--|---|--|
| Area resistente a taglio :   | $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$  | $A_v = 266.40$ cm <sup>2</sup>                       |
| Limite di resistenza plastica a taglio :   | $V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$   | $V_{pl,Rd} = 5200$ kN                                |
| $V_{Ed,max} < 50\% V_{pl,Rd}$  | $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$   | $\rho = 0.000$                                       |
| Verifica di resistenza per sezione di classe   | <b>4</b>  | $A_w = 266.4$ cm <sup>2</sup>                        |
|  |   | $\gamma_{M0} = 1.05$                                 |
|  |   | $f_d = f_y / \gamma_{M0} = 33.81$ kN/cm <sup>2</sup> |
| $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0.000$   | $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A = 0.309$   | $M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_d = 1728660$ kNcm      |
| $r = (1-n) / (1-0.5 \cdot a) = 1.000$  | $r =$ fattore di riduzione  | $M_{N,Rd} = W_y \cdot f_{d,rid} = 1465191$ kNcm      |
| $N_{1,Rd} = 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 7482$   | $N_{2,Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 = 4503$   | $N_{Ed} \leq N_{v,Rd}$ (cl <= 2) = <b>0</b> kN       |
| $N_{v,Rd} = A_w \cdot (1-\rho) \cdot f_y$  | $N_{Ed} < \min(N_{1,Rd}; N_{2,Rd})$   | NO carico assiale $0.467$ -0.440                     |
| in assenza di taglio :   | $R_{M,N} = M_{Ed} / M_{N,Rd}$ o $[N_{Ed}/A + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_y] / f_d =$                              | <b>0.467</b> < 1                                     |
| con taglio : cl. >= 3  | $R_{MN,v} = [N_{Ed}/A_{rid,v} + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_{y,rid,v}] / f_d$                                     |  |
| con taglio : cl. <= 2  | $M_{Nv,Rd} = [W_{pl,y} \cdot v / (4 \cdot t_w) \cdot (\rho \cdot A_w^2 + N_{Ed}^2 / (1-\rho) \cdot f_y^2)] \cdot f_d$ | $M_{Nv,Rd} =$ kNcm                                   |
| $v =$ fattore di simmetria = $2 \cdot [(1-(z_G-t)/h_w)^2 + (z_G-t)/h_w]^2 = 1.00000$ | per sez. di classe <= 2   |  |
| se $V_{z,Ed} > 50\% V_{pl,Rd}$   | resistenza dell'area di taglio ridotta del fattore (1- $\rho$ )   | $R_{M,N,v} =$ < 1                                    |

|                         |   |                                       |
|-------------------------|---|---------------------------------------|
| Area efficace ridotta : | caratteristiche sezione efficace ridotta per taglio |                                       |
| flangia superiore :     | $A_{fl,min} = 280.01$ cm <sup>2</sup>               | $A_r'' = 852.41$ cm <sup>2</sup>      |
| flangia inferiore :     | $A_{fl,inf} = 280.01$ cm <sup>2</sup>               | $z_G'' = 67.92$ cm                    |
| anima :                 | $A_w \cdot (1-\rho) = 156.63$ cm <sup>2</sup>       | $J_{yr}'' = 3123829$ cm <sup>4</sup>  |
|                         | $A_{eff,v} = 716.64$ cm <sup>2</sup>                | $W_{eff,s} = 43337$ cm <sup>3</sup>   |
|                         | $W_{pl,y,fl} = 38249$ cm <sup>3</sup>               | $W_{eff,i} = 45995$ cm <sup>3</sup>   |
|                         | $W_{eff,y,pl} = 49269$ cm <sup>3</sup>              | $W_{eff,min} = 43337$ cm <sup>3</sup> |

#### VERIFICA DI STABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA

Coefficiente di stabilita' a taglio per piatti irrigiditi :  $\gamma_{M1} = 1.05$

$$\left. \begin{aligned} k_t &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_t &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.876877$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{I_{st}}$$

|                                |
|--------------------------------|
| $I_{st1} = 89$ cm <sup>4</sup> |
| $I_{st} = 0$ cm <sup>4</sup>   |
| $k_{st} = 0.00$                |
| $d_{eff,1} = 133.20$ cm        |

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_t = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$

|                 |
|-----------------|
| $k_z = 5.89$    |
| $k_{z1} = 5.89$ |

$h_w / t = 66.60 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilita' per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6240.13 \quad V_{b,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{f,Rd}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 324.94 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4785.28 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.004 < 1 \quad \tilde{\eta}_3 = 0.004 < 0.5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0.5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$   $M_{f,Rd} = 1293170$  kNcm

$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}$   $\tilde{\eta}_1 = 0.776317$   $\eta_4 =$  < 1

## Fase 2

### sezione efficace omogenea:

|                                      |                           |         |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|
| area sezione efficace omogenea       | Aom = cm <sup>2</sup>     | 1240    |
| posizione asse neutro sez. reagente  | zn = cm                   | 94.18   |
| momento di inerzia efficace          | Jom = cm <sup>4</sup>     | 5032079 |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | Wys = cm <sup>3</sup>     | 109824  |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | Wyi = cm <sup>3</sup>     | 53430   |
| modulo di res. esterno soletta C.A.  | Wyys = cm <sup>3</sup>    | 70066   |
| modulo di res. interno soletta C.A.  | Wyci = cm <sup>3</sup>    | 109824  |
| modulo di res. min. trave acciaio    | Wel,min = cm <sup>3</sup> | 53430   |
| posizione asse neutro plastico       | xpl = cm                  | 66.02   |
| modulo di resistenza plastico        | Wpl = cm <sup>3</sup>     | 45685   |

## RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.876877$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{st1} &= 89 \text{ cm}^4 \\ I_{st} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\tau-st} &= 0.00 \\ d_{eff,1} &= 133.20 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$


$$\begin{aligned} k_{\tau} &= 5.89 \\ k_{ci} &= 5.89 \end{aligned}$$

$h_w / t = 66.60 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6240.13 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 391.07 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4785.28 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.004 < 1$$

$$\tilde{\eta}_3 = 0.004 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$

$$M_{f,Rd} = 1293170 \text{ kNcm}$$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$$

$$\tilde{\eta}_1 = 0.748077$$

$$\eta_4 = < 1$$

### Fase 3

#### sezione efficace omogenea:

|                                      |                           |         |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|
| area sezione efficace omogenea       | Aom = cm <sup>2</sup>     | 1962    |
| posizione asse neutro sez. reagente  | zn = cm                   | 115.84  |
| momento di inerzia efficace          | Jom = cm <sup>4</sup>     | 6651543 |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | Wys = cm <sup>3</sup>     | 275259  |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | Wyi = cm <sup>3</sup>     | 57422   |
| modulo di res. esterno soletta C.A.  | Wyys = cm <sup>3</sup>    | 132594  |
| modulo di res. interno soletta C.A.  | Wyis = cm <sup>3</sup>    | 275259  |
| modulo di res. min. trave acciaio    | Wel,min = cm <sup>3</sup> | 57422   |
| posizione asse neutro plastico       | xpl = cm                  | 66.02   |
| modulo di resistenza plastico        | Wpl = cm <sup>3</sup>     | 83976   |

### RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tot} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 1.876877$$

$$k_{tot} = 9 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left( \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{I_{st} h_w}$$

$$\begin{aligned} I_{st1} &= 89 \text{ cm}^4 \\ I_{st} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{\tau-st} &= 0.00 \\ d_{eff,1} &= 133.20 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con  $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$


$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5.89 \\ k_{\tau-i} &= 5.89 \end{aligned} \right\}$$

$h_w / t = 66.60 > 48.82$  necessaria verifica all'instabilità per taglio

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 6240.13 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 292.73 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 4785.28 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0.059 < 1$$

$$\tilde{\eta}_3 = 0.063 < 0,5$$

per  $\tilde{\eta}_3 > 0,5$   $\eta_4 = \tilde{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \tilde{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1$

$$M_{f,Rd} = 1293170 \text{ kNcm}$$

$$\tilde{\eta}_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$$

$$\tilde{\eta}_1 = 0.748077$$

$$\eta_4 = < 1$$

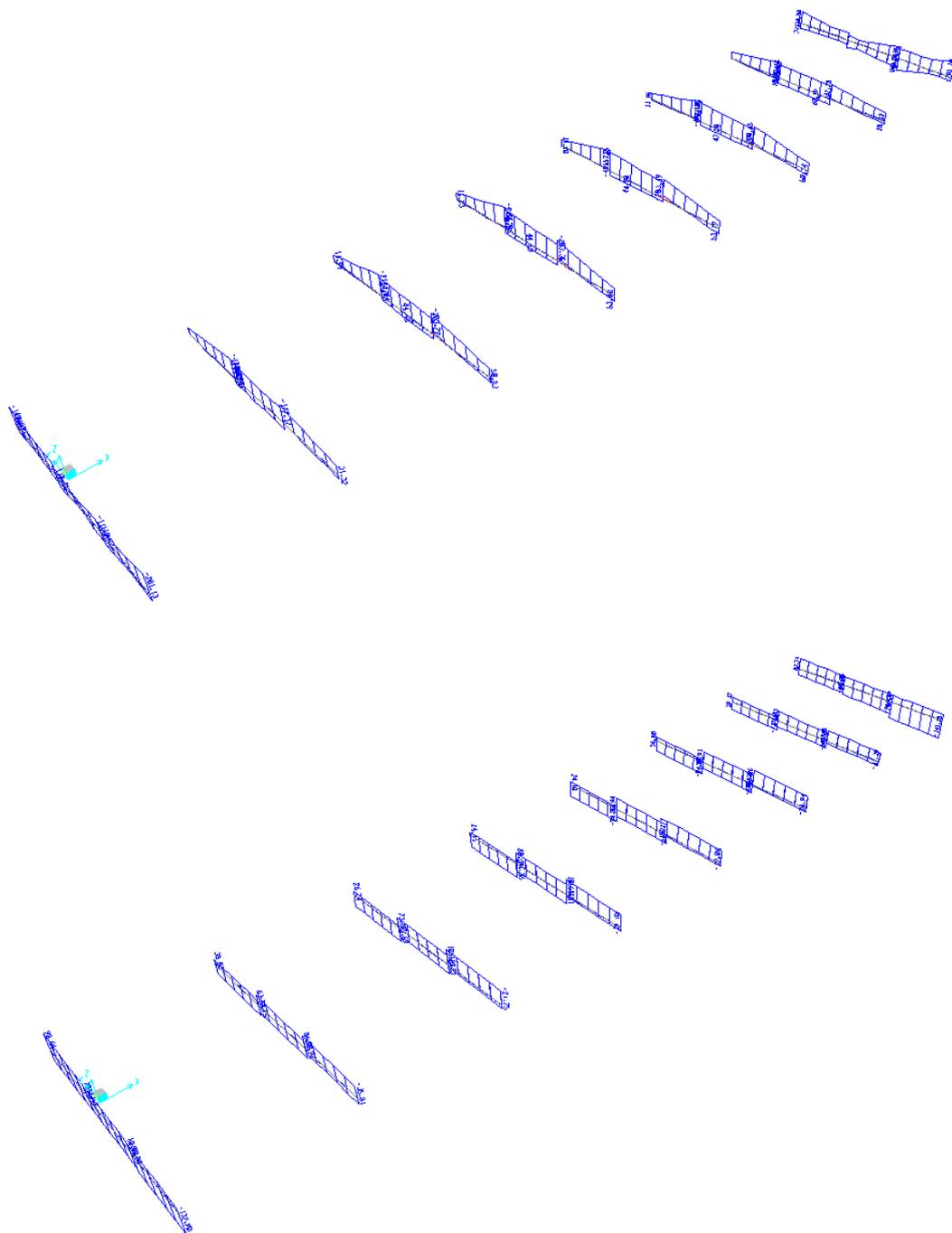
Riepilogo:

|                | Fase1 | Fase2 | Fase3 | Ver.    |              |
|----------------|-------|-------|-------|---------|--------------|
| Piat. Inf.     | 0.44  | 0.172 | 0.35  | ✓ 0.96  | <1           |
| Piat. Sup.     | 0.467 | 0.21  | 0.124 | ✓ 0.80  | <1           |
| $\sigma_{ls}$  |       | 5.34  | 12    | ✓ 17.34 | <18.1 Mpa    |
| $\sigma_{acc}$ |       |       |       | ✓ 0.00  | <39.1 kg/cmq |
| Taglio         | 0.04  | 0.04  | 0.059 | ✓ 0.14  | <1           |

### 8.3 VERIFICHE DIAFRAMMI

I diaframmi sono costituiti da una sezione in acciaio di tipo [HEB900](#).

Si riportano le sollecitazioni risultanti:



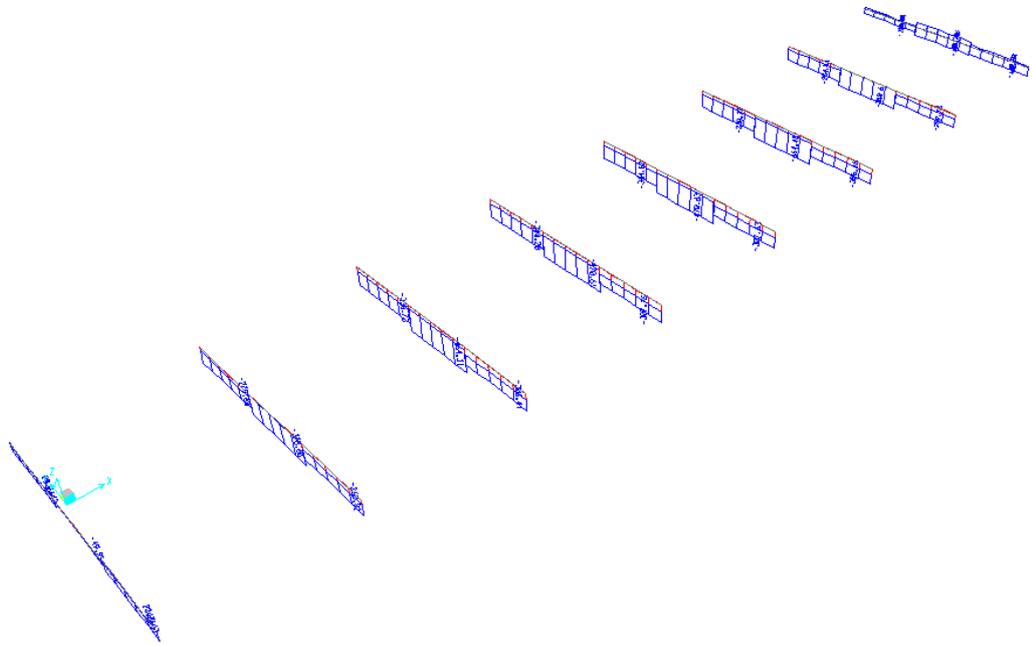
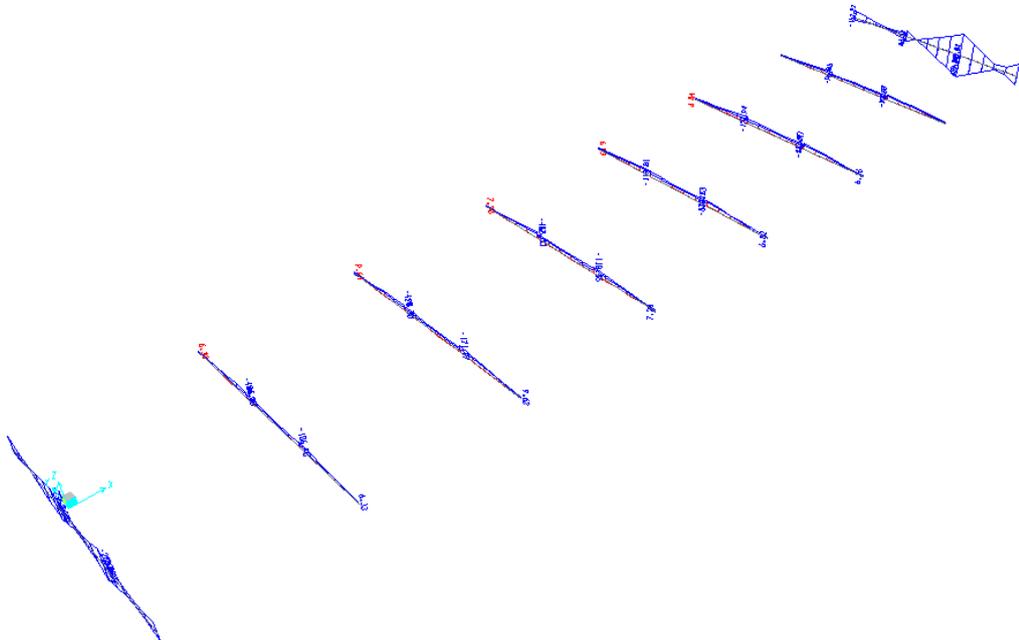


Figura 5. SLU M – V – N



| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 48 di 72 |

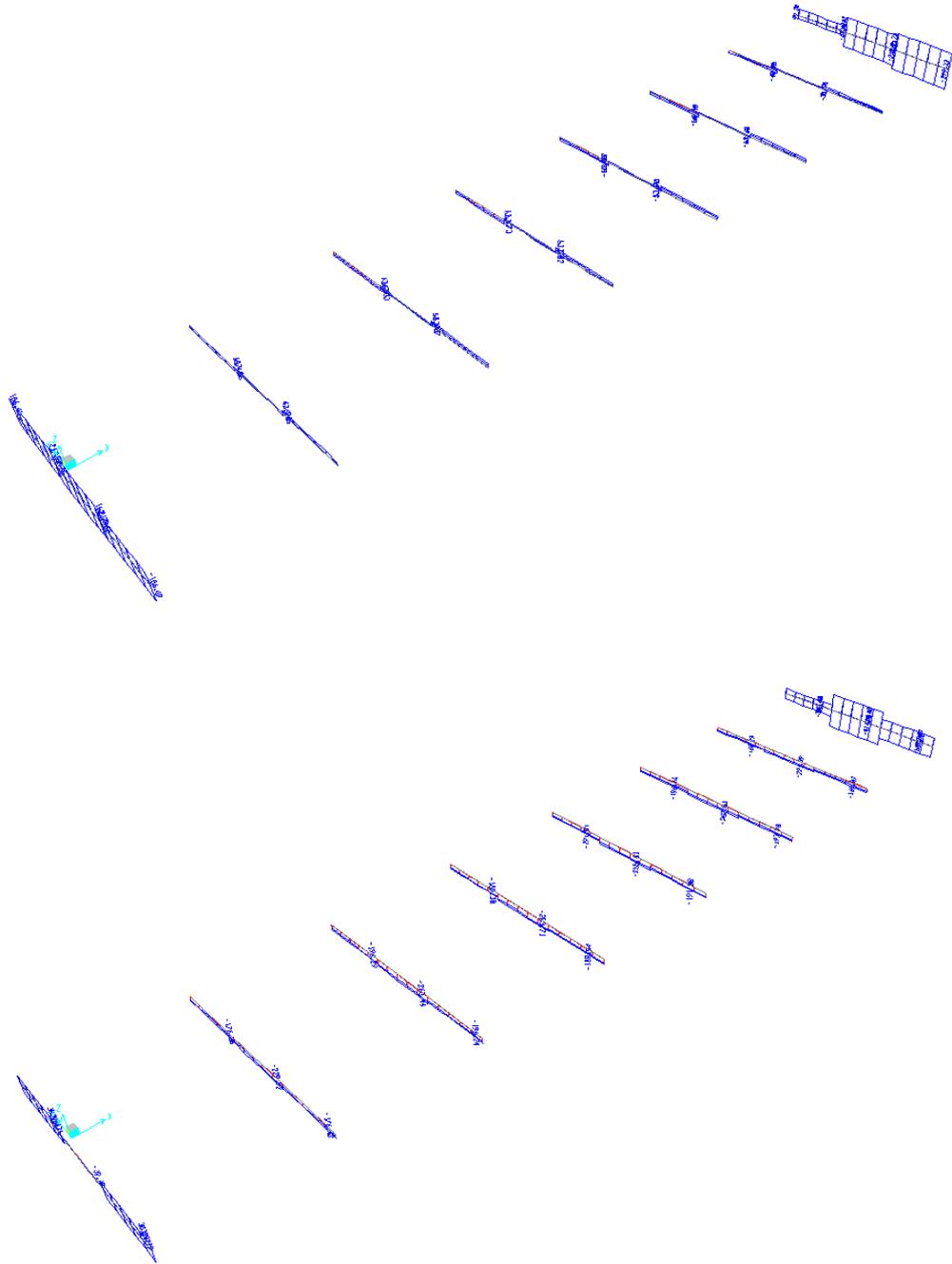


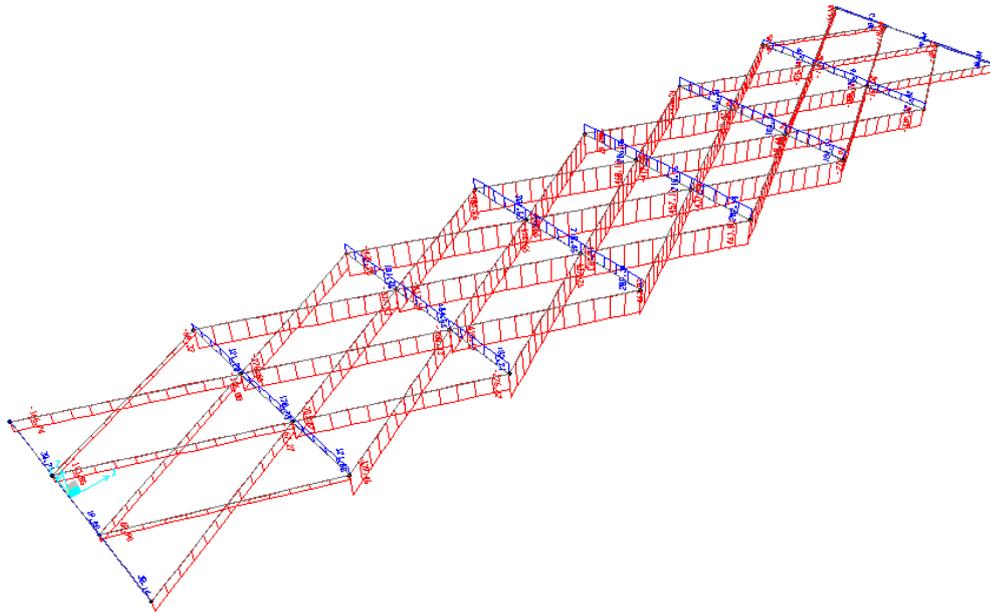
Figura 6. SLV M –V– N



## 8.4 VERIFICHE CONTROVENTI DI FALDA

I controventi sono costituiti da profili 2L 160x17. Tali elementi risultano necessari solo per la fase iniziale di getto, al fine di prevenire lo svergolamento delle travi principali.

### Fase1



Ned = -465/+210 kN

Si verifica a trazione/compressione la briglia superiore solo in questa fase, durante la quale la soletta non è collaborante fino a maturazione del getto di cls.

Profili L

File Tipo Profilo ?

L Uguali  L Disuguali

Doppi  Accosta lato corto

Ordina per  
 iy  
 ly  
 g

Acciaio S355 (Fe510) fy (N/mm2) 355 fu 510

Lunghezze di libera inflessione [m]  
 l<sub>0y</sub> 5.6 l<sub>0z</sub> 5.6 l<sub>0v</sub> 5.6

Aggiorna Tabella

| designation      | g (kg/m) | h (mm) | b (mm) | t (mm) | r1 (mm) | r2 (mm) |
|------------------|----------|--------|--------|--------|---------|---------|
| L 140 x 140 x 17 | 35.3     | 140    | 140    | 17.00  | 15.00   | 7.50    |
| L 150 x 150 x 16 | 35.9     | 150    | 150    | 16.00  | 16.00   | 8.00    |
| L 160 x 160 x 15 | 36.2     | 160    | 160    | 15.00  | 17.00   | 8.50    |
| L 150 x 150 x 18 | 40.1     | 150    | 150    | 18.00  | 16.00   | 8.00    |
| L 160 x 160 x 17 | 40.7     | 160    | 160    | 17.00  | 17.00   | 8.50    |
| L 180 x 180 x 16 | 43.5     | 180    | 180    | 16.00  | 18.00   | 9.00    |

Plotta

2 L 160 x 160 x 17 N<sub>by,Rd</sub> [kN] 1.094 N<sub>bv,Rd</sub> [kN] 519.9

g (Kg/m): 81.4 N<sub>bz,Rd</sub> [kN] 1.805

h (mm): 160 A (cm2): 103.6

b (mm): 160 I<sub>y</sub> (cm4): 2.450 W<sub>z</sub> (cm3): 310.0 I<sub>v</sub> (cm4): 505.8

t (mm): 17 W<sub>y</sub> (cm3): 214.3 I<sub>z</sub> (cm): 7.025 I<sub>v</sub> (cm): 3.124

r1 (mm): 17 I<sub>y</sub> (cm): 4.863 I<sub>u</sub> (cm4): 1.945

r2 (mm): 8.5 I<sub>z</sub> (cm4): 5.115 I<sub>u</sub> (cm): 6.127

Classe Sezione  
Compressione 4

Resistenza all'instabilità - EC3 #6.3.1

2 L 160 x 160 x 17 Acciaio S355 (Fe510) fy (N/mm2) 355

$\gamma_{M1} = 1.05$   $\beta_A = 1.0$   $\epsilon = 0.81$   $\lambda_1 = 93.9$   $\epsilon = 76.4$

|  |   | Instabilità attorno all'asse |          |         |
|--|---|------------------------------|----------|---------|
|  |   | y - y                        | z - z    | v - v   |
| Snellezza  | $\lambda$   | 115.16                       | 79.71    | 179.26  |
| Snellezza adimensionale                                      | $\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1$ $\beta_A^{0.5}$ | 1.5074                       | 1.0435   | 2.3465  |
| Curva di instabilità   |   | c                            | c        | c       |
| Coefficiente di imperfezione                                 | $\alpha$  | 0.49                         | 0.49     | 0.49    |
| $\phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2)^2 + \lambda^2]$ |   | 1.9564                       | 1.2511   | 3.779   |
| $\chi = 1 / [\phi + (\phi^2 - \lambda^2)^{0.5}]$             |   | 0.3121                       | 0.5151   | 0.1483  |
| N <sub>b,Rd</sub> = $\chi \beta_A A f_y / \gamma_{M1}$ (kN)  |   | 1093.928                     | 1805.285 | 519.873 |

N<sub>b,Rd</sub> = 519 kN > 465 kN

## 9. VERIFICHE SLE

### 9.1.1 FATICA

Le verifiche a fatica sono eseguite in conformità al D.M. 17/01/2018 (carichi di progetto e coefficienti di sicurezza), ed alle indicazioni riportate della Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 Febbraio 2009, n. 617, relative alle metodologie ed i particolari costruttivi (par. C.4.2.4.1.4.).

I ponti a sezione composta sono soggetti ad azioni dinamiche variabili nel tempo, e possono manifestare, in tempi più o meno lunghi, problemi legati alla fatica, con conseguente limitazione della funzionalità in esercizio e, nelle situazioni più critiche, il collasso della struttura.

L'esecuzione delle verifiche di resistenza a fatica dei componenti degli impalcati metallici o a sezione composta prevede l'individuazione dei dettagli maggiormente sensibili e la loro classificazione in base alle curve S-N, nonché alla scelta del relativo coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_{Mf}$ . Il coefficiente  $\gamma_{Mf}$  dipende sia dalla accessibilità per l'ispezione, sia dall'entità delle conseguenze delle crisi per fatica dell'elemento o della struttura. Si possono utilizzare due diversi approcci progettuali:

- **critero del danneggiamento accettabile** per strutture poco sensibili alla rottura per fatica.
- **critero della vita utile a fatica** per strutture sensibili alla rottura per fatica.

| Criteri di valutazione     | Conseguenze moderate<br>( $\gamma_{Mf}$ ) | Conseguenze significative<br>( $\gamma_{Mf}$ ) |
|----------------------------|---|--|
| Danneggiamento accettabile | 1,00                                      | 1,15   |
| Vita utile a fatica        | 1,15                                      | 1,35   |

Tabella 7.1 - Coefficienti parziali  $\gamma_{Mf}$

La verifica a fatica può essere condotta controllando che i valori massimi dei delta di tensione sulla struttura siano inferiori ai limiti di fatica per i diversi dettagli costruttivi (verifica per "Vita Illimitata") oppure controllando che, per un definito numero di cicli di tensione, la struttura possa subire delta di tensione in grado di creare danneggiamento ma con effetto complessivo non significativo nella vita di progetto dell'opera (verifica a "Danneggiamento").

I modelli di carico da utilizzarsi per la verifica a fatica degli impalcati stradali sono:

- il modello di carico LM1 costituito da dallo schema di carico 1, ma con valori dei carichi concentrati ridotti del 30 % e carichi distribuiti ridotti del 70 % (utilizzabile per verifiche a vita illimitata);

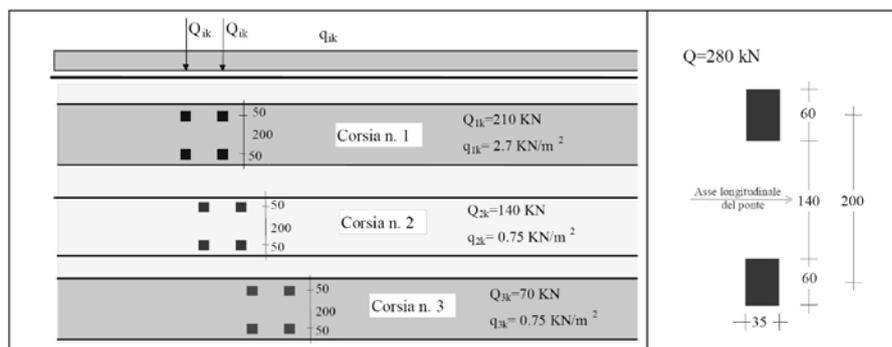


Figura 7.1 - Modello di carico a fatica LM1

- il modello di carico LM2 costituito da un set di veicoli con ingombro geometrico e peso definiti (utilizzabile per verifiche a vita illimitata);

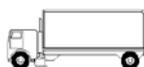
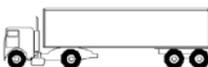
| SAGOMA del VEICOLO  | Distanza tra gli assi (m)    | Carico frequente per asse (kN) | Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX) |
|---|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|  | 4,5                          | 90<br>190                      | A<br>B                      |
|  | 4,20<br>1,30                 | 80<br>140<br>140               | A<br>B<br>B                 |
|  | 3,20<br>5,20<br>1,30<br>1,30 | 90<br>180<br>120<br>120<br>120 | A<br>B<br>C<br>C<br>C       |
|  | 3,40<br>6,00<br>1,80         | 90<br>190<br>140<br>140        | A<br>B<br>B<br>B            |
|  | 4,80<br>3,60<br>4,40<br>1,30 | 90<br>180<br>120<br>110<br>110 | A<br>B<br>C<br>C<br>C       |

Figura 7.2 - Modello di carico a fatica LM2

- il modello di carico LM3, che si compone di un veicolo convenzionale dal peso complessivo di 480 kN (utilizzabile per verifiche a danneggiamento)

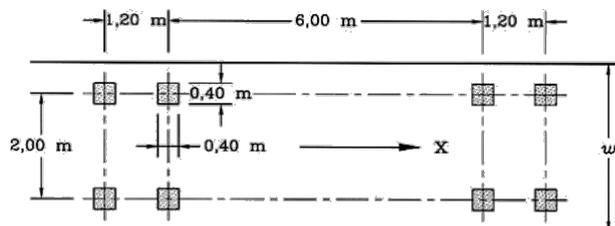


Figura 7.3 -. Modello di carico a fatica LM3 (4 assi da 120 kN)

- il modello di carico LM4 costituito da un set di veicoli con ingombro geometrico e peso definiti (utilizzabile per verifiche a danneggiamento)

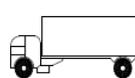
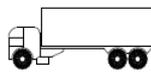
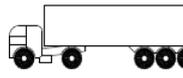
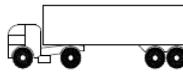
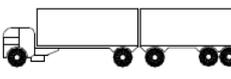
| Sagoma del veicolo  | Tipo di pneumatico (Tab.5.1-IX) | Interassi [m]                | Valori equivalenti dei carichi asse [kN] | Composizione del traffico |                   |                 |
|---|---------------------------------|------------------------------|--|---------------------------|-------------------|-----------------|
|   |                                 |                              |  | Lunga percorrenza         | Media percorrenza | Traffico locale |
|  | A<br>B                          | 4,50                         | 70<br>130                                | 20,0                      | 40,0              | 80,0            |
|  | A<br>B<br>B                     | 4,20<br>1,30                 | 70<br>120<br>120                         | 5,0                       | 10,0              | 5,0             |
|  | A<br>B<br>C<br>C                | 3,20<br>5,20<br>1,30<br>1,30 | 70<br>150<br>90<br>90                    | 50,0                      | 30,0              | 5,0             |
|  | A<br>B<br>B<br>B                | 3,40<br>6,00<br>1,80         | 70<br>140<br>90<br>90                    | 15,0                      | 15,0              | 5,0             |
|  | A<br>B<br>C<br>C<br>C           | 4,80<br>3,60<br>4,40<br>1,30 | 70<br>130<br>90<br>80<br>80              | 10,0                      | 5,0               | 5,0             |

Figura 7.4 -. Modello di carico a fatica LM4

Le verifiche a fatica per vita illimitata sono condotte, per dettagli caratterizzati da limite di fatica ad ampiezza costante, controllando che il massimo delta di tensione  $\Delta\sigma_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$  indotto nel dettaglio stesso dallo spettro di carico significativo risulti minore del limite di fatica del dettaglio stesso. Ai fini del calcolo del  $\Delta\sigma_{\max}$  si possono impiegare, in alternativa, i modelli di carico di fatica 1 e 2, disposti sul ponte nelle due configurazioni che determinano la tensione massima e minima, rispettivamente, nel dettaglio considerato.

$$\gamma_F \cdot \Delta\sigma_{\max} \leq \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}$$

Le verifiche a danneggiamento consistono nel verificare che nel dettaglio considerato lo spettro di carico produca un danneggiamento  $D \leq 1$ . Il danneggiamento  $D$  è valutato mediante la legge di Palmgren-Miner, considerando la curva S-N caratteristica del dettaglio e la vita nominale dell'opera.

$$D = \sum_{i=1}^p D_i = \sum_{i=1}^p \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

Tali verifiche sono condotte considerando lo spettro di tensione indotto nel dettaglio dal modello di fatica semplificato n. 3, o, in alternativa, dallo spettro di carico equivalente costituente il modello di fatica n. 4.

In alcuni casi è possibile ricondurre la verifica a danneggiamento alla determinazione del delta di tensione equivalente  $\Delta\sigma_E$  mediante una serie di coefficienti  $\lambda$ , opportunamente calibrati, funzione della luce della campata, del volume di traffico atteso, della vita di progetto dell'opera e della simultaneità di più veicoli lenti nella carreggiata:

$$\Delta\sigma_E = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot \varphi_{fat} \cdot [\sigma_{FLM,max} - \sigma_{FLM,min}] = \lambda \cdot \varphi_{fat} \cdot \Delta\sigma_{\max}$$

con  $\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \leq \lambda_{\max}$ .

Il coefficiente dinamico equivalente  $\varphi_{fat}$  per ponti stradali è assunto diverso dall'unità solo nelle prossimità dei giunti di dilatazione. In definitiva, si conduce la verifica a danneggiamento controllando che risulti

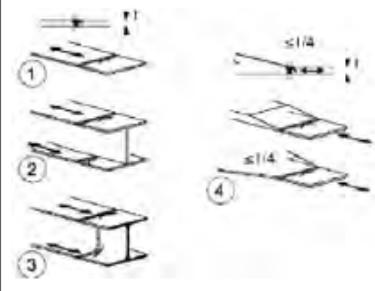
$$\gamma_F \cdot \Delta\sigma_E(\lambda) \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}}$$

Le "Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" definisce le diverse categorie di dettagli ed i valori caratteristici dei delta di tensione resistenti, determinati a  $2 \cdot 10^6$  cicli. Le sezioni critiche maggiormente significative sono le giunzioni di testa saldate a completa penetrazione, gli impilaggi delle lamiere e le giunzioni saldate degli elementi secondari con le travi principali.

Nel caso in esame **le verifiche sono condotte a vita illimitata con riferimento al modello di carico LM1.**

In particolare si fa riferimento ad:

Tabella C4.2.XIV - Dettagli costruttivi per saldature a piena penetrazione ( $\Delta\sigma$ )

| Classe del dettaglio | Dettaglio costruttivo   | Descrizione  | Requisiti   |
|----------------------|---|--|---|
| 112                  |  | <p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Giunti trasversali in piatti e lamiera</li> <li>2) Giunti di anime e piattabande in travi composte eseguiti prima dell'assemblaggio</li> <li>3) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico</li> <li>4) Giunti trasversali di lamiera e piatti con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4. Nelle zone di transizione gli intagli nelle saldature devono essere eliminati</li> </ol> <p>Per spessori <math>t &gt; 25</math> mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente<br/> <math>k_s = (25/t)^{0.2}</math></p> | <p>Saldature effettuate da entrambi i lati, molate in direzione degli sforzi e sottoposte a controlli non distruttivi</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>3) Vale solo per profilati tagliati e risaldati</p> |

Per cui:

$$\Delta\sigma_D = 0,737\Delta\sigma_C; \quad \Delta\sigma_L = 0,549\Delta\sigma_C \quad [C4.2.95]$$

$$\Delta\sigma_d = 0.737 * 112 = 82.5 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_L = 0.549 * 112 = 61.5 \text{ MPa}$$

Inoltre:

$$k_s = (25/t)^{0.2}$$

ad esempio, per una piattabanda di spessore 50mm risulta:

$$k_s = (25/50)^{0.2} = 0.87$$

Deve risultare dunque:

*Verifica a vita illimitata.*

La verifica a vita illimitata si esegue controllando che sia:

$$\Delta\sigma_{\max,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_D \quad [4.2.55]$$

Per cui l'escursione massima deve risultare:

$$\Delta\sigma_{\max,d} = \Delta\sigma_d * k_s / \gamma_{Mf} = 82.5 \text{ MPa} * 0.87 / 1.35 = 53.2 \text{ MPa}$$



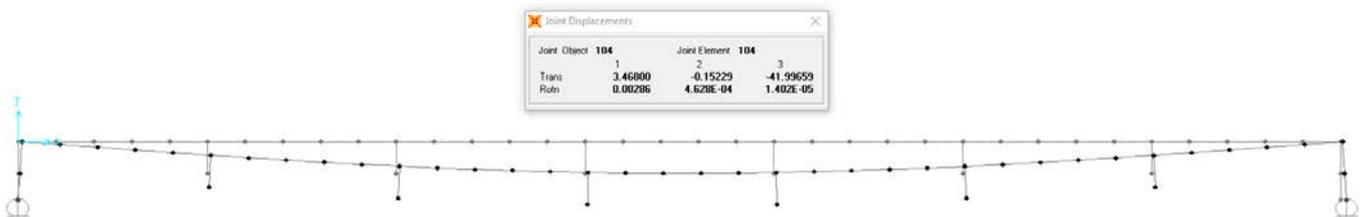
Figura 7.5 -. Momento flettente (kN\*m)

|   | <i>kN*m</i> | <i>MPa</i>                | <i>MPa</i>                | <i>MPa</i>         | <i>MPa</i>         |      |      |
|---|-------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|------|------|
|   | $\Delta M$  | $\Delta\sigma$ piatt. sup | $\Delta\sigma$ piatt. Inf | $\Delta\sigma$ amm | $\Delta\sigma$ amm | Ver. | Ver. |
| A | 0           | 0.0                       | 0.0                       | 59.8               | 59.8               | OK   | OK   |
| B | 1816        | 7.6                       | 36.5                      | 59.8               | 59.8               | OK   | OK   |
| C | 2762        | 10.2                      | 46.7                      | 57.5               | 57.5               | OK   | OK   |

Le verifiche risultano dunque soddisfatte in quanto  $\Delta\sigma < \Delta\sigma_{max_d}$

### 9.1.2 ABBASSAMENTI

La verifica di deformabilità dell'impalcato è stata effettuata valutando la freccia indotta dal carico accidentale veicolare che risulta pari a 42.0mm, valore inferiore a 45.7 mm pari ad  $L/700 = 32/700$  della luce dell'impalcato. Si riporta nel seguito una rappresentazione della deformata dell'impalcato con indicazione numerica dello spostamento massimo.



## 10. REAZIONI AGLI APPOGGI

### 10.1 SCHEMA APPOGGI

Lo schema dei vincoli della travata metallica è il seguente:

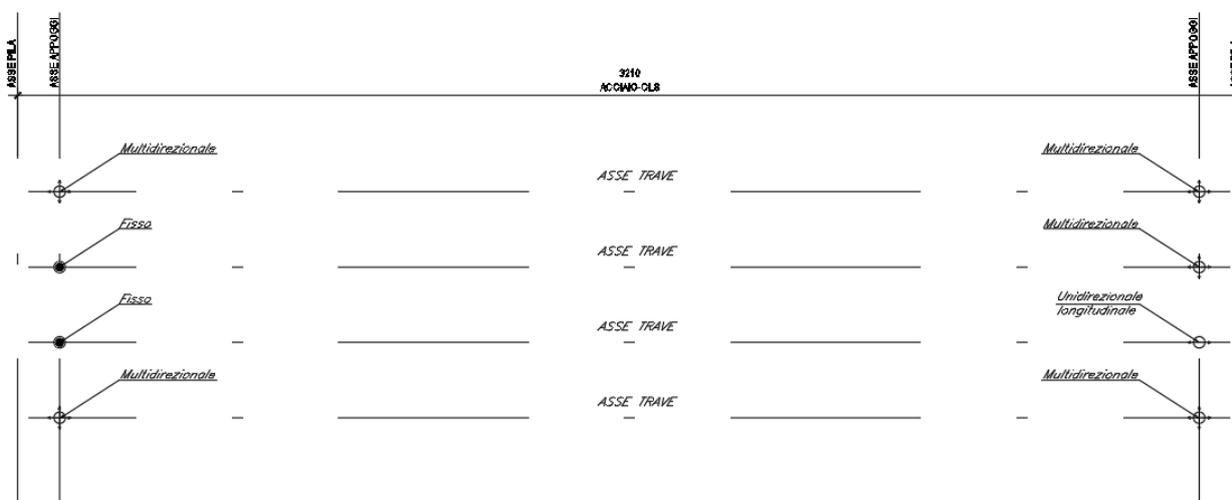


Figura 6. Schema appoggi

Si riportano di seguito le reazioni agli appoggi:

F = vincolo fisso;

U = vincolo unidirezionale disposto in direzione longitudinale;

M = vincolo multidirezionale;

### 10.2 REAZIONI APPOGGI

Si riportano di seguito le reazioni agli appoggi:

| FISSO |      | UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE |       | MULTIDIREZIONALE |
|-------|------|------------------------------|-------|------------------|
| Nmax  | Hmax | Nmax                         | HTmax | Nmax             |
| SLU   | SIS  | SLU                          | SIS   |                  |
| 2300  | 2000 |                              |       |                  |
|       |      | 2000                         | 1600  |                  |
|       |      |                              |       | 2500             |

## 11. EFFETTI LOCALI

La soletta in cls viene realizzata con getto in opera su predalles tralicciate prefabbricate. Le predalles autoportanti vanno pertanto verificate in fase di getto del cls. Generalmente il getto avviene in due fasi: la prima fase prevede il getto della soletta tra le travi e la seconda fase prevede il completamento ovvero gli sbalzi.

### 11.1 VERIFICA DELLA SOLETTA

Si considera una striscia di soletta pari ad 1 m.

La soletta è completa e deve sopportare i carichi permanenti portati ed i carichi mobili previsti dalla normativa.

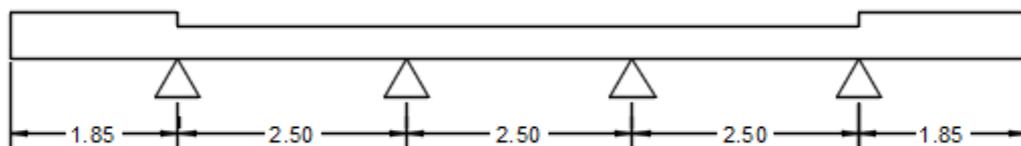


Figura 7. Schema statico

#### 11.1.1 ANALISI DEI CARICHI

##### 11.1.1.1 CARICHI PERMANENTI PORTATI

|   |                   |             |
|---|-------------------|-------------|
| - Soletta                                 | $25 * 0.30$       | = 7.5 kN/m  |
| - Cordolo                                 | $25 * (0.5-0.30)$ | = 5.0 kN/m  |
| - Marciapiede                             |                   | = 3.00 kN/m |
| - Pavimentazione                          |                   | = 3.00 kN/m |
| - Barriere antirumore, parapetti, velette |                   | = 4.5 kN    |
| - Guard rail                              |                   | = 1.00 kN   |

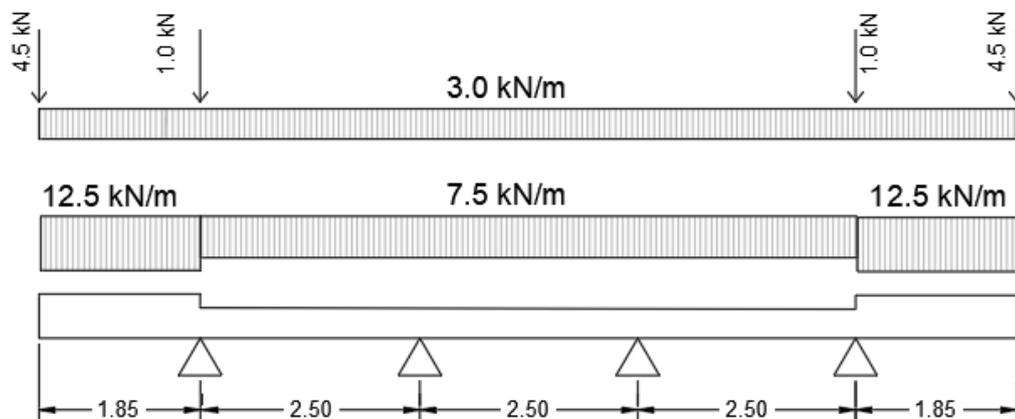


Figura 8: carichi permanenti sulla soletta

#### 11.1.1.2 TRAFFICO

I carichi variabili da traffico sono definiti nel 5.1.3.3.3 della NTC 2018.

Le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dai seguenti schemi di carico:

**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.

**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.

**Schema di Carico 3:** è costituito da un carico isolato da 150kN con impronta quadrata di lato 0,40m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi non protetti da sicurvia.

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

**Schema di Carico 5:** costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m<sup>2</sup>. Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m<sup>2</sup>. Il carico folla deve essere

applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

Vedi capitoli precedenti per la configurazione geometrica dei carichi mobili.

### Diffusione dei carichi concentrati

I carichi concentrati da considerarsi ai fini delle verifiche locali ed associati agli Schemi di Carico 1, 2, 3 e 4 si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire secondo un angolo di  $45^\circ$ , fino al piano medio della struttura della soletta sottostante.

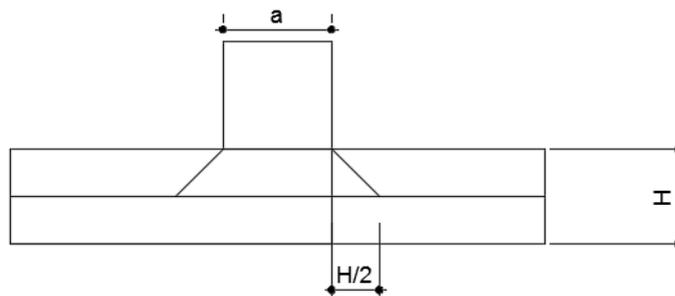


Figura 9: diffusione soletta

Per tener conto dell'effetto lastra, si diffonde il carico verso le travi principali con un angolo di  $26.7^\circ$ .

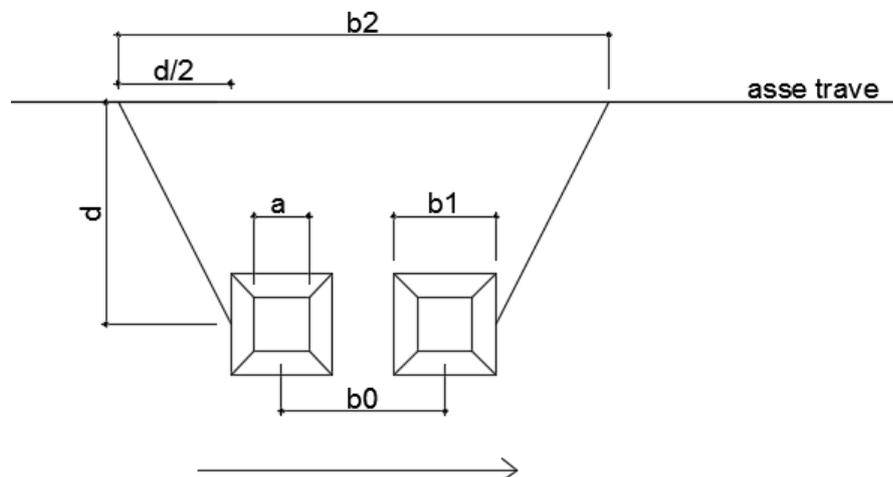


Figura 10: diffusione verso trave

In cui si è indicato con:

a= larghezza impronta di carico

H=altezza soletta

d=distanza carico/trave

b0=distanza carico tandem

di conseguenza si ricavano le altre grandezze:

$$b1 = a + 2 \cdot H/2$$

$$b2 = b0 + b1 + 2 \cdot d/2$$

il carico sulla striscia unitaria sarà pertanto:

$$F = Q_i/d$$

### IMPRONTA DI CARICO 1

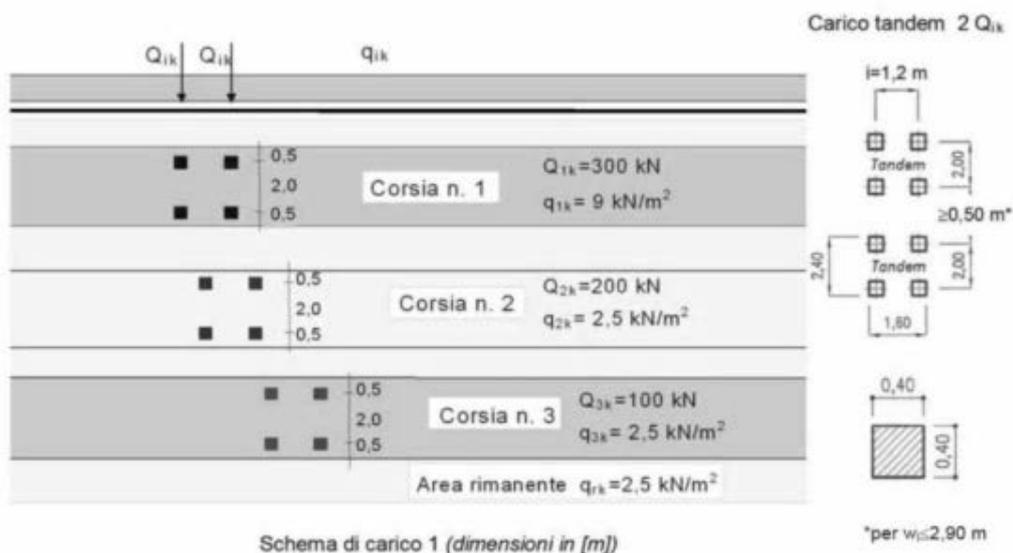


Figura 11: impronta di carico 1

## IMPRONTA DI CARICO 2

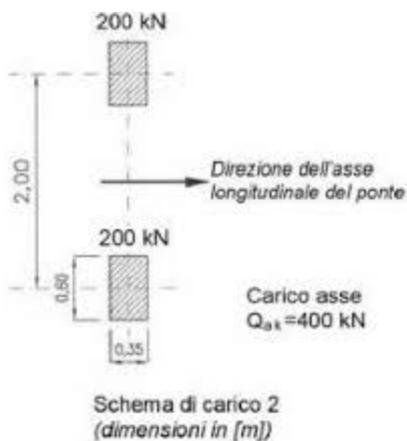


Figura 12: impronta di carico 2

## DISPOSIZIONE DEI CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO

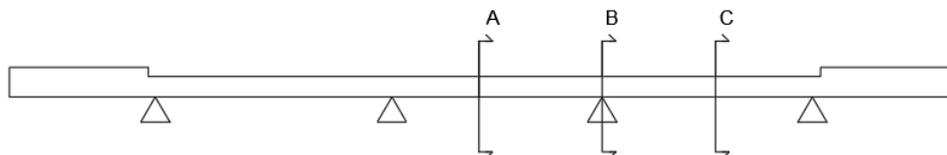


Figura 13: sezioni di interesse per la massimizzazione delle sollecitazioni

Il posizionamento dei carichi variabili da traffico viene eseguito in modo tale da massimizzare le azioni in corrispondenza delle sezioni A-A, B-B, C-C.

Le configurazioni di carico verranno illustrate nelle figure che seguono (con un tratteggio pieno si indica "l'area di carico rimanente"):

**Condizione di carico 1**

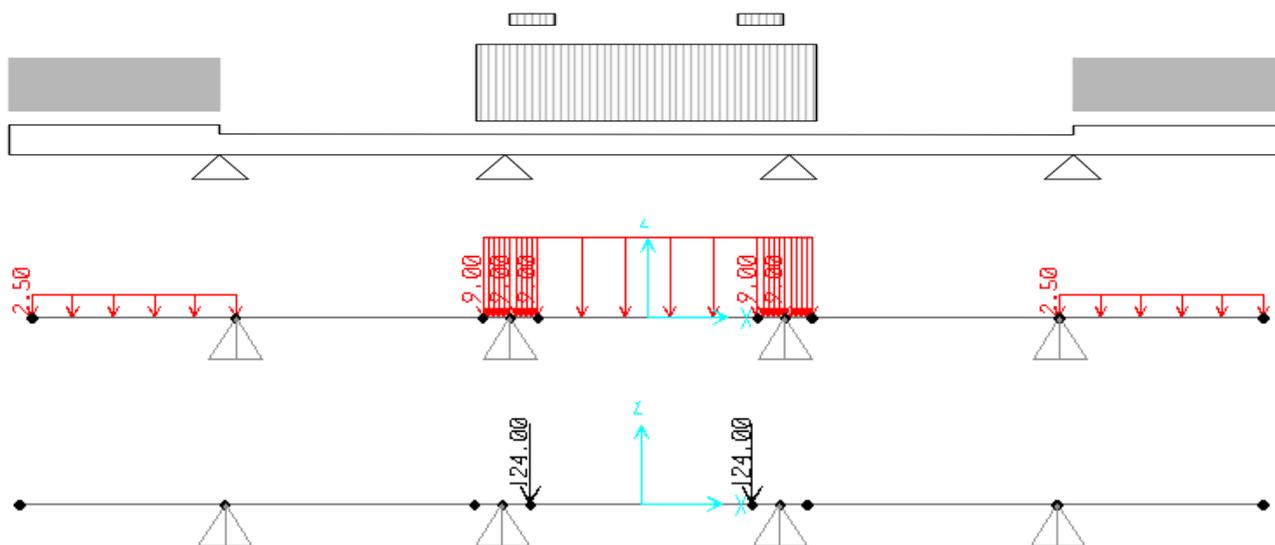


Figura 14: condizione di carico 1

**Condizione di carico 2**

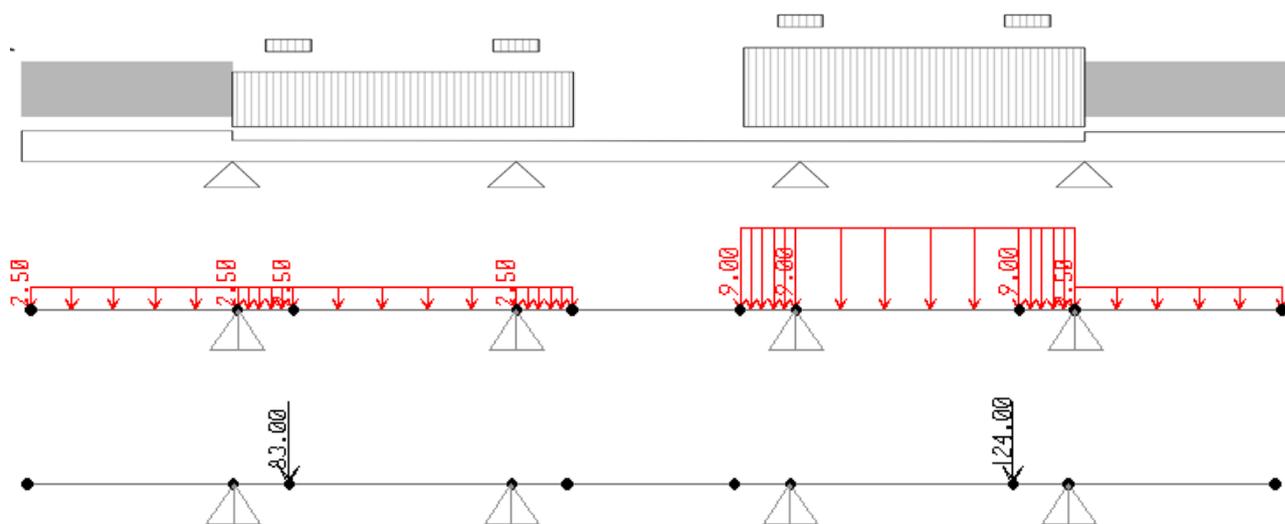


Figura 15: condizione di carico 2

### Condizione di carico 3

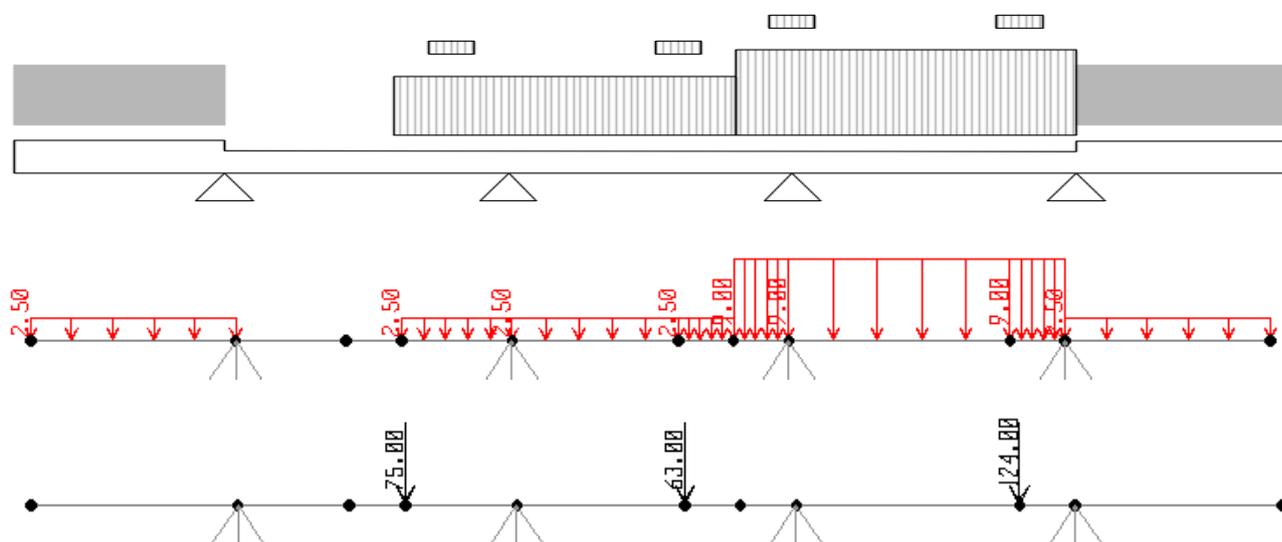


Figura 16: condizione di carico 3

Le corrispondenti forze valgono:

#### CASO 1

|          |    | Q   | Pav. | H sol | a    | b0   | d    | b1   | b2   | F   |
|----------|----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| Tandem 1 | sx | 300 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0.25 | 0.96 | 2.41 | 124 |
|          | dx | 300 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0.25 | 0.96 | 2.41 | 124 |

#### CASO 2

|          |    | Q   | Pav. | H sol | a    | b0   | d    | b1   | b2   | F   |
|----------|----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| Tandem 1 | sx | 300 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0    | 0.96 | 2.16 | 139 |
|          | dx | 300 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0.25 | 0.96 | 2.41 | 124 |

|          |    | Q   | Pav. | H sol | a    | b0   | d    | b1   | b2   | F  |
|----------|----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|----|
| Tandem 2 | sx | 200 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0.25 | 0.96 | 2.41 | 83 |
|          | dx | 200 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0    | 0.96 | 2.16 | 93 |

#### CASO 3

|          |    | Q   | Pav. | H sol | a    | b0   | d    | b1   | b2   | F   |
|----------|----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| Tandem 1 | sx | 300 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0    | 0.96 | 2.16 | 139 |
|          | dx | 300 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0.25 | 0.96 | 2.41 | 124 |

|          |    | Q   | Pav. | H sol | a    | b0   | d   | b1   | b2   | F  |
|----------|----|-----|------|-------|------|------|-----|------|------|----|
| Tandem 2 | sx | 200 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 0.5 | 0.96 | 2.66 | 75 |
|          | dx | 200 | 0.13 | 0.3   | 0.40 | 1.20 | 1   | 0.96 | 3.16 | 63 |

Vengono di seguito riportati gli involupei dei diagrammi di momento flettente e taglio. Le sollecitazioni sono ottenute con carichi già fattorizzati allo stato limite ultimo .

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

con

Combinazione SLU

$$\gamma_{G1} = 1.35 \quad (\text{carichi strutturali})$$

$$\gamma_{G2} = 1.50 \quad (\text{carichi non strutturali})$$

$$\gamma_{Q1} = 1.35 \quad (\text{carichi variabili da traffico})$$

Combinazione SLE-rara/frequente/QP

$$\gamma_{G1} = 1.00/1.00/1.00 \quad (\text{carichi strutturali})$$

$$\gamma_{G2} = 1.00/1.00/1.00 \quad (\text{carichi non strutturali})$$

$$\gamma_{Q1} = 1.00/0.75/0.00 \quad (\text{carichi variabili da traffico})$$

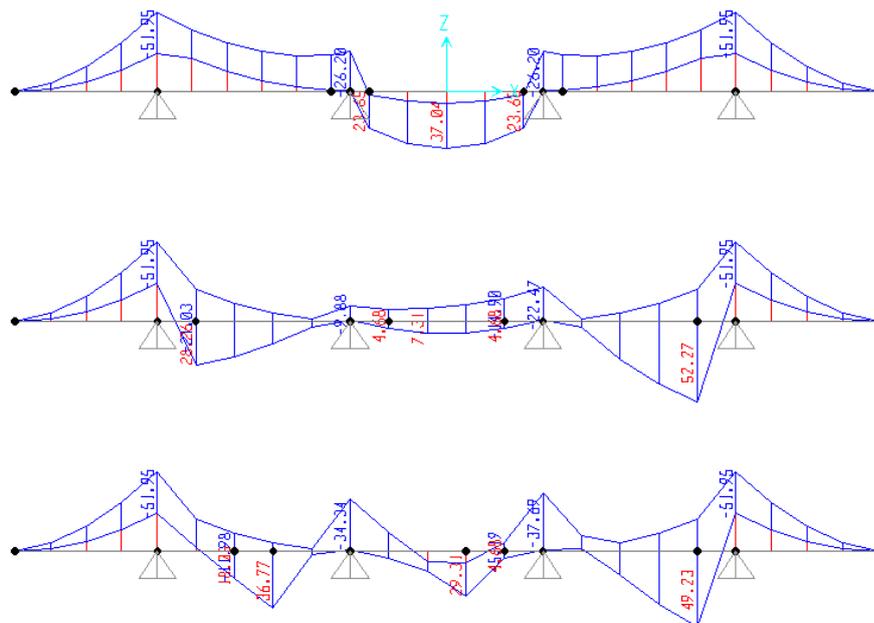


Figura 17: involuipo momento flettente SLU

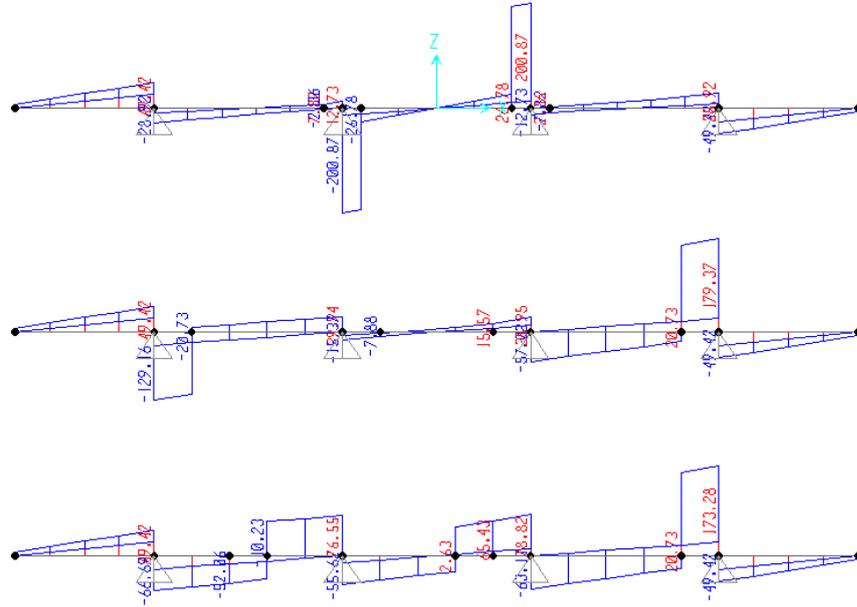


Figura 18: involuipo del taglio SLU

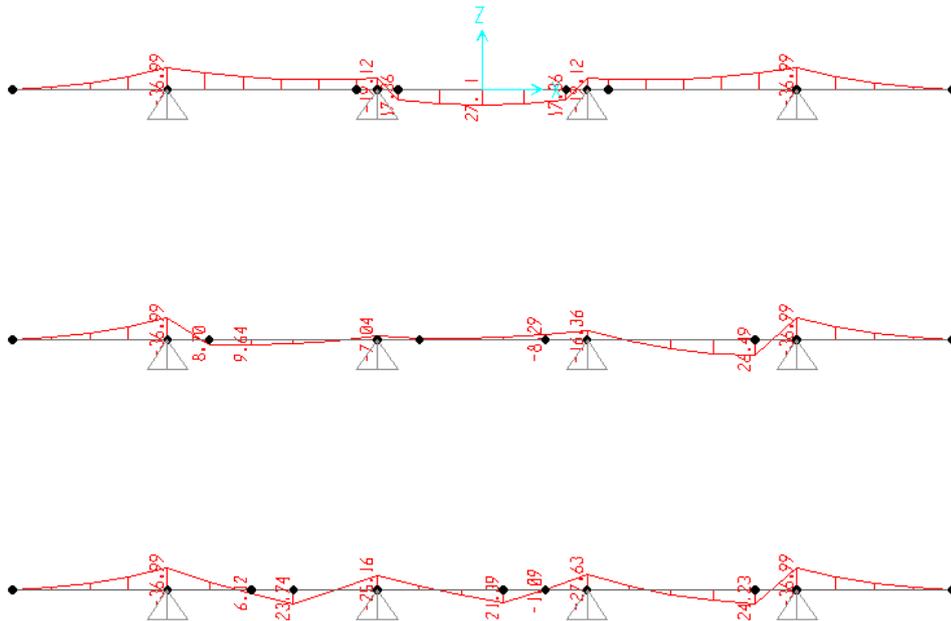


Figura 19: involuipo momento flettente SLE-rara

## Verifica delle sezioni

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                              |  |                             |
|------------------------------|--|-----------------------------|
| CALCESTRUZZO -               | Classe:  | C32/40                      |
|                              | Resis. compr. di progetto fcd:                       | 18.800 MPa                  |
|                              | Def.unit. max resistenza ec2:                        | 0.0020                      |
|                              | Def.unit. ultima ecu:                                | 0.0035                      |
|                              | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Parabola-Rettangolo         |
|                              | Modulo Elastico Normale Ec:                          | 33643.0 MPa                 |
|                              | Resis. media a trazione fctm:                        | 3.100 MPa                   |
|                              | Coeff. Omogen. S.L.E.:                               | 15.00                       |
|                              | Coeff. Omogen. S.L.E.:                               | 15.00                       |
| ACCIAIO -                    | Tipo:  | B450C                       |
|                              | Resist. caratt. snervam. fyk:                        | 450.00 MPa                  |
|                              | Resist. caratt. rottura ftk:                         | 450.00 MPa                  |
|                              | Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30 MPa                  |
|                              | Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30 MPa                  |
|                              | Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068                       |
|                              | Modulo Elastico Ef                                   | 2000000 daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito            |
|                              | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00                        |
|                              | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50                        |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 337.50 MPa   |                             |

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

|                      |            |        |
|----------------------|------------|--------|
| Forma del Dominio:   | Poligonale |        |
| Classe Conglomerato: | C32/40     |        |
| N°vertice:           | X [cm]     | Y [cm] |
| 1                    | 0.0        | 0.0    |
| 2                    | 0.0        | 26.0   |
| 3                    | 100.0      | 26.0   |
| 4                    | 100.0      | 0.0    |

### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | 5.2    | 4.8    | 16        |
| 2       | 5.2    | 20.8   | 24        |
| 3       | 94.8   | 20.8   | 24        |
| 4       | 94.8   | 4.8    | 16        |

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 3       | 16 |
| 2      | 2            | 3            | 8       | 24 |

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 70 di 72 |

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

|    |   |
|----|---|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)   |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |
| Vy | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate   |

| N°Comb. | N    | Mx     | Vy     |
|---------|------|--------|--------|
| 1       | 0.00 | -51.95 | 200.07 |
| 2       | 0.00 | 52.77  | 0.00   |

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

|    |  |
|----|--|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |

| N°Comb. | N    | Mx     | My   |
|---------|------|--------|------|
| 1       | 0.00 | -36.99 | 0.00 |
| 2       | 0.00 | 27.10  | 0.00 |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata

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

|          |  |
|----------|--|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| N        | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |
| Mx       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| N Res    | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa  | Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]                                |

| N°Comb | Ver | N    | Mx     | N Res | Mx Res  | Mis.Sic. | As Tesa   |
|--------|-----|------|--------|-------|---------|----------|-----------|
| 1      | S   | 0.00 | -51.95 | 0.00  | -296.05 | 5.70     | 45.2(3.7) |
| 2      | S   | 0.00 | 52.77  | 0.00  | 86.15   | 1.63     | 10.1(3.7) |

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

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

| N°Comb | ec max  | x/d   | Xc max | Yc max | es min   | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.451 | 0.0    | 0.0    | 0.00171  | 5.2    | 4.8    | -0.00427 | 94.8   | 20.8   |
| 2      | 0.00350 | 0.223 | 0.0    | 26.0   | -0.00036 | 94.8   | 20.8   | -0.01222 | 5.2    | 4.8    |

**METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

**RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3T     | 30    | D 09 CL  | IV 02 00 001 | B    | 71 di 72 |

|      |  |
|------|--|
| Ver  | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata                     |
| Ved  | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)         |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| d    | Altezza utile sezione [cm]   |
| bw   | Larghezza minima sezione [cm]  |
| Ro   | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]                      |
| Scp  | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa]                         |

| N°Comb | Ver | Ved    | Vwct   | d    | bw    | Ro     | Scp  |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1      | S   | 200.07 | 200.18 | 20.8 | 100.0 | 0.0200 | 0.00 |
| 2      | S   | 0.00   | 200.18 | 20.8 | 100.0 | 0.0200 | 0.00 |

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

|                |  |
|----------------|--|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata   |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]                        |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)                      |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                                 |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)                    |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.47   | 0.0    | 0.0    | -48.0  | 84.8   | 20.8   | 550     | 45.2    |
| 2      | S   | 3.81   | 0.0    | 26.0   | -145.8 | 72.4   | 4.8    | 636     | 10.1    |

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

|             |   |
|-------------|---|
| Ver.        | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$   |
| e1          | Esito della verifica  |
| e2          | Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata                           |
| k1          | Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata                            |
| kt          | = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]   |
| k2          | = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  |
| k3          | = 0.5 per flessione; = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  |
| k4          | = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali   |
| Ø           | = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali   |
| Cf          | Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]                                    |
| e sm - e cm | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa   |
| sr max      | Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]   |
| wk          | Tra parentesi: valore minimo = $0.6 \cdot S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]   |
| Mx fess.    | Massima distanza tra le fessure [mm]  |
| My fess.    | Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi |
|             | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]   |
|             | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]   |

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00037 | 0  | 0.500 | 24.0 | 40 | 0.00014 (0.00014) | 186    | 0.027 (0.20) | -50.65  | 0.00    |
| 2     | S   | -0.00096 | 0  | 0.500 | 16.0 | 40 | 0.00044 (0.00044) | 308    | 0.135 (0.20) | 42.21   | 0.00    |

## 12. VALIDAZIONE MODELLO DI CALCOLO

Si riportano i controlli effettuati confrontando modelli semplificati analitici di calcolo e risultati ottenuti dalle analisi FEM, in accordo a quanto prescritto al paragrafo 10.2 del “DM. 17/01/2018”, di seguito riportato:

- *Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.*  
Spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovino l’attendibilità.

[...]

Nella relazione devono essere elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, quali verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.

Si controlla il taglio agente in fase 1 sulla trave esterna per area di influenza:

$$V = [(140 \text{ kN/m} \cdot 3.1 \text{ m} / 11.2 \text{ m}) \cdot 32 / 2] \cdot 1.35 = \mathbf{837 \text{ kN}}$$

Come visto nei paragrafi precedenti il taglio massimo in fase 1 è pari ad:

$$V = \mathbf{830 \text{ kN}}$$