

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

OPERE PRINCIPALI – PONTI E CAVALCAFERROVIA

Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore L=28.38m

SCALA:

| |
|---|
| - |
|---|

| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. |
|----------|-------|------|------|-----------|------------------|--------|------|
| I V 0 1 | 0 0 | D | 0 9 | C L | I V 0 2 0 9 | 0 0 1 | A |

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato | Data |
|------|---------------------|-------------|----------|--------------|----------|-----------|-----------|--|------|
| A | Emissione Esecutiva | K. Petrucci | Feb.2022 | F. Bonifacio | Feb.2022 | G. Fadda | Feb. 2022 | ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione Infrastrutture Dest. Imp. Andora Ventimiglia Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova N° 420783 | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| File: IV0I00D09CLIV0209001A | n. Elab.: |
|-----------------------------|-----------|

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | PREMESSA | 5 |
| 2. | NORMATIVE DI RIFERIMENTO | 8 |
| 3. | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI..... | 9 |
| 3.1 | CALCESTRUZZO..... | 9 |
| 3.2 | ACCIAIO | 9 |
| 3.2.1 | Acciaio per cemento armato..... | 9 |
| 3.2.2 | Acciaio per carpenteria metallica | 9 |
| 4. | ANALISI DEI CARICHI | 11 |
| 4.1 | G1 - PESI PERMANENTI PORTANTI..... | 11 |
| 4.1.1 | Travi principali..... | 11 |
| 4.1.2 | Traversi | 11 |
| 4.1.3 | Soletta (getto+predalles)..... | 11 |
| 4.2 | G2 - PESI PERMANENTI NON PORTANTI | 11 |
| 4.2.1 | Cordoli | 11 |
| 4.2.2 | Pavimentazione | 11 |
| 4.2.3 | Barriere di sicurezza | 11 |
| 4.2.4 | Velette..... | 11 |
| 4.3 | VENTO..... | 12 |
| 4.4 | TERMICA | 14 |
| 4.4.1 | Termica – Uniforme | 15 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4.2 | <i>Termica Differenziale – Effetto Primario</i> | 18 |
| 4.4.3 | <i>Termica Differenziale – Effetto Secondario</i> | 19 |
| 4.5 | RITIRO E VISCOSITÀ | 20 |
| 4.5.1 | <i>Ritiro Uniforme</i> | 20 |
| 4.5.2 | <i>Ritiro – Effetto Primario</i> | 23 |
| 4.5.3 | <i>Ritiro – Effetto Secondario</i> | 24 |
| 4.6 | AZIONE SISMICA..... | 25 |
| 4.7 | CARICHI MOBILI..... | 31 |
| 4.7.1 | <i>Carichi Verticali: Schemi di carico da traffico</i> | 31 |
| 4.7.2 | <i>Frenatura</i> | 33 |
| 4.7.3 | <i>Centrifuga</i> | 34 |
| 4.7.4 | <i>Azione da Urto</i> | 34 |
| 5. | Analisi modale..... | 35 |
| 5.1 | FATTORI DI PARTECIPAZIONE DI MASSA | 35 |
| 6. | Combinazioni di carico..... | 37 |
| 6.1 | GRUPPI DI AZIONI..... | 37 |
| 6.2 | COEFFICIENTI E COMBINAZIONI DI CARICO..... | 37 |
| 7. | CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI | 40 |
| 7.1 | VALUTAZIONE DELLA LARGHEZZA COLLABORANTE..... | 40 |
| 7.2 | CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TRAVERSI..... | 41 |
| 7.2.1 | <i>Parametri in 1° fase</i> | 43 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.2.2 | <i>Parametri in 2° fase</i> | 43 |
| 7.2.3 | <i>Parametri in 3° fase</i> | 43 |
| 7.2.4 | <i>Parametri in 4° fase</i> | 43 |
| 7.3 | CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI | 44 |
| 7.3.1 | <i>Sezione 1 – Appoggio</i> | 44 |
| 7.3.2 | <i>Sezione 2 – Mezzeria</i> | 44 |
| 8. | MODELLI DI CALCOLO | 45 |
| 8.1 | MODELLO DI CALCOLO DELL'IMPALCATO | 45 |
| 8.1.1 | <i>Modello per Fase 1</i> | 45 |
| 8.1.2 | <i>Modello per Fase 2=3=4</i> | 46 |
| 8.1.3 | <i>Modello locale Traverso in mezzeria</i> | 47 |
| 8.1.4 | <i>Modello locale Traverso in appoggio</i> | 48 |
| 8.1.5 | <i>Modello locale Traverso con soletta per verifica a fatica</i> | 49 |
| 8.1.6 | <i>Modello locale per Instabilità piattabanda superiore Trave in zona centrale</i> | 50 |
| 8.1.7 | <i>Modello locale per Instabilità piattabanda superiore Trave in zona appoggi</i> | 50 |
| 9. | CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE..... | 51 |
| 9.1 | CARATTERISTICHE SOLLECITAZIONI TRAVI PRINCIPALI..... | 51 |
| 9.1.1 | <i>G1</i> | 51 |
| 9.1.2 | <i>G2</i> | 52 |
| 9.1.3 | <i>Carichi Mobili: CF1</i> | 53 |
| 9.2 | CARATTERISTICHE SOLLECITAZIONI TRAVERSI | 54 |

| | | |
|--------|--|----|
| 9.2.1 | <i>G1</i> | 54 |
| 9.2.2 | <i>G2</i> | 55 |
| 9.2.3 | <i>Carichi Mobili: CF1</i> | 56 |
| 10. | VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI | 57 |
| 10.1 | TRAVI: VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO (SLU) E SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) | 57 |
| 10.1.1 | <i>Sezione 1 (Appoggio) : Verifica Presso/Tenso - Flessionale</i> | 57 |
| 10.1.2 | <i>Sezione 1 (Appoggio) : Verifica stabilità dei pannelli soggetti a taglio</i> | 59 |
| 10.1.3 | <i>Sezione 2 (Mezzeria) : Verifica Presso/Tenso - Flessionale</i> | 62 |
| 10.1.4 | <i>Sezione 2 (Mezzeria) : Verifica stabilità dei pannelli soggetti a taglio</i> | 64 |
| 10.2 | TRAVI: VERIFICHE STATO LIMITE D'ESERCIZIO (SLE) | 66 |
| 10.2.1 | <i>Sezione 2 (mezzeria): Calcolo Contromonta</i> | 67 |
| 10.2.2 | <i>Sezione 2 (mezzeria): Calcolo Frecce da G1 e Accidentali</i> | 67 |
| 10.3 | TRAVI: VERIFICA PER INSTABILITÀ DELLA PIATTABANDA SUPERIORE COMPRESSA | 68 |
| 10.3.1 | <i>Sezione 1 (appoggio) verifica instabilità piattabanda superiore</i> | 70 |
| 10.3.2 | <i>Sezione 2 (mezzeria) verifica instabilità piattabanda superiore</i> | 71 |
| 10.4 | TRAVI: VERIFICA A FATICA | 72 |
| 10.4.1 | <i>Sezione di cambio conci</i> | 73 |
| 10.4.2 | <i>Sezione 2 (Mezzeria)</i> | 76 |
| 11. | VERIFICHE TRAVERSI | 79 |
| 11.1 | TRAVERSI: VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO (SLU) E SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) | 80 |
| 11.1.1 | <i>Sezione d'appoggio : Verifica Presso/Tenso - Flessionale</i> | 80 |

| | | |
|--------|--|----|
| 11.1.2 | Sezione d'appoggio : Verifica a taglio | 82 |
| 11.1.3 | Sezione d'appoggio : Verifica Presso/Tenso – Flessionale – Comb. Eccezionale | 83 |
| 11.1.4 | Sezione d'appoggio : Verifica a taglio – Comb. Eccezionale | 85 |
| 11.1.5 | Sezione in mezzeria : Verifica Presso/Tenso - Flessionale | 86 |
| 11.1.6 | Sezione di mezzeria : Verifica a taglio | 88 |
| 11.2 | TRAVERSI: VERIFICHE STATO LIMITE D'ESERCIZIO (SLE) | 89 |
| 11.2.1 | Sezione di mezzeria: Calcolo Contromonta | 90 |
| 11.2.2 | Sezione di mezzeria: Calcolo Freccce da G1..... | 90 |
| 11.3 | TRAVERSI: VERIFICA A FATICA | 91 |
| 11.3.1 | Sezione indebolita..... | 92 |
| 11.3.2 | Sezione di mezzeria: Verifica a fatica | 96 |

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche di sicurezza e stabilità dell'impalcato in acciaio a via inferiore che realizza il viadotto "IV02", nell'ambito del raddoppio della linea Genova – Ventimiglia tratta Finale Ligure - Andora.

L'andamento planimetrico dell'impalcato è in rettilineo.

Lo schema strutturale adottato è quello di trave appoggiata con lunghezza complessiva di 29600 mm, distanza tra assi appoggi pari a 28380 mm e retrotrarsi di lunghezza pari a 610 mm ciascuno.

La suddetta opera, si compone di due travi longitudinali in acciaio poste ad un interasse pari a 16.47 m in retto, con sezione trasversale a "doppio T" realizzata mediante composizione di lamiere per saldatura, avente altezza pari a 2500mm e larghezza delle ali pari ad 1000 mm. Ogni trave è costituita da tre conci due di riva e uno centrale di lunghezza rispettivamente pari a 6100 mm e 17400 mm. Per ogni trave si prevedono degli irrigidimenti trasversali con sezione a "T" posti ad un interasse di 2400 mm.

Le travi risultano tra loro collegate per mezzo di traversi in sezione mista acciaio-c.l.s.. Per la trave in acciaio si prevede un profilo laminato serie HEB 600, rinforzato in mezzera per mezzo di un piatto saldato alla piattabanda inferiore.

La soletta, la cui larghezza comprensiva di margini esterni è di 16470 mm, è in cemento armato gettato in opera per mezzo predalles autoportanti appoggiate sulle travi trasversali. La soletta ha uno spessore (predalles incluse) variabile da 30cm a 40 cm, risulta solidarizzata alla trave metallica per mezzo di connettori tipo Nelson saldati all'ala superiore dell'HEB 600 e presenta giunti costruttivi trasversali posti ad un' interasse circa pari a 10000 mm.

La sezione trasversale dell'opera presenta una sede stradale di larghezza mediamente pari a 9m con due marciapiedi/pista ciclabile posti ai lati di larghezza rispettivamente pari a 2.5m e 5.5m.

Tra l'asse dell'impalcato e l'asse di tracciamento è presente un disassamento costante pari a circa 1.50m.

Le dimensioni degli elementi strutturali in acciaio costituenti l'impalcato sono i seguenti.

Travi:

| Sezione tipo | H _{tot} | t | B _{sup} | S _{sup} | B _{inf} | S _{inf} | Piastra sup | Piastra inf |
|--------------|------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 1-appoggio | 2500 | 16 | 1000 | 40 | 1000 | 40 | - | - |
| 2-mezzera | 3500 | 12 | 1000 | 40 | 1000 | 40 | 900x12 | 900x12 |

H_{tot}: altezza trave; t: spessore anima; B, s: larghezza e spessore delle piattabande.

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

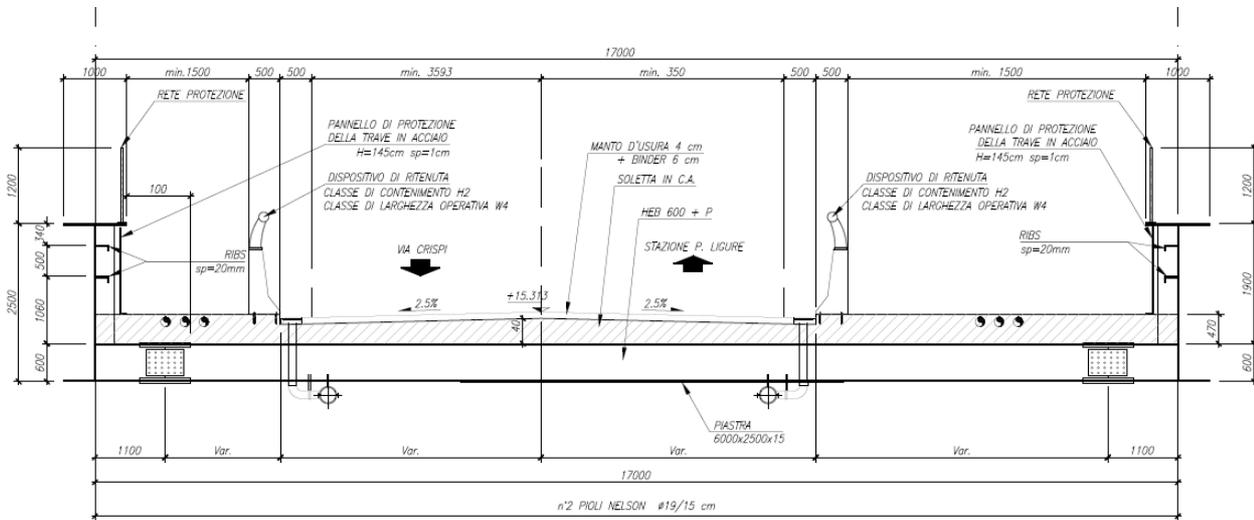
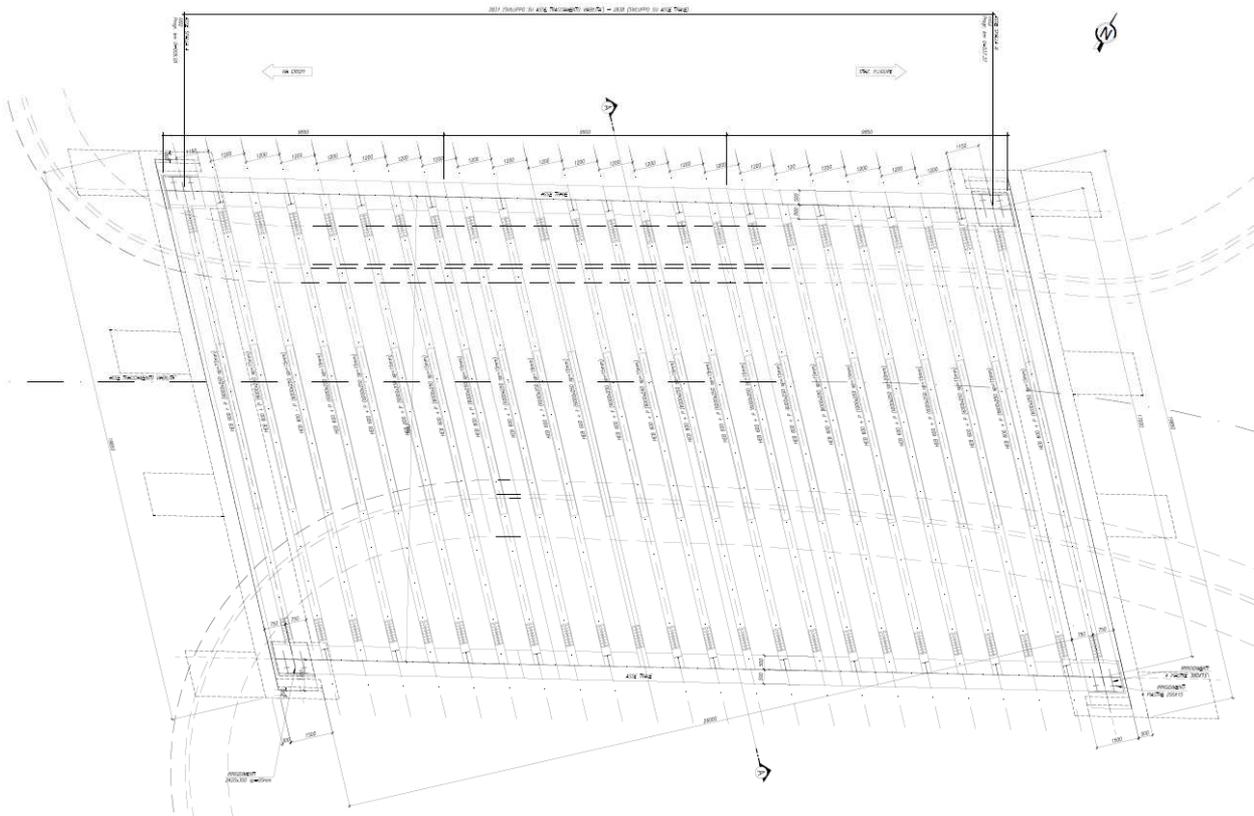
| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 6 di 100 |

Traversi:

sezione corrente (HEB600): H=600mm; t=15.5mm; B_{piattabanda} = 300mm; S_{piattabanda} = 30mm

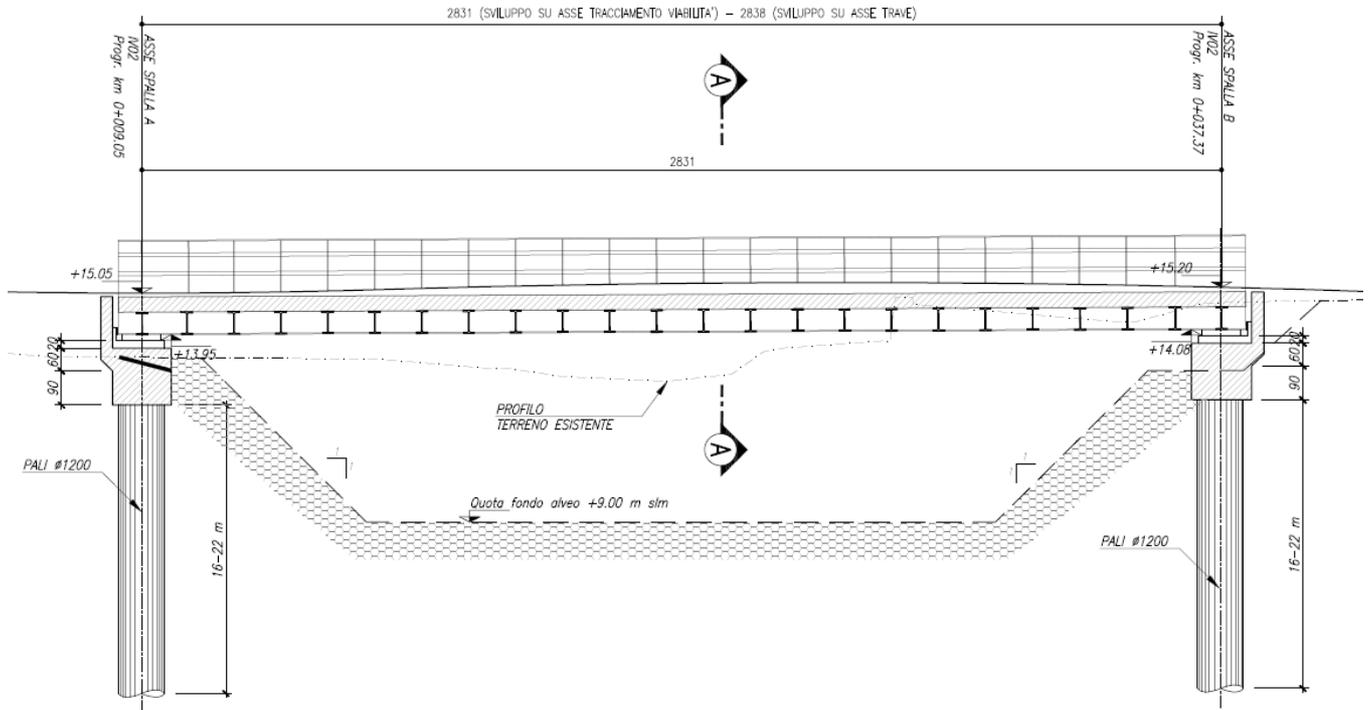
piatto inferiore sezione di mezzeria B = 250mm; s = 15mm; L = 6000 mm.

Di seguito si riportano le piante e le sezioni (trasversali e longitudinali) dell'impalcato:



IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 7 di 100 |



2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- DM 17 gennaio 2018: *Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”*(nel seguito **NTC18**);
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP: *istruzioni per l’applicazione delle NTC 2018* (nel seguito **circ. NTC18**);
- RFICTCSIMAIIFS001_E: *Manuale di progettazione delle opere civili – PARTE II – SEZIONE 2 – PONTI E STRUTTURE - 31/12/2020* (nel seguito **MdP**)
- 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
- UNI EN 1991 (nel seguito **EN91**)
- UNI EN 1992 (nel seguito **EN92**)
- UNI EN 1994 (nel seguito **EN94**)
- Linee Guida per la progettazione di ponti e viadotti stradali a travata, Settembre 2012 (nel seguito **LG ANAS**)

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

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

3.1 Calcestruzzo

Soletta: Classe C35/45

$$R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 37,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 37,35 \cdot 0,85 / 1,5 = 21,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3,35 \text{ N/mm}^2$$

Tipo di cemento: CEM I ÷ V

Rapporto Acqua/Cemento: $\leq 0,50$

Classe minima di consistenza: S4

Classe di esposizione ambientale: XC3+XS1

Copriferro = 40 mm

Diametro massimo inerti: 20 mm

3.2 Acciaio

3.2.1 Acciaio per cemento armato

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

| | |
|--|---------------------------------------|
| acciaio | B450C |
| tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$; |
| tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$; |
| rapporto di incrudimento | $1,15 \leq f_{tk} / f_{yk} \leq 1,35$ |
| resistenza di calcolo a trazione | $f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$; |
| modulo elastico | $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$. |

3.2.2 Acciaio per carpenteria metallica

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Acciaio | S355J2 UNI EN 10025 |
| Tensione di snervamento | $f_{yk} \leq 355 \text{ N/mm}^2$; |
| Tensione di rottura | $f_{tk} \leq 510 \text{ N/mm}^2$; |
| Modulo elastico | $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$; |
| Coefficiente di Poisson | $\nu = 0,3$; |

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 10 di 100 |

Modulo di elasticità trasversale

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

Coefficiente di espansione termica lineare

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

Densità

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

4. ANALISI DEI CARICHI

4.1 G1 - Pesi permanenti portanti

Il peso degli elementi strutturali principali viene calcolato in automatico dal programma di calcolo sulla base delle densità dei materiali γ definite. Per la carpenteria metallica al fine di considerare la presenza di piatti e bulloneria di montaggio è stato usato un coefficiente di amplificazione dei pesi e delle masse per le travi principali e per i traversi, Ψ , rispettivamente pari al 30% e al 15%. Nel seguito si riporta il calcolo dei pesi permanenti totali degli elementi portanti.

4.1.1 Travi principali

$$\text{Concio 1-appoggio} = (1 + \Psi) * \text{Area} * L * \gamma_{\text{acc}} * n^{\circ} \text{conci} = (1 + 0.3) * 0.119 \text{ m}^2 * 6.10 \text{ m} * 78.50 \text{ kN/m}^3 * 4 = 296.31 \text{ kN}$$

$$\text{Concio 2-mezzeria} = (1 + \Psi) * \text{Area} * L * \gamma_{\text{acc}} * n^{\circ} \text{conci} = (1 + 0.3) * 0.129 \text{ m}^2 * 17.40 \text{ m} * 78.50 \text{ kN/m}^3 * 2 = 458.12 \text{ kN}$$

4.1.2 Traversi

$$\text{Traverso} = (1 + \Psi) * \text{Area} * L * \gamma_{\text{acc}} * n^{\circ} \text{traversi} = (1 + 0.15) * 0.027 \text{ m}^2 * 15.50 \text{ m} * 78.50 \text{ kN/m}^3 * 24 = 906.72 \text{ kN}$$

4.1.3 Soletta (getto+predalles)

$$\text{Soletta} = L_t * s * L_l * \gamma_{\text{cls}} = 16.47 \text{ m} * 0.35 \text{ m} * (0.61 \text{ m} + 28.38 \text{ m} + 0.61 \text{ m}) * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 4265.73 \text{ kN}$$

4.2 G2 - Pesi permanenti non portanti

4.2.1 Cordoli

$$\text{Cordolo 1} = \text{Area} * L * \gamma_{\text{cls}} = (2.5 \text{ m} * 0.12 \text{ m}) * (0.61 \text{ m} + 28.38 \text{ m} + 0.61 \text{ m}) * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 222 \text{ kN}$$

$$\text{Cordolo 2} = \text{Area} * L * \gamma_{\text{cls}} = (5.5 \text{ m} * 0.12 \text{ m}) * (0.61 \text{ m} + 28.38 \text{ m} + 0.61 \text{ m}) * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 488.4 \text{ kN}$$

4.2.2 Pavimentazione

$$\text{Pavimentazione} = \text{Area} * L * \gamma = (9 \text{ m} * 0.10 \text{ m}) * (0.61 \text{ m} + 28.38 \text{ m} + 0.61 \text{ m}) * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 666 \text{ kN}$$

4.2.3 Barriere di sicurezza

Dispositivo di ritenuta in acciaio/cls con classe di contenimento H2 e classe di larghezza operativa W4;

$$\text{Barriera} = \text{Peso/m} * L * n^{\circ} \text{barriere} = 8.90 \text{ kN/m} * (0.61 \text{ m} + 28.38 \text{ m} + 0.61 \text{ m}) * 2 = 526.88 \text{ kN}$$

4.2.4 Velette

$$\text{Velette} = (\text{Area}_{\text{acc}} * \gamma_{\text{acc}}) * L * n^{\circ} \text{velette} = (0.01 \text{ m}^2 * 78.50 \text{ kN/m}^3) * (0.61 \text{ m} + 28.38 \text{ m} + 0.61 \text{ m}) * 2 = 46.47 \text{ kN}$$

4.3 Vento

Il calcolo del vento sulle travi dell'impalcato è stato effettuato seguendo i dettagli da **NTC18** e **circ.NTC18**.

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

CALCOLO PRESSIONE DEL VENTO SENZA c_p

3.3.1 Velocità base di riferimento

| | | | | | |
|---------|---------|-----|--|-------------------|----------------|
| Regione | Liguria | | - | Tab. 3.3.I | Scelta Regione |
| Zona | 7 | - | | | |
| Vb,0 | 28 | m/s | velocità base di riferimento al livello del mare | | |
| as | 13 | m | altitudine sul livello del mare del sito dove sorge la costruzione | | |
| a0 | 1000 | m | Tab. 3.3.I | parametri tabella | |
| ks | 0.54 | | Tab. 3.3.I | parametri tabella | |
| ca | 1.00 | | Coefficiente di altitudine | | |
| Vb | 28.00 | m/s | Velocità base di riferimento | | |

3.3.2 Velocità di riferimento

| | | | | | |
|-------|-------|------|------------------|---|--|
| T_R | 50 | anni | Tempo di Ritorno | | |
| cr | 1.00 | - | [3.3.3] | coefficiente di ritorno, funzione del tempo di ritorno; se $T_R=50$ $c_r=1$ | |
| Vr | 28.02 | m/s | [3.3.2] | Velocità di riferimento | |

3.3.6 Pressione cinetica di riferimento

| | | | | | |
|--------|-------|-------------------|---|-----------------------------------|--|
| ρ | 1.25 | kg/m ³ | densità dell'aria convenzionalmente presa pari a 1.25 kg/m ³ | | |
| qr | 0.491 | kN/m ² | [3.3.6] | Pressione cinetica di riferimento | |

3.3.7. Coefficiente di esposizione + 3.3.4. PRESSIONE DEL VENTO

| | | | | | |
|------------------|--------|-------------------|--|---|--------------------------|
| Rugosità | D | - | Tab. 3.3.III | Classe di rugosità del terreno | |
| D mare | <10 km | | km | Fig. 3.3.2 | Distanza dal mare |
| Cat. Esp. | III | | - | Fig. 3.3.2 | Categoria di esposizione |
| kr | 0.20 | - | Tab.3.3.II | valori tabellati | |
| z ₀ | 0.10 | m | Tab.3.3.II | valori tabellati | |
| z _{min} | 5.00 | m | Tab.3.3.II | valori tabellati | |
| ct | 1 | - | Coefficiente di topografia, con dati suffragati da opportuna documentazione $\neq 1$ | | |
| z | 4.1 | m | [3.3.7] | Altezza dal suolo (Vento Scarico = Vento Carico per intensità) | |
| c _e | 1.708 | m | [3.3.7] | Coefficiente di esposizione | |
| cd | 1 | | 3.3.9. | Cautelativamente pari ad 1 negli edifici regolari NON ECCEDENTI 80m! | |
| p | 0.84 | kN/m ² | 3.3.4 | Pressione del vento SENZA c_p | |

C3.3.8.6.1 Travi isolate

| | | | |
|---------------|-------|----------------|---|
| d | 16.47 | m | Interasse tra le travi principali (ortogonale) |
| h | 2.5 | m | Altezza Travi principali |
| Travi isolate | | | Figura C3.3.28-Travi multiple :Controllo Travi multiple o isolate |
| S | 1 | m ² | Superficie delimitata dal contorno della trave |
| Sp | 1 | m ² | Superficie della parte piena della trave |
| φ | 1.000 | - | C3.3.7 Sp/S |
| cp | 1.40 | - | C3.3.8 coefficiente da applicare alla pressione del vento |

3.3.4. PRESSIONE DEL VENTO

| | | | | |
|---|------|-------------------|--------------|--|
| p | 1.17 | kN/m ² | 3.3.4 | $p = q_r \times c_e \times c_p \times c_d$ |
|---|------|-------------------|--------------|--|

VALORI SU SAP2000
VENTO SCARICO (assenza dei carichi mobili -> no veicolo da 3 m)

| | | | |
|---------|-------|-------|--|
| h | 2.5 | m | Altezza Travi principali |
| p_orizz | 2.933 | kN/m | Pressione Orizzontale per unità di lunghezza su Travi principali |
| braccio | 1.25 | m | Braccio del Momento torcente su Impalcato |
| M_torc | 7.332 | kNm/m | Momento torcente su Impalcato (considerando entrambe le pressioni) |
| d | 16.47 | m | Interasse tra le travi principali |
| p_vert | 0.445 | kN/m | Pressione Verticale per unità di lunghezza su Travi principali |

VENTO CARICO (presenza dei carichi mobili -> veicolo da 3 m) - NTC18 5.1.3.7

| | | | |
|---------|--------|-------|--|
| h | 4.1 | m | Altezza Travi principali |
| p_orizz | 4.810 | kN/m | Pressione Orizzontale per unità di lunghezza su Travi principali |
| braccio | 2.05 | m | Braccio del Momento torcente su Impalcato |
| M_torc | 13.526 | kNm/m | Momento torcente (considerando sopravento-Carico e sottovento-Scarico) |
| d | 16.47 | m | Interasse tra le travi principali |
| p_vert | 0.821 | kN/m | Pressione Verticale per unità di lunghezza su Travi principali |

La pressione del vento precedentemente calcolata nelle condizioni di “ponte scarico” e “ponte carico” è stata applicata alle due travi principali dell’impalcato.

4.4 Termica

Per il calcolo dell'azione termica si è preso come riferimento l'NTC18, l'EN91 ed il MdP. Oltre alla componente di "Termica Uniforme" è stata considerata una componente di "Termica Differenziale". Relativamente alla componente di "Termica Differenziale" sono stati valutati sia gli effetti primari che secondari sulle strutture principali. I primi valutano le coazioni interne dovute alle deformazioni impedita della soletta in una struttura isostatica o iperstatica in cui non si considera la compatibilità delle deformazioni dovute agli effettivi vincoli interni. Per contro i secondi, presente esclusivamente in caso di strutture iperstatiche, permettono di considerare gli effetti sulle strutture principali conseguenti al ripristino delle condizioni di congruenza .

In particolare:

- Effetto Primario:

Noto l'accorciamento per deformazione libera di una trave appoggiata per via di un ΔT uniforme nella soletta, ossia:

$$u_t = \int_0^L \varepsilon_{\Delta T} \cdot dx = \int_0^L \alpha \Delta T \cdot dx = \alpha \Delta T L$$

È possibile definire la forza, F, che produce uno spostamento u_F uguale a e contrario a u_t , ossia posto:

$$u_F = \frac{F \cdot L}{A_c \cdot E_c(t)}$$

dove A_c è l'area del calcestruzzo della soletta ed $E_c(t)$ è il modulo del cls all'istante t di valutazione, uguagliando la precedente allo spostamento libero da termica u_t si ha:

$$F = \frac{E_s}{n(t)} \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot A_c$$

Dove E_s è il modulo dell'acciaio e $n(t)$ è pari al coefficiente di omogeneizzazione all'istante t di valutazione $n(t) = E_s / E_c(t)$.

Dal momento che tale azione F agisce nella sola soletta, eccentrica rispetto alla sezione composta, per poter equilibrare il sistema, occorrerà applicare sull'intera sezione composta sia uno sforzo di compressione di intensità pari ad F sia un momento flettente $M = F \cdot e$, dove e è l'eccentricità tra i baricentri della soletta e della sezione omogeneizzata.

Le tensioni nella sezione mista dovute alla presso-flessione (F-M) sommati a quelli prodotti nella sola soletta dalla coazione F costituiscono gli effetti primari.

- Effetto Secondario:

Per calcolare gli effetti secondari, necessari in caso di strutture iperstatiche per ripristinare la congruenza violata nel calcolo degli effetti primari, si prevede l'applicazione di una variazione di temperatura equivalente, lineare nello spessore della trave (gradiente lineare), tale da produrre una curvatura pari a quella prodotta nella sezione mista dal momento flettente $M = F \cdot e$.

La curvatura per effetto del momento dovuto all'azione primaria F è pari a:

$$M = F \cdot e = E_s \cdot I_{om} \cdot \chi_M \rightarrow \chi_M = \frac{F \cdot e}{E_s \cdot I_{om}}$$

dove I_{om} è l'inerzia della sezione mista omogeneizzata all'istante t di valutazione;

La curvatura dovuta ad un gradiente termico lineare equivalente è pari a:

$$\chi_{\Delta T} = \frac{\alpha \Delta T_{eq}}{H}$$

dove H è l'altezza della sezione mista e α è il coefficiente di dilatazione termica dell'acciaio.

Uguagliando le due curvature si ottiene il valore della variazione termica lineare applicato alla struttura al fine di valutare gli effetti secondari, ossia:

$$\Delta T_{eq} = \frac{F \cdot e \cdot H}{\alpha \cdot E_s \cdot I_{om}}$$

4.4.1 Termica – Uniforme

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

1 - TERMICA UNIFORME

NTC18 3.5.2 Temperatura dell'aria esterna

| | | |
|------------------|---------|-------|
| Regione | Liguria | - |
| Zona | II | - |
| as | 13 | [m] |
| T _{min} | -8.08 | [°] |
| T _{max} | 41.97 | [°] |

Quota del suolo sul livello del mare nel sito dove è realizzata la costruzione.

Eurocodice 1 parte 5 : EN 1991-1-5: 2003 (E)

Section 6 Temperature changes in bridges

6.1 Bridge decks

6.1.1 Bridge deck types

(1) A bridge deck is considered as one of the following three types:

| | |
|--------|------------------------|
| Type 1 | Steel deck; |
| Type 2 | Composite deck; |
| Type 3 | Concrete deck: |
| | - concrete slab, |
| | - concrete beam, |
| | - concrete box girder. |

Chapter 6.1.3.1 General

| | | |
|--------------------------|----|-------|
| Type | 2 | - |
| T_{e,min} | -4 | [°] |
| T_{e,max} | 45 | [°] |

T_{e,min} = Temperatura uniforme minima del ponte

T_{e,max} = Temperatura uniforme massima del ponte

Chapter 6.1.3.3 Range of uniform bridge temperature component

| | | |
|---------------------------|--------|-------|
| T₀ | 15 | [°] |
| ΔT_{N,con} | -19.00 | [°] |
| ΔT_{N,exp} | 30.00 | [°] |

T₀ = Temperatura iniziale NTC18 3.5.4

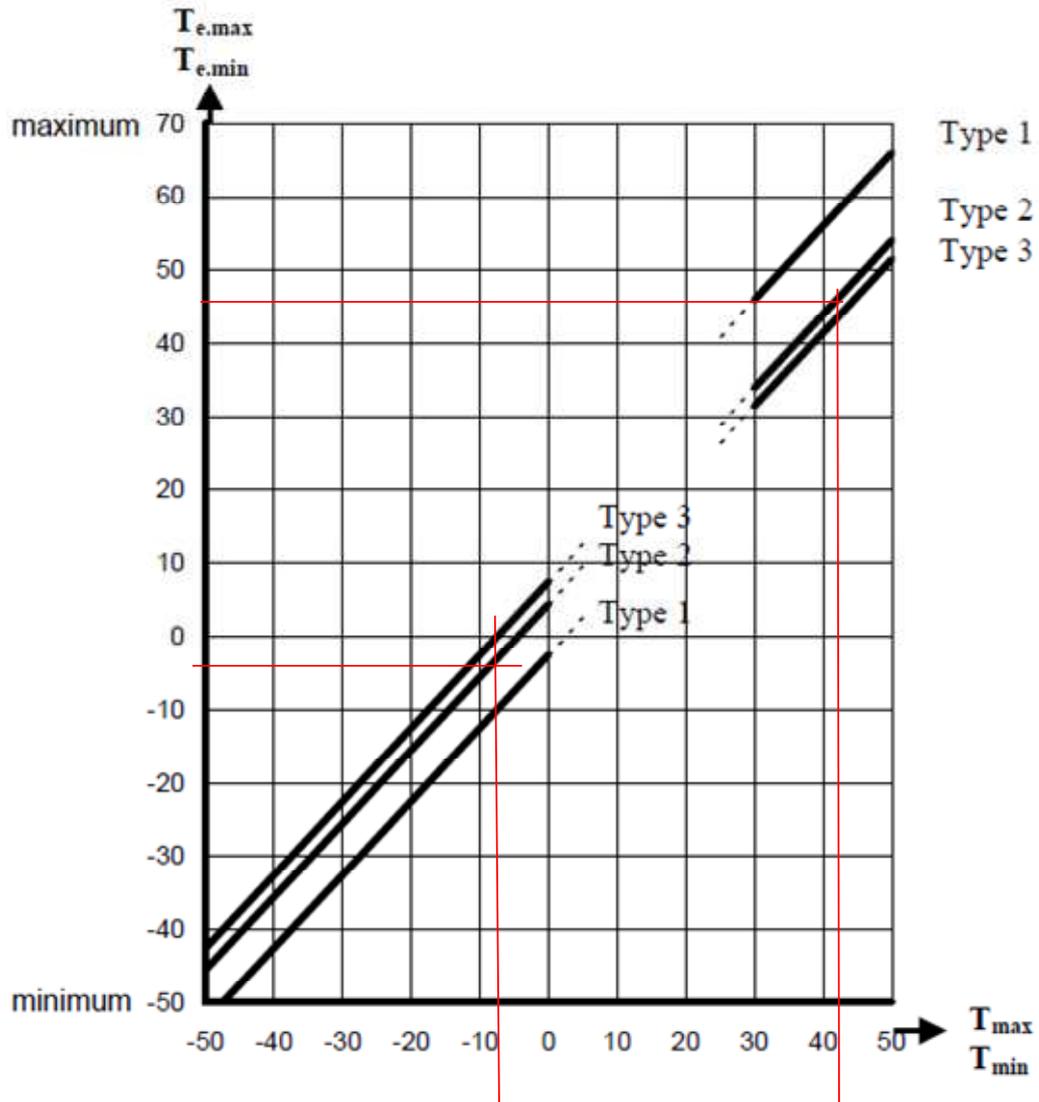
ΔT_{N,con} = Massima Temperatura uniforme di contrazione del ponte

ΔT_{N,exp} = Massima Temperatura uniforme di espansione del ponte

I valori della Massima temperatura di contrazione del ponte (ΔT_{N,con}) ed il valore della Massima temperatura di espansione del ponte (ΔT_{N,exp}) sono stati calcolati attraverso l'ausilio del seguente grafico del **EN91**:

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 17 di 100 |



4.4.2 Termica Differenziale – Effetto Primario

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

2 - TERMICA DIFFERENZIALE

2.1 - EFFETTI PRIMARI

NTC18 3.5.7 Effetti delle azioni termiche

| | | |
|------------|--------------------------------------|------|
| Materiale | Strutture miste acciaio-calcestruzzo | - |
| αT | 0.000012 | [°C] |

Geometria

| | | |
|-----------|--------|--------------------|
| s soletta | 0.350 | [m] |
| L trasv | 17.000 | [m] |
| L long | 14.810 | [m] |
| Ac_Trasv | 5.95 | [m ²] |
| Ac_Long | 5.18 | [m ²] |

Materiali - CLS

| | | |
|-----------------|--------|-----------------------|
| Classe | C35/45 | [-] |
| Rck | 45 | [N/mm ²] |
| fck | 37.35 | [N/mm ²] |
| fcm | 45.35 | [N/mm ²] |
| Ecm | 34625 | [N/mm ²] |
| t | 28.000 | [giorni] |
| s | 0.38 | [-] |
| $\beta_{cc}(t)$ | 1.00 | [-] |
| $f_{cm}(t)$ | 45.35 | [-] |
| $E_{cm}(t)$ | 34625 | [N/mm ²] |

Materiali - Acciaio

| | | |
|----|--------|-----------------------|
| Es | 210000 | [N/mm ²] |
|----|--------|-----------------------|

Coefficienti di Omogenizzazione

| | | |
|-------------|------|-------|
| n(t = 28 g) | 6.06 | [-] |
|-------------|------|-------|

$\Delta T_{N,con} = \Delta T_{MIN}$

| | | |
|--------------------------|--------|----------|
| ΔT sulla soletta | 5.00 | [°] |
| F_comp_T | 10769 | [kN] |
| L_long | 14.810 | [m] |
| F_T_distr | 727 | [kN/m] |
| L_collab. | 1.200 | [m] |
| F da Termica | 873 | [kN] |

4.4.3 Termica Differenziale – Effetto Secondario

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

2.2 - EFFETTI SECONDARI

Geometria Sezione Ideale

| | | |
|-----------------|---------------|--------------------|
| Area profilo | 0.027 | [m ²] |
| yg profilo | 0.300 | [m] |
| L soletta | 1.200 | [m] |
| s soletta | 0.350 | [m] |
| Area soletta | 0.375 | [m ²] |
| yg soletta | 0.793 | [m] |
| n(t = 28 g) | 6.0649 | [-] |
| Area ideale | 0.0888 | [m ²] |
| M. S. ideale | 0.057 | [m ³] |
| Baricentro | 0.64315 | [m] |
| e = ecc bar. | 0.150 | [m] |
| h_sez_ideale | 0.950 | [m] |
| Inerzia acciaio | 0.00171 | [m ⁴] |
| Inerzia soletta | 0.0031 | [m ⁴] |
| Inerzia ideale | 0.006789 | [m ⁴] |

Calcolo ΔT_{eq}

| | | |
|---------------------------|--------------|----------|
| F_T_distr | 727 | [kN/m] |
| L soletta | 1.200 | [m] |
| F_T_risultante | 873 | [kN] |
| $\Delta T_{eq_T\ diff.}$ | 7.261 | [°] |
| ΔT_{eq_ITFR} | 5.000 | [°] |
| ΔT_{eq_Totale} | 12.26 | [°] |

4.5 Ritiro e Viscosità

Per il calcolo dell'effetto del Ritiro sulla struttura si è considerato anche il contributo mitigante della viscosità su di esso. Analogamente a quanto detto precedentemente per la componente di termica differenziale sono stati valutati sia gli effetti primari che secondari prodotti dalla azione di ritiro della soletta. Per il calcolo dell'azione del Ritiro si è preso come riferimento l'NTC18, l'EN91, l'EN92 e l'EN94.

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

4.5.1 Ritiro Uniforme

CALCOLO EFFETTO DEL RITIRO NTC18 Capitolo 11.2.10.6

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

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

dove:

ε_{cs} è la deformazione totale per ritiro

ε_{cd} è la deformazione per ritiro da essiccamento

ε_{ca} è la deformazione per ritiro autogeno.

Tab. 11.2.Va - Valori di ε_{c0}

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

Calcolo $\varepsilon_{cd,\infty}$ (Effetto del Ritiro per essiccamento) T infinito

| | | |
|--------------------------|---------|-------------------|
| fck | 37.35 | N/mm ² |
| U.R. | 75.08 | % |
| ε_{c0} | -0.284 | ‰ |
| A_c | 5183500 | mm ² |
| u | 60640 | mm |
| h0 | 170.96 | mm |
| kh | 0.894 | - |
| $\varepsilon_{cd\infty}$ | -0.254 | ‰ |

Umidità relativa

!!! IN X 1000 !!!

Sezione Longitudinale

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \varepsilon_{c0}$$

Calcolo $\epsilon_{cd,t}$ (Effetto del Ritiro per essiccamento) $T \neq$ infinito

| | | | |
|---------------------|--------|--------|--|
| t | 3650 | giorni | t è l'età del calcestruzzo nel momento considerato (in giorni) |
| t_s | 28 | giorni | |
| $\beta_{ds}(t-t_s)$ | 0.976 | - | funzione di sviluppo temporale |
| $\epsilon_{cd,t}$ | -0.248 | ‰ | Sviluppo nel tempo della deformazione $\epsilon_{cd\infty}$ |

dove t_s è l'età del calcestruzzo a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro per essiccamento (normalmente il termine della maturazione).

Calcolo $\epsilon_{ca,\infty}$ (Effetto del Ritiro autogeno) T infinito

| | | | |
|------------------------|-----------|---|---|
| $\epsilon_{ca,\infty}$ | -0.000068 | ‰ | $\epsilon_{ca,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$ |
|------------------------|-----------|---|---|

Calcolo $\epsilon_{ca,t}$ (Effetto del Ritiro autogeno) $T \neq$ infinito

| | | | |
|--------------------|-----------|--------|---|
| t | 3650 | giorni | $\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$ |
| $\beta_{as}(t)$ | 1.000 | - | EC2 part1-1 capitolo 3.1.4 equaz. (3.13) |
| $\epsilon_{ca}(t)$ | -0.000068 | ‰ | $\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \epsilon_{ca}(\infty)$ EC2 part1-1 capitolo 3.1.4 equaz. (3.11) |

CALCOLO EFFETTO DELLA VISCOSITÀ T infinito NTC18 Capitolo 11.2.10.7

| | | | |
|---------------------|-------|--------|---|
| t0 | 28 | giorni | età cls al momento dell'applicazione del carico |
| h0 | 171 | mm | |
| U.R. | 75.08 | % | Umidità relativa |
| $\phi(\infty, t_0)$ | 2.110 | - | |

EFFETTO DELLA VISCOSITÀ $T \neq$ infinito EC2 part1-1 APPENDICE B.1

| | | |
|----------------------------|--------|-------------------|
| fcm | 45.35 | N/mm ² |
| U.R. | 75.08 | % |
| h0 | 170.96 | mm |
| t0 | 28 | giorni |
| α_1 | 0.834 | - |
| α_2 | 0.950 | - |
| α_3 | 0.879 | - |
| ϕ_{RH} | 1.305 | - |
| $\beta(f_{cm})$ | 2.495 | - |
| $\beta(t_0)$ perm port | 0.488 | - |
| ϕ_0 perm port | 1.590 | - |
| t | 3650 | giorni |
| β_H | 515 | - |
| $\beta_c(t-t_0)$ perm port | 0.961 | - |
| $\phi(t, t_0)$ perm port | 1.528 | - |

| | | |
|-------------------------|----------|--------|
| t0 | 1 | giorni |
| $\beta(t_0)$ ritiro | 0.909 | - |
| ϕ_0 ritiro | 2.960 | - |
| $\beta_c(t-t_0)$ ritiro | 0.961144 | - |
| $\phi(t, t_0)$ ritiro | 2.845 | - |

CALCOLO DEFORMAZIONE DA RITIRO E DA VISCOSITÀ

CONSIDERATO IL CONTRIBUTO DEL RITIRO MITIGATO DALLA VISCOSITÀ

| | | | |
|--------------------------------|-------|---|-------------------------|
| ψ_L RITIRO | 0.55 | - | EC4 5.4.2.2. (2) |
| ψ_L Perm Port | 1.10 | - | |
| ϵ_R | 0.254 | ‰ | |
| ψ_L Ritiro * ϵ_R | 0.140 | ‰ | |

ψ_L è il moltiplicatore degli effetti della viscosità dipendente dal tipo di carico, che è assunto pari a 1,1 per i carichi permanenti pari a 0,55 per gli effetti primari e secondari dovuti al ritiro e pari a 1,5 per le deformazioni imposte dalla precompressione.

CALCOLO TERMICA EQUIVALENTE A ϵ_{R+V}

$$u(\Delta T) = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \rightarrow \epsilon(\Delta T) = \frac{(\alpha \cdot \Delta T \cdot L)}{L} \quad \epsilon_{R+V} = \epsilon(\Delta T) \rightarrow \epsilon_{R+V} = \frac{(\alpha \cdot \Delta T \cdot L)}{L}$$

$$(\alpha \cdot \Delta T \cdot L) = \epsilon_{R+V} \cdot L \rightarrow \Delta T = \frac{(\epsilon_{R+V} \cdot L)}{\alpha L}$$

Tab. 3.5.III - Coefficienti di dilatazione termica a temperatura ambiente

| Materiale | α_T [10 ⁻⁶ /°C] |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Alluminio | 24 |
| Acciaio da carpenteria | 12 |
| Calcestruzzo strutturale | 10 |
| Strutture miste acciaio-calcestruzzo | 12 |
| Calcestruzzo alleggerito | 7 |
| Muratura | 6 ÷ 10 |
| Legno (parallelo alle fibre) | 5 |
| Legno (ortogonale alle fibre) | 30 ÷ 70 |

| | | | |
|------------|--------------------------------------|------|-------------------------------------|
| L | 16.470 | m | coefficiente di dilatazione termica |
| Materiale | Strutture miste acciaio-calcestruzzo | | |
| α | 0.000012 | 1/°C | |
| ΔT | 11.63 | °C | |

4.5.2 Ritiro – Effetto Primario

| | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| E acciaio | 210000 | [N/mm ²] |
| E cls | 34625 | [N/mm ²] |
| n0 = Ea / Ec | 6.06 | [-] |
| n = Ritiro | 15.55 | [-] |
| E cls (t,t0) ritiro | 13501.05 | [N/mm ²] |
| ΔT Ritiro | 12 | C° |
| Area CLS | 5183500 | [mm ²] |
| F da Ritiro | 9770 | [kN] |
| L longitudinale | 14.810 | [m] |
| F da Ritiro / m | 660 | [kN/m] |
| L collaborante | 1.200 | [m] |
| F da Ritiro | 792 | [kN] |

Si riporta il coefficiente di omogeneizzazione utilizzato per la fase in cui si considerano i carichi permanenti non portanti (G2):

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| n=G2(Perm.Portati) | 16.26 | [-] |
| E cls (t,t0) G2 | 12915.66 | [N/mm ²] |

4.5.3 Ritiro – Effetto Secondario

- EFFETTI SECONDARI

Geometria Sezione Ideale

| | | |
|-----------------|----------|--------------------|
| Area profilo | 0.027 | [m ²] |
| yg profilo | 0.300 | [m] |
| L soletta | 1.200 | [m] |
| s soletta | 0.350 | [m] |
| Area soletta | 0.375 | [m ²] |
| yg soletta | 0.793 | [m] |
| n = Ritiro | 15.55 | [-] |
| Area ideale | 0.0511 | [m ²] |
| M. S. ideale | 0.027 | [m ³] |
| Baricentro | 0.53256 | [m] |
| e = ecc bar. | 0.260 | [m] |
| h_sez_ideale | 0.950 | [m] |
| Inerzia acciaio | 0.00171 | [m ⁴] |
| Inerzia soletta | 0.0031 | [m ⁴] |
| Inerzia ideale | 0.005005 | [m ⁴] |

ΔT_{eq} con ΔT da Ritiro

| | | |
|-------------------------|---------|----------|
| Largh. Ritiro | 14.8100 | [m] |
| F_T_distr | 660 | [kN/m] |
| L soletta | 1.200 | [m] |
| F_T_risultante | 792 | [kN] |
| ΔT_{eq_Ritiro} | 15.53 | [°] |

4.6 Azione Sismica

Per il calcolo dell'azione sismica ci si è valse dell'**NTC18** e del foglio elettronico "Spettri-NTCver.1.0.3" scaricato dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

L'azione sismica è stata calcolata considerando lo Stato limite di salvaguardia della vita (in seguito SLV) e assumendo un fattore di comportamento $q = 1$ (spettro elastico).

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

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 numeriche

Tabella parametri >>>

Reticolo di riferimento

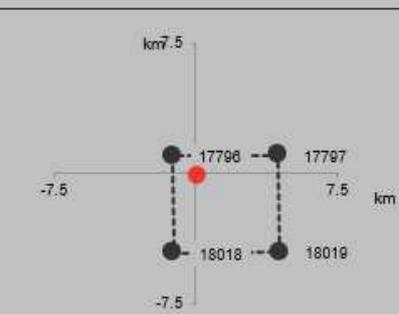


Controllo sul reticolo

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

Interpolazione

Nodi del reticolo intorno al sito



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

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_M 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 | SLO - $P_{VR} = 81\%$ | <input type="text" value="68"/> |
| | SLD - $P_{VR} = 63\%$ | <input type="text" value="113"/> |
| Stati limite ultimi - SLU | SLV - $P_{VR} = 10\%$ | <input type="text" value="1068"/> |
| | SLC - $P_{VR} = 5\%$ | <input type="text" value="2193"/> |

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** [info](#)

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** [info](#)

$S_S =$

$C_C =$ [info](#)

Categoria topografica **T1** [info](#)

$h/H =$

$S_T =$ [info](#)

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%)

$\eta =$ [info](#)

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0

Regol. in altezza **si** [info](#)

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q

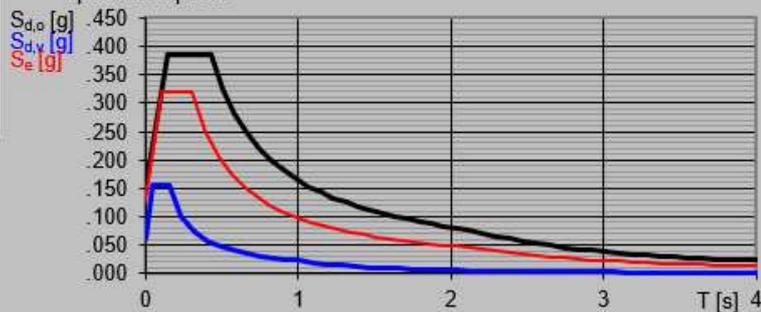
$\eta = 1/q =$ [info](#)

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta [▶▶▶](#)

Parametri e punti spettri di risposta [▶▶▶](#)

Spettri di risposta



- Spettro di progetto - componente orizzontale
- Spettro di progetto - componente verticale
- Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO

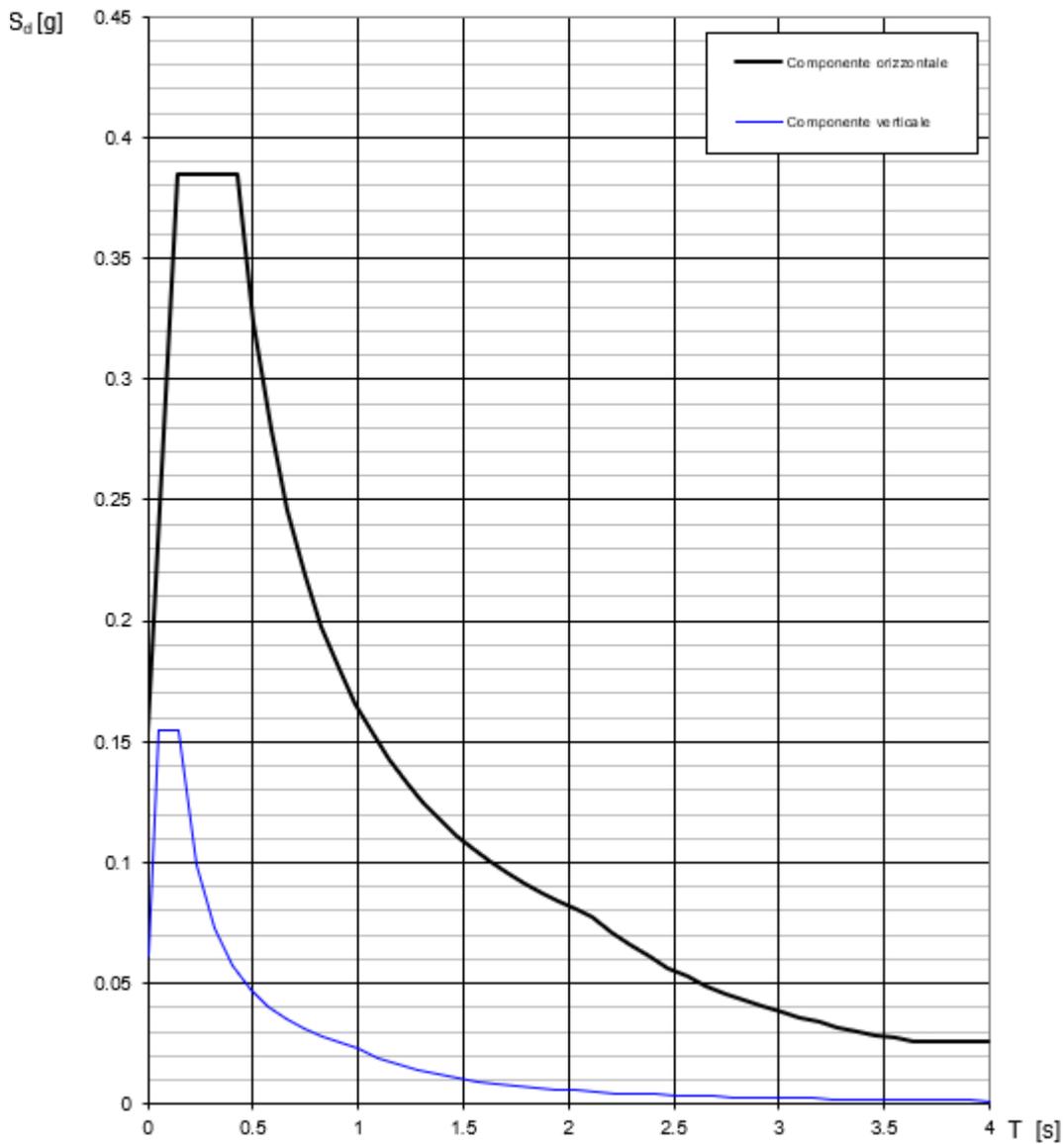
FASE 1

FASE 2

FASE 3

Di seguito si riportano i grafici relativi allo spettro di risposta elastico della componente sismica verticale (in blu) e orizzontale (in nero):

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



Di seguito si riportano i parametri dello spettro di risposta della componente sismica orizzontale allo SLV:

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

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0.128 g |
| F_0 | 2.504 |
| T_C | 0.305 s |
| S_s | 1.200 |
| C_C | 1.395 |
| S_T | 1.000 |
| q | 1.000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1.200 |
| η | 1.000 |
| T_B | 0.142 s |
| T_C | 0.425 s |
| T_D | 2.113 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

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

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|-------|-------|--------|
| | 0.000 | 0.154 |
| T_B | 0.142 | 0.386 |
| T_C | 0.425 | 0.386 |
| | 0.506 | 0.324 |
| | 0.586 | 0.280 |
| | 0.666 | 0.246 |
| | 0.747 | 0.220 |
| | 0.827 | 0.198 |
| | 0.907 | 0.181 |
| | 0.988 | 0.166 |
| | 1.068 | 0.153 |
| | 1.149 | 0.143 |
| | 1.229 | 0.133 |
| | 1.309 | 0.125 |
| | 1.390 | 0.118 |
| | 1.470 | 0.112 |
| | 1.551 | 0.106 |
| | 1.631 | 0.101 |
| | 1.711 | 0.096 |
| | 1.792 | 0.091 |
| | 1.872 | 0.088 |
| | 1.953 | 0.084 |
| | 2.033 | 0.081 |
| T_D | 2.113 | 0.078 |
| | 2.203 | 0.071 |
| | 2.293 | 0.066 |
| | 2.383 | 0.061 |
| | 2.473 | 0.057 |
| | 2.563 | 0.053 |
| | 2.652 | 0.049 |
| | 2.742 | 0.046 |
| | 2.832 | 0.043 |
| | 2.922 | 0.041 |
| | 3.012 | 0.038 |
| | 3.102 | 0.036 |
| | 3.191 | 0.034 |
| | 3.281 | 0.032 |
| | 3.371 | 0.030 |
| | 3.461 | 0.029 |
| | 3.551 | 0.027 |
| | 3.641 | 0.026 |
| | 3.730 | 0.026 |
| | 3.820 | 0.026 |
| | 3.910 | 0.026 |
| | 4.000 | 0.026 |

Di seguito si riportano i parametri dello spettro di risposta della componente sismica verticale allo SLV:

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limitSLV

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | |
|--------------|---------|
| a_{ov} | 0.062 g |
| S_a | 1.000 |
| S_T | 1.000 |
| q | 1.000 |
| T_B | 0.050 s |
| T_C | 0.150 s |
| T_D | 1.000 s |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|-------|
| F_v | 1.211 |
| S | 1.000 |
| η | 1.000 |

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_1}{g} \right)^{0.5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|---------|-------|--------|
| | 0.000 | 0.062 |
| T_B ← | 0.050 | 0.155 |
| T_C ← | 0.150 | 0.155 |
| | 0.235 | 0.099 |
| | 0.320 | 0.073 |
| | 0.405 | 0.058 |
| | 0.490 | 0.048 |
| | 0.575 | 0.041 |
| | 0.660 | 0.035 |
| | 0.745 | 0.031 |
| | 0.830 | 0.028 |
| | 0.915 | 0.025 |
| T_D ← | 1.000 | 0.023 |
| | 1.094 | 0.019 |
| | 1.188 | 0.017 |
| | 1.281 | 0.014 |
| | 1.375 | 0.012 |
| | 1.469 | 0.011 |
| | 1.563 | 0.010 |
| | 1.656 | 0.008 |
| | 1.750 | 0.008 |
| | 1.844 | 0.007 |
| | 1.938 | 0.006 |
| | 2.031 | 0.006 |
| | 2.125 | 0.005 |
| | 2.219 | 0.005 |
| | 2.313 | 0.004 |
| | 2.406 | 0.004 |
| | 2.500 | 0.004 |
| | 2.594 | 0.003 |
| | 2.688 | 0.003 |
| | 2.781 | 0.003 |
| | 2.875 | 0.003 |
| | 2.969 | 0.003 |
| | 3.063 | 0.002 |
| | 3.156 | 0.002 |
| | 3.250 | 0.002 |
| | 3.344 | 0.002 |
| | 3.438 | 0.002 |
| | 3.531 | 0.002 |
| | 3.625 | 0.002 |
| | 3.719 | 0.002 |
| | 3.813 | 0.002 |
| | 3.906 | 0.002 |
| | 4.000 | 0.001 |

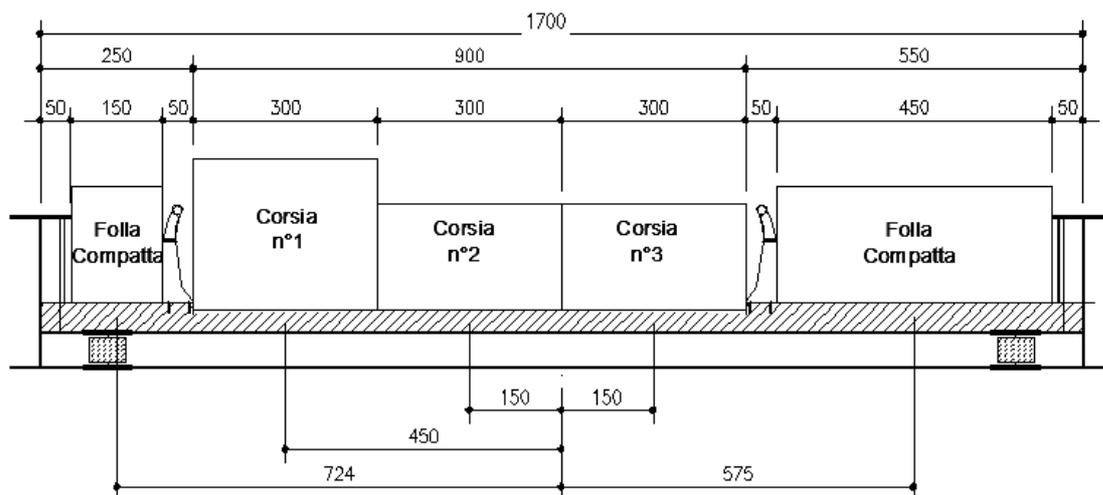
4.7 Carichi Mobili

Le azioni dovute ai Carichi Mobili sono state calcolate in riferimento all'**NTC18**; oltre agli schemi di carico da traffico verticali, è stata considerata l'azione della frenatura e quella della forza centrifuga; quest'ultima è risultata nulla poiché il cavalcavia è in rettilo.

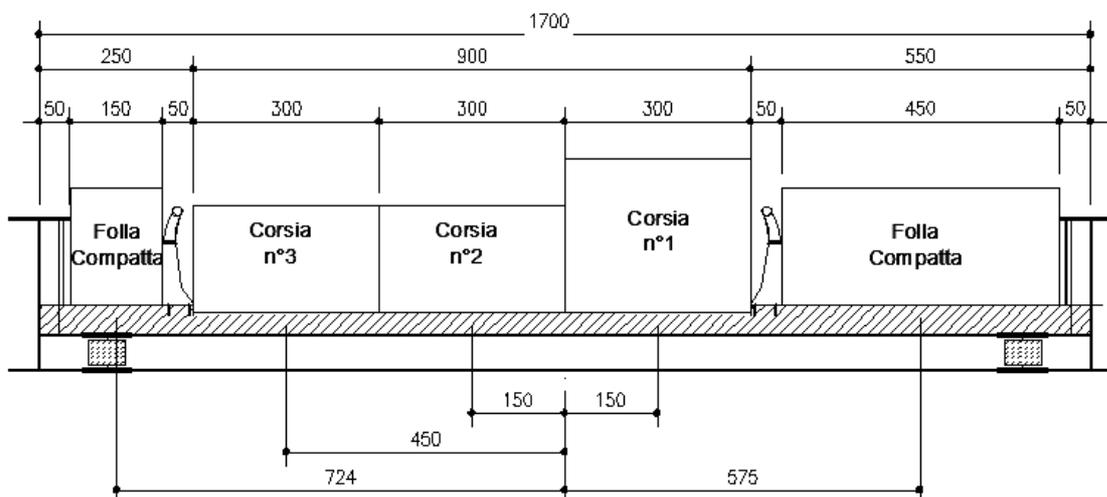
4.7.1 Carichi Verticali: Schemi di carico da traffico

Al fine di valutare gli effetti globali e locali sulle strutture principali dell'impalcato sono stati considerati gli schemi di carico 1, 2 e 5 di cui al § 5 delle **NTC18**. Di seguito si riportano le sezioni trasversali dell'impalcato con le diverse configurazioni trasversali (nel seguito CF) considerate (quote in cm).

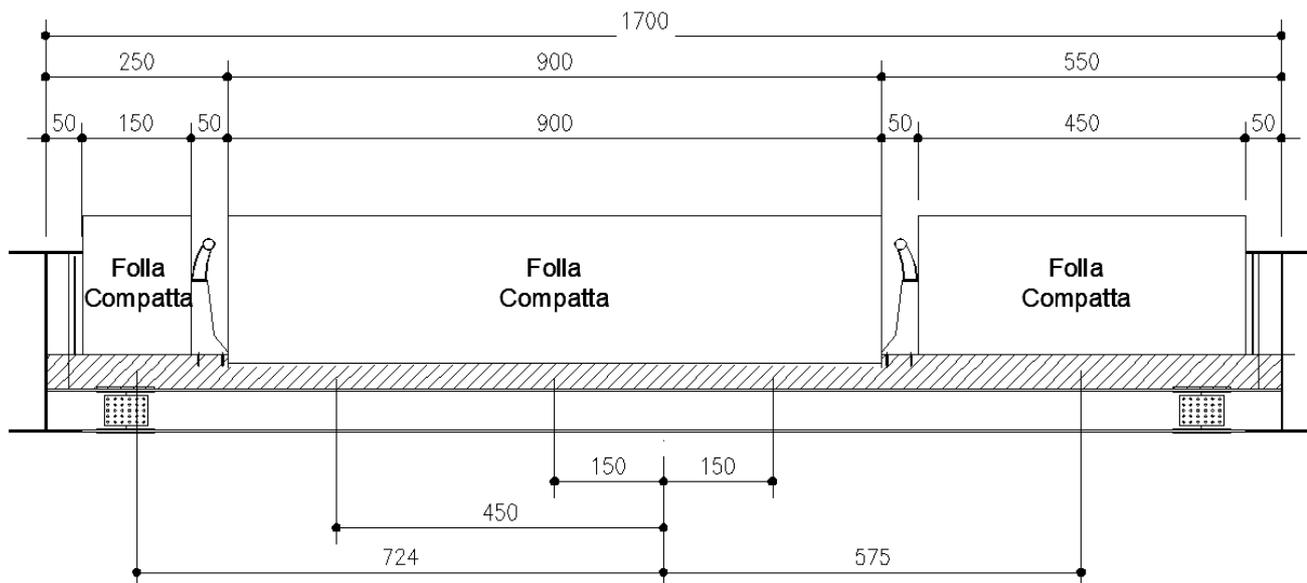
- SCHEMA 1: Configurazione Trasversale numero 1 (CF1):



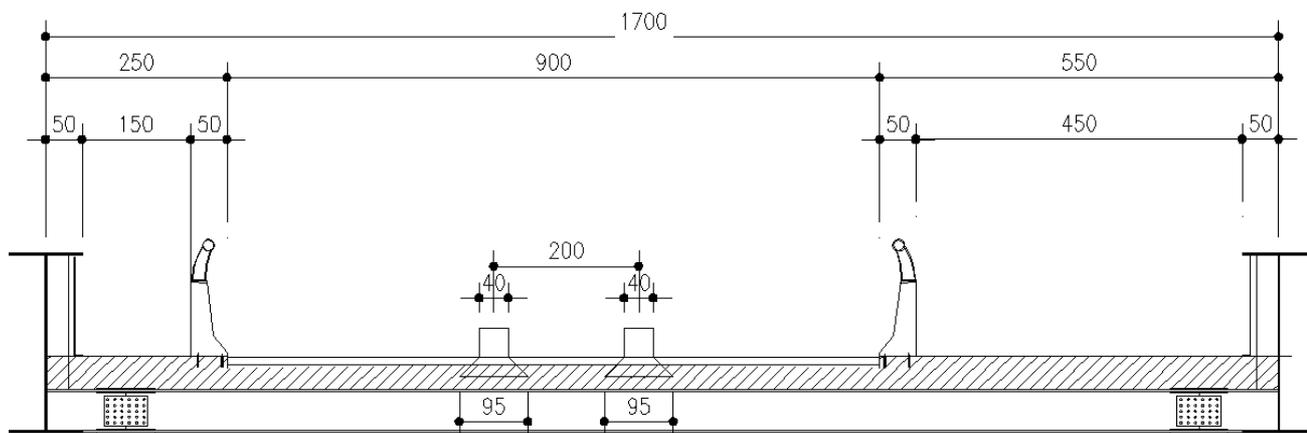
- SCHEMA 1: Configurazione Trasversale numero 2 (CF2):



- **SCHEMA 5: Configurazione Trasversale numero 4 (CF4):**



- **SCHEMA 2 (posizionato trasversalmente per massimizzare le sollecitazioni sul traverso):**



4.7.2 Frenatura

Poiché l'impalcato è "a via inferiore" l'azione della frenatura sul piano stradale è stata considerata eccentrica rispetto le travi principali, pertanto è stata considerata sia una forza longitudinale distribuita sia un momento flettente;

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

AZIONE DA TRAFFICO: FRENATURA

5.1.3.5 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE: q_3

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

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

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

| | | | |
|----------|---------|----------|---|
| Q1k | 300 | [kN] | Singolo Tandem Corsia n°1 |
| q1k | 9 | [kN/m] | Carico Uniformemente distribuito Corsia n°1 |
| w1 | 3 | [m] | Larghezza corsia convenzionale |
| R.trave1 | 0.620 | [m] | Primo retrotrave |
| Ap - Ap | 28.380 | [m] | Distanza Appoggi - Appoggi |
| R.trave1 | 0.620 | [m] | Secondo retrotrave |
| L | 29.620 | [m] | Lunghezza della zona caricata |
| q3 | 439.974 | [kN] | Forza di frenamento/accelerazione |

| | | | |
|--------------|---------|---------|----------------------------------|
| h traverso | 0.600 | [m] | Altezza profilo HEB600 |
| h soletta | 0.350 | [m] | Spessore soletta |
| h nero | 0.100 | [m] | Spessore della pavimentazione |
| h frenatura | 1.050 | [m] | Quota piano della pavimentazione |
| h trave | 2.500 | [m] | Altezza profilo trave principale |
| Baricentro | 1.250 | [m] | Baricentro Trave principale |
| Eccentricità | 0.200 | [m] | Baricentro Trave principale |
| Momento | 87.9948 | [kNm] | Momento dato dalla Frenatura |

| | | | |
|-------------|-------|-------|---|
| Interasse | 16.47 | [m] | Interasse travi |
| Dist Tr. Sx | 3.88 | [m] | eccentricità corsia 1 - Trave sx |
| Dist Tr. Dx | 12.59 | [m] | eccentricità corsia 1 - Trave dx |
| % Fren. Sx | 0.76 | [%] | Percentuale di Frenatura sulla Trave Sx |
| % Fren. Dx | 0.24 | [%] | Percentuale di Frenatura sulla Trave Dx |

| | | | |
|---------|--------|-----------|-------------------------------|
| F q3 Sx | 11.358 | [kN/m] | Forza di Frenatura Trave Sx |
| M q3 Sx | 2.272 | [kNm/m] | Momento di Frenatura Trave Sx |
| F q3 Dx | 3.496 | [kN/m] | Forza di Frenatura Trave Dx |
| M q3 Dx | 0.699 | [kNm/m] | Momento di Frenatura Trave Dx |

4.7.3 Centrifuga

La forza centrifuga è nulla poiché l'impalcato è in rettilifilo;

Di seguito si riportano gli estratti dal foglio di calcolo:

AZIONE DA TRAFFICO: FORZA CENTRIFUGA

5.1.3.6 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE CENTRIFUGA: q_4

Nei ponti con asse curvo di raggio R (in metri) l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato in Tab. 5.1.III, essendo $Q_v = \sum_i 2Q_{ik}$ il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte.

Il carico concentrato q_4 applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

Tab. 5.1.III - Valori caratteristici delle forze centrifughe

| Raggio di curvatura [m] | q_4 [kN] |
|-------------------------|------------|
| $R < 200$ | $0,2 Q_v$ |
| $200 \leq R \leq 1500$ | $40 Q_v/R$ |
| $1500 \leq R$ | 0 |

| | | |
|---------------------------|-----------------|--------|
| Corsia n°1 presente ? | Corsia presente | [-] |
| Corsia n°2 presente ? | Corsia presente | [-] |
| Corsia n°3 presente ? | Corsia presente | [-] |
| Singolo Tandem Corsia n°1 | 300 | [kN] |
| Singolo Tandem Corsia n°2 | 200 | [kN] |
| Singolo Tandem Corsia n°3 | 100 | [kN] |
| $Q_v = \sum_i 2Q_{ik}$ | 1200 | [kN] |
| Raggio di curvatura | 2000 | [m] |
| q_4 | 0 | [kN] |

4.7.4 Azione da Urto

Per la combinazione eccezionale da Urto si è fatto affidamento alle **LG ANAS**, scegliendo, a favore di sicurezza, 4 forze orizzontali da 100 kN in combinazione con lo Schema di carico 2 come da figura sottostante:

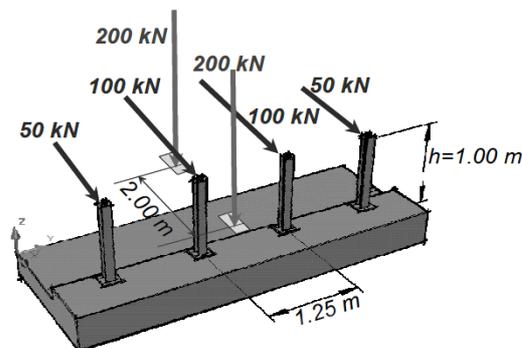


Figura - Sistema di forze equivalenti per condizioni di progetto ordinarie.

5. ANALISI MODALE

Per il calcolo della massa sismica della struttura si è fatto riferimento all'NTC18, in particolare al §2.5.3, equazione [2.5.7]; In più si è considerato anche il contributo dei carichi mobili come esplicitato al §5.1.3.12 di cui si riporta uno stralcio:

5.1.3.12 AZIONI SISMICHE: E

Per le azioni sismiche si devono rispettare le prescrizioni di cui ai §§ 2.5.3 e 3.2.

Nelle espressioni [2.5.5] e [2.5.7] si assume, di regola, per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_3 = 0,0$.

Ove necessario, per esempio per ponti in zona urbana di intenso traffico, si assume per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_3 = 0,2$, quando rilevante, sia nella combinazione delle azioni, sia per la definizione dell'effetto dell'azione sismica.

Di seguito si riporta la massa dell'impalcato calcolata dal programma SAP2000 e confrontata su Excel:

Masse SAP2000 normalizzate rispetto l'accelerazione gravitazionale $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$

TABLE: Assembled Joint Masses

| Joint | MassSource | U1 | U2 | U3 | R1 | R2 | R3 | CenterX | CenterY | CenterZ |
|------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| Text | Text | KN-s2/m | KN-s2/m | KN-s2/m | KN-m-s2 | KN-m-s2 | KN-m-s2 | m | m | m |
| SumAccelUX | MSSSRC1 | 926 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1.62E-16 | 0.06044 | 0.15265 |
| SumAccelUY | MSSSRC1 | 0 | 926 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1.62E-16 | 0.06044 | 0.15265 |
| SumAccelUZ | MSSSRC1 | 0 | 0 | 926 | 0 | 0 | 0 | -1.62E-16 | 0.06044 | 0.15265 |

| | | |
|---------|--------------|--|
| SAP2000 | U1 = U2 = U3 | $\Delta [\%] =$ (SAP2000 - Excel)/Excel |
| | [kN] | |
| | 9081 | |
| Excel | 9079 | 0.024% |

5.1 Fattori di Partecipazione di massa

Di seguito si riportano i fattori di partecipazioni di massa dei modi della struttura, nonché il relativo valore cumulativo nelle 3 direzioni principali. In corrispondenza del modo n. 17 il fattore di partecipazione di massa cumulativo nelle 3 direzioni risulta maggiore dell'85%:

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
|------------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 0.514 | 0.04% | 81.02% | 0.05% | 0.04% | 81.02% | 0.05% |
| MODAL | Mode | 2 | 0.440 | 3.26% | 0.01% | 73.10% | 3.30% | 81.03% | 73.16% |
| MODAL | Mode | 3 | 0.252 | 1.84% | 0.04% | 0.00% | 5.14% | 81.07% | 73.16% |
| MODAL | Mode | 4 | 0.247 | 0.20% | 0.04% | 1.30% | 5.34% | 81.12% | 74.45% |
| MODAL | Mode | 5 | 0.234 | 0.27% | 0.05% | 0.23% | 5.61% | 81.16% | 74.69% |
| MODAL | Mode | 6 | 0.231 | 0.19% | 0.00% | 14.82% | 5.79% | 81.16% | 89.51% |
| MODAL | Mode | 7 | 0.223 | 2.75% | 0.09% | 0.17% | 8.54% | 81.25% | 89.68% |
| MODAL | Mode | 8 | 0.218 | 0.80% | 0.01% | 1.19% | 9.34% | 81.26% | 90.87% |
| MODAL | Mode | 9 | 0.199 | 4.37% | 0.11% | 0.14% | 13.71% | 81.37% | 91.01% |

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
|--------------|-------------|-----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 10 | 0.184 | 5.77% | 0.01% | 0.13% | 19.47% | 81.38% | 91.14% |
| MODAL | Mode | 11 | 0.176 | 56.02% | 0.18% | 1.13% | 75.50% | 81.57% | 92.28% |
| MODAL | Mode | 12 | 0.165 | 3.83% | 0.01% | 0.06% | 79.33% | 81.57% | 92.33% |
| MODAL | Mode | 13 | 0.158 | 1.27% | 5.10% | 0.02% | 80.60% | 86.67% | 92.35% |
| MODAL | Mode | 14 | 0.149 | 1.56% | 0.03% | 0.05% | 82.16% | 86.70% | 92.40% |
| MODAL | Mode | 15 | 0.141 | 2.14% | 0.02% | 0.02% | 84.30% | 86.72% | 92.42% |
| MODAL | Mode | 16 | 0.132 | 0.55% | 3.61% | 0.02% | 84.85% | 90.33% | 92.44% |
| MODAL | Mode | 17 | 0.109 | 0.27% | 0.02% | 0.03% | 85.12% | 90.35% | 92.47% |
| MODAL | Mode | 18 | 0.102 | 0.79% | 0.02% | 1.53% | 85.90% | 90.37% | 94.00% |
| MODAL | Mode | 19 | 0.097 | 0.06% | 0.53% | 0.03% | 85.96% | 90.89% | 94.03% |
| MODAL | Mode | 20 | 0.077 | 0.11% | 1.72% | 0.00% | 86.07% | 92.62% | 94.03% |
| MODAL | Mode | 21 | 0.063 | 0.44% | 0.03% | 0.21% | 86.51% | 92.65% | 94.24% |
| MODAL | Mode | 22 | 0.054 | 6.98% | 0.00% | 0.08% | 93.49% | 92.65% | 94.33% |
| MODAL | Mode | 23 | 0.036 | 4.77% | 0.32% | 0.62% | 98.26% | 92.97% | 94.95% |
| MODAL | Mode | 24 | 0.031 | 0.12% | 4.71% | 0.03% | 98.39% | 97.68% | 94.98% |
| MODAL | Mode | 25 | 0.029 | 0.06% | 0.30% | 2.77% | 98.45% | 97.98% | 97.75% |

6. COMBINAZIONI DI CARICO

Poiché vi sono i Carichi Mobili si è fatto riferimento al §5 dell'NTC18 definendo i gruppi di azione ed usando i coefficienti di tale capitolo.

6.1 Gruppi di Azioni

Sono stati definiti due gruppi di azioni in accordo alla tabella 5.1.V dell'NTC18

Gruppo di azione 1:

- schema di carico 1/2: al valore caratteristico
- schema di carico 5 al valore di combinazione (2.5 kN/m²)

Gruppo di azione 2a:

- schema di carico 1: al valore frequente (0.75 per il carico Q_{ik} e 0.4 per il carico q_{ik})
- frenatura: al valore caratteristico.

Gruppo di azione 4:

- schema di carico 5: al valore caratteristico (5 kN/m²)
- forza centrifuga: al valore caratteristico.

6.2 Coefficienti e Combinazioni di carico

Di seguito si riportano le tabelle dei coefficienti di combinazione del §5 dell'NTC18

Tab. 5.1.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| | | Coefficiente | EQU ⁽¹⁾ | A1 | A2 |
|--|-------------|---|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti g_1 e g_3 | favorevoli | γ_{G1} e γ_{G3} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2 | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,35 | 1,35 | 1,15 |
| Azioni variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto | favorevoli | $\gamma_{\epsilon 1}$ | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,00 ⁽³⁾ | 1,00 ⁽⁴⁾ | 1,00 |
| Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari | favorevoli | $\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

| Azioni | Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV) | Coefficiente ψ_0 di combi- nazione | Coefficiente ψ_1 (valori frequentissimi) | Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|--|---------------------------------------|---|---|---|
| Azioni da traffico (Tab. 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 |
| | 5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento | a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| | in esecuzione | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| | a ponte carico SLU e SLE | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Neve | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | in esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | SLU e SLE | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

In accordo ai coefficienti delle precedenti tabelle sono state definite le seguenti combinazioni di carico.

- Combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)

| COMB | G1 | G2 | Gruppo azione 1 | Gruppo azione 2a | Gruppo azione 4 | Vento | Effetti termici | Viscosità e ritiro |
|-----------|------|-----|--------------------|---------------------|--------------------|-------|--------------------|-----------------------|
| SLU STR 1 | 1.35 | 1.5 | 1.35 | - | - | 0.9 | 0.9 | 1.2 |
| SLU STR 2 | 1.35 | 1.5 | - | 1.35 | - | 0.9 | 0.9 | 1.2 |
| SLU STR 3 | 1.35 | 1.5 | - | 1.35 | - | 0.9 | 1.5 | 1.2 |
| SLU STR 4 | 1.35 | 1.5 | - | 1.35 | - | 1.5 | 0.9 | 1.2 |

- Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio (SLE) RARA

| COMB | G1 | G2 | Gruppo azione 1 | Gruppo azione 2a | Gruppo azione 4 | Vento | Effetti termici | Viscosità e ritiro |
|------------|----|----|--------------------|---------------------|--------------------|-------|--------------------|-----------------------|
| SLE RARA 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | 0.6 | 0.6 | 1 |
| SLU RARA 2 | 1 | 1 | - | 1 | - | 0.6 | 0.6 | 1 |
| SLU RARA 3 | 1 | 1 | - | - | 1 | 0.6 | 0.6 | 1 |

**IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
 Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
 L=28.38m**

| | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | FASE-ENTE D 09 CL | DOCUMENTO IV0209001 | REV. A | FOGLIO 39 di 100 |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|

- Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio (SLE) FREQUENTE

| | Permanenti | Permanenti non strutturali | Schema di carico q_k | Schema di carico Q_k | Effetti termici | Viscosità e ritiro |
|-----------|------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| SLE FREQ. | 1 | 1 | 0.4 | 0.75 | 0.6 | 1 |

- Combinazioni allo Stato Limite d'Esercizio (SLE) QUASI PERMANENTE

| | Permanenti | Permanenti non strutturali | Effetti termici | Viscosità e ritiro |
|----------|------------|----------------------------|-----------------|--------------------|
| SLE Q.P. | 1 | 1 | 0.5 | 1 |

- Combinazione ECCEZIONALE (URTO)

| COMB | G1 | G2 | Gruppo azione 1 | URTO | Gruppo azione 4 | Vento | Effetti termici | Viscosità e ritiro |
|----------|------|-----|-----------------|------|-----------------|-------|-----------------|--------------------|
| ECC_URTO | 1.35 | 1.5 | 1.35 | 1.35 | - | - | - | - |

- Combinazioni allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

| | Permanenti | Permanenti non strutturali | Ritiro | Gruppo azione 1 | Effetti termici | Spettro orizz. X | Spettro orizz. Y | Spettro vert. Z |
|-------------|------------|----------------------------|--------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| SISMA X SLV | 1 | 1 | 1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 0.3 | 0.3 |
| SISMA Y SLV | 1 | 1 | 1 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 1 | 0.3 |
| SISMA Z SLV | 1 | 1 | 1 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 1 |

7. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI

7.1 Valutazione della larghezza collaborante

La determinazione della soletta collaborante con i traversi è stata effettuata nel rispetto di quanto previsto dal § 4.3.2.3 delle **NTC18**; Il calcolo delle larghezze efficaci è stato effettuato per i traversi interni e d'estremità sia in zona di campata sia in zona d'appoggio; Di seguito si riporta il calcolo:

1 - TRAVERSI INTERNI

ZONA CAMPATA

NTC18 4.3.2.3

| | | |
|-----------|-------|-------|
| b0 | 0.1 | [m] |
| i | 1.2 | [m] |
| b1=b2 | 0.550 | [m] |
| Le | 17 | [m] |
| Le/8 | 2.125 | [m] |
| be1 = be2 | 0.550 | [m] |
| beff | 1.200 | [m] |
| beff | 1.200 | [m] |

ZONA APPOGGI

NTC18 4.3.2.3

| | | |
|---------------------------|-------|-------|
| b0 | 0.1 | [m] |
| i | 1.2 | [m] |
| b1=b2 | 0.550 | [m] |
| Le | 17 | [m] |
| Le/8 | 2.125 | [m] |
| be1 = be2 | 0.550 | [m] |
| $\beta_{e1} = \beta_{e2}$ | 1.000 | [-] |
| $\beta_{e1} * be1$ | 0.55 | [m] |
| $\beta_{e2} * be2$ | 0.55 | [m] |
| beff | 1.200 | [m] |
| beff | 1.200 | [m] |

ZONA APPOGGI

NTC18 4.3.2.3

2 - TRAVERSI 1° = 2° = PENULTIMO = ULTIMO

ZONA CAMPATA

NTC18 4.3.2.3

| | | |
|--------|-------|-------|
| b0 | 0.100 | [m] |
| i/2 sx | 0.600 | [m] |
| i/2 dx | 0.575 | [m] |
| b1 | 0.550 | [m] |
| b2 | 0.525 | [m] |
| Le | 17 | [m] |
| Le/8 | 2.125 | [m] |
| be1 | 0.550 | [m] |
| be2 | 0.525 | [m] |
| beff | 1.175 | [m] |
| beff | 1.175 | [m] |

| | | |
|--------------------|-------|-------|
| b0 | 0.100 | [m] |
| i/2 sx | 0.600 | [m] |
| i/2 dx | 0.575 | [m] |
| b1 | 0.550 | [m] |
| b2 | 0.525 | [m] |
| Le | 17 | [m] |
| Le/8 | 2.125 | [m] |
| be1 | 0.550 | [m] |
| be2 | 0.525 | [m] |
| β_{e1} | 1.000 | [-] |
| β_{e2} | 1.000 | [-] |
| $\beta_{e1} * be1$ | 0.55 | [m] |
| $\beta_{e2} * be2$ | 0.525 | [m] |
| beff | 1.175 | [m] |
| beff | 1.175 | [m] |

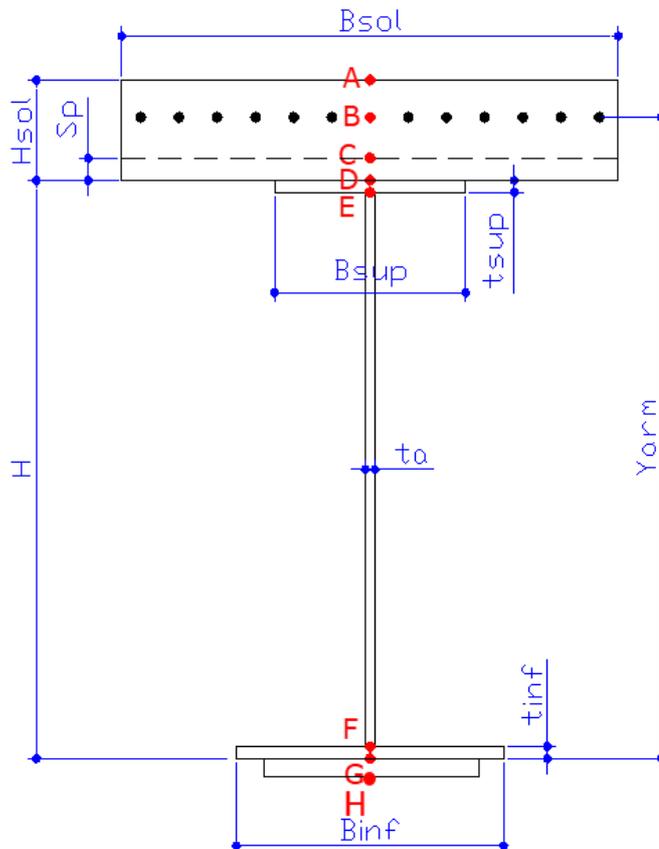
7.2 Caratteristiche meccaniche dei traversi

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche della sezione mista acciaio-calcestruzzo che realizza il traverso (HEB600 con soletta collaborante):

| | | | | |
|--------------------|-----------|------|----|--|
| TRAVERSO HEB600 | H | 600 | mm | Altezza totale trave in acciaio |
| | B_{sup} | 300 | mm | Larghezza piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t_{sup} | 30 | mm | Spessore piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t_a | 15.5 | mm | Spessore anima trave in acciaio |
| | B_{inf} | 300 | mm | Larghezza piattabanda inferiore trave in acciaio |
| | t_{inf} | 30 | mm | Spessore piattabanda inferiore trave in acciaio |
| | t piastra | 20 | mm | Spessore della piastra inferiore |

| | | | | |
|---------|-----------|------|----|--|
| Soletta | B_{sol} | 1200 | mm | Larghezza efficace della soletta valutata secondo § 4.3.2.3 |
| | H_{sol} | 350 | mm | Spessore della soletta al lordo di un eventuale lamiera grecata o predalle |
| | S_p | 50 | mm | Spessore della porzione non collaborante della soletta (predalle) |

Di seguito si riporta la sezione trasversale con i punti di controllo in cui sono state calcolate le tensioni agenti:



Per la verifica del traverso si è fatto un calcolo per “fasi” della sezione mista in acciaio calcestruzzo, considerando per ogni azione una differente sezione di verifica e sommando a posteriori gli effetti fase per fase. In particolare:

fase 1: sezione costituita dal solo traverso d'acciaio (pesi propri acciaio e soletta in calcestruzzo G1);

fase 2: sezione costituita dal traverso d'acciaio più soletta omogeneizzata con n a tempo infinito per G2 (pesi permanenti non portanti G2);

fase 3: sezione costituita dal traverso d'acciaio più soletta omogeneizzata con n istantaneo (Termica, Vento, Sisma, Carichi Mobili).

fase 4: sezione costituita dal traverso d'acciaio più soletta omogeneizzata con n a tempo infinito da Ritiro (Effetti del Ritiro).

Ai fini delle verifiche di sicurezza e stabilità si riportano inoltre per ciascuna sezione di trave modellata e per in ogni fase considerata (1^a fase, 2^a fase T_o, 3^a fase T_{oo}) i parametri seguenti omogeneizzati in acciaio:

- A [m²] area
- Y_G [m] quota baricentro rispetto all'intradosso trave
- I₃ [m⁴] momento d'inerzia nel piano
- At [m²] area a taglio verticale
- W_A [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo A (estradosso soletta)
- W_B [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo B (baricentro armature)
- W_C [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo C (intradosso soletta su predalla)
- W_D [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo D (estradosso ala superiore)
- W_E [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo E (fibra superiore anima)
- W_F [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo F (fibra inferiore anima)
- W_G [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo G (intradosso ala inferiore)
- W_G [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo G (intradosso ala inferiore)
- W_H [m³] modulo di resistenza per flessione nel punto di controllo H (intradosso piastra inferiore)

Per le verifiche in zona d'appoggio, a favore di sicurezza, si è considerata la soletta sempre in trazione la verifica nella sezione d'appoggio del traverso è stata eseguita considerando il solo contributo del profilo d'acciaio.

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | FASE-ENTE D 09 CL | DOCUMENTO IV0209001 | REV. A | FOGLIO 43 di 100 |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|

7.2.1 Parametri in 1° fase

| CARATTERISTICHE MECCANICHE SEZIONE | Tipo sez. / FASI | Descrizione : Elementi resistenti | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|--|---------------------|-----------------------------------|---|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| | 1 | Trave in acciaio | - | 32000 | 271.56 | 2 116 000 000 | 8370 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG | WH |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ | mm ⁴ |
| | | | -6 072 782 | -6 644 894 | 9 550 460 | 8 411 512 | 7 792 016 |

7.2.2 Parametri in 2° fase

| CARATTERISTICHE MECCANICHE SEZIONE | Tipo sez. / FASI | Descrizione : Elementi resistenti | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|--|---------------------|--|--------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| | 2 | Trave mista a lungo termine per carichi permanenti portati | 16.268 | 56 141 | 530 | 4 926 000 000 | 8 370 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG | WH |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ | mm ⁴ |
| -182 125 677 | -15 638 095 | -572 394 985 | -54 733 333 | -82 100 000 | 10 262 500 | 9 658 824 | 9 294 340 |

7.2.3 Parametri in 3° fase

| CARATTERISTICHE MECCANICHE SEZIONE | Tipo sez. / FASI | Descrizione : Elementi resistenti | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|--|---------------------|---|-------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| | 3 | Soletta+armatura per carichi istantanei | 6.065 | 61 369 | - | - | - |
| | 3 | Trave mista a breve termine | 6.065 | 93 369 | 628.35 | 8 816 000 000 | 8 370 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG | WH |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ | mm ⁴ |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| -156 499 727 | -40 692 361 | -1 283 748 657 | 1 055 808 383 | 229 882 660 | 15 243 365 | 14 491 658 | 14 030 397 |

7.2.4 Parametri in 4° fase

| CARATTERISTICHE MECCANICHE SEZIONE | Tipo sez. / FASI | Descrizione : Elementi resistenti | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|--|---------------------|---|--------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| | 4 | Soletta+armatura per carichi da ritiro | 15.562 | 25 144 | - | - | - |
| | 4 | Trave mista a lungo termine per carichi da ritiro | 15.562 | 57 144 | 530 | 5 007 000 000 | 8 370 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG | WH |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ | mm ⁴ |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| -177 091 199 | -15 895 238 | -556 572 340 | -55 633 333 | -83 450 000 | 10 431 250 | 9 817 647 | 9 447 170 |

7.3 Caratteristiche meccaniche delle travi principali

7.3.1 Sezione 1 – Appoggio

| | | | | |
|-----------------------|------------------|------|----|--|
| Sezione 1 Appoggio | H | 2500 | mm | Altezza totale trave in acciaio |
| | B _{sup} | 1000 | mm | Larghezza piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t _{sup} | 40 | mm | Spessore piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t _a | 16.0 | mm | Spessore anima trave in acciaio |
| | B _{inf} | 1000 | mm | Larghezza piattabanda inferiore trave in acciaio |
| | t _{inf} | 40 | mm | Spessore piattabanda inferiore trave in acciaio |

Poiché la sezione risulta essere in classe 4 si è proceduto calcolando l'Area Efficace e l'Inerzia efficace; Le sezioni d'appoggio non essendo collaboranti sono uguali per tutte le fasi ed hanno le seguenti caratteristiche meccaniche calcolate ai soli punti di controllo del profilo d'acciaio (D,E,F e G):

| CARATTERISTICHE MECCANICHE SEZIONE | Tipo sez. / FASI | Descrizione | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|--|---------------------|------------------|---|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| | 1 | Trave in acciaio | - | 83008 | 1155 | 129 303 832 312 | 38 720 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ |
| | | | -96 136 999 | -99 083 737 | 115 967 097 | 111 950 936 |

7.3.2 Sezione 2 – Mezzeria

| | | | | |
|-----------------------|------------------|------|----|--|
| Sezione 2 Mezzeria | H | 2500 | mm | Altezza totale trave in acciaio |
| | B _{sup} | 1000 | mm | Larghezza piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t _{sup} | 50 | mm | Spessore piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t _a | 12.0 | mm | Spessore anima trave in acciaio |
| | B _{inf} | 1000 | mm | Larghezza piattabanda inferiore trave in acciaio |
| | t _{inf} | 50 | mm | Spessore piattabanda inferiore trave in acciaio |

Poiché la sezione risulta essere in classe 4 si è proceduto calcolando l'Area Efficace e l'Inerzia efficace; Le sezioni d'appoggio non essendo collaboranti sono uguali per tutte le fasi ed hanno le seguenti caratteristiche meccaniche calcolate ai soli punti di controllo del profilo d'acciaio (D,E,F e G):

| CARATTERISTICHE MECCANICHE SEZIONE | Tipo sez. / FASI | Descrizione | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|--|---------------------|------------------|---|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| | 1 | Trave in acciaio | - | 106316 | 1211 | 160 331 027 705 | 28 800 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ |
| | | | -124 337 254 | -129 352 936 | 138 155 070 | 132 448 612 |

8. MODELLI DI CALCOLO

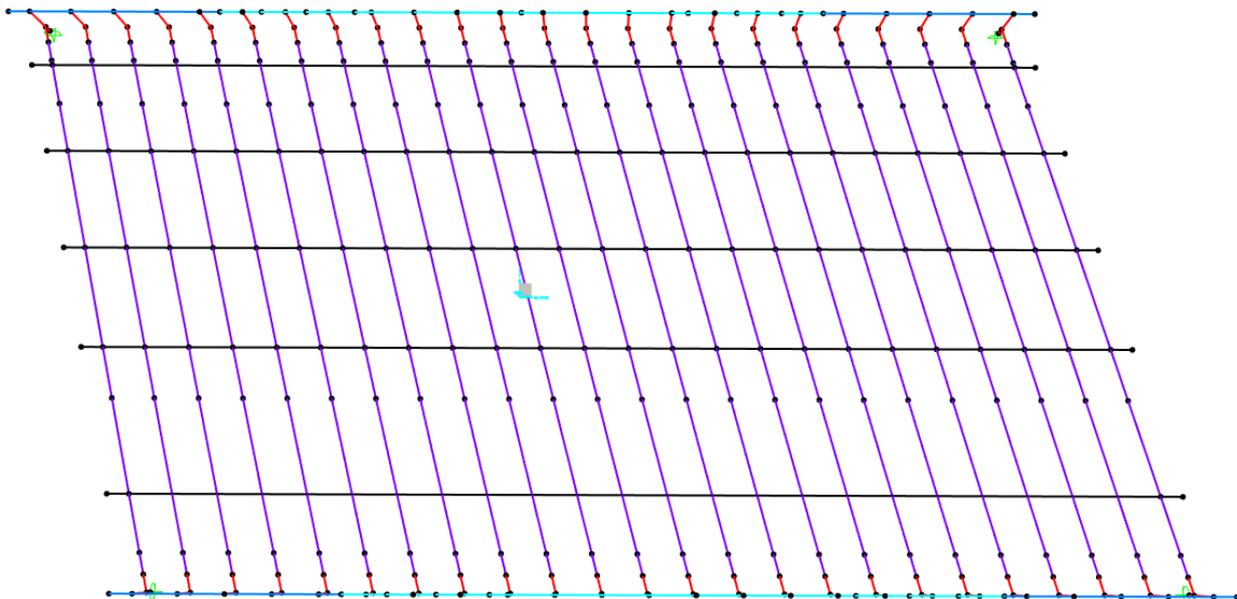
Per lo studio del cavalcavia IV01 sono stati creati i seguenti modelli di calcolo:

1. Modello di calcolo dell'impalcato (4 per le 4 fasi di calcolo)
2. Modello di calcolo locale del Traverso per le verifiche in mezzeria (sezione collaborante)
3. Modello di calcolo locale del Traverso per le Verifiche in appoggio (solo HEB600)
4. Modello di calcolo locale dei traversi con soletta per verifiche a fatica
5. Modello di calcolo locale per instabilità della piattabanda superiore della trave principale in zona centrale (Anima trave d'acciaio, irrigidenti trasversali in mezzeria e traverso)
6. Modello di calcolo locale per instabilità della piattabanda superiore della trave principale in zona traversi di testata (Anima trave d'acciaio, irrigidenti trasversali di testata e traverso).

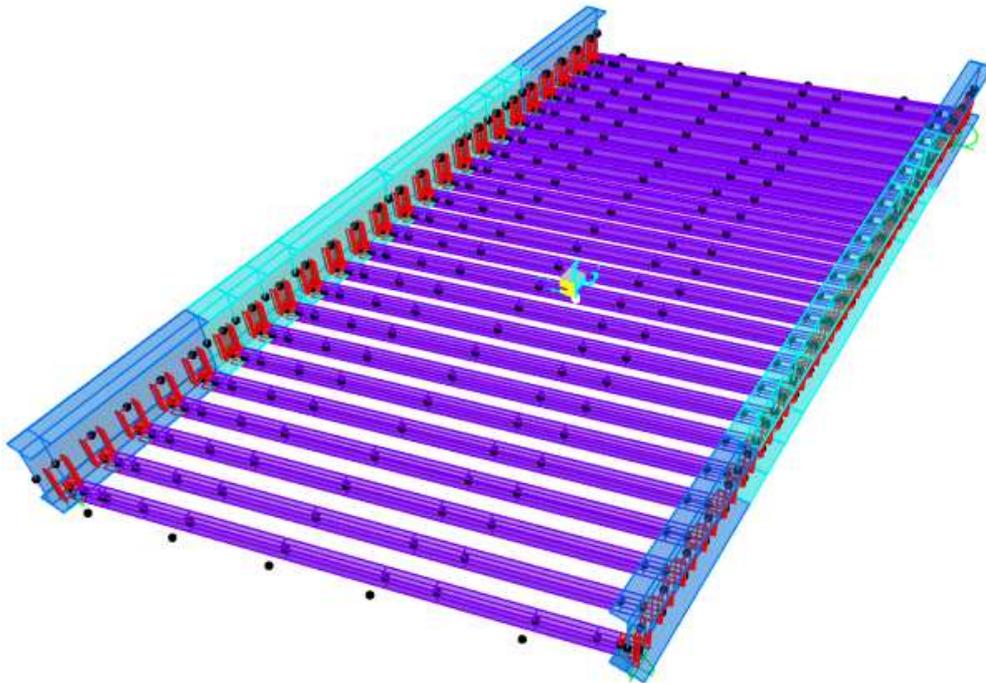
8.1 Modello di calcolo dell'impalcato

8.1.1 Modello per Fase 1

Si mostra di seguito la vista unifilare del modello:

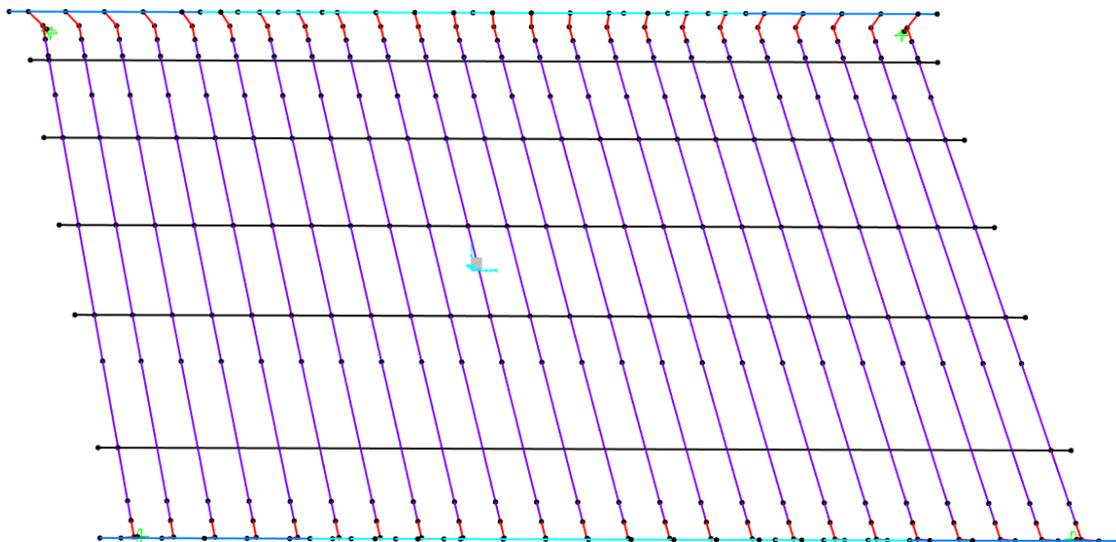


Di seguito si mostra la vista estrusa del modello:

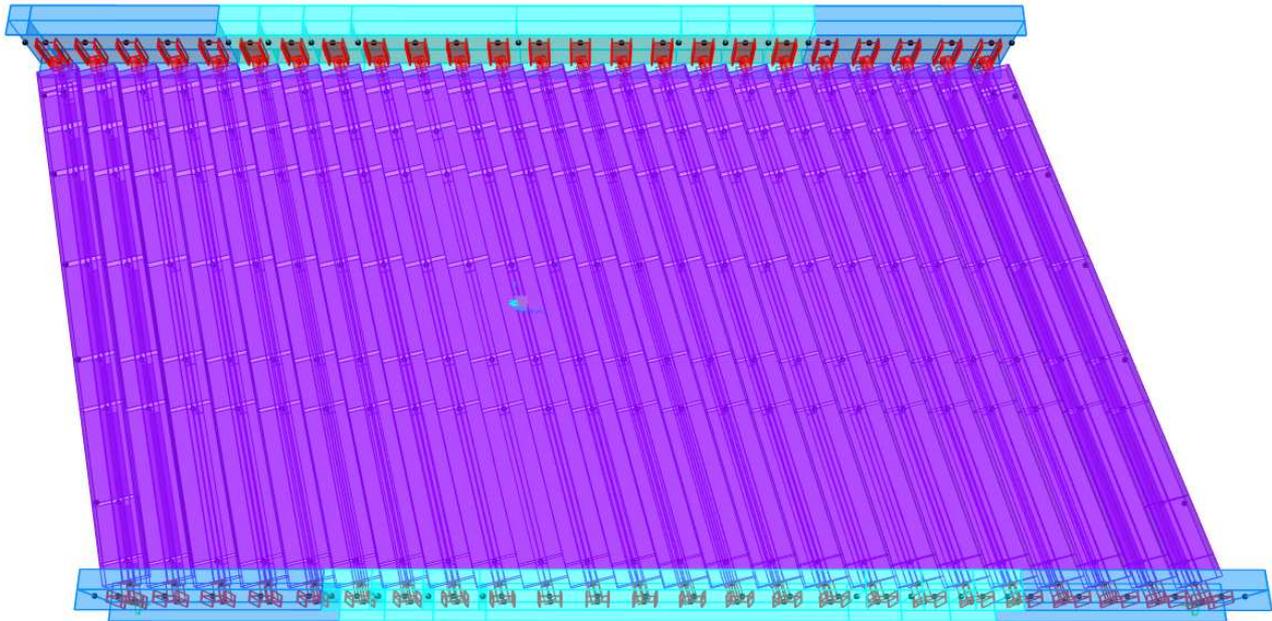


8.1.2 Modello per Fase 2=3=4

Per i seguenti modelli cambiano solo le caratteristiche meccaniche, la geometria è sempre la stessa; di seguito si mostra la vista unifilare del modello:

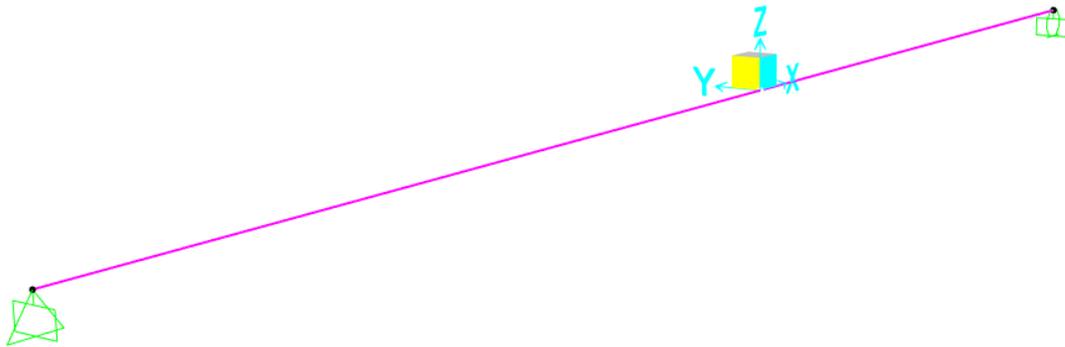


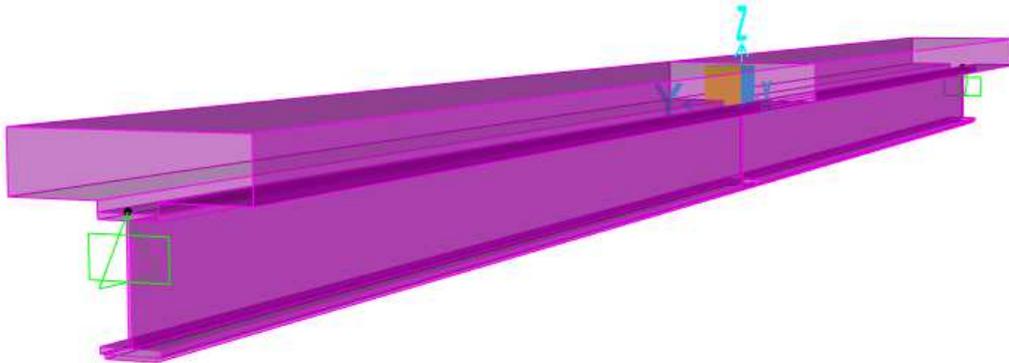
Di seguito si mostra la vista estrusa del modello:



8.1.3 Modello locale Traverso in mezzeria

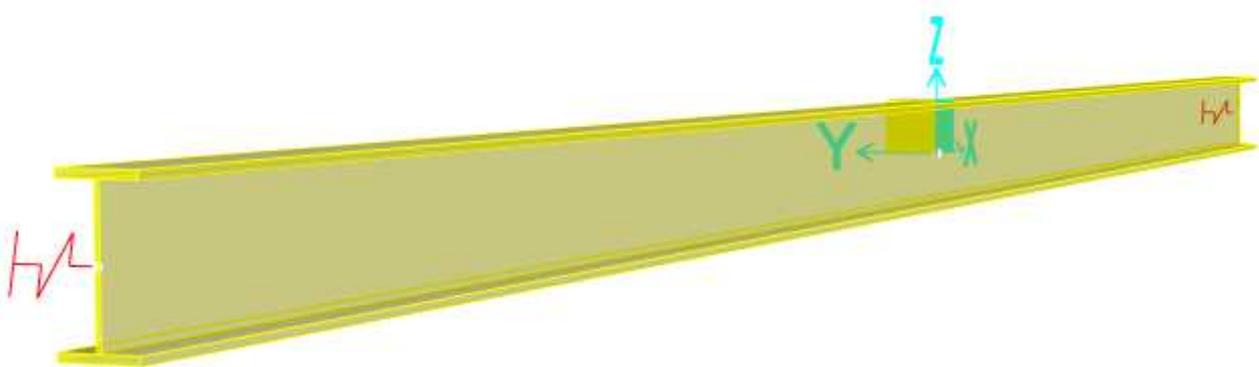
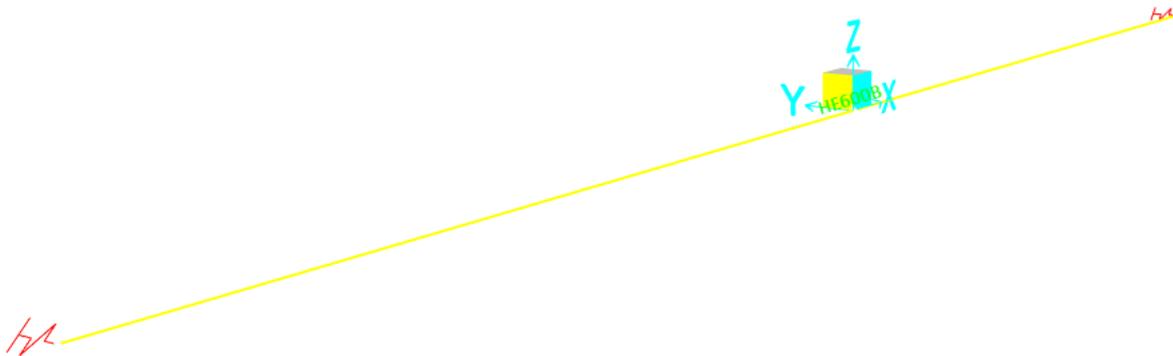
Di seguito si mostra prima la vista unifilare ed in seguito la vista estrusa:





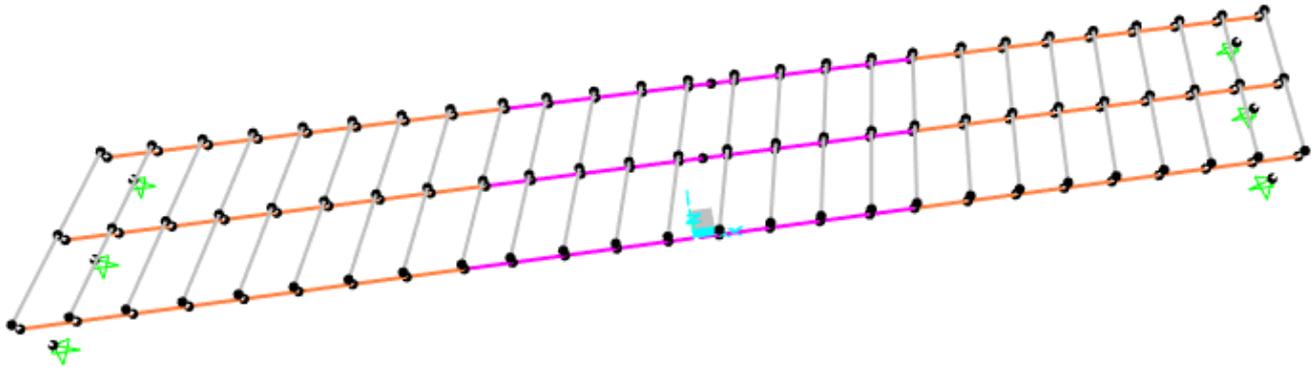
8.1.4 Modello locale Trasverso in appoggio

Di seguito si mostra prima la vista unilaterale ed in seguito la vista estrusa del modello:

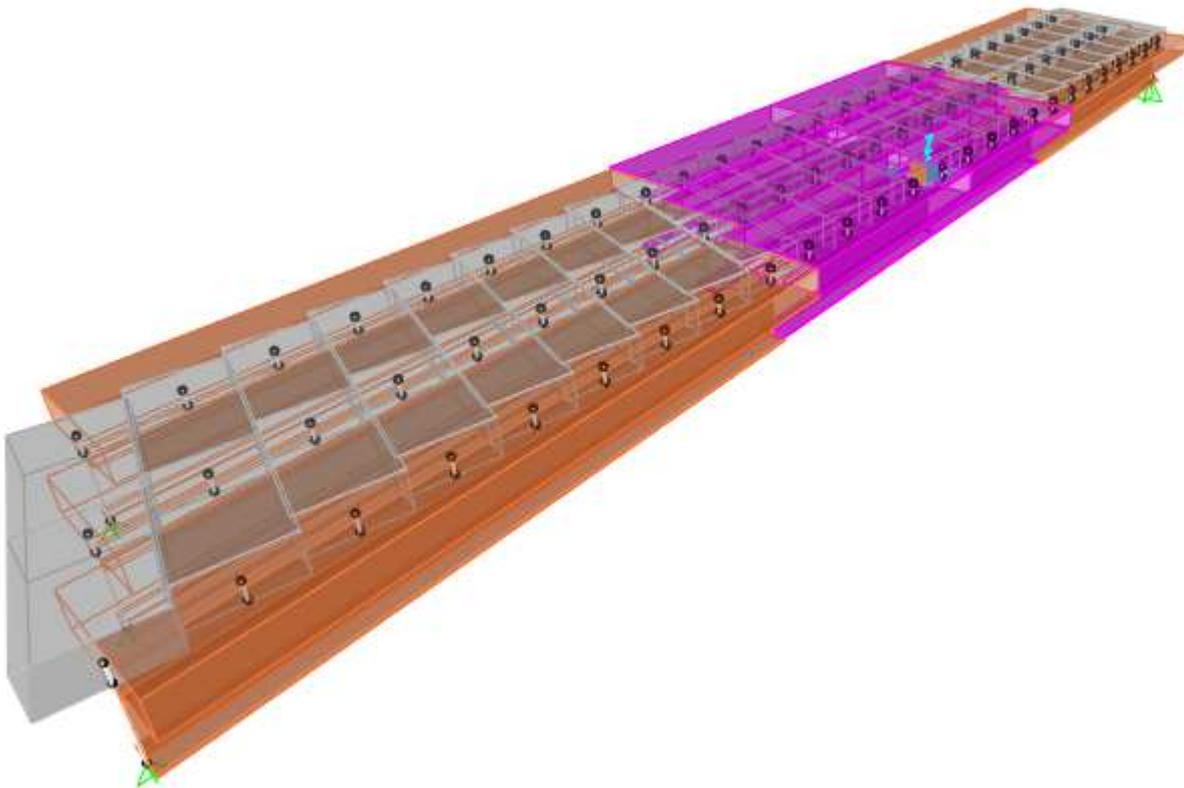


8.1.5 Modello locale Trasverso con soletta per verifica a fatica

Di seguito si mostra la vista unifilare del modello:

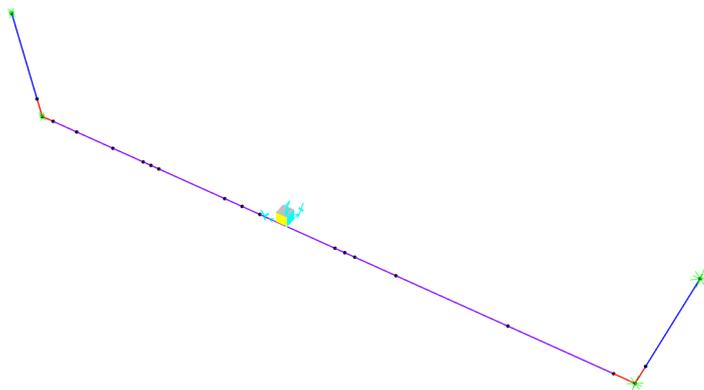


Di seguito si mostra la vista estrusa del modello:

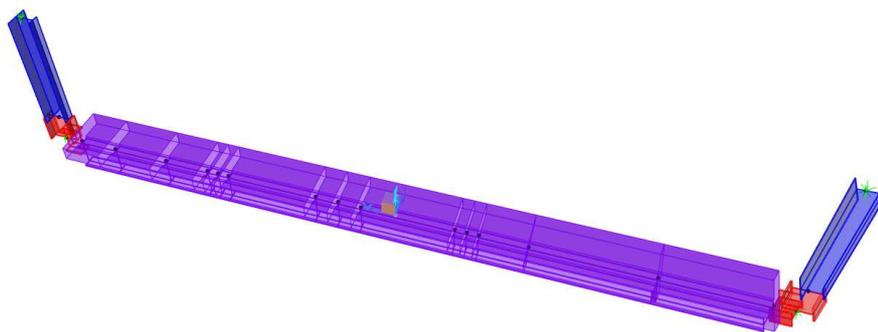


8.1.6 Modello locale per Instabilità piattabanda superiore Trave in zona centrale

Di seguito si mostra la vista unifilare del modello:

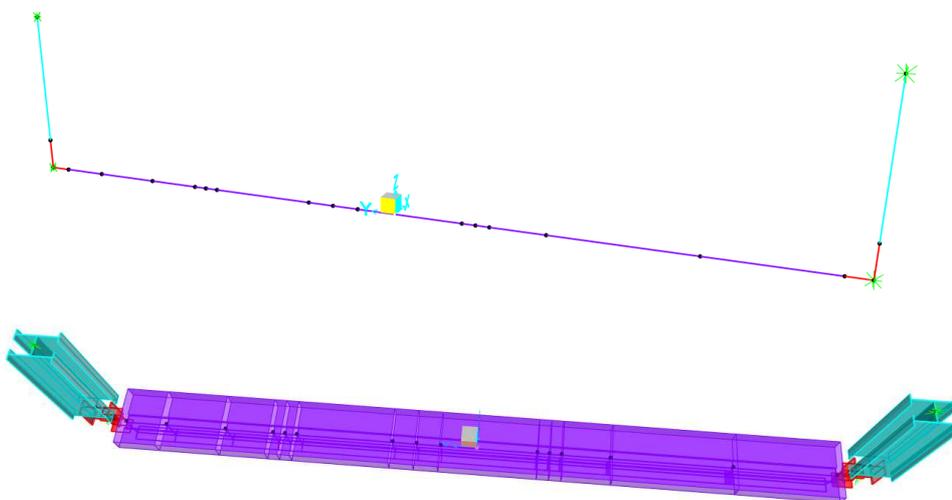


Di seguito si mostra la vista unifilare del modello:



8.1.7 Modello locale per Instabilità piattabanda superiore Trave in zona appoggi

Di seguito si mostra prima la vista unifilare ed in seguito la vista estrusa del modello:



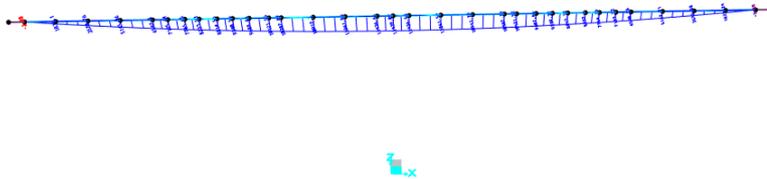
9. CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Si riportano di seguito le caratteristiche di taglio e momento flettente nel piano verticale (calcolate con l'ausilio del programma SAP2000) delle travi principali e dei traversi sulle quali sono state massimizzate le sollecitazioni.

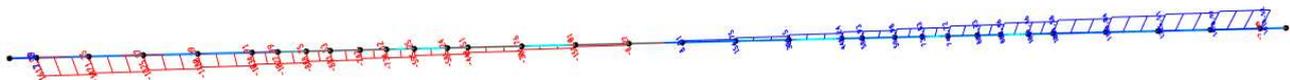
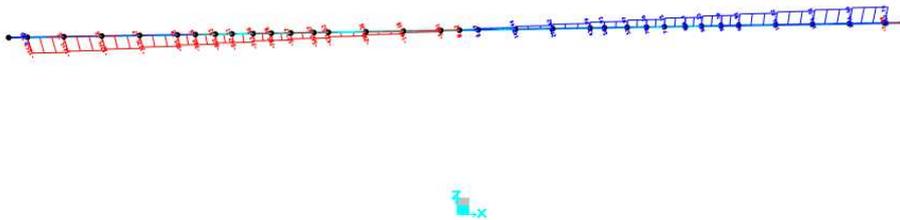
9.1 Caratteristiche sollecitazioni Travi principali

9.1.1 G1

Andamento Momento Flettente nel piano:



Andamento Taglio nel piano:



IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 52 di 100 |

9.1.2 G2

Andamento Momento Flettente nel piano:



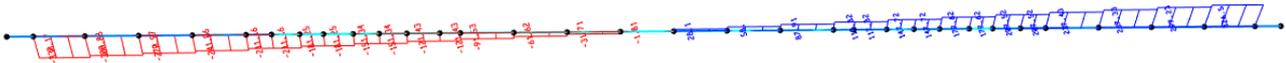
Z
x



Andamento Taglio nel piano:



Z
x



9.1.3 Carichi Mobili: CF1

Andamento Momento Flettente nel piano:



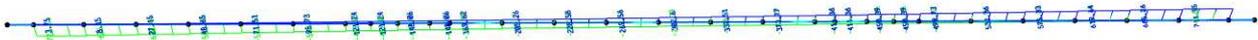
z
x



Andamento Taglio nel piano:



z
x



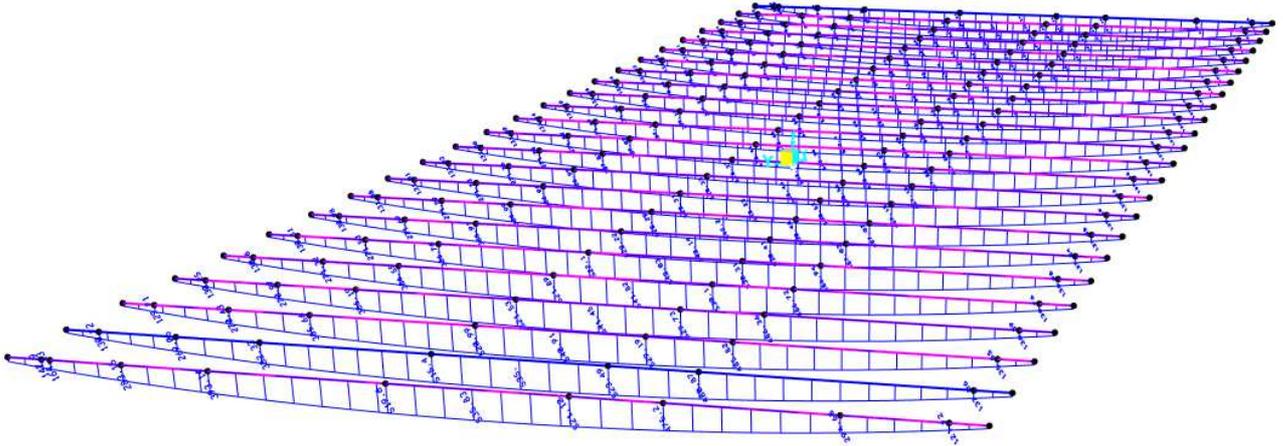
IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 54 di 100 |

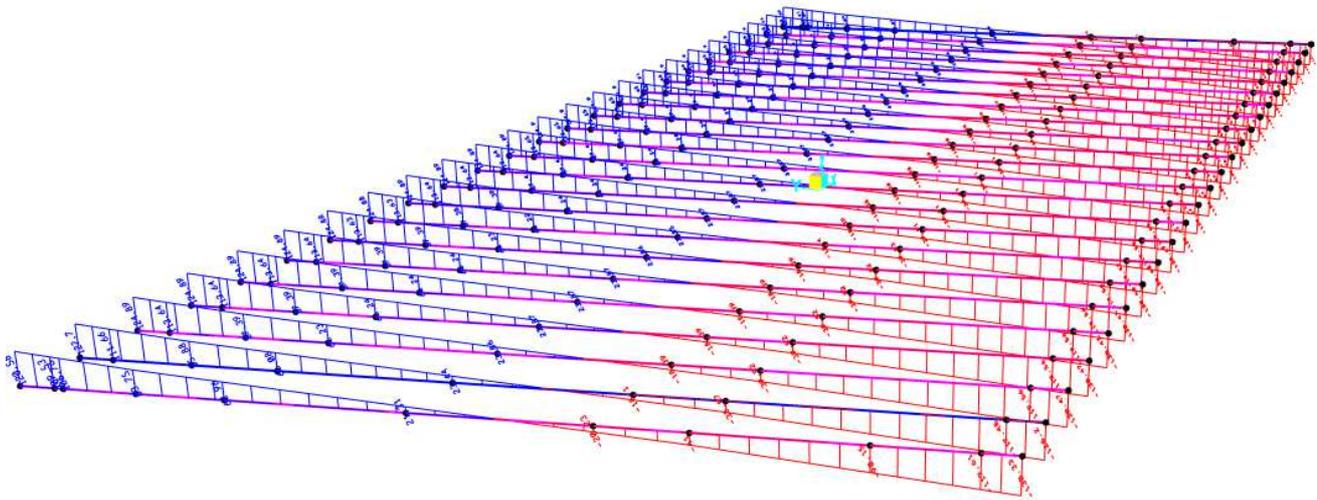
9.2 Caratteristiche sollecitazioni Traversi

9.2.1 *G1*

Andamento Momento Flettente nel piano:

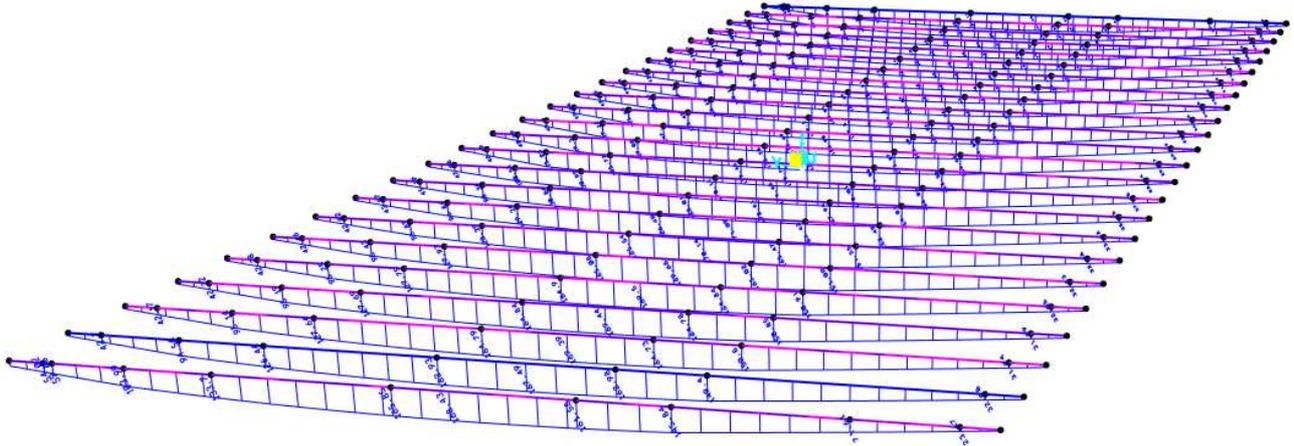


Andamento Taglio nel piano:

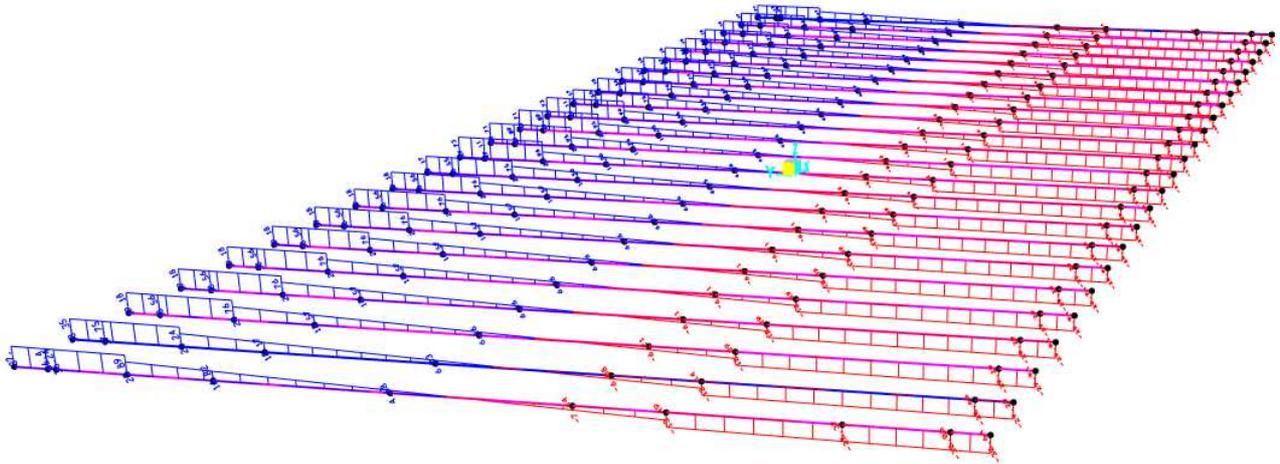


9.2.2 G2

Andamento Momento Flettente nel piano:

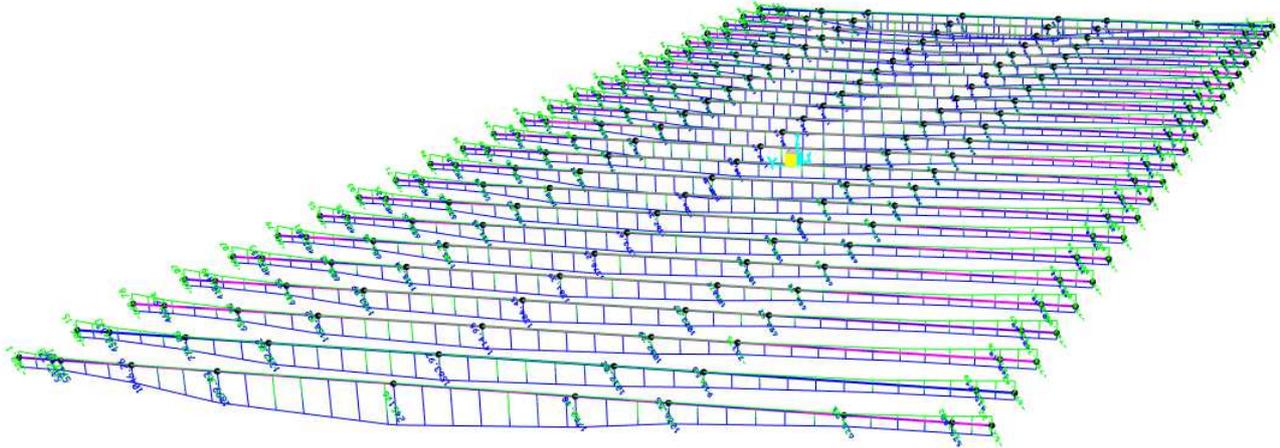


Andamento Taglio nel piano:

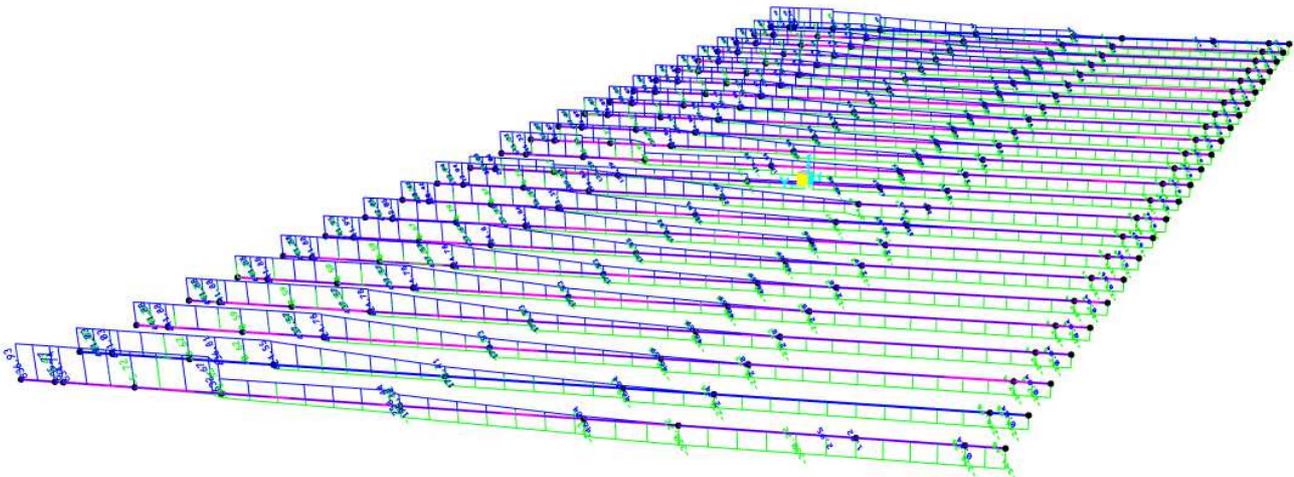


9.2.3 Carichi Mobili: CF1

Andamento Momento Flettente nel piano:



Andamento Taglio nel piano:



10. VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI

Le verifiche sono state condotte per tutte le combinazioni di normativa, tuttavia si riportano di seguito le tensioni relative alle condizioni di carico più gravose. Nelle verifiche sono state assunte, convenzionalmente, come negative le tensioni di compressione e positive le tensioni di trazione. Le unità di misura utilizzate per le tensioni sono i N/mm² (MPa).

10.1 Travi: Verifiche Stato Limite Ultimo (SLU) e Salvaguardia della Vita (SLV)

10.1.1 Sezione 1 (Appoggio) : Verifica Presso/Tenso - Flessionale

Si riassumono, di seguito, le relazioni utilizzate per il passaggio dallo stato di sollecitazione a quello tensionale per le travi d'acciaio:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad \tau = T: A_t, \quad \sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni agenti nella sezione d'appoggio:

| SOLLECITAZIONI: Sfozo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|-------------------------|-------------------|-----------|----------|---------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | -0.089 | -406.176 | -2.478 |
| G1_peso_Soletta | 1 | 0.081 | -1143.610 | -1.452 | |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | -1.856 | -428.337 | -3.789 | |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1 | 114.175 | -1177.322 | -9.872 | |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | 85.742 | -696.172 | -3.917 | |
| Vento Carico | 1 | 25.475 | -9.878 | 51.887 | |
| Sisma Verticale | 1 | 24.734 | 650.189 | 27.691 | |

Si riportano le tensioni calcolate a partire dalle sollecitazioni:

| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|--------|--------|--------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | 0.025 | 0.024 | -0.022 | -0.023 | -10.490 |
| G1_peso_Soletta | 0.016 | 0.016 | -0.012 | -0.012 | -29.535 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 0.017 | 0.016 | -0.055 | -0.056 | -11.062 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1.478 | 1.475 | 1.290 | 1.287 | -30.406 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1.074 | 1.072 | 0.999 | 0.998 | -17.980 |
| Vento Carico | -0.233 | -0.217 | 0.754 | 0.770 | -0.255 |
| Sisma Verticale | 0.010 | 0.019 | 0.537 | 0.545 | 16.792 |

Si riportano le tensioni ideali da combinazioni allo SLU e SLV come da § 6.2:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| | D | E | F | G |
| SLU1 | 1.867 | 193.836 | 193.840 | 2.299 |
| SLU2 | 1.321 | 164.776 | 164.781 | 1.909 |
| SLU3 | 1.321 | 164.776 | 164.781 | 1.909 |
| SLU4 | 1.181 | 165.040 | 165.052 | 2.371 |
| SLV_Z | 0.363 | 69.936 | 69.939 | 0.711 |

Infine si riportano i tassi di lavoro definiti come rapporto tra sollecitazione su resistenza ai diversi punti di controllo per le precedenti combinazioni:

| Combinazioni SLU e SLV | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | D | E | F | G |
| SLU1 | 0.552% | 57.332% | 57.333% | 0.680% |
| SLU2 | 0.391% | 48.736% | 48.738% | 0.565% |
| SLU3 | 0.391% | 48.736% | 48.738% | 0.565% |
| SLU4 | 0.349% | 48.815% | 48.818% | 0.701% |
| SLV_Z | 0.107% | 20.685% | 20.686% | 0.210% |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte,

10.1.2 Sezione 1 (Appoggio) : Verifica stabilità dei pannelli soggetti a taglio

Per la verifica alla stabilità dei pannelli soggetti a taglio si è fatto riferimento alla **circ. NTC18** al §C4.2.4.1.3.4.1. Per prima cosa si è controllato se il pannello fosse realmente soggetto ad instabilità in seguito si è calcolata la rigidezza trasversale dell'irrigidente e confrontata con quella minima come da equazione [C4.2.52] del §C4.2.4.1.3.4.1;

Un irrigidente trasversale può essere considerato rigido quando il suo momento d'inerzia I_{st} soddisfa le relazioni seguenti

$$\begin{aligned} I_{st} &\geq 1,5 \cdot h_w^3 \cdot t^3 / a^2 & \text{se } a/h_w < \sqrt{2} \\ I_{st} &\geq 0,75 \cdot h_w \cdot t^3 & \text{se } a/h_w \geq \sqrt{2} \end{aligned} \quad [C4.2.52]$$

Infine si sono calcolati i contributi resistenti a taglio dell'anima e delle ali. Poiché il contributo delle ali dipende dalle sollecitazioni questo contributo è stato calcolato per ogni combinazione come prescritto dall'equazione [C.4.2.48]:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right]$$

Nel seguito il termine a numeratore della precedente equazione verrà chiamato costante 1 mentre il termine a denominatore costante 2. Il termine $M_{f,red}$ tiene conto della riduzione della resistenza a flessione per via dello sforzo di compressione come da equazione [C.4.2.49]:

$$M_{f,red} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(A_{fi} + A_{fs}) \cdot f_{yf}} \right)$$

Proprio per questo motivo si riportano solo le compressioni delle combinazioni. Di seguito si riportano gli estratti dai fogli di calcolo per tale verifica.

C4.2.4.1.3.4.1. Stabilità dei pannelli soggetti a taglio

| | | |
|--------------------|------------|--------|
| Tipo di pannello | irrigidito | [-] |
| hw = Altezza Anima | 2420 | [mm] |
| t = Spessore Anima | 16.0 | [mm] |
| Epsilon | 0.81 | [-] |

| | | |
|---|--------|---------------------|
| t irr = Spessore Platto irrigidimento | 10 | [mm] |
| hw irr = Altezza Platto irrigidimento | 1900 | [mm] |
| e = Interasse Longitudinale dell'Irrigidimento Trasversale | 2400 | [mm] |
| Interasse Longitudinale Minimo per esser considerato rigido | 190 | [mm] |
| Area minima Irrigidimento trasversale | 1033 | [mm ²] |
| Irrigidimento trasversale può essere considerato: | rigido | [-] |

| | | |
|--|--------|---------|
| σ_E = Tensione critica euleriana del pannello d'anima | 8.31 | [MPa] |
| e/h_w | 0.992 | [-] |
| se $e/h_w \geq 1 = k_{\tau,1}$ | 9.41 | [-] |
| se $e/h_w < 1 = k_{\tau,2}$ | 9.43 | [-] |
| k_{τ} funzione del passo degli irrigidenti | 9.43 | [-] |
| Coefficiente η | 1.2 | [-] |
| Rapporto hw / t | 151.25 | [-] |

Pannello soggetto ad Instabilità per taglio

| | | |
|---|-------|---------|
| Tensione tangenziale critica $\tau_{cr} = k_{\tau} \times \sigma_E$ | 78.32 | [MPa] |
| Tensione di snervamento del pannello d'anima f_{yw} | 355 | [MPa] |
| Snellezza adimensionale λ_w | 1.618 | [-] |
| Coefficiente χ_w | 0.591 | [-] |
| Coefficiente sicurezza acciaio | 1.05 | [-] |
| $V_{bw,Rd}$ = Contributo Resistente dell'anima | 4467 | [kN] |

Verifica rigidità irrigiditore trasversale - C4.2.52

| | | |
|--|----------|---------------------|
| hw = Altezza Anima | 2420 | [mm] |
| t = Spessore Anima | 16 | [mm] |
| a = Interasse longitudinale dell'Irrigidimento trasversale | 2400 | [mm] |
| t irr = Spessore Platto irrigidimento | 10 | [mm] |
| b irr = Larghezza piatto irrigidimento | 392 | [mm] |
| a/h_w | 0.992 | [-] |
| $I_{st,min}$ = Inerzia minima | 15117321 | [mm ⁴] |
| I_{st} = Inerzia irrigidente Trasversale | 50196907 | [mm ⁴] |

CALCOLO M_{fk} - C4.2.49 (Momento Plastico Sez Classe 4)

| | | |
|--|--------|---------------------|
| Area superiore | 40000 | [mm ²] |
| Baricentro A. Sup. | 1230 | [mm] |
| Area inferiore | 40000 | [mm ²] |
| Baricentro A. Inf. | 1230 | [mm] |
| Baricentro Sezione | 0 | [mm] |
| Braccio Sup | 1230 | [mm] |
| Braccio Inf | -1230 | [mm] |
| Tensione Snervamento | 355 | [MPa] |
| A sup * b sup * fyk | 17466 | [kNm] |
| A inf * b inf * fyk | -17466 | [kNm] |
| M _{fk} | 34932 | [kNm] |
| A _{fi} (inferiore) | 40000 | [mm ²] |
| A _{fs} (superiore) | 40000 | [mm ²] |
| fyf*(A _{fi} + A _{fs}) | 28400 | [kN] |

| | | |
|------------------------|-----------|---------|
| ε | 0.81 | [-] |
| t profilo trave | 16 | [mm] |
| t irrigidimento | 10 | [mm] |
| tf = s Area minore x N | 40 | [mm] |
| bf | 986 | [mm] |
| hw della trave | 2420 | [mm] |
| Interasse Irrig. | 2400 | [mm] |
| Costante 1 | 560241016 | [Nmm] |
| Costante 2 | 698 | [mm] |
| Costante 1 / 2 | 803 | [kN] |

| Combinazioni | Ned | Ved | Med | Mf,red | Vbf,Rd | Vbw,Rd | V,Rd | t.d.l. |
|---|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| [-] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | [kN] | [kN] | [kN] | [%] |
| SLU 1 | 0.000 | -4333 | 22 | 33269 | 802 | 4467 | 5269 | 82.235% |
| SLU 2 | 0.000 | -3683 | 30 | 33269 | 802 | 4467 | 5269 | 69.909% |
| SLU 3 | 0.000 | -3683 | 30 | 33269 | 802 | 4467 | 5269 | 69.909% |
| SLU 4 | 0.000 | -3689 | 62 | 33269 | 801 | 4467 | 5268 | 70.032% |
| SLV_Z | 0.000 | -1563 | 18 | 33269 | 802 | 4467 | 5269 | 29.671% |
| Massimo tasso di lavoro - SLU 1 | 82.235% | | | | | [%] | | |
| Massimo coeff. Di sicurezza - SLU 1 | 1.216 | | | | | [-] | | |
| La verifica d instabilità per taglio per il pannello d'appoggio risulta soddisfatta | | | | | | | | |

La verifica di instabilità per taglio per il pannello d'appoggio risulta soddisfatta

10.1.3 Sezione 2 (Mezzeria) : Verifica Presso/Tenso - Flessionale

Si riassumono, di seguito, le relazioni utilizzate per il passaggio dallo stato di sollecitazione a quello tensionale per le travi d'acciaio:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad \tau = T/A_t, \quad \sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni agenti nella sezione di mezzeria

| SOLLECITAZIONI: Sfzo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|---|-------------------|---------|---------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | -0.418 | 0.012 | 2969.503 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | -0.912 | 0.104 | 8452.261 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 0.000 | - | - |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | -9.489 | 1.812 | 3158.237 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 28.742 | 0.000 | - |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 28.742 | -0.521 | 41.917 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1 | -48.421 | 472.716 | 8500.557 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | -31.443 | 306.904 | 4997.245 |
| | Vento Carico | 1 | 67.025 | 1.835 | 149.309 |
| | Sisma Verticale | 1 | 222.767 | 10.347 | 6058.485 |

Si riportano le tensioni calcolate a partire dalle sollecitazioni:

| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|---------|--------|--------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | -23.887 | -22.961 | 21.490 | 22.416 | 0.000 |
| G1_peso_Soletta | -67.987 | -65.351 | 61.171 | 63.807 | 0.004 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | -25.490 | -24.505 | 22.771 | 23.756 | 0.063 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | -0.067 | -0.054 | 0.574 | 0.587 | -0.018 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | -68.822 | -66.171 | 61.074 | 63.725 | 16.414 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | -40.487 | -38.928 | 35.876 | 37.434 | 10.656 |
| Vento Carico | -0.570 | -0.524 | 1.711 | 1.758 | 0.064 |
| Sisma Verticale | -46.631 | -44.742 | 45.948 | 47.837 | 0.359 |

Si riportano le tensioni ideali da combinazioni allo SLU e SLV come da § 6.2:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| | D | E | F | G |
| SLU1 | -162.264 | 155.978 | 145.749 | 152.035 |
| SLU2 | -203.607 | 196.593 | 185.147 | 192.105 |
| SLU3 | -202.851 | 195.871 | 183.429 | 190.349 |
| SLU4 | -255.174 | 248.321 | 231.432 | 238.063 |
| SLV_Z | -177.759 | 170.913 | 163.721 | 170.561 |

Infine si riportano i tassi di lavoro definiti come rapporto tra sollecitazione su resistenza ai diversi punti di controllo per le precedenti combinazioni:

| Combinazioni SLU e SLV | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | D | E | F | G |
| SLU1 | 47.994% | 46.134% | 43.109% | 44.968% |
| SLU2 | 60.222% | 58.147% | 54.762% | 56.820% |
| SLU3 | 59.998% | 57.934% | 54.254% | 56.300% |
| SLU4 | 75.474% | 73.447% | 68.452% | 70.413% |
| SLV_Z | 52.577% | 50.552% | 48.424% | 50.448% |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte,

10.1.4 Sezione 2 (Mezzeria) : Verifica stabilità dei pannelli soggetti a taglio

Per la seguente verifica si sono usati gli stessi riferimenti del §10.1.2; Di seguito si riportano degli estratti dai fogli di calcolo per tale verifica.

C4.2.4.1.3.4.1. Stabilità dei pannelli soggetti a taglio

| | | |
|--------------------|------------|--------|
| Tipo di pannello | irrigidito | [-] |
| hw = Altezza Anima | 2400 | [mm] |
| t =Spessore Anima | 12.0 | [mm] |
| Epsilon | 0.81 | [-] |

| | | |
|---|--------|---------------------|
| t irr = Spessore Piatto irrigidimento | 10 | [mm] |
| hw irr = Altezza Piatto irrigidimento | 1900 | [mm] |
| e =Interasse Longitudinale dell'Irrigidimento Trasversale | 2400 | [mm] |
| Interasse Longitudinale Minimo per esser considerato rigido | 190 | [mm] |
| Area minima Irrigidimento trasversale | 576 | [mm ²] |
| Irrigidimento trasversale può essere considerato: | rigido | [-] |

| | | |
|--|-------|---------|
| σ_E = Tensione critica euleriana del pannello d'anima | 4.75 | [MPa] |
| e/h_w | 1.000 | [-] |
| se $e/h_w \geq 1 = k_{\tau,1}$ | 9.34 | [-] |
| se $e/h_w < 1 = k_{\tau,2}$ | 9.34 | [-] |
| k_{τ} funzione del passo degli irrigidenti | 9.34 | [-] |
| Coefficiente η | 1.2 | [-] |
| Rapporto hw / t | 200 | [-] |

Pannello soggetto ad Instabilità per taglio

| | | |
|---|-------|---------|
| Tensione tangenziale critica $\tau_{cr} = k_{\tau} \times \sigma_E$ | 44.37 | [MPa] |
| Tensione di snervamento del pannello d'anima f_{yw} | 355 | [MPa] |
| Snellezza adimensionale λ_w | 2.150 | [-] |
| Coefficiente χ_w | 0.481 | [-] |
| Coefficiente sicurezza acciaio | 1.05 | [-] |
| $V_{bw,Rd}$ = Contributo Resistente dell'anima | 2703 | [kN] |

Verifica rigidezza irrigiditore trasversale - C4.2.52

| | | |
|---|----------|---------------------|
| hw = Altezza Anima | 2400 | [mm] |
| t =Spessore Anima | 12 | [mm] |
| a =Interasse longitudinale dell'Irrigidimento trasversale | 2400 | [mm] |
| t irr = Spessore Piatto irrigidimento | 10 | [mm] |
| b irr = Larghezza piatto irrigidimento | 392 | [mm] |
| a/h_w | 1.000 | [-] |
| I_{st_min} | 6220800 | [mm ⁴] |
| I_{st} | 50196907 | [mm ⁴] |

**IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
 Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
 L=28.38m**

| | | | | | |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 65 di 100 |

CALCOLO Mfk - C4.2.49 (Momento Plastico Sez Classe 4)

| | | |
|----------------------|--------|---------------------|
| Area superiore | 50000 | [mm ²] |
| Baricentro A. Sup. | 1225 | [mm] |
| Area inferiore | 50000 | [mm ²] |
| Baricentro A. Inf. | 1225 | [mm] |
| Baricentro Sezione | 0 | [mm] |
| Braccio Sup | 1225 | [mm] |
| Braccio Inf | -1225 | [mm] |
| Tensione Snervamento | 355 | [MPa] |
| A sup * b sup * fyk | 21744 | [kNm] |
| A inf * b inf * fyk | -21744 | [kNm] |
| Mfk | 43488 | [kNm] |
| Afi (inferiore) | 50000 | [mm ²] |
| Afs (superiore) | 50000 | [mm ²] |
| fyf*(Afi + Afs) | 35500 | [kN] |

| | | |
|------------------------|------------|---------|
| ϵ | 0.81 | [-] |
| t profilo trave | 12 | [mm] |
| t irrigidimento | 10 | [mm] |
| tf = s Area minore x N | 50 | [mm] |
| bf | 1230 | [mm] |
| hw della trave | 2400 | [mm] |
| Interasse Irrig. | 2400 | [mm] |
| Costante 1 | 1092001984 | [Nmm] |
| Costante 2 | 809 | [mm] |
| Costante 1 / 2 | 1349 | [kN] |

| mbinazioni | Ned | Ved | Med | Mf,red | Vbf,Rd | Vbw,Rd | V,Rd | t.d.l. |
|---|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| [-] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | [kN] | [kN] | [kN] | [%] |
| SLU 1 | 16.029 | 3 | 20157 | 41397 | 692 | 2703 | 3395 | 0.085% |
| SLU 2 | 0.000 | 313 | 25378 | 41417 | 522 | 2703 | 3225 | 9.691% |
| SLU 3 | 0.000 | 309 | 25217 | 41417 | 528 | 2703 | 3230 | 9.566% |
| SLU 4 | 81.397 | 641 | 31632 | 41317 | 316 | 2703 | 3019 | 21.235% |
| SLV_Z | 0.000 | 107 | 22339 | 41417 | 621 | 2703 | 3324 | 3.214% |
| Massimo tasso di lavoro - SLU 4 | | | | 21.235% | [%] | | | |
| Massimo coeff. Di sicurezza - SLU 4 | | | | 4.709 | [-] | | | |
| La verifica d instabilità per taglio per il pannello d'appoggio risulta soddisfatta | | | | | | | | |

La verifica di instabilità per taglio per il pannello in mezzzeria risulta soddisfatta

10.2 Travi: Verifiche Stato Limite d'esercizio (SLE)

Per le verifiche allo stato limite d'esercizio si è fatto riferimento al **MdP**, in particolare al §2.6.2.2.3 del quale si riporta uno stralcio:

2.6.2.2.3 Stato limite di deformazione

Le deformazioni massime del cavalcavia devono risultare compatibili con la geometria della struttura in relazione alle esigenze del traffico, nonché ai vincoli ed ai dispositivi di giunto previsti in progetto.

Le strutture in acciaio, in C.A.P. e miste acciaio-calcestruzzo (ad eccezione delle strutture con travi in ferro incorporate nel cls) dovranno presentare una contromonta da determinare considerando per la totalità dei carichi permanenti e degli effetti lenti del cls, nonché per il 25% dei carichi accidentali dinamizzati.

In tutte le strutture, limitatamente agli elementi principali, si dovrà rispettare il seguente limite di deformazione sotto l'azione dei carichi accidentali di progetto incrementati dinamicamente nella combinazione caratteristica (rara) agli S.L.E.:

$$f \leq \frac{L}{700}$$

Dove:

L = luce di calcolo;

f = massima freccia verticale.

Per le strutture in C.A. la verifica sarà condotta considerando la struttura in primo stadio (non fessurato) senza considerare il contributo delle armature.

Si evidenzia che la verifica dell'altezza libera (par.1.1.3) dovrà essere eseguita considerando la deformazione del cavalcavia per effetto dell'azione dei carichi totali nella combinazione caratteristica (rara) agli S.L.E.

Si è anche rispettato il §2.6.2.8.2 del **Mdp** di cui si riporta uno stralcio:

- Si dovranno valutare le deformazioni elastiche dovute ai seguenti carichi:
 - Peso proprio della struttura metallica e della soletta d'impalcato (f_p);
 - Peso delle opere di finitura (f_f);
 - Carichi verticali da traffico (f_s);
 - Effetti del ritiro della soletta ed effetto viscoso (f_r).
- Dovrà essere assorbita da opportuna controfrecchia di costruzione (c_f) la somma dei seguenti contributi: $c_f = f_p + f_f + f_r + 0.25 f_s \Phi$
- Tale controfrecchia dovrà essere ottenuta di norma mediante sagomatura dell'anima all'atto del taglio delle lamiere o tramite spezzata realizzata in corrispondenza dei giunti tra conci. L'asse del giunto sarà disposto lungo il raggio dell'arco e l'apertura del varco tra i conci dovrà risultare costante lungo tutta l'altezza della trave.
- Dovrà inoltre risultare: $f_p \leq 1/300 L$

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| | | | | | |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 67 di 100 |

10.2.1 Sezione 2 (mezzeria): Calcolo Contromonta

| | | |
|------|-------|---|
| Luce | 28.38 | m |
|------|-------|---|

| | p | Sez. | f |
|---|---------------------------|-------------|----------|
| Carico / Fase considerati | [kN/m] | [-] | [mm] |
| G1_peso_proprio acciaio | 29.50 | 1 | 7.399 |
| G1_peso_Soletta | 83.95 | 1 | 21.062 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 0.00 | 1 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 31.37 | 1 | 7.870 |
| 25% dei Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | - | 1 | 5.539 |
| | Σ frecce [mm] | | 41.870 |
| | Contromonta [mm] | | 45.000 |

10.2.2 Sezione 2 (mezzeria): Calcolo Frecce da G1 e Accidentali

Di seguito si riporta il calcolo delle frecce per la combinazione caratteristica o rara:

| Carico / Fase considerati | Combinazione Caratteristica o Rara | | | | |
|---|---|-------------|----------|-------------------|------------------|
| | p | Sez. | f | coeff.comb | f * coeff |
| | [kN/m] | [-] | [mm] | [-] | [mm] |
| G1_peso_proprio acciaio | 29.50 | 1 | 7.399 | 1 | 7.40 |
| G1_peso_Soletta | 83.95 | 1 | 21.062 | 1 | 21.06 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 0.00 | 1 | 0.000 | 1 | 0.00 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 31.37 | 1 | 7.870 | 1 | 7.87 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 0.42 | 1 | 0.104 | 0.6 | 0.06 |
| Vento Carico | 1.48 | 1 | 0.372 | 0.6 | 0.22 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | - | 1 | 22.16 | 1 | 22.16 |

Di seguito si riporta il calcolo delle frecce per i pesi permanenti strutturali G1 ed i carichi accidentali:

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Σ frecce accidentali [mm] | 22.44 |
| L/700 [mm] | 40.54 |
| f ≤ L/700 | OK |

| | |
|---------------------------|-----------|
| Σ frecce G1 [mm] | 28.46 |
| L/300 [mm] | 94.60 |
| f ≤ L/300 | OK |

10.3 Travi: Verifica per Instabilità della piattabanda superiore compressa

La verifica alla instabilità della piattabanda compressa è stata eseguita in conformità alle **NTC18**, in riferimento a quanto riportato nel § 4.2.4.1.3.1 per le “Aste Comprese”. Il calcolo richiede la definizione della lunghezza libera di inflessione dell’asta. A tale proposito la definizione di tale parametro è stata eseguita assimilando la piattabanda superiore ad una trave su suolo elastico soggetta ad uno sforzo normale costante (ipotesi a favore di sicurezza dal momento che lo sforzo normale risulta variabile). Il vincolo elastico è prodotto dagli irrigidimenti trasversali e dalla porzione di anima collaborante che riconducono le azioni orizzontali sul corrente al piano medio dell’impalcato. Sotto tale ipotesi il carico critico euleriano della piattabanda superiore assume la seguente espressione:

$$N_{crit}^n = \frac{n^2 \pi^2 EJ}{l^2} + \frac{Kl^2}{n^2 \pi^2}$$

Dove J è il momento d’inerzia della piattabanda nel piano orizzontale dell’impalcato, E il modulo dell’acciaio e K la costante di rigidezza del suolo elastico.

Ponendo la derivata prima nulla si ottiene il valore minimo di N_{crit} :

$$N_{crit} = 2(EJK)^{\frac{1}{2}}$$

Uguagliando la precedente al carico critico euleriano di un’asta semplicemente appoggiata e soggetta ad uno sforzo normale costante è possibile definire la lunghezza libera d’inflessione equivalente della piattabanda superiore, ossia:

$$l_0 = \pi \left(\frac{EJ}{4k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

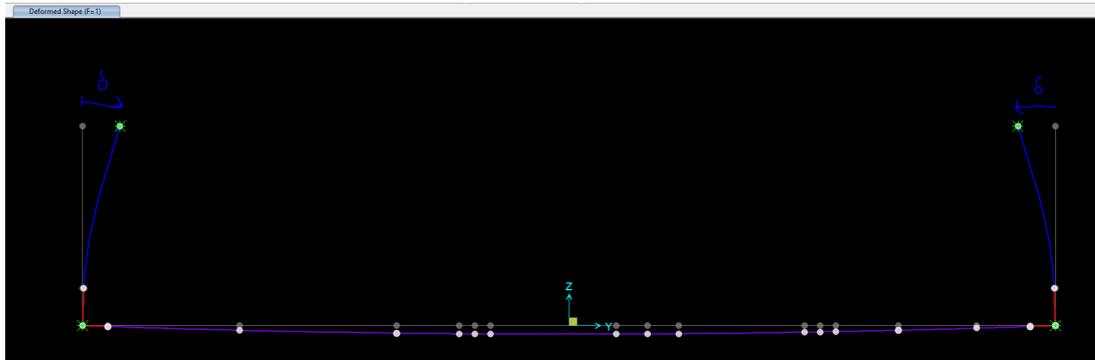
Per la definizione del parametro K sono stati utilizzati i modelli locali di cui al §8.1.6 e al § 8.1.7 della presente costituito dal traverso e dagli irrigidimenti verticali con anima collaborante. Applicando alla sommità degli irrigidimenti una forza unitaria è stato definito il corrispondente spostamento δ , tramite il quale è stato stimato il parametro K, ossia:

$$K = \frac{F}{\delta} \rightarrow k = \frac{K}{a}$$

Dove a corrisponde all’interasse degli irrigidimenti pari a 2400mm

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| COMMESSA | LOTTO | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|-----------|-----------|------|-----------|
| IV01 | 00 | D 09 CL | IV0209001 | A | 69 di 100 |



Nota la lunghezza libera d'inflessione si è potuto calcolare il coefficiente d'instabilità (β) e quindi la resistenza di progetto all'instabilità, la quale è stata confrontata a favore di sicurezza, con la massima compressione agente sulla piattabanda superiore lungo il profilo longitudinale della trave.

10.3.1 Sezione 1 (appoggio) verifica instabilità piattabanda superiore

Di seguito si riportano i calcoli svolti:

Geometria e parametri meccanici

| | | | |
|--------------|--------|----------|-------------------------|
| Ki | 45065 | [kN/m] | Rigidezza trasversale |
| E | 210000 | [Mpa] | Modulo Acciaio |
| L | 28.38 | [m] | Luce di calcolo |
| $f_{yk} =$ | 355 | [Mpa] | Tensione di snervamento |
| $\gamma_m =$ | 1.1 | [-] | Coeff. Di sicurezza |

Sollecitazioni

| | | | |
|-------------------|-------------|---------------------|--------------------------|
| σ_{s_min} | 255.5912245 | [Mpa] | Tensione di compressione |
| sp | 40 | [mm] | spessore ala superiore |
| B | 1000 | [mm] | larghezza ala superiore |
| A | 40000 | [mm ²] | area ala superiore |
| Ned | 10223.64898 | [mm] | Compressione agente |

Lunghezza libera d'inflessione L_0

| | | | |
|-----------------|-------|------------|-----------------------|
| i | 2.40 | [m] | interasse irrigidenti |
| K | 10546 | [kN/m/m] | Rigidezza al metro |
| $L_0 = \beta L$ | 6.34 | [m] | L. libera inflessione |
| β | 0.22 | [-] | Coefficiente Beta |

Verifica Instabilità Piattabanda compressa

| | | | |
|-----------------|--------|---------------------|--------------------------|
| J | 333333 | [cm ⁴] | Inerzia ala superiore |
| $L_0 = \beta L$ | 634 | [cm] | L. libera inflessione |
| α | 0.490 | [-] | coeff. Curva instabilità |
| N_{cr} | 171838 | [kN] | Carico critico Euleriano |
| λ' | 0.287 | [-] | coefficiente instabilità |
| Φ | 0.563 | [-] | coefficiente instabilità |
| χ | 0.956 | [-] | coefficiente instabilità |
| $N_{b,Rd}$ | 12335 | [kN] | Carico critico Euleriano |
| t.d.l. | 82.88% | [%] | tasso di lavoro |
| c.d.s. | 1.21 | [-] | coeff. di sicurezza |

Verifica Resistenza a compressione

| | | | |
|------------|--------|-------|---------------------------|
| $N_{u,Rd}$ | 13524 | [kN] | Resistenza a compressione |
| t.d.l. | 75.60% | [%] | tasso di lavoro |
| c.d.s. | 1.32 | [-] | coeff. di sicurezza |

La verifica per instabilità della piattabanda superiore compressa in zona d'appoggio risulta soddisfatta.

10.3.2 Sezione 2 (mezzeria) verifica instabilità piattabanda superiore

Di seguito si riportano i calcoli svolti:

Geometria e parametri meccanici

| | | | |
|--------------|--------|----------|-------------------------|
| Ki | 25310 | [kN/m] | Rigidezza trasversale |
| E | 210000 | [Mpa] | Modulo Acciaio |
| L | 28.38 | [m] | Luce di calcolo |
| $f_{yk} =$ | 355 | [Mpa] | Tensione di snervamento |
| $\gamma_m =$ | 1.1 | [-] | Coeff. Di sicurezza |

Sollecitazioni

| | | | |
|-------------------|-------------|---------------------|--------------------------|
| σ_{s_min} | 255.5912245 | [Mpa] | Tensione di compressione |
| sp | 50 | [mm] | spessore ala superiore |
| B | 1000 | [mm] | larghezza ala superiore |
| A | 50000 | [mm ²] | area ala superiore |
| Ned | 12779.56123 | [mm] | Compressione agente |

Lunghezza libera d'inflessione L_0

| | | | |
|-----------------|-------|------------|-----------------------|
| i | 2.40 | [m] | interasse irrigidenti |
| K | 10546 | [kN/m/m] | Rigidezza al metro |
| $L_0 = \beta L$ | 6.70 | [m] | L. libera inflessione |
| β | 0.24 | [-] | Coefficiente Beta |

Verifica Instabilità Piattabanda compressa

| | | | |
|-----------------|--------|---------------------|--------------------------|
| J | 416667 | [cm ⁴] | Inerzia ala superiore |
| $L_0 = \beta L$ | 670 | [cm] | L. libera inflessione |
| α | 0.490 | [-] | coeff. Curva instabilità |
| N_{cr} | 192121 | [kN] | Carico critico Euleriano |
| λ' | 0.304 | [-] | coefficiente instabilità |
| Φ | 0.572 | [-] | coefficiente instabilità |
| χ | 0.947 | [-] | coefficiente instabilità |
| $N_{b,Rd}$ | 15283 | [kN] | Carico critico Euleriano |
| t.d.l. | 83.62% | [%] | tasso di lavoro |
| c.d.s. | 1.20 | [-] | coeff. di sicurezza |

Verifica Resistenza a compressione

| | | | |
|------------|--------|-------|---------------------------|
| $N_{u,Rd}$ | 16905 | [kN] | Resistenza a compressione |
| t.d.l. | 75.60% | [%] | tasso di lavoro |
| c.d.s. | 1.32 | [-] | coeff. di sicurezza |

La verifica per instabilità della piattabanda superiore compressa in zona d'appoggio risulta soddisfatta.

10.4 Travi: Verifica a Fatica

Le verifiche a fatica per le travi principali sono state condotte nella sezione di mezzeria e nella sezione di cambio del concio (da Sezione 1 a Sezione 2). Per la verifica al cambio della sezione si è considerata la sezione 1 (appoggio). Per questo tipo di verifiche si è fatto riferimento alla **circ. NTC18** sia per quanto riguarda i carichi mobili da usare sia per i limiti di escursione tensionale da rispettare.

Per i carichi mobili si è usato il modello di carico di fatica 1 come riportato dallo stralcio delle **NTC18** in figura:

Modello di carico 1

Il modello di carico di fatica 1 è costituito dallo Schema di Carico 1 assumendo il 70% dei carichi concentrati ed il 30% di quelli distribuiti (vedi fig. 5.1.4), applicati in asse alle corsie convenzionali individuate secondo i criteri individuati al §5.1.3.3.5

Per verifiche locali si deve considerare, se più gravoso, il modello costituito dall'asse singolo dello schema di carico 2, isolato e con carico al 70% (vedi fig.5.1.4).

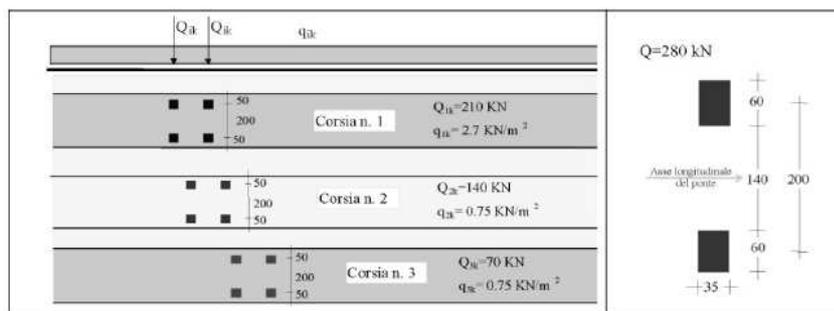


Fig. 5.1.4 - Modello di carico di fatica 1

La verifica è stata effettuata controllando l'escursione tensionale generata dal passaggio dei carichi mobili e dunque il $\Delta\sigma$ tra situazione iniziale (G1+G2) e situazione finale (G1+G2+Mobili_fatica) che coincide con le tensioni indotte dai carichi mobili per fatica.

**IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
 Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
 L=28.38m**

| | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | FASE-ENTE D 09 CL | DOCUMENTO IV0209001 | REV. A | FOGLIO 73 di 100 |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|

10.4.1 Sezione di cambio conci

Di seguito si riportano le sollecitazioni usate per la verifica:

| SOLLECITAZIONI: Sfozo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|---|-------------------|--------|----------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | -0.198 | -259.355 | 1856.426 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | -0.632 | -729.102 | 5269.097 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | -4.424 | -272.446 | 1971.280 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1 | 91.189 | -489.049 | 2762.924 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Vento Carico | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Sisma Verticale | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Di seguito si riporta il calcolo delle tensioni indotte dalle sollecitazioni:

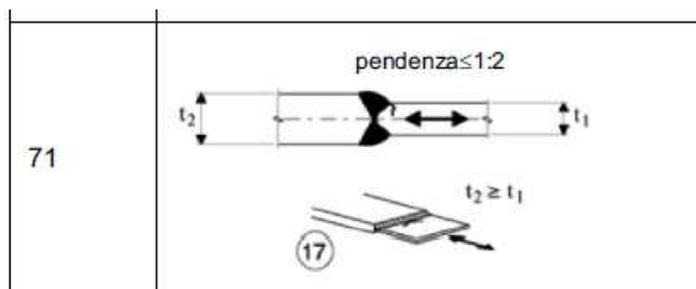
| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|---------|--------|--------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | -19.313 | -18.738 | 16.006 | 16.580 | -6.698 |
| G1_peso_Soletta | -54.816 | -53.186 | 45.429 | 47.059 | -18.830 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | -20.558 | -19.948 | 16.945 | 17.555 | -7.036 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | -27.641 | -26.786 | 24.924 | 25.778 | -12.630 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Vento Carico | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sisma Verticale | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Di seguito si riporta l'escursione tensionale massima:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| | D | E | F | G |
| G1+G2 | -94.687 | 107.805 | 96.565 | 81.194 |
| G1+G2+Mobili_KK | -122.328 | 142.154 | 129.612 | 106.972 |
| $\Delta\sigma$ | 27.641 | 34.349 | 33.048 | 25.778 |

| | | |
|-----------------------------------|--------|---------|
| Massima escursione $\Delta\sigma$ | 34.349 | [Mpa] |
|-----------------------------------|--------|---------|

Di seguito si riporta il limite tensionale considerato per la seguente verifica:



| | |
|--|--|
| <p>17) Saldature trasversali a piena penetrazione tra elementi di spessore differente con assi allineati</p> <p>Per spessori $t_1 > 25$ mm si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_s = (25 / t_1)^{0,2}$ | <p>Nel caso di disassamento la classe deve essere ridotta con il coefficiente</p> $k_{se} = \left(1 + \frac{6e}{t_1} \cdot \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}} \right)^{-1}$ <p>da combinare, eventualmente, con k_s, quando $t_1 > 25$ mm</p> |
|--|--|

Il coefficiente k_s è stato calcolato con la seguente formula:

C4.2.4.1.4.6 **Influenza dello spessore**

Nella valutazione della resistenza a fatica dovrà tenersi conto dello spessore del metallo base nel quale può innescarsi una potenziale lesione.

Nel caso che l'influenza dello spessore sulla resistenza a fatica non sia trascurabile, la classe del dettaglio deve essere ridotta secondo la formula

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \cdot \Delta\sigma_C \quad [C4.2.100]$$

dove il coefficiente riduttivo k_s dipende dal dettaglio strutturale considerato ed i cui valori indicativi sono indicati, per alcuni dettagli costruttivi, nel documento UNI EN 1993-1-9.

Infine si riporta la verifica tensionale a fatica:

TENSIONE LIMITE A FATICA

| | | |
|--|-------|---------|
| $\Delta\sigma_C$ | 71.00 | [MPa] |
| spessore ali appoggio | 40.00 | [mm] |
| spessore ali mezzeria | 50.00 | [mm] |
| ks | 0.91 | [-] |
| $\Delta\sigma_{C,red}$ | 64.63 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_D$ | 47.63 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_{max}$ | 34.35 | [MPa] |
| γ_{Mf} | 1.35 | [-] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max}$ | 46.37 | [MPa] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_D$ <p>La verifica a fatica risulta soddisfatta</p> | | |

**IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
 Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
 L=28.38m**

| | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | FASE-ENTE D 09 CL | DOCUMENTO IV0209001 | REV. A | FOGLIO 76 di 100 |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|

10.4.2 Sezione 2 (Mezzeria)

Di seguito si riportano le sollecitazioni usate per la verifica:

| SOLLECITAZIONI: Sfozo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|---|-------------------|---------|---------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | -0.418 | 0.012 | 2969.503 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | -0.912 | 0.104 | 8452.261 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 0.000 | - | - |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | -9.489 | 1.812 | 3158.237 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | 28.742 | 0.000 | - |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 28.742 | -0.521 | 41.917 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1 | -27.951 | 279.328 | 4461.064 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Vento Carico | 1 | 67.025 | 1.835 | 149.309 |
| | Sisma Verticale | 1 | 222.767 | 10.347 | 6058.485 |

Di seguito si riporta il calcolo delle tensioni indotte dalle sollecitazioni:

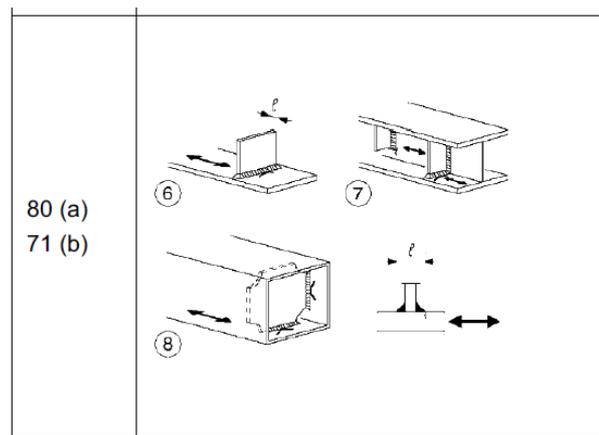
| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|---------|--------|--------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | -23.887 | -22.961 | 21.490 | 22.416 | 0.000 |
| G1_peso_Soletta | -67.987 | -65.351 | 61.171 | 63.807 | 0.004 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | -25.490 | -24.505 | 22.771 | 23.756 | 0.063 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | -0.067 | -0.054 | 0.574 | 0.587 | -0.018 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | -36.142 | -34.750 | 32.027 | 33.419 | 9.699 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Vento Carico | -0.570 | -0.524 | 1.711 | 1.758 | 0.064 |
| Sisma Verticale | -46.631 | -44.742 | 45.948 | 47.837 | 0.359 |

Di seguito si riporta l'escursione tensionale massima:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| | D | E | F | G |
| G1+G2 | -117.363 | 112.817 | 105.432 | 109.979 |
| G1+G2+Mobili_KK | -153.505 | 148.533 | 138.496 | 143.397 |
| $\Delta\sigma$ | 36.142 | 35.717 | 33.064 | 33.419 |

| | | |
|-----------------------------------|--------|---------|
| Massima escursione $\Delta\sigma$ | 36.142 | [Mpa] |
|-----------------------------------|--------|---------|

Di seguito si riporta il limite tensionale considerato per la seguente verifica:



| | |
|--|---|
| <p>Attacchi trasversali</p> <p>6) Saldati a una piastra</p> <p>7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta</p> <p>8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda</p> <p>(a) $l \leq 50$ mm</p> <p>(b) $50 < l \leq 80$ mm</p> <p>Le classi sono valide anche per nervature anulari</p> | <p>6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti</p> <p>7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali</p> |
|--|---|

Infine si riporta la verifica tensionale a fatica:

TENSIONE LIMITE A FATICA

| | | |
|--|-------|---------|
| $\Delta\sigma_C$ | 80.00 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_D$ | 58.96 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_{max}$ | 36.14 | [MPa] |
| γ_{Mf} | 1.35 | [-] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max}$ | 48.79 | [MPa] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_D$ <p>La verifica a fatica risulta soddisfatta</p> | | |

11. VERIFICHE TRAVERSI

Le verifiche sono state condotte per tutte le combinazioni di normativa, tuttavia si riportano di seguito le tensioni relative alle condizioni di carico più gravose. Nelle verifiche sono state assunte, convenzionalmente, come negative le tensioni di compressione e positive le tensioni di trazione. Le unità di misura utilizzate per le tensioni sono i N/mm² (MPa). I moduli di resistenza utilizzati per effettuare le verifiche sono quelli riportati nel §7.2.

Ai fini delle verifiche è stato considerato nel calcolo solo il quantitativo di armatura presente all'interno della larghezza collaborante dei traveri d'acciaio.

Per calcolare correttamente lo stato tensionale della soletta e delle armature, in presenza di stati di coazione interni (ritiro, termica differenziale), oltre alle sollecitazioni globali lette dal modello di calcolo agli elementi finiti, è necessario tenere in conto lo sforzo normale interno che ha prodotto la coazione (Effetti Primari).

Soletta:

$$\sigma = \left[\left(\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \right)_{GLOBALE} + \left(\frac{N^*}{A^*} \right)_{COAZIONE} \right] \frac{1}{n_{om}}$$

dove A e W cambiano valore in funzione del coefficiente di omogeneizzazione (T_o / T_{oo}), ed A* rappresenta l'area omogeneizzata della soletta.

Armature:

$$\sigma = \left[\left(\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \right)_{GLOBALE} + \left(\frac{N^*}{A^*} \right)_{COAZIONE} \right]$$

dove A e W cambiano valore in funzione del coefficiente di omogeneizzazione (T_o / T_{oo}), ed A* rappresenta l'area omogeneizzata della soletta (se presente) e delle armature in essa incluse.

11.1 Traversi: Verifiche Stato Limite Ultimo (SLU) e Salvaguardia della Vita (SLV)

11.1.1 Sezione d'appoggio : Verifica Presso/Tenso - Flessionale

Si riassumono, di seguito, le relazioni utilizzate per il passaggio dallo stato di sollecitazione a quello tensionale per le travi d'acciaio:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad \tau = T : A_t, \quad \sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni agenti nella sezione d'appoggio:

| SOLLECITAZIONI: Sfozo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|---|-------------------|----------|----------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | 0.000 | -18.012 | -14.050 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | 0.000 | -100.681 | -75.957 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | -791.647 | 0.000 | 0.000 |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 791.647 | 0.000 | -213.745 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | 0.000 | -37.847 | -29.752 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | -872.562 | 0.000 | 0.000 |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 872.562 | 0.000 | -139.610 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1 | 0.000 | -431.917 | -350.762 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | 0.000 | -307.309 | -250.832 |
| | Vento Carico | 1 | -81.382 | 12.465 | -121.013 |
| | Sisma Verticale | 1 | 7.058 | 86.193 | 38.507 |

Si riportano le tensioni calcolate a partire dalle sollecitazioni:

| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|--------|---------|---------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | 2.464 | 2.218 | -2.218 | -2.464 | -2.152 |
| G1_peso_Soletta | 13.323 | 11.990 | -11.990 | -13.323 | -12.029 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 66.810 | 63.061 | -4.421 | -8.170 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 5.218 | 4.697 | -4.697 | -5.218 | -4.522 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 56.804 | 54.356 | 10.279 | 7.830 | 0.000 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 61.522 | 55.370 | -55.370 | -61.522 | -51.603 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 43.995 | 39.596 | -39.596 | -43.995 | -36.716 |
| Vento Carico | 18.211 | 16.089 | -22.117 | -24.239 | 1.489 |
| Sisma Verticale | -6.493 | -5.817 | 6.340 | 7.015 | 10.298 |

Si riportano le tensioni ideali da combinazioni allo SLU e SLV come da § 6.2:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| | D | E | F | G |
| SLU1 | 179.709 | 231.665 | 197.764 | -126.964 |
| SLU2 | 156.047 | 192.269 | 157.022 | -103.302 |
| SLU3 | 190.130 | 217.632 | 153.557 | -98.604 |
| SLU4 | 166.974 | 198.564 | 163.812 | -117.845 |
| SLV_Z | 55.219 | 60.726 | 37.338 | -22.380 |

Infine si riportano i tassi di lavoro definiti come rapporto tra sollecitazione su resistenza ai diversi punti di controllo per le precedenti combinazioni:

| Combinazioni SLU e SLV | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | D | E | F | G |
| SLU1 | 53.153% | 68.521% | 58.494% | 37.553% |
| SLU2 | 46.155% | 56.868% | 46.443% | 30.554% |
| SLU3 | 56.236% | 64.370% | 45.418% | 29.164% |
| SLU4 | 49.387% | 58.730% | 48.451% | 34.856% |
| SLV_Z | 16.333% | 17.961% | 11.044% | 6.619% |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

11.1.2 Sezione d'appoggio : Verifica a taglio

Per la verifica a taglio del profilo d'acciaio, poiché in classe 1 si è fatto riferimento al §4.2.4.1.2.4 delle NTC18. Di seguito si riporta la verifica svolta:

VERIFICA A TAGLIO (PROFILO D'ACCIAIO)

4.2.4.1.2.4 Taglio

Il valore di progetto dell'azione tagliente V_{Ed} deve rispettare la condizione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.16]$$

dove la resistenza di progetto a taglio $V_{c,Rd}$ in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad [4.2.17]$$

| | | |
|----------------------------------|------|-----------------------|
| Area di Taglio A_v | 8370 | [mm ²] |
| Tensione di Snervamento f_{yk} | 355 | [N/mm ²] |
| γ_{M0} | 1.05 | [-] |
| $V_{c,Rd}$ | 1634 | [kN] |

| COMB. | V_{ed} | t.d.l. | c.d.s. |
|-------|----------|---------|--------|
| [-] | [kN] | [-] | [-] |
| SLU 1 | 811.3125 | 49.657% | 2.014 |
| SLU 2 | 643.0917 | 39.361% | 2.541 |
| SLU 3 | 643.0917 | 39.361% | 2.541 |
| SLU 4 | 650.5707 | 39.819% | 2.511 |
| SLV_Z | 329.1164 | 20.144% | 4.964 |

| | | |
|---------------------------------|-------|-------|
| Max tasso di lavoro - SLU 1 | 50% | [-] |
| Max coeff. di sicurezza - SLU 1 | 2.014 | [-] |

La verifica a taglio risulta soddisfatta

11.1.3 Sezione d'appoggio : Verifica Presso/Tenso – Flessionale – Comb. Eccezionale

Si riassumono, di seguito, le relazioni utilizzate per il passaggio dallo stato di sollecitazione a quello tensionale per le travi d'acciaio:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad \tau = T: A_t, \quad \sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni agenti nella sezione d'appoggio per la combinazione Eccezionale con l'urto su sicurvia:

| SOLLECITAZIONI: Sfozo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|---|-------------------|----------|----------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | 0.000 | -18.012 | -14.050 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | 0.000 | -100.681 | -75.957 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | -791.647 | 0.000 | 0.000 |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 791.647 | 0.000 | -213.745 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | 0.000 | -37.847 | -29.752 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | -872.562 | 0.000 | 0.000 |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 872.562 | 0.000 | -139.610 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (URTO) | 1 | -113.478 | -238.615 | -333.178 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | 0.000 | -307.309 | -250.832 |
| | Vento Carico | 1 | -81.382 | 12.465 | -121.013 |
| | Sisma Verticale | 1 | 7.058 | 86.193 | 38.507 |

Si riportano le tensioni calcolate a partire dalle sollecitazioni:

| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|--------|---------|---------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | 2.464 | 2.218 | -2.218 | -2.464 | -2.152 |
| G1_peso_Soletta | 13.323 | 11.990 | -11.990 | -13.323 | -12.029 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 66.810 | 63.061 | -4.421 | -8.170 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 5.218 | 4.697 | -4.697 | -5.218 | -4.522 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 56.804 | 54.356 | 10.279 | 7.830 | 0.000 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (URTO) | 54.235 | 48.392 | -56.797 | -62.641 | -28.508 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 43.995 | 39.596 | -39.596 | -43.995 | -36.716 |
| Vento Carico | 18.211 | 16.089 | -22.117 | -24.239 | 1.489 |
| Sisma Verticale | -6.493 | -5.817 | 6.340 | 7.015 | 10.298 |

Si riportano le tensioni ideali da combinazioni allo SLU ECCEZIONALE come da § 6.2:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| | D | E | F | G |
| ECC_URTO | 102.358 | 144.324 | 151.776 | -113.706 |

Infine si riportano i tassi di lavoro definiti come rapporto tra sollecitazione su resistenza ai diversi punti di controllo per le precedenti combinazioni:

| Combinazioni SLU e SLV | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % | t.d.l. % |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | D | E | F | G |
| ECC_URTO | 30.275% | 42.687% | 44.892% | 33.631% |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

11.1.4 Sezione d'appoggio : Verifica a taglio – Comb. Eccezionale

Per la verifica a taglio del profilo d'acciaio, poiché in classe 1 si è fatto riferimento al §4.2.4.1.2.4 delle NTC18. Di seguito si riporta la verifica svolta:

VERIFICA A TAGLIO (PROFILO D'ACCIAIO)

4.2.4.1.2.4 Taglio

Il valore di progetto dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.16]$$

dove la resistenza di progetto a taglio $V_{c,Rd}$ in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad [4.2.17]$$

| | | |
|----------------------------------|------|-----------------------|
| Area di Taglio A_v | 8370 | [mm ²] |
| Tensione di Snervamento f_{yk} | 355 | [N/mm ²] |
| γ_{M0} | 1.05 | [-] |
| $V_{c,Rd}$ | 1634 | [kN] |

| COMB. | V_{ed} | t.d.l. | c.d.s. |
|---------------------------------|----------|---------|--------|
| [-] | [kN] | [-] | [-] |
| SLU 1 | 539.1363 | 32.999% | 3.030 |
| Max tasso di lavoro - SLU 1 | | 33% | [-] |
| Max coeff. di sicurezza - SLU 1 | | 3.030 | [-] |

La verifica a taglio risulta soddisfatta

IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
L=28.38m

| | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | FASE-ENTE D 09 CL | DOCUMENTO IV0209001 | REV. A | FOGLIO 86 di 100 |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|

11.1.5 Sezione in mezzeria : Verifica Presso/Tenso - Flessionale

Si riassumono, di seguito, le relazioni utilizzate per il passaggio dallo stato di sollecitazione a quello tensionale per le travi d'acciaio:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad \tau = T : A_t, \quad \sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni agenti nella sezione di mezzeria:

| SOLLECITAZIONI: Sfzo Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|--|---|-------------------|----------|---------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | 0.000 | 0.000 | 88.031 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | 0.000 | -2.541 | 412.163 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 4 | 791.647 | - | - |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 4 | -791.647 | 0.000 | 237.494 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 2 | 0.000 | 0.232 | 158.414 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 3 | 872.562 | 0.000 | - |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 3 | -872.562 | 0.000 | 149.775 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (CF2) | 3 | 0.000 | -52.646 | 1915.354 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF2) | 3 | 0.000 | -16.240 | 1526.874 |
| | Vento Carico | 3 | -1.293 | 0.000 | 0.427 |
| Sisma Verticale | 3 | 4.131 | 1.515 | 366.349 | |

Si riportano le tensioni calcolate a partire dalle sollecitazioni:

| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -14.496 | -13.248 | 9.217 | 10.466 | 11.298 | 11.298 |
| G1_peso_Soletta | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -67.870 | -62.027 | 43.156 | 49.000 | 52.895 | 52.895 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 2.023 | 31.470 | 2.023 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | -2.021 | -26.760 | -1.299 | -18.341 | -17.218 | 2.988 | 4.110 | 4.858 | 4.858 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | -0.734 | -8.763 | -0.266 | -3.048 | -2.286 | 11.430 | 12.192 | 12.700 | 12.700 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 2.344 | 14.218 | 2.344 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | -2.498 | -13.026 | -1.658 | -9.203 | -8.694 | 0.480 | 0.990 | 1.330 | 1.330 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF2) | -12.239 | -47.069 | -1.492 | 1.814 | 8.332 | 125.652 | 132.169 | 136.515 | 136.515 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF2) | -9.756 | -37.522 | -1.189 | 1.446 | 6.642 | 100.166 | 105.362 | 108.826 | 108.826 |
| Vento Carico | -0.005 | -0.024 | -0.003 | -0.013 | -0.012 | 0.014 | 0.016 | 0.017 | 0.017 |
| Sisma Verticale | -2.334 | -8.959 | -0.278 | 0.391 | 1.638 | 24.078 | 25.324 | 26.155 | 26.155 |

Si riportano le tensioni ideali da combinazioni allo SLU e SLV come da § 6.2:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ [Mpa] | σ [Mpa] | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| SLU1 | -17.764 | -69.984 | -0.928 | -143.622 | 123.258 | 261.959 | 283.247 | 297.046 |
| SLU2 | -14.413 | -57.096 | -0.520 | -144.119 | 124.688 | 227.163 | 246.696 | 259.667 |
| SLU3 | -14.505 | -56.381 | -0.108 | -149.641 | 129.900 | 227.451 | 247.290 | 260.465 |
| SLU4 | -14.416 | -57.111 | -0.521 | -144.127 | 124.695 | 227.171 | 246.705 | 259.677 |
| SLV_Z | -5.592 | -26.539 | -0.499 | -89.262 | 78.638 | 113.276 | 123.932 | 131.016 |

Infine si riportano i tassi di lavoro definiti come rapporto tra sollecitazione su resistenza ai diversi punti di controllo per le precedenti combinazioni:

| Combinazioni SLU e SLV | t.d.l. % |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| SLU1 | 83.930% | 17.885% | 4.386% | 42.480% | 36.457% | 77.481% | 83.777% | 87.859% |
| SLU2 | 68.097% | 14.591% | 2.455% | 42.627% | 36.880% | 67.189% | 72.966% | 76.803% |
| SLU3 | 68.532% | 14.408% | 0.508% | 44.260% | 38.421% | 67.274% | 73.142% | 77.039% |
| SLU4 | 68.111% | 14.595% | 2.463% | 42.629% | 36.882% | 67.191% | 72.969% | 76.806% |
| SLV_Z | 26.422% | 6.782% | 2.356% | 26.401% | 23.259% | 33.504% | 36.656% | 38.751% |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

11.1.6 Sezione di mezzeria : Verifica a taglio

Per la verifica a taglio del profilo d'acciaio, poiché in classe 1 si è fatto riferimento al §4.2.4.1.2.4 delle NTC18. Di seguito si riporta la verifica svolta:

VERIFICA A TAGLIO (PROFILO D'ACCIAIO)

4.2.4.1.2.4 Taglio

Il valore di progetto dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.16]$$

dove la resistenza di progetto a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad [4.2.17]$$

| | | |
|----------------------------------|------|-----------------------|
| Area di Taglio A_v | 8370 | [mm ²] |
| Tensione di Snervamento f_{yk} | 355 | [N/mm ²] |
| γ_{M0} | 1.05 | [-] |
| V_{Crd} | 1634 | [kN] |

| COMB. | Ved | t.d.l. | c.d.s. |
|-------|--------|--------|---------|
| [-] | [kN] | [-] | [-] |
| SLU 1 | 75 | 4.581% | 21.828 |
| SLU 2 | 26 | 1.573% | 63.566 |
| SLU 3 | 26 | 1.573% | 63.566 |
| SLU 4 | 26 | 1.573% | 63.566 |
| SLV_Z | 15 | 0.907% | 110.265 |

| | | |
|---------------------------------|--------|-------|
| Max tasso di lavoro - SLU 1 | 5% | [-] |
| Max coeff. di sicurezza - SLU 1 | 21.828 | [-] |

La verifica a taglio risulta soddisfatta

11.2 Traversi: Verifiche Stato Limite d'esercizio (SLE)

Per le verifiche allo stato limite d'esercizio si è fatto riferimento al **MdP**, in particolare al §2.6.2.2.3 del quale si riporta uno stralcio:

2.6.2.2.3 Stato limite di deformazione

Le deformazioni massime del cavalcavia devono risultare compatibili con la geometria della struttura in relazione alle esigenze del traffico, nonché ai vincoli ed ai dispositivi di giunto previsti in progetto.

Le strutture in acciaio, in C.A.P. e miste acciaio-calcestruzzo (ad eccezione delle strutture con travi in ferro incorporate nel cls) dovranno presentare una contromonta da determinare considerando per la totalità dei carichi permanenti e degli effetti lenti del cls, nonché per il 25% dei carichi accidentali dinamizzati.

Si è anche rispettato il §2.6.2.8.2 del **Mdp** di cui si riporta uno stralcio:

- Si dovranno valutare le deformazioni elastiche dovute ai seguenti carichi:
 - Peso proprio della struttura metallica e della soletta d'impalcato (f_p);
 - Peso delle opere di finitura (f_f);
 - Carichi verticali da traffico (f_s);
 - Effetti del ritiro della soletta ed effetto viscoso (f_r).
- Dovrà essere assorbita da opportuna controfreccia di costruzione (c_f) la somma dei seguenti contributi: $c_f = f_p + f_f + f_r + 0.25 f_s \Phi$
- Tale controfreccia dovrà essere ottenuta di norma mediante sagomatura dell'anima all'atto del taglio delle lamiere o tramite spezzata realizzata in corrispondenza dei giunti tra conci. L'asse del giunto sarà disposto lungo il raggio dell'arco e l'apertura del varco tra i conci dovrà risultare costante lungo tutta l'altezza della trave.
- Dovrà inoltre risultare: $f_p \leq 1/300 L$

11.2.1 Sezione di mezzeria: Calcolo Contromonta

| | | |
|------|-------|---|
| Luce | 17.00 | m |
|------|-------|---|

| | p | Sez. | f |
|---|---------------------------|-------|--------|
| | [kN/m] | [-] | [mm] |
| Carico / Fase considerati | | | |
| G1_peso_proprio acciaio | 2.44 | 1 | 6 |
| G1_peso_Soletta | 11.41 | 1 | 28 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 6.57 | 5 | 5 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 4.39 | 6 | 4 |
| 25% dei Carichi da Traffico Caratteristici (CF2) | - | 4 | 10.12 |
| | Σ frecce [mm] | | 53.01 |
| | Contromonta [mm] | | 55.00 |

11.2.2 Sezione di mezzeria: Calcolo Frecce da G1

Di seguito si riporta il calcolo delle frecce per la combinazione caratteristica o rara:

| Carico / Fase considerati | Combinazione Caratteristica o Rara | | | | |
|---|------------------------------------|-------|--------|------------|-----------|
| | p | Sez. | f | coeff.comb | f * coeff |
| | [kN/m] | [-] | [mm] | [-] | [mm] |
| G1_peso_proprio acciaio | 2.44 | 1 | 6 | 1 | 5.96 |
| G1_peso_Soletta | 11.41 | 1 | 28 | 1 | 27.92 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 6.57 | 5 | 5 | 1 | 5.36 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | 4.39 | 6 | 4 | 1 | 3.64 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 4.15 | 4 | 2 | 0.6 | 1.46 |
| Vento Carico | 0.01 | 4 | 0 | 0.6 | 0.00 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF2) | - | 4 | 40.47 | 1 | 40.47 |

Di seguito si riporta il calcolo delle frecce per i pesi permanenti strutturali G1

| | |
|---------------------------|-------|
| Σ frecce G1 [mm] | 33.89 |
| L/300 [mm] | 56.67 |
| f ≤ L/300 | OK |

11.3 Traversi: Verifica a Fatica

Le verifiche a fatica per i traversi sono state condotte nella sezione di mezzeria e nella sezione ad 1.10 m di distanza dall'attacco con la trave (sezione indebolita dai fori per l'unione bullonata con il "moncherino" della trave principale). Per questo tipo di verifiche si è fatto riferimento alla **circ. NTC18** sia per quanto riguarda i carichi mobili da usare sia per i limiti di escursione tensionale da rispettare.

Per i carichi mobili si è usato il modello di carico di fatica 1 come riportato dallo stralcio delle **NTC18** in figura:

Modello di carico 1

Il modello di carico di fatica 1 è costituito dallo Schema di Carico 1 assumendo il 70% dei carichi concentrati ed il 30% di quelli distribuiti (vedi fig. 5.1.4), applicati in asse alle corsie convenzionali individuate secondo i criteri individuati al §5.1.3.3.5

Per verifiche locali si deve considerare, se più gravoso, il modello costituito dall'asse singolo dello schema di carico 2, isolato e con carico al 70% (vedi fig.5.1.4).

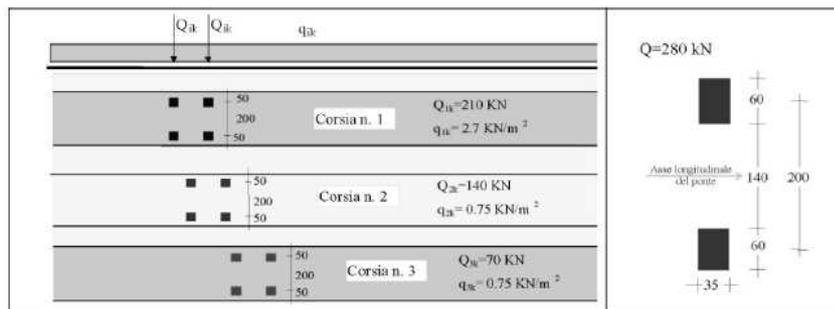


Fig. 5.1.4 - Modello di carico di fatica 1

La verifica è stata effettuata controllando l'escursione tensionale generata dal passaggio dei carichi mobili e dunque il $\Delta\sigma$ tra situazione iniziale (G1+G2) e situazione finale (G1+G2+Mobili_fatica) che coincide con le tensioni indotte dai carichi mobili per fatica.

11.3.1 Sezione indebolita

11.3.1.1 Sezione indebolita: caratteristiche meccaniche

| | | | | |
|-----------------|------------------|------|----|--|
| Traverso HEB600 | H | 600 | mm | Altezza totale trave in acciaio |
| | B _{sup} | 300 | mm | Larghezza piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t _{sup} | 30 | mm | Spessore piattabanda superiore trave in acciaio |
| | t _a | 15.5 | mm | Spessore anima trave in acciaio |
| | B _{inf} | 300 | mm | Larghezza piattabanda inferiore trave in acciaio |
| | t _{inf} | 30 | mm | Spessore piattabanda inferiore trave in acciaio |

Poiché la sezione è indebolita dai fori dei bulloni si deve calcolare l'Area netta , l'Inerzia netta ed i moduli dipendenti da quest'ultima.

| Tipo sez. / FASI | Descrizione | n | Area | h _{baricentro} | I3 | At |
|------------------|---------------------|---|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| - | | - | mm ² | mm | mm ⁴ | mm ² |
| 1 | Traverso in acciaio | - | 23795 | 300 | 1 499 582 248 | 7835 |

| WA | WB | WC | WD | WE | WF | WG |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mm ³ |
| | | | -4 998 607 | -5 554 008 | 5 554 008 | 4 998 607 |

**IV02 - Ponte stradale su Torrente Giustenice
 Relazione di calcolo travi acciaio a via inferiore
 L=28.38m**

| | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | FASE-ENTE D 09 CL | DOCUMENTO IV0209001 | REV. A | FOGLIO 93 di 100 |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|---------------------|

11.3.1.2 Sezione indebolita: Verifica a fatica

Di seguito si riportano le sollecitazioni usate per la verifica:

| SOLLECITAZIONI: Sfoco Assiale, Taglio e Momento | Carichi | Sezione / FASE | N [kN] | T [kN] | M [kNm] |
|---|---|-------------------|----------|----------|----------|
| | G1_peso_proprio acciaio | 1 | 0.000 | -15.680 | 7.900 |
| | G1_peso_Soletta | 1 | 0.000 | -85.200 | 44.720 |
| | Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 1 | -791.647 | 0.000 | 0.000 |
| | Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 1 | 791.647 | 0.000 | -213.745 |
| | G2 - Carichi Permanenti non portanti | 1 | 0.000 | -35.500 | 17.872 |
| | Termica nella Soletta (Effetto primario) | 1 | -872.562 | 0.000 | 0.000 |
| | Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 1 | 872.562 | 0.000 | -139.610 |
| | Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | 1 | 0.000 | -189.722 | 89.730 |
| | Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Vento Carico | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Sisma Verticale | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Di seguito si riporta il calcolo delle tensioni indotte dalle sollecitazioni:

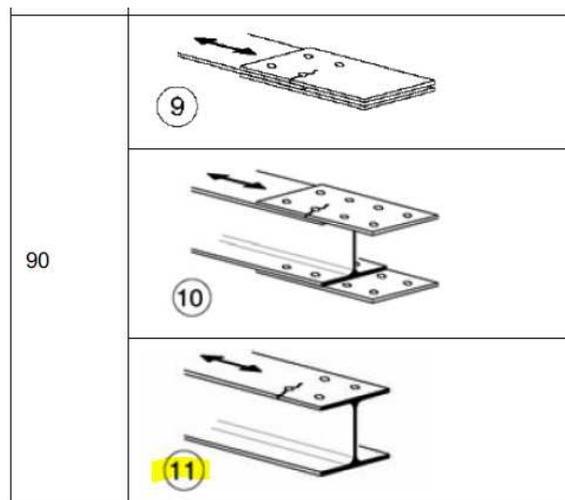
| Carichi | $\sigma = N/A \pm M/W$ [Mpa] - Calcolata ai punti di controllo | | | | $\tau = V/A_t$ [Mpa] |
|---|--|---------|--------|--------|----------------------|
| | D | E | F | G | Anima |
| G1_peso_proprio acciaio | -1.580 | -1.422 | 1.422 | 1.580 | -2.001 |
| G1_peso_Soletta | -8.946 | -8.052 | 8.052 | 8.946 | -10.874 |
| Ritiro nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ritiro nella sezione Mista Acciaio-CLS (Effetto secondario) | 76.030 | 71.754 | -5.216 | -9.492 | 0.000 |
| G2 - Carichi Permanenti non portanti | -3.575 | -3.218 | 3.218 | 3.575 | -4.531 |
| Termica nella Soletta (Effetto primario) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Termica nella sezione mista (Effetto Secondario) | 64.599 | 61.806 | 11.533 | 8.740 | 0.000 |
| Carichi da Traffico Caratteristici (CF1) | -17.951 | -16.156 | 16.156 | 17.951 | -24.214 |
| Carichi da Traffico Frequenti (CF1_FQ) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Vento Carico | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sisma Verticale | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Di seguito si riporta l'escursione tensionale massima:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| | D | E | F | G |
| G1+G2 | -14.102 | 32.711 | 32.711 | 14.102 |
| G1+G2+Mobili_KK | -32.053 | 77.646 | 77.646 | 32.053 |
| $\Delta\sigma$ | 17.951 | 44.935 | 44.935 | 17.951 |

| | | |
|-----------------------------------|--------|---------|
| Massima escursione $\Delta\sigma$ | 44.935 | [Mpa] |
|-----------------------------------|--------|---------|

Di seguito si riporta il limite tensionale considerato per la seguente verifica:



| | |
|---|--|
| 9) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni calibrati o bulloni non precaricati iniettati | $\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta |
| 10) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bulloni AR precaricati o bulloni precaricati iniettati | $\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda |
| 11) Elementi strutturali forati soggetti a forza normale e momento flettente | $\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta |

Infine si riporta la verifica tensionale a fatica:

TENSIONE LIMITE A FATICA

| | | |
|--|-------|---------|
| $\Delta\sigma_C$ | 90.00 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_D$ | 66.33 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_{max}$ | 44.93 | [MPa] |
| γ_{Mf} | 1.35 | [-] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max}$ | 60.66 | [MPa] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_D$ <p>La verifica a fatica risulta soddisfatta</p> | | |

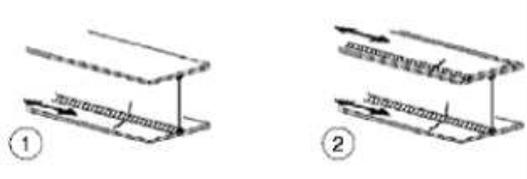
Di seguito si riporta l'escursione tensionale massima:

| Combinazioni SLU e SLV | σ [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ_{ideale} [Mpa] | σ [Mpa] | σ [Mpa] |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | D | E | F | G | H |
| G1+G2 | -0.266 | -85.414 | 77.562 | 63.805 | 71.659 |
| G1+G2+Mobili_KK | -0.928 | -84.612 | 74.108 | 119.683 | 130.416 |
| $\Delta\sigma$ | 0.000 | 0.000 | -0.803 | -3.454 | 55.878 |

| | | |
|-----------------------------------|--------|---------|
| Massima escursione $\Delta\sigma$ | 55.878 | [Mpa] |
|-----------------------------------|--------|---------|

Di seguito si riporta il limite tensionale considerato per la seguente verifica:

Tabella C4.2.XIII - Dettagli costruttivi per sezioni saldate ($\Delta\sigma$)

| Classe del dettaglio | Dettaglio costruttivo |
|----------------------|--|
| 125 |  |

7)

| Descrizione | Requisiti |
|--|--|
| Saldature longitudinali continue 1) Saldatura automatica a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati 2) Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le parti terminali dei piattini di rinforzo devono essere verificate considerando i dettagli 5) e 6) della tabella C4.2.XVI.a) | 1) e 2) Non sono consentite interruzioni/riprese, a meno che la riparazione sia eseguita da un tecnico qualificato e siano eseguiti controlli atti a verificare la corretta esecuzione della riparazione |

Infine si riporta la verifica tensionale a fatica:

TENSIONE LIMITE A FATICA

| | | |
|--|--------|---------|
| $\Delta\sigma_C$ | 125.00 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_D$ | 92.125 | [MPa] |
| $\Delta\sigma_{max}$ | 60.55 | [MPa] |
| γ_{Mf} | 1.35 | [-] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max}$ | 81.74 | [MPa] |
| $\gamma_{Mf} * \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_D$ <p>La verifica a fatica risulta soddisfatta</p> | | |