

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

OPERE PRINCIPALI - PONTI e CAVALCAFERROVIA

Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1

Relazione di calcolo impalcato c.a.p. 30m

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.
I V 0 I 0 0 D 0 9 C L I V 0 3 0 8 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Progetto Definitivo	A. Orsini	Gen.2022	D. Guerci	Gen.2022	D. Fadda	Gen.2022	 A. Vittozzi 2022

File: IV0I00D09CLIV0308001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVA E ISTRUZIONI.....	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	6
3.1	CALCESTRUZZO	6
3.1.1	<i>Classe C45/55 (Travi C.A.P e Traversi)</i>	6
3.1.2	<i>Classe C35/45 (Soletta)</i>	6
3.2	ACCIAIO.....	6
3.2.1	<i>Acciaio per armature ordinarie</i>	6
3.2.2	<i>Acciaio da precompressione</i>	7
4	FASI COSTRUTTIVE	8
5	CARATTERISTICHE DELLE TRAVI.....	9
5.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI SENZA SOLETTA COLLABORANTE	9
6	CARATTERISTICHE DEI TRAVERSI.....	14
6.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO DI TESTATA (SEZIONE PIENA)	14
7	MODELLO DI CALCOLO.....	16
8	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO	16
9	COMBINAZIONI DI CARICO	16
10	SOLLECITAZIONI.....	21
11	VERIFICHE	22

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	1 di 41

11.1	TRAVI.....	22
11.1.1	<i>Armatura</i>	22
11.1.2	<i>Caratteristiche dei materiali</i>	25
11.1.3	<i>Limiti tensionali</i>	26
11.1.4	<i>Sezioni di verifica</i>	26
11.1.5	<i>Cadute di tensione al getto della soletta e dal getto della soletta a tempo infinito</i>	28
11.1.6	<i>Effetto del ritiro differenziale trave-soletta</i>	30
11.1.7	<i>Verifiche tensionali</i>	30
11.2	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO	36
11.2.1	<i>Verifica a pressoflessione</i>	36
11.2.2	<i>Verifica a taglio</i>	37
11.3	DETERMINAZIONE DELL'ARMATURA LONGITUDINALE ALL'APPOGGIO	38

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	2 di 41

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche di resistenza dell'impalcato del ponte stradale sul fiume Rio Casazza (IV03) previsto dal progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora.

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo delle travi in c.a.p. dell'opera.

L'impalcato è costituito da 3 travi a cassoncino in cemento armato precompresso di $h_T=1.90m$ ed $L_T=29.30m$, la larghezza complessiva dell'impalcato è di 11.98m.

Il ponte è formato da un'unica campata in semplice appoggio di luce pari a 28.4m, misurata tra gli appoggi, la lunghezza complessiva dell'impalcato è di 30m.

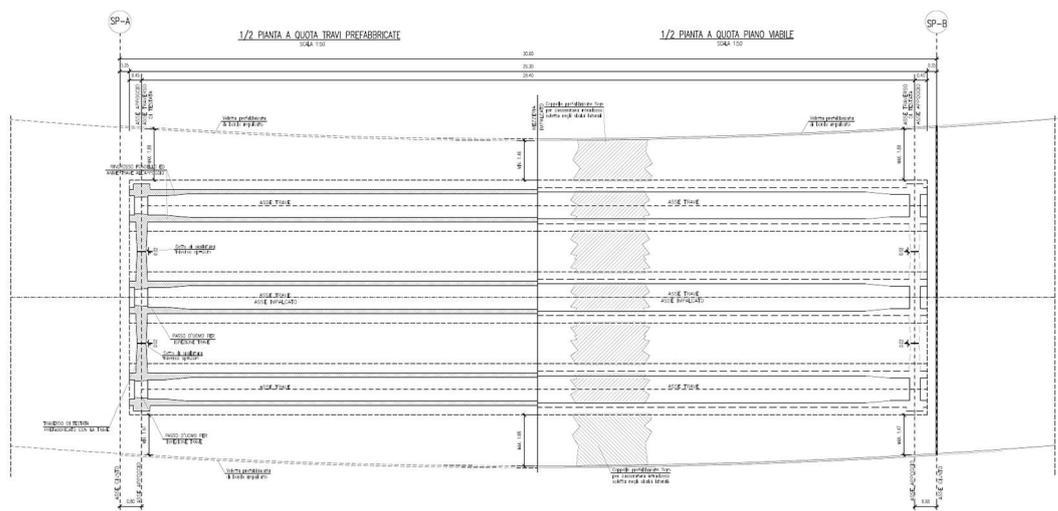


Figura 1: Pianta travi impalcato

SEZIONE TRASVERSALE TIPICA IN CAMPATA

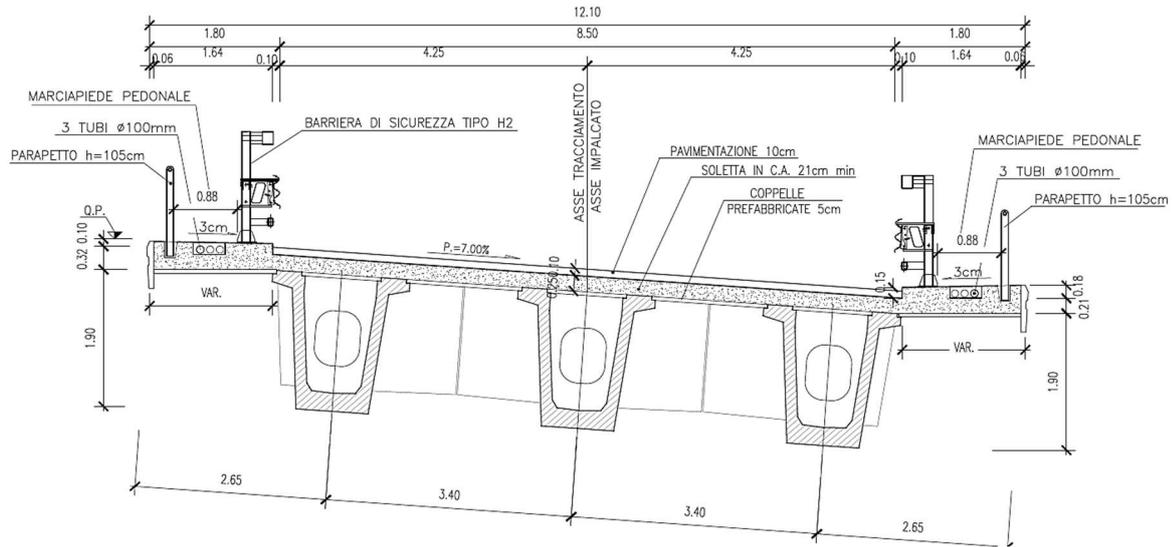


Figura 2: Sezione trasversale impalcato

SEZIONE CORRENTE

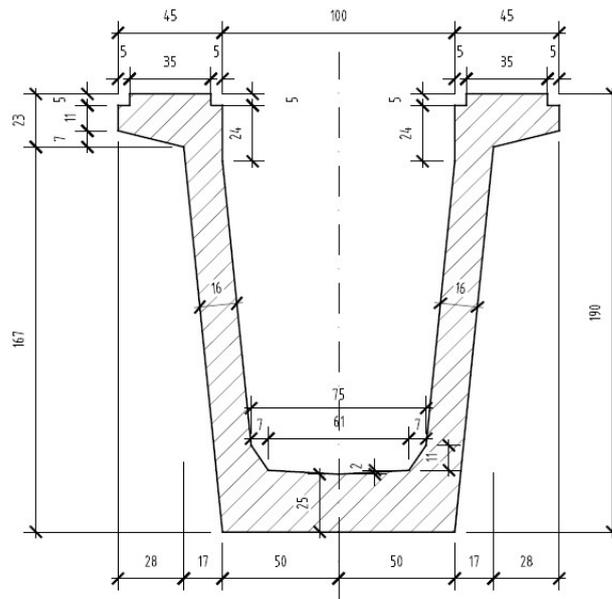


Figura 3: Sezione corrente della trave

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA E ISTRUZIONI

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

Ferrovie dello Stato hanno emanato nel tempo varie normative e linee guida riguardanti sia i sovraccarichi che le prescrizioni relative ai ponti.

Le normative rilevanti per la redazione del progetto di messa in sicurezza sono ovviamente le normative ora vigenti per le strutture, e per i ponti ferroviari in particolare, elencate nel seguito.

- *DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC18);*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP: istruzioni per l’applicazione delle NTC 2018 (nel seguito circ. NTC18);*
- *Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – parte 5 – Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;*
- *RFICTCSIMAIIFS001_E: Manuale di progettazione delle opere civili, 31/12/2020 (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;*
- *Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi “controllo-comando e segnalamento” del sistema ferroviario nell’Unione europea.*

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

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

3.1 CALCESTRUZZO

3.1.1 Classe C45/55 (Travi C.A.P e Traversi)

Al taglio dei trefoli

- $R_{ckj} = 47 \text{ N/mm}^2$
- $E_{cm,j} = 35001 \text{ N/mm}^2$

In fase di esercizio

- $R_{ck} = 55 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 45.65 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 45.65 \cdot 0.85 / 1.5 = 25.86 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3.83 \text{ N/mm}^2$
- $E_{cm} = 36283 \text{ N/mm}^2$

3.1.2 Classe C35/45 (Soletta)

- $R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 35 \cdot 0.85 / 1.5 = 19.83 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3.21 \text{ N/mm}^2$
- $E_{cm} = 34077 \text{ N/mm}^2$

3.2 ACCIAIO

3.2.1 Acciaio per armature ordinarie

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

Acciaio B450C

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	7 di 41

- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;
- resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$;
- modulo elastico $E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2$.

3.2.2 Acciaio da precompressione

Si utilizzano cavi in acciaio armonico con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Acciaio armonico stabilizzato in trefoli da $\phi 0.6''$

- Area nominale $A = 0.39 \text{ cm}^2$;
- Tensione caratteristica di rottura $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$;
- Tensione caratteristica allo 1% di deformazione $f_{p(1)k} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$;
- Modulo elastico $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$;
- Tensione utile al rilascio dei tefoli $\sigma_{spi} = 1350 \text{ N/mm}^2$.

4 FASI COSTRUTTIVE

Sono previste le seguenti fasi di costruzione:

- fase 1: posizionamento apparecchi di appoggio
- fase 2: varo delle travi
- fase 3: inserimento tubi in gomma a tenuta d'aria nelle guaine dei trefoli dei traversi e loro gonfiaggio
- fase 4: posa predalles interne sulle travi
sigillatura dei traversi con malta
sgonfiaggio tubi in gomma e loro sfilaggio
- fase 5: inserimento trefoli di precompressione nei traversi
tesatura al 10% dei cavi nei traversi di testata e sbloccaggio degli apparecchi di appoggio
completamento tesatura contemporanea dei 2 cavi dei traversi di testata
iniezione delle guaine sottovuoto entro 15 gg dalla tesatura dei trefoli e sigillatura terminali di ancoraggio
- fase 6: inghisaggio zanche inferiori appoggi e loro bloccaggio
- fase 7: posa cassero per getto soletta a sbalzo
posa in opera delle predalles sullo sbalzo e sigillatura elementi contigui con mastice
posa armatura soletta
- fase 8: prima fase di getto della soletta (soletta strutturale)
- fase 9: posizionamento velette
completamento getto soletta
getto marciapiedi
- fase 10: posizionamento giunti
posizionamento pluviali di scarico
realizzazione pavimenti e opere di impermeabilizzazione e protezione.

5 CARATTERISTICHE DELLE TRAVI

5.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI SENZA SOLETTA COLLABORANTE

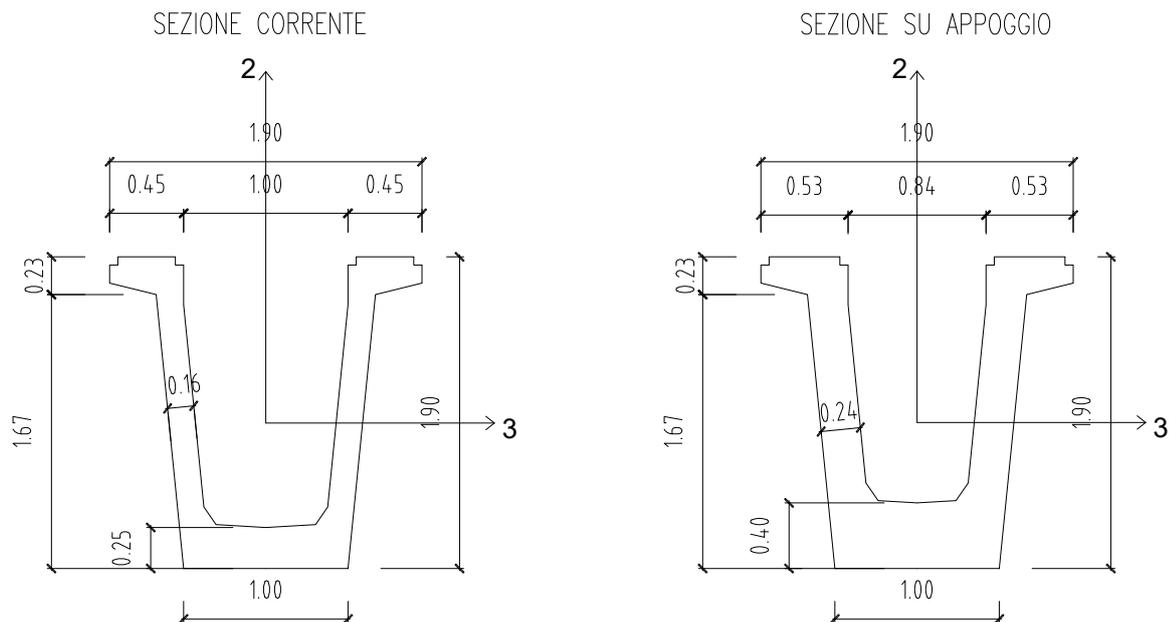


Figura 7. Sezioni cassoncini

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI		
	Sezione su appoggio	Sezione corrente
H (altezza trave)	1.9000 m	1.9000 m
b_w (spessore anima)	0.2400 m	0.1600 m
A_{trasv} (area)	1.2666 m ²	0.9131 m ²
Y _g (Baricentro dal fondo cassoncino)	0.8905 m	0.8840 m
J ₂ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.2908 m ⁴	0.2428 m ⁴
J ₃ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.4842 m ⁴	0.3876 m ⁴
A _{t2} (area di taglio in direzione 2)	0.9165 m ²	0.6110 m ²
A _{t3} (area di taglio in direzione 3)	0.4400 m ²	0.2722 m ²

Tabella 1: Caratteristiche geometriche cassoncini

Determinazione della larghezza collaborante della soletta per gli elementi trave

La determinazione della soletta collaborante è stata effettuata nel rispetto di quanto previsto dal §4.3.2.3 delle NTC18 tenendo conto, inoltre, delle limitazioni previste nel MdP al 2.6.2.7.2.2;

Soletta al di sopra dell'anima esterna di un cassoncino di bordo:

lato esterno al cassoncino:

$$b_{est} = b_w/2 + L_0/8 < S$$

dove b_w Larghezza anima travi

L_0 Luce travi

S Distanza dall'asse anima esterna della trave di bordo al filo esterno della soletta

lato interno al cassoncino:

$$b_{int} = b_w/2 + L_0/8 < I/2$$

dove $I/2$ Semi-Interasse anime internamente al cassoncini

Risulta una larghezza complessiva collaborante di soletta al di sopra dell'anima esterna di un cassoncini di bordo pari a:

$$b_{an_est} = b_{est} + b_{int}$$

Soletta al di sopra dell'anima interna di un cassoncino:

lato esterno al cassoncino:

$$b_{est} = b_w/2 + L_0/8 < D/2$$

dove $D/2$ Semi distanza tra due anime di cassoncini adiacenti

$$b_{int} = b_w/2 + L_0/8 < I/2$$

Risulta una larghezza complessiva collaborante di soletta al di sopra dell'anima interna di un cassoncino pari a:

$$b_{an_int} = b_{est} + b_{int}$$

Soletta collaborante:

$$b = b_{an_est} + b_{an_int} \quad \text{cassoncini di bordo}$$

$$b = 2 \cdot b_{an_int} \quad \text{cassoncini interni}$$

omogeneizzando la soletta ai cassoncini:

$$b_{omog} = n \cdot b$$

Le grandezze definite sono riportate nella tabella seguente:

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	11 di 41

b_w	0.16	m
$L_e = L_{\text{calcolo}}$	28.4	m
S	1.980	m
I/2	0.610	m
D/2	1.095	m
$b_{\text{est}} = b_w/2 + L_e/8$	3.630	m
$b_{\text{int}} = b_w/2 + L_e/8$	3.630	m
$(S+I/2)/2-I/2$	0.685	m
Soletta al di sopra dell'anima esterna di un cassoncino di bordo:		
$b_{\text{est}} < (S+I/2)/2-I/2$	0.685	m
$b_{\text{int}} < I/2$	0.610	m
$b_{\text{an_est}} = b_{\text{est}} + b_{\text{int}}$	1.295	m
Soletta al di sopra dell'anima interna di un cassoncino:		
$b_{\text{est}} < D/2$	1.095	m
$b_{\text{int}} < I/2$	0.610	m
$b_{\text{an_int}} = b_{\text{est}} + b_{\text{int}}$	1.705	m
Soletta collab. cassoni di bordo	3.000	m
Soletta collab. cassoni interni	3.410	m
Soletta coll. OMOGEN. cassonc. di bordo	2.852	m
Soletta coll. OMOGEN. cassonc. Interni	3.242	m

In cui S, I e D sono le grandezze riportate nella figura successiva:

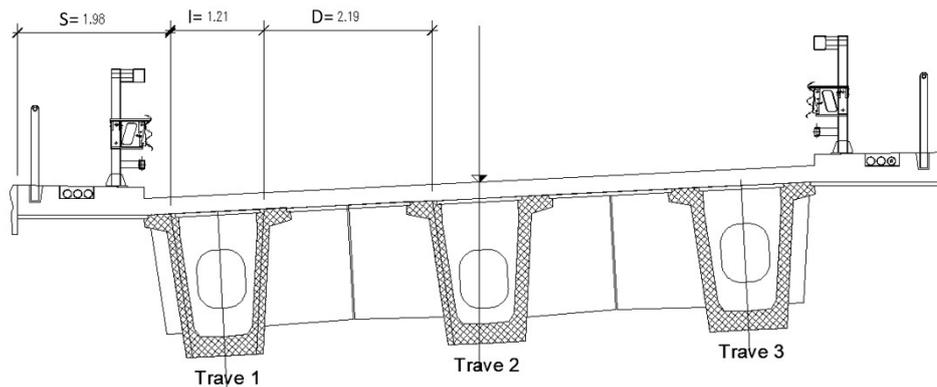


Figura 8: Sezione trasversale impalcato

Per le sezioni omogeneizzate si è tenuto conto del seguente fattore di omogeneizzazione:

	Trave	Traversi	Soletta	n trave	n traversi
R_{ck} (kg/cm ²)	550	550	450	-	-
E (kg/cm ²)	364161	364161	346255	0.951	0.951

Caratteristiche geometriche cassoncino + soletta (omogeneizzata)

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI +SOLETTA (Omogeneizzata)		
TRAVE INTERNA	Sezione su appoggio (TR-INT-APP)	Sezione corrente (TR-INT-CAMP)
B (Larghezza collaborante omogeneizz)	3.2423 m	3.2423 m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.250 m	0.250 m
A_0 (area)	2.0542 m ²	1.7007 m ²
Y_{g_0} (Baricentro dal fondo cassoncino)	1.3255 m	1.4124 m
A_2 (area di taglio in direzione 2)	1.0371 m ²	0.6914 m ²
A_3 (area di taglio in direzione 3)	1.2106 m ²	1.0606 m ²
K_t (Momento d'inerzia torsionale)	0.6383 m ⁴	0.5342 m ⁴
J_3 (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	1.1134 m ⁴	0.9422 m ⁴
J_2 (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	1.3369 m ⁴	1.2889 m ⁴

Tabella 2: Caratteristiche geometriche trave interna

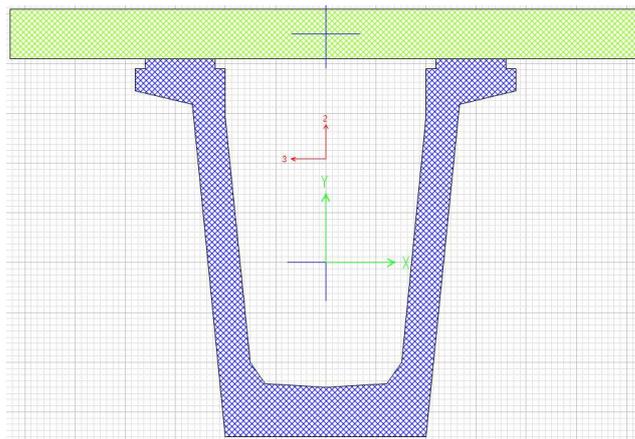


Figura 9: Trave corrente interna

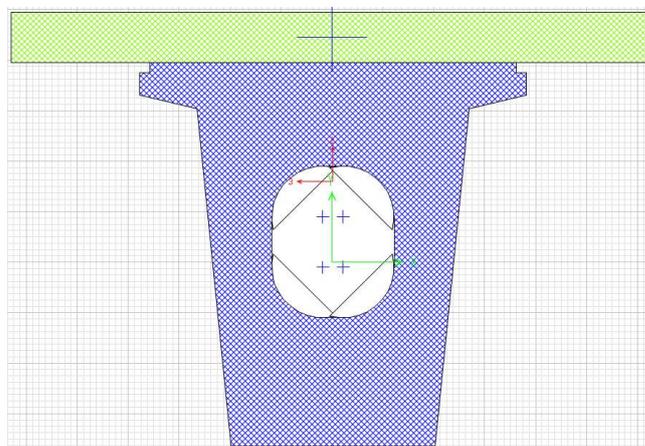


Figura 10: Trave appoggio interna

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	13 di 41

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI +SOLETTA (Omogeneizzata)		
TRAVE DI BORDO	Sezione su appoggio (TR-BORDO-APP)	Sezione corrente (TR-BORDO-CAMP)
B (Larghezza collaborante omogeneizz)	2.8525 m	2.8525 m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.250 m	0.250 m
A_0 (area)	1.9595 m ²	1.6060 m ²
\bar{Y}_{g_0} (Baricentro dal fondo cassoncino)	1.2917 m	1.3763 m
A_{t_2} (area di taglio in direzione 2)	1.0371 m ²	0.6914 m ²
A_{t_3} (area di taglio in direzione 3)	1.1131 m ²	0.9631 m ²
K_t (Momento d'inerzia torsionale)	0.6383 m ⁴	0.5342 m ⁴
J_3 (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	1.0643 m ⁴	0.9040 m ⁴
J_2 (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	1.3369 m ⁴	1.2889 m ⁴

Tabella 3: Caratteristiche geometriche trave di bordo

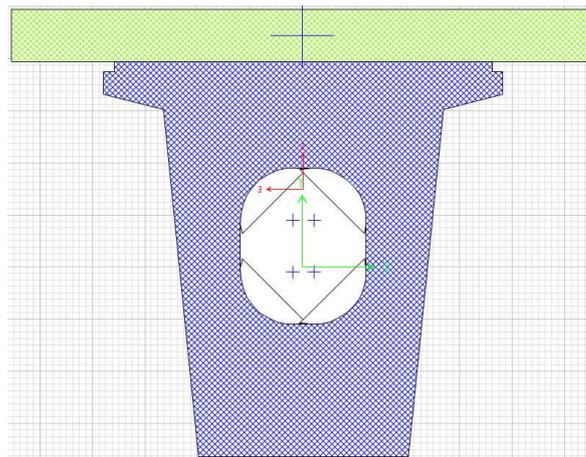


Figura 11: Trave appoggio bordo

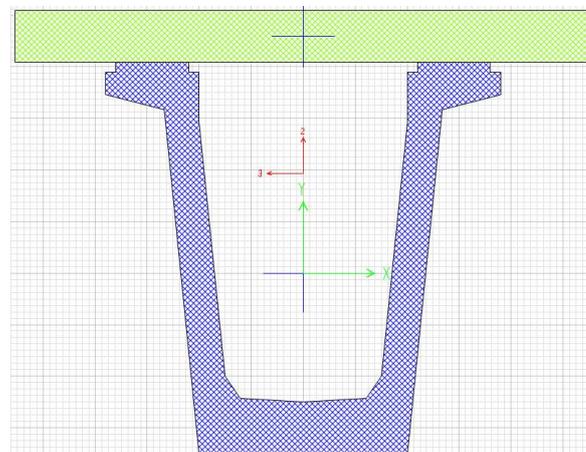


Figura 12: Trave corrente bordo

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	14 di 41

6 CARATTERISTICHE DEI TRAVERSI

6.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO DI TESTATA (SEZIONE PIENA)

Si considera una larghezza collaborante di soletta pari a :

$$B = d_{est} + 5 \cdot s + b_{w,transverso}$$

dove: d_{est} sbalzo della soletta dal traverso

s spessore medio della soletta

$b_{w,transverso}$ spessore del traverso

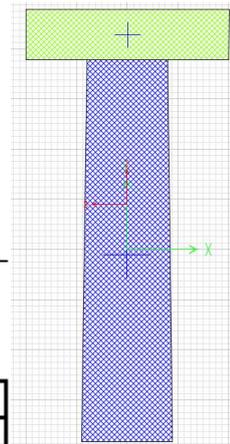
La larghezza collaborante omogeneizzata è pari a:

$$B_{omog.} = n B$$

Nella tabella seguente sono riepilogate le grandezze definite.

TRAVERSO DI TESTATA Sezione PIENA

i	28.40	m
$L_{incrvallare}$	3.4	m
$b_{col,1}$	0.625	m
$b_{col,1} < d_{colono\ max}$	0.5	m
$b_{col,1}$	0.6250	m
$b_{col,2}$	0	m
$b_{col,2}$	0	m
d_{col}	0.600	m
$d_{col\ max}$	0.300	m
s	0.25	m
$b_{w,transverso}$	0.400	m
Soletta collab. traverso di testata	1.125	m
Soletta collab. omogeneizz.	1.070	m



IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	15 di 41

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO di TESTATA		
SEZIONE PIENA		
TRASV-T-PIENA		
Y _g (Baricentro dal fondo traverso)	0.7575	m
A _{trasv} (area)	0.6060	m ²
J ₃ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.1159	m ⁴
J ₂ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.0081	m ⁴
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO+SOLETTA		
B (Larghezza collaborante omogeneizz)	1.0697	m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.250	m
A _o (area)	0.7744	m ²
Y _{g_o} (Baricentro dal fondo traverso)	0.9564	m
A ₂ (area di taglio in direzione 2)	0.7260	m ²
A ₃ (area di taglio in direzione 3)	0.2229	m ²
K _t (Momento d'inerzia torsionale)	0.0390	m ⁴
J ₃ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.2273	m ⁴
J ₂ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.0127	m ⁴

Tabella 4: Caratteristiche geometriche traverso di testata (sezione piena)

7 MODELLO DI CALCOLO

Per la modellazione si utilizza il programma di calcolo agli elementi finiti Sap2000 della Computer and Structures, Inc.

La struttura viene analizzata mediante un modello a graticcio con elementi BEAM sia longitudinali che trasversali che schematizzano le travi, i traversi e la soletta.

Per i dettagli del modello di calcolo si rimanda al §5 dell’elaborato IV0I00D9CLIV030A001A “Relazione di Calcolo Impalcato appoggi e giunti”.

8 ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Per l’analisi dei carichi si rimanda al §6 dell’elaborato IV0I00D9CLIV030A001A

9 COMBINAZIONI DI CARICO

Sulla base delle condizioni di carico elementare illustrate al §8 sono state definite le combinazioni di carico.

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC18 al par.2.5.3:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d’esercizio:

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

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

Combinazione sismica:

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

Per le verifiche SLU si adottano i valori dei coefficienti parziali e dei coefficienti di combinazione riportati nelle seguenti figure.

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
 Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	17 di 41

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

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

 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 combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	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

Sono stati definiti i seguenti gruppi di azione relativi al traffico stradale:

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
IV01 00 D 09 IV0308001A A 18 di 41

- gruppo di azione 1:

schema di carico 1: carico tandem Q_{ik} e carico distribuito q_{ik} presi con il valore caratteristico

schema di carico 5: carico folla sui marciapiedi preso con il valore di combinazione di 2.5

kN/mq

- gruppo di azione 2a:

schema di carico 1: carico tandem Q_{ik} e carico distribuito q_{ik} presi con il valore frequente

frenatura al valore caratteristico

Di seguito si riportano le combinazioni considerate nel calcolo.

Combinazioni SLU

Nome	Ponte scarico															
	Scarico		Wind dominante						T dominante							
	GR01_SLU_D_01	GR01_SLU_D_02	GR01_SLU_D_03	GR01_SLU_D_04	GR01_SLU_D_05	GR01_SLU_D_06	GR01_SLU_D_07	GR01_SLU_D_08	GR01_SLU_D_09	GR01_SLU_D_10	GR01_SLU_D_11	GR01_SLU_D_12	GR01_SLU_D_13	GR01_SLU_D_14	GR01_SLU_D_15	GR01_SLU_D_16
DEAD	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35
G1tot	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35
G2tot	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1	1.35
Wv_scr	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0.9	0.9	0	0	0.9	0.9
Wv_car	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0	0	0.9	0.9	-0.9	-0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5
R	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.2
Q_FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_1_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_2_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_1_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_2_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nome	Vento dominante											
	GR01_SLU_V_01	GR01_SLU_V_02	GR01_SLU_V_03	GR01_SLU_V_04	GR01_SLU_V_05	GR01_SLU_V_06	GR01_SLU_V_07	GR01_SLU_V_08	GR01_SLU_V_09	GR01_SLU_V_10	GR01_SLU_V_11	GR01_SLU_V_12
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G2tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Wv_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wv_car	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
T	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9
R	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Q_FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_1_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_2_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_1_F	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_2_F	0	0	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0
C TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0
C TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35

Nome	Temperatura dominante															
	GR01_SLU_T_13	GR01_SLU_T_14	GR01_SLU_T_15	GR01_SLU_T_16	GR01_SLU_T_17	GR01_SLU_T_18	GR01_SLU_T_19	GR01_SLU_T_20	GR01_SLU_T_21	GR01_SLU_T_22	GR01_SLU_T_23	GR01_SLU_T_24	GR01_SLU_T_25	GR01_SLU_T_26	GR01_SLU_T_27	GR01_SLU_T_28
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G2tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Wv_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wv_car	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9
T	1.5	1.5	-1.5	-1.5	1.5	1.5	-1.5	-1.5	1.5	1.5	-1.5	-1.5	1.5	1.5	-1.5	-1.5
R	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Q_FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_1_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_2_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_1_F	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_2_F	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
C TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0
C TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO
IV01 00 D 09 IV0308001A A 19 di 41

Traffico Dominante												
Gruppo 1												
Nome	GR01_SLU_Tr_01	GR01_SLU_Tr_02	GR01_SLU_Tr_03	GR01_SLU_Tr_04	GR01_SLU_Tr_05	GR01_SLU_Tr_06	GR01_SLU_Tr_07	GR01_SLU_Tr_08	GR01_SLU_Tr_09	GR01_SLU_Tr_10	GR01_SLU_Tr_11	GR01_SLU_Tr_12
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G2tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Wy_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wy_car	0	0.9	0.9	0	0.9	0.9	0	0.9	0.9	0	0.9	0.9
T	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9
R	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Q_FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_1_K	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_K	0	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0
C_TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35
C_TRASV_1_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Traffico Dominante												
Gruppo 2a												
Nome	GR2a_SLU_Tr_01	GR2a_SLU_Tr_02	GR2a_SLU_Tr_03	GR2a_SLU_Tr_04	GR2a_SLU_Tr_05	GR2a_SLU_Tr_06	GR2a_SLU_Tr_07	GR2a_SLU_Tr_08	GR2a_SLU_Tr_09	GR2a_SLU_Tr_10	GR2a_SLU_Tr_11	GR2a_SLU_Tr_12
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G2tot	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Wy_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wy_car	0	0.9	0.9	0	0.9	0.9	0	0.9	0.9	0	0.9	0.9
T	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9
R	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Q_FR	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
C_TRASV_1_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_1_F	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_F	0	0	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0
C_TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35

Combinazioni SLE FREQUENTE

Ponte scarico						
Nome	Scarico		Wind dominante		T dominante	
	GR00_FREQ_D_01	GR00_FREQ_D_02	GR00_FREQ_D_03	GR00_FREQ_D_04	GR00_FREQ_D_05	GR00_FREQ_D_06
DEAD	1	1	1	1	1	1
G1tot	1	1	1	1	1	1
G2tot	1	1	1	1	1	1
Wy_scr	0	0.2	0.2	0.2	0	0
Wy_car	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0.5	-0.5	0.6	-0.6
R	1	1	1	1	1	1
Q_FR	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_1_K	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_K	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_1_F	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_F	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0

Traffico Dominante												
Gruppo 2a												
Nome	GR2a_FREQ_Tr_01	GR2a_FREQ_Tr_02	GR2a_FREQ_Tr_03	GR2a_FREQ_Tr_04	GR2a_FREQ_Tr_05	GR2a_FREQ_Tr_06	GR2a_FREQ_Tr_07	GR2a_FREQ_Tr_08	GR2a_FREQ_Tr_09	GR2a_FREQ_Tr_10	GR2a_FREQ_Tr_11	GR2a_FREQ_Tr_12
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G1tot	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G2tot	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wy_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wy_car	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0.5	-0.5	0	0.5	-0.5	0	0.5	-0.5	0	0.5	-0.5
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q_FR	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C_TRASV_1_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_4_K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_1_F	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_2_F	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
C_TRASV_3_F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
C_TRASV_4_F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	20 di 41

Combinazioni SLE QUASI PERMANENTE

Nome	Ponte scarico		
	Scarico	T dominante	
	GR00_QPERM_D_01	GR00_QPERM_D_02	GR00_QPERM_D_03
DEAD	1	1	1
G1tot	1	1	1
G2tot	1	1	1
Wy_scr	0	0	0
Wy_car	0	0	0
T	0	0.5	-0.5
R	1	1	1
Q_FR	0	0	0
C_TRASV_1_K	0	0	0
C_TRASV_2_K	0	0	0
C_TRASV_3_K	0	0	0
C_TRASV_4_K	0	0	0
C_TRASV_1_F	0	0	0
C_TRASV_2_F	0	0	0
C_TRASV_3_F	0	0	0
C_TRASV_4_F	0	0	0

Combinazioni SISMICHE

Nome	SISMA		
	SISMA_X_SLV	SISMA_Y_SLV	SISMA_Z_SLV
DEAD	1	1	1
G1tot	1	1	1
G2tot	1	1	1
Spettro X	1	0.3	0.3
Spettro Y	0.3	1	0.3
Spettro Z	0.3	0.3	1

10 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito le sollecitazioni elementari in termini di momento flettente e taglio per la trave di bordo e per la trave interna.

	TRAVE INTERNA				
	MEZZERIA		APPOGGIO		a Le da Testa Trave
	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]
G1	2344.17	0.07	-0.91	-342.47	562.88
G1_sol	2722.39	0.27	55.28	-355.51	668.34
G2	1194.76	0.50	28.65	-146.74	286.03
Accidentali traffico	4311.93	303.65	-137.14	-781.26	1282.73
Vento ponte scarico	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento ponte carico	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 13: Sollecitazioni elementari trave interna

	TRAVE BORDO				
	MEZZERIA		APPOGGIO		a Le da Testa Trave
	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]
G1	2262.75	-0.03	-4.81	-335.08	544.83
G1_sol	3018.88	-0.14	-31.84	-439.31	707.39
G2	1341.25	-0.25	-16.19	-199.74	317.98
Accidentali traffico	5031.93	379.22	-187.55	-1023.95	1641.26
Vento ponte scarico	-9.66	0.02	0.72	1.97	-2.36
Vento ponte carico	-76.85	0.14	5.76	15.63	-18.73

Figura 14: Sollecitazioni elementari trave di bordo

11 VERIFICHE

11.1 TRAVI

11.1.1 Armatura

11.1.1.1 Armatura di precompressione

L'armatura di precompressione nella trave è costituita da:

Mezzeria trave: **52 trefoli 0.6"**, aventi area nominale di 1.39 cm²

baricentro armatura di precompressione da intradosso trave: 17.77cm;

Ad L=2.25m dalla testa della trave: **12 trefoli 0.6"**, aventi area nominale di 1.39 cm²

baricentro armatura di precompressione da intradosso trave:
12.00cm;

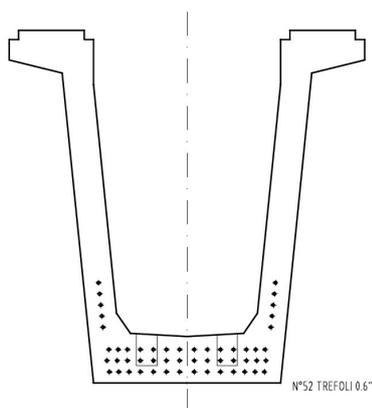


Figura 15: Disposizione armatura di precompressione nella sezione di campata

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	23 di 41

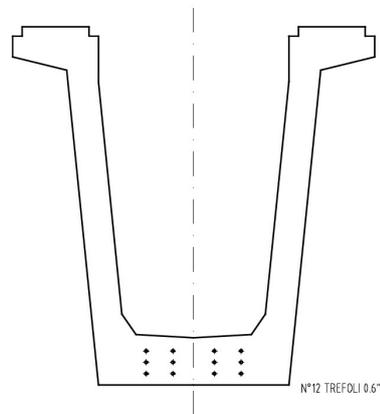
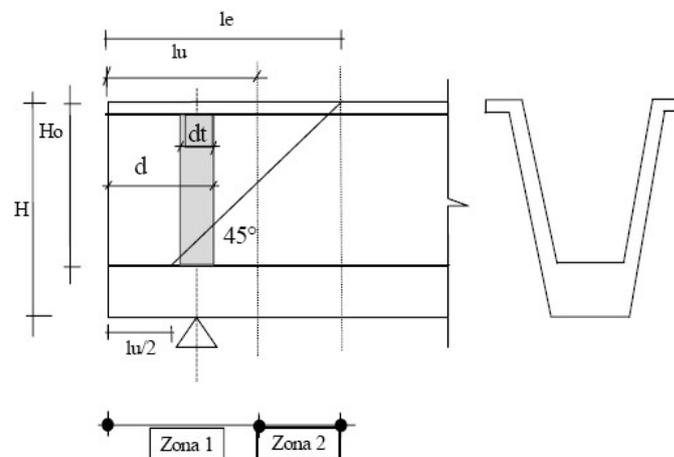
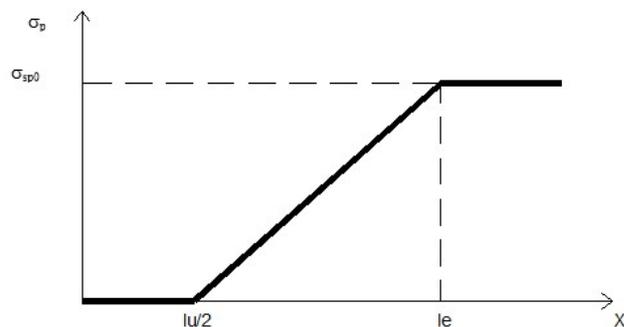


Figura 16: Disposizione armatura di precompressione nella sezione ad $L=2.25m$ dalla testata

La tensione di tesatura dei trefoli è stata assunta pari a:

$$\sigma_{sp0} = 1350 \text{ MPa} \leq 0.9 f_{p(1)k} = 0.9 \times 1670 = 1503 \text{ MPa}$$

Il trasferimento della precompressione nella zona di ancoraggio dei trefoli presenta il seguente andamento:



IV03 – Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	24 di 41

Dove:

- H = altezza della trave
 H_0 = altezza utile relativa al baricentro trefoli
 l_u = lunghezza di trasferimento
 l_e = lunghezza di introduzione
 d_t = spessore del traverso di testata
d = distanza testata trave-estremità traverso
 $y_{G,trefoli}$ = baricentro dei trefoli all'appoggio da intradosso trave

in corrispondenza della testata della trave si ha:

$$H = 1.90 \text{ m}$$

$$y_{G,trefoli} = 0.12 \text{ m}$$

$$H_0 = 1.90 - 0.12 = 1.78 \text{ m}$$

$$l_u = 70 \phi \text{ (trefolo)} = 70 \times 0.0152 = 1.064 \text{ m}$$

$$l_e = 35 \phi + H_0 = 35 \times 0.0152 + 1.78 = 2.312 \text{ m}$$

In corrispondenza del taglio dei trefoli (sezione di campata), essendo $y_{G,trefoli} = 0.1777 \text{ m}$ si ha $l_e = 2.252 \text{ m}$.

11.1.1.2 Armatura lenta della trave

Campata: 58 Φ 14

Appoggio: 78 Φ 14

11.1.1.3 Armatura lenta della soletta

Campata e appoggio: Φ 18/20 sup. $c = 3.5 + 1.4 + 1.8/2 = 5.8 \text{ cm}$
 Φ 18/20 inf. $c = 2.0 + 1.4 + 1.8/2 = 4.3 \text{ cm}$

IV03 – Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	25 di 41

11.1.2 Caratteristiche dei materiali

11.1.2.1 Trave

CALCESTRUZZO

R_{ck}	550	kg/cm ²	C45/55
R_{ckj}	470	kg/cm ²	R_{ck} raggiunta dal cls al momento del rilascio dei trefoli (che quindi avviene prima di 28 gg di stagionatura)
f_{ck}	450	kg/cm ²	C45/55
f_{ckj}	390	kg/cm ²	$f_{ckj} = 0.83R_{ckj}$
f_{cm}	530	kg/cm ²	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm}	38.0	kg/cm ²	$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$ per $cls \leq C50/60$; $2.12 \ln(1+f_{cm}/10)$ $cls > C50/60$
f_{ctk}	26.57	kg/cm ²	$f_{ctk}(5\%) = 0.7f_{ctm}$
E_{cm}	362 832	kg/cm ²	modulo elastico istantaneo del cls (a to)
$E_{cm,j}$	350 009	kg/cm ²	

ACCIAIO TREFOLI

f_{ptk}	1860	MPa	tensione caratteristica a rottura
$f_{p(1)k}$	1670	MPa	tensione caratteristica che corrisponde ad una deformazione dell'1% sotto carico
E_p	2100000	kg/cm ²	
σ_{sp0}	1350	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo
$A_{nominale}$	1.39	cm ²	area nominale di 1 trefolo
ϕ	15.2	mm	diametro nominale trefoli
rilass. iniz.	0.0	%	della tensione di tiro (rilassamento iniziale che avviene tra la tesatura dei cavi ed il loro rilascio)
$\sigma_{spi} =$	1350	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo

ARMATURA LENTA

f_{yk}	450	MPa	B450
----------	-----	-----	------

11.1.2.2 Soletta

CALCESTRUZZO

R_{ck}	450	kg/cm ²	C35/45
f_{ck}	350	kg/cm ²	C35/45
α	1.00E-05	°C ⁻¹	coeff. di dilatazione termica cls
f_{cm}	430	kg/cm ²	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm}	32.1	kg/cm ²	$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$ per $cls \leq C50/60$; $2.12 \ln(1+f_{cm}/10)$ $cls > C50/60$
f_{ctk}	26.96	kg/cm ²	$f_{ctk}(5\%) = 0.7f_{ctm} = 0.7 \cdot (1.2f_{ctm})$
E_{cm}	340 771	kg/cm ²	
coeff. omog	0.939	-	

ARMATURA

f_{yk}	450	MPa	B450
----------	-----	-----	------

11.1.3 Limiti tensionali

VERIFICHE A VUOTO E AL SOLLEVAMENTO

	TRAZIONE [kg/cm ²]		COMPRESSIONE [kg/cm ²]	
CALCESTRUZZO TRAVE	37.95	$0.3f_{ck}^{2/3}$	273.07	$= 0.7 f_{ckj}$
TREFOLI $\sigma_{spi} \leq \min 0.9 f_{p(1)k} =$	14880	$= 0.9 f_{p(1)k}$	14880	$= 0.9 f_{p(1)k}$
$0.8 f_{ptk} =$		$= 0.8 f_{ptk}$		$= 0.8 f_{ptk}$
ARMATURE	3600	$= 0.8 f_{yk}$	3600	$= 0.8 f_{yk}$

VERIFICHE IN ESERCIZIO

	TRAZIONE [kg/cm ²]		Combo	COMPRESSIONE [kg/cm ²]		Combo
CALCESTRUZZO TRAVE	9.30	$= 0.4 f_{ctk}$	RARA	= 202.5	$= 0.45 f_{ck}$	QUASI PERM
				= 270	$= 0.6 f_{ck}$	RARA
TREFOLI	$\sigma_{sp} \leq$ = 13360	$= 0.8 f_{p(1)k}$	RARA	13360	$= 0.8 f_{p(1)k}$	RARA
ARMATURE	$\sigma_s \leq$ = 3600	$= 0.8 f_{yk}$	RARA	3600	$= 0.8 f_{yk}$	RARA
CALCESTRUZZO SOLETTA	26.96	f_{ctk}	QUASI PERM / RARA	= 157.5	$= 0.45 f_{ck}$	QUASI PERM
				210	$= 0.6 f_{ck}$	RARA

11.1.4 Sezioni di verifica

Le verifiche vengono effettuate ad una distanza L_e dalla testata della trave (presenza della maschera dei trefoli ridotta – precompressione 100%) ed in mezzzeria (maschera dei trefoli piena – precompressione 100%).

11.1.4.1 Trave di bordo-Sezione a 2.25m dalla testata

Legenda:

$n =$	coefficiente di omogeneizzazione acciaio-clt
$A =$	area omogeneizzata della sezione
$y_G =$	baricentro della sezione omogeneizzata da intradosso trave
$J_3 =$	momento d'inerzia rispetto all'asse orizzontale
$J_2 =$	momento d'inerzia rispetto all'asse verticale
$n_{soletta} =$	coefficiente di omogeneizzazione cls soletta-clt trasverso
$W_{inf} =$	momento di resistenza fibra trave inferiore
$W_{sup} =$	momento di resistenza fibra trave superiore
$W_{sup,soletta} =$	momento di resistenza fibra superiore della soletta

IV03 – Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	27 di 41

Tipo sez.		t_0	t	n	A	y_G	J_3	$n_{soletta}$	W_{inf}	W_{sup}	$W_{sup,soletta}$
-		gg	gg	-	m^2	m	m^4	-	m^3	m^3	m^3
1	Trave R_{ckj}	-	-	6.00	1.3196	0.8864	0.5088	-	0.5740	0.5019	-
2	Trave n_0	-	-	5.79	1.3174	0.8865	0.5077	-	0.5727	0.5010	-
3	Trave $n(t_{prec}, t_{getto sol})$	6	150	13.45	1.3986	0.8808	0.5452	-	0.6190	0.5349	-
4	Trave $n(t_{matur. cis}, t_{getto sol})$	28	150	11.15	1.3743	0.8824	0.5340	-	0.6051	0.5248	-
5	Trave $n(t_{matur. cis}, t_w)$	28	25550	14.56	1.4104	0.8800	0.5506	-	0.6257	0.5398	-
6	Trave $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	12.15	1.3848	0.8817	0.5388	-	0.6111	0.5291	-
7	Trave+sol n_0	-	-	5.79	2.1021	1.3101	1.1452	0.9392	0.8741	1.9415	1.3636
8	Trave+sol $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	11.94	2.2704	1.3260	1.2401	0.9392	0.9352	2.1603	1.5049

11.1.4.2 Trave di bordo-mezzeria

Tipo sez.		t_0	t	n	A	y_G	J_3	$n_{soletta}$	W_{inf}	W_{sup}	$W_{sup,soletta}$
-		gg	gg	-	m^2	m	m^4	-	m^3	m^3	m^3
1	Trave R_{ckj}	-	-	6.00	0.9957	0.8622	0.4271	-	0.4954	0.4116	-
2	Trave n_0	-	-	5.79	0.9922	0.8631	0.4256	-	0.4930	0.4104	-
3	Trave $n(t_{prec}, t_{getto sol})$	6	150	13.45	1.1161	0.8321	0.4816	-	0.5788	0.4510	-
4	Trave $n(t_{matur. cis}, t_{getto sol})$	28	150	11.15	1.0790	0.8407	0.4650	-	0.5531	0.4390	-
5	Trave $n(t_{matur. cis}, t_w)$	28	25550	14.56	1.1340	0.8282	0.4895	-	0.5911	0.4567	-
6	Trave $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	12.15	1.0950	0.8369	0.4722	-	0.5642	0.4442	-
7	Trave+sol n_0	-	-	5.79	1.7769	1.3746	1.0175	0.9392	0.7402	1.9366	1.3122
8	Trave+sol $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	11.94	1.9795	1.3669	1.1572	0.9392	0.8466	2.1706	1.4777

11.1.4.3 Trave interna- Sezione a 2.25m dalla testata

Tipo sez.		t_0	t	n	A	y_G	J_3	$n_{soletta}$	W_{inf}	W_{sup}	$W_{sup,soletta}$
-		gg	gg	-	m^2	m	m^4	-	m^3	m^3	m^3
1	Trave R_{ckj}	-	-	6.00	1.3196	0.8856	0.5104	-	0.5763	0.5031	-
2	Trave n_0	-	-	5.79	1.3174	0.8858	0.5093	-	0.5749	0.5021	-
3	Trave $n(t_{prec}, t_{getto sol})$	6	150	13.45	1.3986	0.8790	0.5492	-	0.6248	0.5379	-
4	Trave $n(t_{matur. cis}, t_{getto sol})$	28	150	11.15	1.3743	0.8810	0.5372	-	0.6098	0.5272	-
5	Trave $n(t_{matur. cis}, t_w)$	28	25550	14.56	1.4104	0.8781	0.5550	-	0.6320	0.5430	-
6	Trave $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	12.15	1.3848	0.8801	0.5424	-	0.6163	0.5318	-
7	Trave+sol n_0	-	-	5.79	2.1691	1.3330	1.1845	0.9392	0.8886	2.0890	1.4498
8	Trave+sol $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	11.94	2.3000	1.3365	1.2677	0.9392	0.9485	2.2495	1.5582

11.1.4.4 Trave interna- mezzeria

Tipo sez.		t_0	t	n	A	y_G	J_3	$n_{soletta}$	W_{inf}	W_{sup}	$W_{sup,soletta}$
-		gg	gg	-	m^2	m	m^4	-	m^3	m^3	m^3
1	Trave R_{ckj}	-	-	6.00	0.9957	0.8622	0.4271	-	0.4954	0.4116	-
2	Trave n_0	-	-	5.79	0.9922	0.8631	0.4256	-	0.4930	0.4104	-
3	Trave $n(t_{prec}, t_{getto sol})$	6	150	13.45	1.1161	0.8321	0.4816	-	0.5788	0.4510	-
4	Trave $n(t_{matur. cis}, t_{getto sol})$	28	150	11.15	1.0790	0.8407	0.4650	-	0.5531	0.4390	-
5	Trave $n(t_{matur. cis}, t_w)$	28	25550	14.56	1.1340	0.8282	0.4895	-	0.5911	0.4567	-
6	Trave $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	12.15	1.0950	0.8369	0.4722	-	0.5642	0.4442	-
7	Trave+sol n_0	-	-	5.79	1.8732	1.4080	1.0566	0.9392	0.7504	2.1478	1.4241
8	Trave+sol $n(t_{getto sol}, t_w)$	150	25550	11.94	2.0757	1.3974	1.1975	0.9392	0.8569	2.3826	1.5911

IV03 – Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	28 di 41

11.1.5 Cadute di tensione al getto della soletta e dal getto della soletta a tempo infinito

Le perdite di tensione dipendenti dal tempo sono dovute a:

- Viscosità del calcestruzzo;
- Ritiro del calcestruzzo;
- Rilassamento dell'acciaio.

Per il calcolo delle perdite si adotta il metodo semplificato riportato nella normativa UNI EN 1992-1-1 (§5.10.6 della edizione del 2006). La variazione di tensione nelle armature di precompressione dovute a viscosità, ritiro e rilassamento è data dalla seguente espressione:

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs}(t_1, t_0) \cdot E_p + 0.8\Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t_1, t_0) \cdot \sigma_{c,qp}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot z_{cp}^2\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \varphi(t_1, t_0))}$$

Per il calcolo delle cadute di tensione al getto di soletta si è ipotizzato:

- $t_0 = 6$ giorni (età del calcestruzzo al momento della precompressione)
- $t_s = 28$ giorni (età del calcestruzzo al termine della maturazione)
- $t_1 = 150$ giorni (età massima del calcestruzzo al getto della soletta)

Per il calcolo delle cadute di tensione al getto di soletta si è ipotizzato:

- $t_1 = 150$ giorni (età massima del calcestruzzo al getto della soletta)
- $t_\infty = 25550$ giorni (circa 70 anni)

Si è ipotizzato che le lastre prefabbricate di sostegno del getto abbiano già scontato il ritiro, per cui il perimetro esposto all'aria e l'area della sezione trasversale del calcestruzzo soggetto a ritiro sono stati calcolati trascurando le predalles.

Nelle tabelle seguenti sono riepilogati i calcoli effettuati per la sezione di mezzeria.

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	29 di 41

Calcolo deformazione totale da RITIRO $\epsilon_{ot}(t)$		
	x CADUTE DI TENSIONE	
	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_i$
R_{ck}	55	55
f_{ck}	45	45
f_{cm}	53	53
E_{cm}	36283	36283
$\epsilon_{ca}(\infty)$	0.009%	0.009%
ϵ_{ca0}	0.030%	0.030%
t_s	28	150
t	150	25550
A_c	904 800	1 902 933
u	10 089	12 984
$h_0=2A_c/u$	179.4	293.1
k_n	0.88	0.76
$\epsilon_{ca}(\infty)$	0.027%	0.023%
$\beta_{ca}(t, t_s)$	0.998	1.000
$\epsilon_{ca}(t)$	0.027%	0.023%
$\beta_{ca}(t)$	0.914	1.000
$\epsilon_{ca}(t)$	0.008%	0.009%
$\epsilon_{ca}(t-t_0)$		0.001%
$\epsilon_{ot}(t)$	0.035%	0.024%

Calcolo coeff. di VISCOSITA' $\varphi(t, t_0)$		
	x CADUTE DI TENSIONE	
	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_i$
R_{ck}	55	55
f_{ck}	45	45
f_{cm}	53	53
E_{cm}	36283	36283
α_1	0.748	0.748
α_2	0.920	0.920
α_3	0.813	0.813
$\beta(f_{cm})$	2.308	2.308
t_0	6	150
t	150	25550
A_c	904800	1902933
u	10089	12984
$h_0=2A_c/u$	179.4	293.1
φ_{RH}	1.366	1.311
β_{RH}	484	662
$\beta(t_0)$	0.65	0.35
φ_0	2.06	1.07
$\beta_c(t, t_0)$	0.643	0.992
$\varphi(t, t_0)$	1.32	1.06
n_0	5.79	5.79
$E_{cm}(t)$	15613	17588
$n(t)$	13.45	11.94

Calcolo cadute per rilassamento $\Delta\sigma_{pr}(t)$		
Hp. Classe di rilassamento 1 (rilassamento ordinario)		
NTC08 §11.3.3.3	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_i$
p_{1000}	8	8 %
σ_{pk}	1350	1350 Mpa
f_{pk}	1860	1860 Mpa
$\mu = \sigma_{pk}/f_{pk}$	0.73	0.73 -
t	3456	613056 h
$\Delta\sigma_{pr}(t)$	95.58	277.25 Mpa
$\Delta\sigma_{pr}(t-t_0)$	95.58	181.66 Mpa

Calcolo cadute totali		
E_p	210 000 Mpa	
A_p	7228 mm ²	area tot trefoli
$y_{G,1}^{*}$ tra trefoli	60.00 mm	baricentro della prima fila di trefoli
$y_{G,sezione}$	884.00	1412.40 mm
z_{cp}	824.00	1352.40 mm
I_c	3.876E+11	9.422E+11 mm ⁴
$\sigma_{c,cb}$	14.15	12.57 Mpa
$\Delta\sigma_{o,c+ps}$	206.69	228.68 Mpa
	0.00	

baricentro della sezione di calcestruzzo
distanza tra il baric. della sez. di cls e le armature
Momento inerzia della sezione di calcestruzzo

11.1.6 Effetto del ritiro differenziale trave-soletta

Calcolo deformazione totale da RITIRO $\epsilon_{sh}(t)$				Calcolo coeff. di VISCOSITA' $\varphi(t, t_0)$			
	x RITIRO DIFFERENZIALE			x RITIRO DIFFERENZIALE			
	soletta	trave		soletta	trave		
R_{ck}	45	55	Mpa	R_{ck}	45	55	Mpa
f_{ck}	35	45	Mpa	f_{ck}	35	45	Mpa
f_{cm}	43	53	Mpa	f_{cm}	43	53	Mpa
E_{cm}	34077	36283	Mpa	E_{cm}	34077	36283	Mpa
$\epsilon_{cs}(\infty)$	0.006%	0.009%	-	α_1	0.866	0.748	-
ϵ_{cs0}	0.034%	0.030%	-	α_2	0.960	0.920	-
t_s	1	150	gg	α_3	0.902	0.813	-
t	25550	25550	gg	$\beta(f_{cm})$	2.562	2.308	-
A_c	998 133	904 800	mmq	t_0	1	150	gg
u	3 994	8 989	mm	t	25550	25550	gg
$h_0=2A_c/u$	499.8	201.3	mm	A_c	998133	904800	mmq
k_n	0.70	0.85	-	u	3994	8989	mm
$\epsilon_{cs}(\infty)$	0.024%	0.026%	-	$h_0=2A_c/u$	499.8	201.3	mm
$\beta_{cs}(t, t_s)$	1.000	1.000	-	φ_{RH}	1.314	1.352	-
$\epsilon_{cs}(t)$	0.024%	0.026%	-	β_H	1008	518	-
$\beta_{cs}(t)$	1.000	1.000	-	$\beta(t_0)$	0.91	0.35	-
$\epsilon_{cs}(t)$	0.006%	0.009%	-	φ_0	3.06	1.11	-
$\epsilon_{cs}(t-t_0)$		0.001%	-	$\beta_c(t, t_0)$	0.988	0.994	-
$\epsilon_{se}(t)$	0.030%	0.026%	-	$\varphi(t, t_0)$	3.03	1.10	-
$\Delta\epsilon_{cs, soletta-trave}(\infty)$	0.00370%		-	n_0		5.79	-
$\sigma_{traz, soletta, ritiro diff}$	-0.313		Mpa	$E_{cm}(t)$	8466	17291	Mpa
$N_{ritiro differenz. a t_0}$	312.5		kN	$n(t)$		12.15	-
% ritiro a t_0	20%						

L'azione $\Delta\epsilon$ tra la soletta e la trave fa nascere sulla soletta una tensione di trazione, che a tempo infinito è pari a $\sigma_{rit} = E_{cs} \cdot \Delta\epsilon(t_{\infty}, t_0)$ ed uno sforzo normale di compressione N_{rit} sulla sezione omogeneizzata che, poiché è applicato al baricentro della soletta, genera al baricentro della trave un momento flettente $M_{rit} = N_{rit} \cdot e$.
Si è ipotizzato che al tempo t_0 il ritiro sia pari al 20% di quello complessivo.

11.1.7 Verifiche tensionali

11.1.7.1 Verifiche al rilascio dei trefoli

Tensioni limite nel calcestruzzo della trave:

compressione $0.7 f_{ckj} = 27.31 \text{ N/mm}^2$
 trazione $-0.3 f_{ck}^{2/3} = -3.79 \text{ N/mm}^2$

Tensioni limite nei trefoli:

compressione $\min(0.9 f_{p(1)k}; 0.8 f_{ptk}) = 1488 \text{ N/mm}^2$

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	31 di 41

trazione $\min(0.9 f_{p(1)k}; 0.8 f_{ptk}) = -1488 \text{ N/mm}^2$

Tensioni limite nelle armature lente:

compressione $0.8 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$

trazione $-0.8 f_{yk} = -360 \text{ N/mm}^2$

Si riportano in seguito i risultati delle verifiche al rilascio dei trefoli condotte sulle sezioni disposte a 14.2m e a 2.25m dalla testata della trave:

Sezione a 14.20m (mezzeria trave)

Trefoli	$\sigma_{a, \min}$:	-1271.22	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

Armatura lenta trave	$\sigma_{a, \min}$:	0.70	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \max}$:	112.27	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

Calcestruzzo trave	$\sigma_{\text{cls, max}}$	18.71	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	-0.93	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_c \text{ traz, adm} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_c \text{ compr, adm} =$	27.31	MPa	

Sezione a 2.25m dalla testata della trave

Trefoli	$\sigma_{a, \min}$:	-1334.94	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

Armatura lenta trave	$\sigma_{a, \min}$:	-2.47	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \max}$:	22.58	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

Calcestruzzo trave	$\sigma_{\text{cls, max}}$	3.76	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	-0.65	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_c \text{ traz, adm} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_c \text{ compr, adm} =$	27.31	MPa	

In entrambi i casi le verifiche risultano soddisfatte.

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA IV01	LOTTO 00	FASE-ENTE D 09	DOCUMENTO IV0308001A	REV. A	FOGLIO 32 di 41
------------------	-------------	-------------------	-------------------------	-----------	--------------------

11.1.7.2 Verifiche al sollevamento

Tensioni limite nel calcestruzzo della trave:

compressione $0.7 f_{ckj} = 27.31 \text{ N/mm}^2$
trazione $-0.3 f_{ck}^{2/3} = -3.79 \text{ N/mm}^2$

Tensioni limite nei trefoli:

compressione $\min(0.9 f_{p(1)k}; 0.8 f_{ptk}) = 1488 \text{ N/mm}^2$
trazione $\min(0.9 f_{p(1)k}; 0.8 f_{ptk}) = -1488 \text{ N/mm}^2$

Tensioni limite nelle armature lente:

compressione $0.8 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$
trazione $0.8 f_{yk} = -360 \text{ N/mm}^2$

La trave viene trasportata sollevandola in corrispondenza degli appoggi.

Per tener conto degli effetti dinamici connessi alle operazioni di sollevamento e trasporto, le azioni da peso proprio vengono amplificate con un fattore ± 0.15 .

Si riportano risultati delle verifiche al rilascio dei trefoli condotte sulle sezioni disposte a 14.2m e a 2.25m dalla testata della trave:

Sezione a 14.20m (mezzeria trave)

Trefoli	$\sigma_{a, \min}$:	-1272.75	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

Armatura lenta trave	$\sigma_{a, \min}$:	-3.77	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \max}$:	116.39	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

Calcestruzzo trave	$\sigma_{cls, \max}$	19.40	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{cls, \min}$	-1.75	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_c \text{ traz, adm} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_c \text{ compr, adm} =$	27.31	MPa	

IV03 – Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	33 di 41

Sezione a 2.25m dalla testata della trave

Trefoli	$\sigma_{a, \min}$:	-1335.27	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

Armatura lenta trave	$\sigma_{a, \min}$:	-3.35	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \max}$:	23.44	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

Calcestruzzo trave	$\sigma_{\text{cls, max}}$	3.91	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	-0.81	MPa	VERIFICATO
	$\sigma_{\text{c traz, adm}} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_{\text{c compr, adm}} =$	27.31	MPa	

In entrambi i casi le verifiche risultano soddisfatte.

11.1.7.3 Verifiche in esercizio

Le verifiche in esercizio vengono condotte relativamente alla combinazione rara e quasi permanente; le verifiche risultano soddisfatte come mostrato in seguito.

Tensioni limiti nel calcestruzzo della trave:

compressione	$0.45 f_{\text{ck}} = 20.25 \text{ N/mm}^2$	combinazione quasi permanente
	$0.60 f_{\text{ck}} = 27.00 \text{ N/mm}^2$	combinazione rara
trazione	$0.35 f_{\text{ctk}} = 0.93 \text{ N/mm}^2$	combinazione rara

Tensioni limiti nel calcestruzzo della soletta:

compressione	$0.45 f_{\text{ck}} = 15.75 \text{ N/mm}^2$	combinazione quasi permanente
	$0.60 f_{\text{ck}} = 21.00 \text{ N/mm}^2$	combinazione rara
trazione	$f_{\text{ctk}} = 2.70 \text{ N/mm}^2$	

Tensioni limiti nei trefoli:

compressione	$0.8 f_{\text{p}(1)\text{k}} = 0.8 \cdot 1670 = 1336 \text{ N/mm}^2$
trazione	$-0.8 f_{\text{p}(1)\text{k}} = -0.8 \cdot 1670 = -1336 \text{ N/mm}^2$

Tensioni limite nelle armature lente:

compressione	$0.8 f_{\text{yk}} = 360 \text{ N/mm}^2$
--------------	--

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	34 di 41

trazione $0.8 f_{yk} = -360 \text{ N/mm}^2$

Di seguito, si riportano tabellate le tensioni massime in N/mm^2 ricavate dalle verifiche sulle travi, tenendo conto delle varie fasi di costruzione.

Sezione a 14.20m (mezzeria trave)

Riepilogo sollecitazioni:

Carico	prec.iniz.	p.p. sv	p.p. sv	p.p. soletta	p.p. soletta	perdite 1°fase	perdite 2°fase	perm. port.	perm. port.	+vento p. scarico	+vento p. carico	accidentali	frenatura	ritiro differ. trav-sol	ritiro differ. trav-sol
Per quale verifica?	$t_0 - t_\infty$	t_0	t_∞	t_0	t_∞	$t_0 - t_\infty$	t_∞	t_0	t_∞	$t_0 - t_\infty$	$t_0 - t_\infty$	$t_0 - t_\infty$	$t_0 - t_\infty$	t_0	t_∞
Tipo sez.	2	4	5	2	6	3	8	7	8	7	7	7	7	7	8
Sez. resist.	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol
N (kN)	9757.80	0.00	0.00	0.00	0.00	-1493.53	-1652.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.00	62.50	312.51
d (m)	-0.69	-	-	-	-	-0.65	-1.19	-	-	-	-	-	-	0.65	0.66
M (kNm)	-6688.55	2263.60	2263.60	3020.30	3020.30	977.38	1964.88	1341.70	1341.70	9.70	77.06	5034.00	1.62	40.65	205.67
σ soletta (Mpa)														-0.06	-0.31
σ trefoli (Mpa)	-1350.00					206.63	228.59								

Riepilogo verifiche:

t_0	Combo			
Trefoli	RARA	min	-1169.37	verif
		max	-1118.82	verif
Armatura lenta trave	RARA	min	-28.23	verif
		max	81.13	verif
Armatura soletta	RARA	min	-44.35	verif
		max	21.39	verif
Calcestruzzo trave	RARA	min	3.03	verif
		max	9.04	verif
	QUASI PERM.	min	6.94	verif
		max	9.02	verif
Calcestruzzo soletta	RARA	min	0.51	verif
		max	3.75	verif
	QUASI PERM.	min	0.51	verif
		max	0.78	verif

t_∞	Combo			
Trefoli	RARA	min	-1019.51	verif
		max	-933.59	verif
Armatura lenta trave	RARA	min	-111.15	verif
		max	130.75	verif
Armatura soletta	RARA	min	-93.54	verif
		max	29.16	verif
Calcestruzzo trave	RARA	min	0.99	verif
		max	8.50	verif
	QUASI PERM.	min	6.41	verif
		max	6.98	verif
Calcestruzzo soletta	RARA	min	0.42	verif
		max	4.06	verif
	QUASI PERM.	min	0.42	verif
		max	1.09	verif

IV03 –Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	35 di 41

Sezione a 2.25m dalla testata della trave

Riepilogo sollecitazioni:

Carico	prec.iniz.	p.p. trav.	p.p. trav.	p.p. soletta	p.p. soletta	perdite 1°fase	perdite 2°fase	perm. port.	perm. port.	+vento p. scarico	+vento p. carico	accidentali	frenatura	ritiro differ. trav-sol	ritiro differ. trav-sol
Per quale verifica?	t ₀ - t _∞	t ₀	t _∞	t ₀	t _∞	t ₀ - t _∞	t _∞	t ₀	t _∞	t ₀ - t _∞	t ₀	t _∞			
Tipo sez.	2	4	5	2	6	3	8	7	8	7	7	7	7	7	8
Sez. resist.	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol
N (kN)	2252	0	0	0	0	-276	-342	0	0	0	0	0	7	63	313
d (m)	-0.7665	-	-	-	-	-0.7608	-1.2060	-	-	-	-	-	-	0.7149	0.6990
M (kNm)	-1726	545	545	709	709	210	412	319	319	2	19	1643	1	45	218
σ soletta (Mpa)														-0.06	-0.31
σ trefoli (Mpa)	-1350					166	205								

Riepilogo verifiche:

t ₀	Combo		
Trefoli	RARA	min	-1193.77 verif
		max	-1180.06 verif
Armatura lenta trave	RARA	min	-10.28 verif
		max	17.01 verif
Armatura soletta	RARA	min	-13.55 verif
		max	7.81 verif
Calcestruzzo trave	RARA	min	-0.22 verif
		max	1.98 verif
	QUASI PERM.	min	1.13 verif
		max	1.66 verif
Calcestruzzo soletta	RARA	min	0.14 verif
		max	1.35 verif
	QUASI PERM.	min	0.14 verif
		max	0.22 verif

t _∞	Combo		
Trefoli	RARA	min	-1007.26 verif
		max	-984.79 verif
Armatura lenta trave	RARA	min	-29.88 verif
		max	30.20 verif
Armatura soletta	RARA	min	-26.97 verif
		max	9.70 verif
Calcestruzzo trave	RARA	min	-0.75 verif
		max	2.08 verif
	QUASI PERM.	min	1.13 verif
		max	1.24 verif
Calcestruzzo soletta	RARA	min	0.09 verif
		max	1.40 verif
	QUASI PERM.	min	0.09 verif
		max	0.27 verif

11.2 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

11.2.1 Verifica a pressoflessione

Le ipotesi assunte, nel rispetto delle prescrizioni regolamentari, sono:

- conservazione delle sezioni piane, con assenza di scorrimento tra acciaio e calcestruzzo; andamento delle deformazioni lineare;
- deformazione limite del conglomerato: 3.5 ‰;

deformazione limite dell'acciaio: 10 ‰;

- legame costitutivo del calcestruzzo: diagramma parabola-rettangolo con tensione convenzionale di rottura del conglomerato pari a: $0.85 f_{cd}$ (variabile parabolicamente per deformazioni inferiori al 2.0 ‰ e costante per valori della deformazione compresi tra il 2.0‰ e il 3.5‰);
- legame costitutivo dell'acciaio: lineare fino a f_{yd} con pendenza E_s e costante per valori della deformazione compresi tra il f_{yd}/E_s e il 10‰.

Si riportano di seguito i valori relativi alla trave di bordo – sezione di mezzzeria.

Valutazione delle sollecitazioni massime agli stati limite ultimi:

	N [kN]	M[kNm]	<i>coefficienti</i>	N [kN]	M[kNm]
<i>pp trave</i>	0.00	2263.60	1.35	0.00	3055.86
<i>p soletta</i>	0.00	3020.30	1.35	0.00	4077.41
<i>perm portati</i>	0.00	1341.70	1.50	0.00	2012.55
<i>perdite</i>	-1652.28	1964.88	1.00	-1652.28	1964.88
<i>Accidentali</i>	0.00	5034.00	1.35	0.00	6795.90
<i>Vento</i>	0.00	77.06	0.90	0.00	69.35
<i>Precompressione</i>	9757.80	-6688.55	1.00	9757.80	-6688.55
<i>ritiro</i>	205.67	205.67	1.20	246.80	246.80
	totale			8352.32	11534.20

Nel seguito si riporta la sezione di verifica della trave in mezzzeria con le relative armature lente e i cavi di precompressione:

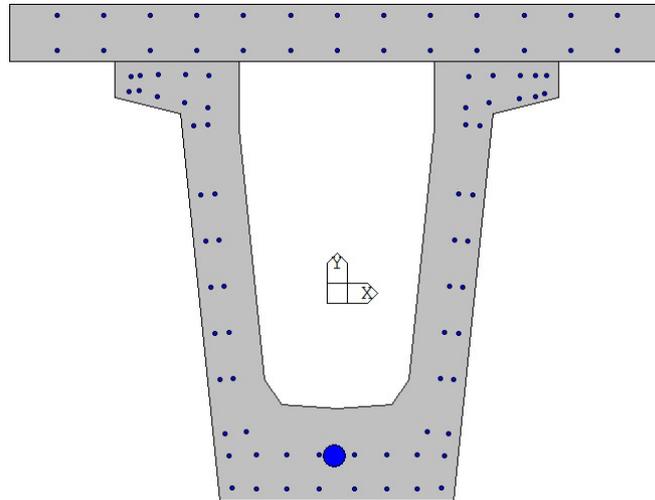


Figura 17: Sezione di verifica in mezzera

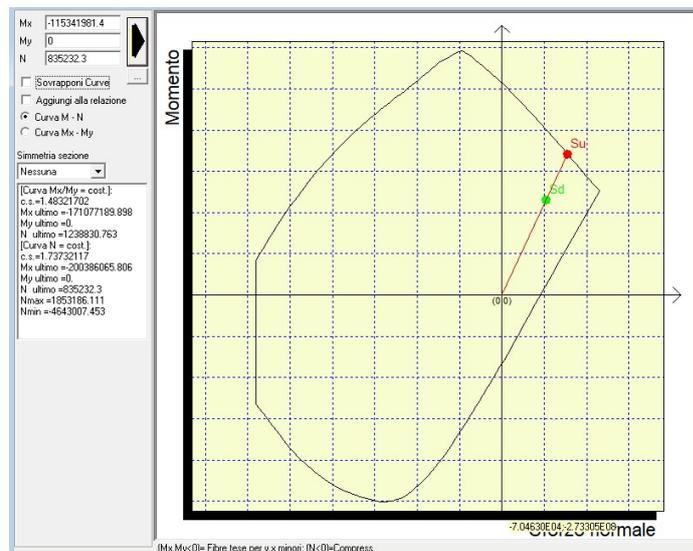


Figura 18: Dominio di resistenza

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 1.48, pertanto la verifica è soddisfatta.

11.2.2 Verifica a taglio

Si riportano le verifiche a taglio nella sezione di appoggio (sezione piena) e nella sezione in cui inizia la trave corrente a cassoncino (1.80m da asse appoggi).

Si riporta nel seguito la verifica allo stato limite ultimo per taglio in riferimento a quanto riportato al §4.1.2.3.5.1 delle NTC18 per elementi in calcestruzzo armato precompresso (Formula [4.1.24]):

$$V_{Rd} = 0,7 b_w d (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} f_{ctd})^{1/2}.$$

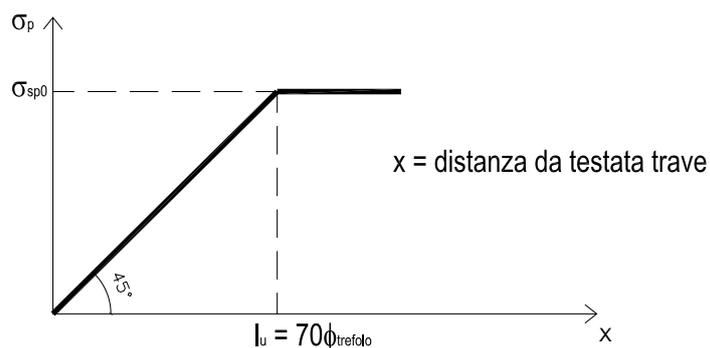
	T [kN]	coefficienti	T [kN]
pp trave	-277.90	1.35	-375.17
p soletta	-381.40	1.35	-514.89
perm portati	-171.50	1.50	-257.25
Accidentali	-873.00	1.35	-1178.55
Vento	12.00	1.00	12.00
totale			-2313.86

	f_{ck}	b_w	h	c	$\phi_{long}/2$	d	f_{ctd}	N	σ	V_{Rd}	V_{Ed}	C.S.
Combo	[Mpa]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Mpa]	[N]	[Mpa]	[N]	[N]	[-]
SLU	45.00	480	1900	50	7	1843	3.80	0	0.000	2350323	-2313855	1.02

Il coefficiente di sicurezza è superiore all'unità pertanto la verifica risulta soddisfatta.

11.3 DETERMINAZIONE DELL'ARMATURA LONGITUDINALE ALL'APPOGGIO

Si ipotizza un andamento lineare dello sforzo di precompressione, da un valore pari a zero in testata, ad un valore pari a quello di progetto a distanza dalla testata pari a 70 volte il diametro del trefolo più grande (l_u).



Azione sollecitante:

- R = reazione verticale massima in appoggio della singolo cassoncino;
- N = aliquota di sforzo di competenza della singola anima.

Azione resistente:

- σ_p = tensione finale a cadute avvenute nell'armatura di precompressione;

IV03 – Ponte stradale sul fiume Rio Casazza 1
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. 30m

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09	IV0308001A	A	39 di 41

- n = numero trefoli efficaci, disposti al lembo inferiore, per anima;
 A_{tf} = area di ciascun trefolo;
L = distanza asse appoggio dalla testata della trave;
 l_u = lunghezza di trasferimento.

Si riduce il valore efficace della precompressione del 30% per tener conto della riduzione delle τ di aderenza per effetto della fatica:

$$N_p = 0.7 \times A_{tf} \times n \times \sigma_p \times L / l_u$$

Lo sforzo residuo da assorbire con opportuna armatura lenta è pari a:

$$\Delta N = N - N_p$$

L'area di armatura lenta longitudinale da inserire è pari a:

$$A'_s = \Delta N / \sigma_{adm}$$

R =	3429.54	kN	reazione verticale massima in appoggio del singolo cassoncino
N =	3429.54	kN	aliquota dello sforzo di competenza della singola anima
σ_{sp0} =	1410	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo
rilass. iniz.	0	%	rilassamento iniziale
σ_{spi} =	1410	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo al netto del rilassamento iniziale
Cadute	99	MPa	
σ_p =	554.44	MPa	tensione nell'armatura di precompressione a cadute avvenute
n =	12	-	n° trefoli disposti al lembo inferiore
A_{tf} =	1.39	cm ²	area di ciascun trefolo
L =	0.45	m	distanza dell'asse appoggio dalla testata della trave
l_u =	1.064	m	lunghezza di trasferimento
N_p =	274	kN	sforzo assorbito dall'armatura di precompressione
ΔN_p =	3156	kN	sforzo residuo da assorbire con apposita armatura lenta
$\sigma_{s,ADM}$ =	377	MPa	tensione ammissibile dell'armatura da inserire
A'_s =	83.71	cm ²	area dell'armatura da inserire per assorbire la forza ΔN_p

Si dispongono complessivamente 35 ϕ 14 ed 8 ϕ 22.