

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. OPERE CIVILI

## PROGETTO DEFINITIVO

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

### OPERE PRINCIPALI - PONTI e CAVALCAFERROVIA

Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1 dal Km 83+400 al 83+530  
Relazione di calcolo trave 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 6 0 8	0 0 1	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	K. Petrucci	Feb.2022	D. Guerci	Feb.2022	D. Fadda	Feb.2022	Vittorizzi 2022

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione del Traffico  
Dott. Ing. Alberto Vittorizzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova  
n° 420783

File: IV0I00D09CLIV0608001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	2
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	4
2.1	NORMATIVA E ISTRUZIONI.....	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	5
3.1	CALCESTRUZZO.....	5
3.1.1	Classe C45/55 (Travi C.A.P e Traversi).....	5
3.1.2	Classe C35/45 (Soletta).....	5
3.2	ACCIAIO .....	5
3.2.1	Acciaio per armature ordinarie.....	5
3.2.2	Acciaio da precompressione.....	6
4	FASI COSTRUTTIVE .....	7
5	CARATTERISTICHE DELLE TRAVI.....	8
5.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI SENZA SOLETTA COLLABORANTE.....	8
6	CARATTERISTICHE DEI TRAVERSI.....	13
7	MODELLO DI CALCOLO.....	15
8	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....	15
9	COMBINAZIONI DI CARICO .....	15
10	SOLLECITAZIONI.....	20
11	VERIFICHE .....	21
11.1	TRAVI.....	21

11.1.1	Armatura .....	21
11.1.2	Caratteristiche dei materiali .....	23
11.1.3	Limiti tensionali.....	24
11.1.4	Sezioni di verifica .....	25
11.1.5	Cadute di tensione al getto della soletta e dal getto della soletta a tempo infinito .....	26
11.1.6	Effetto del ritiro differenziale trave-soletta .....	29
11.1.7	Verifiche tensionali.....	29
11.2	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO .....	34
11.2.1	Verifica a pressoflessione.....	35
11.2.2	Verifica a taglio.....	36
11.3	DETERMINAZIONE DELL'ARMATURA LONGITUDINALE ALL'APPOGGIO .....	37

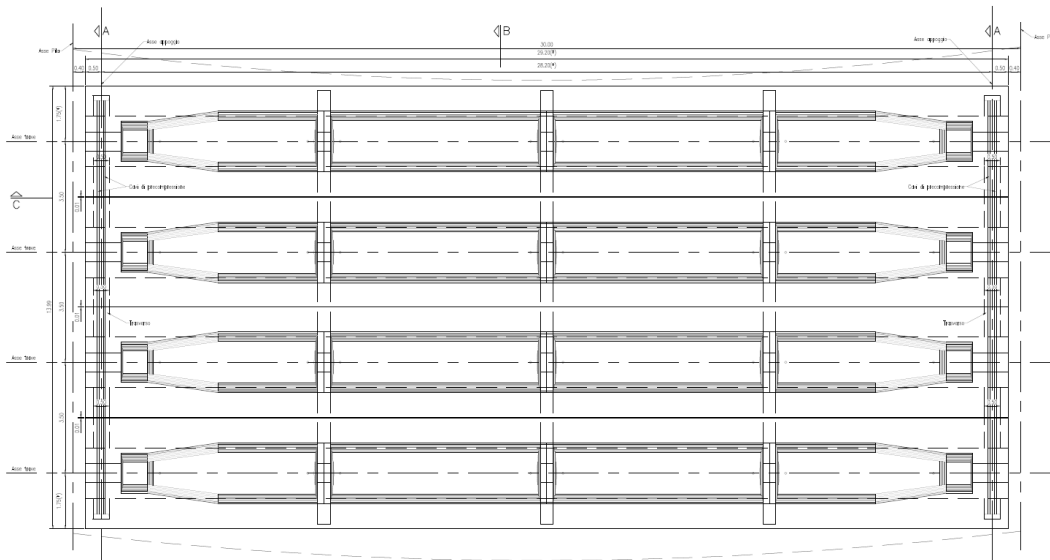
## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche di resistenza dell'impalcato del Cavalcaferrovia IV06 (IV06 - cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1 dal Km 83+400 al 83+530).

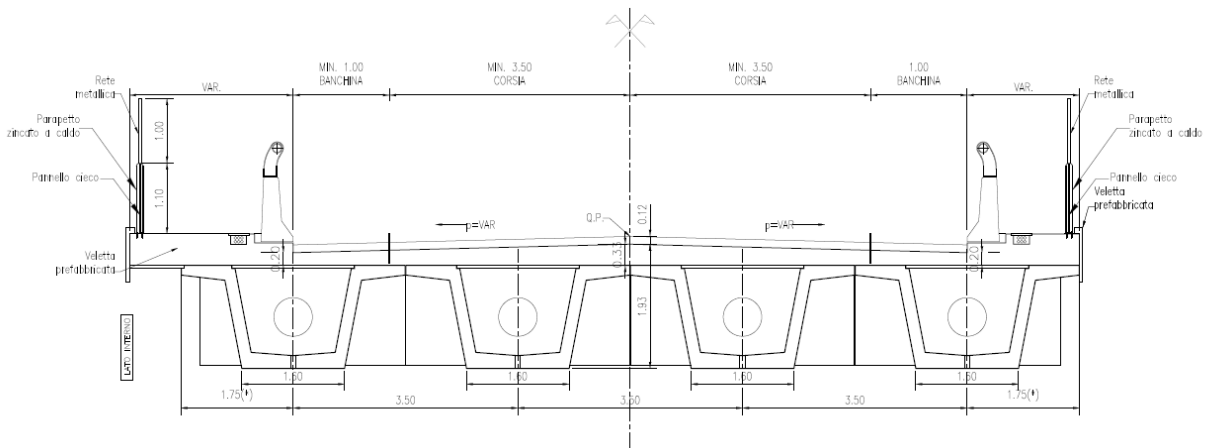
Il viadotto è costituito da n.9 impalcati in c.a.p (ciascuno dei quali è composto da n.4 travi longitudinali, da n.3 trasversi di campata e da n.2 trasversi di testata). Il tutto è sostenuto da n.2 spalle e n.8 pile.

Ciascuna campata del viadotto è in semplice appoggio.

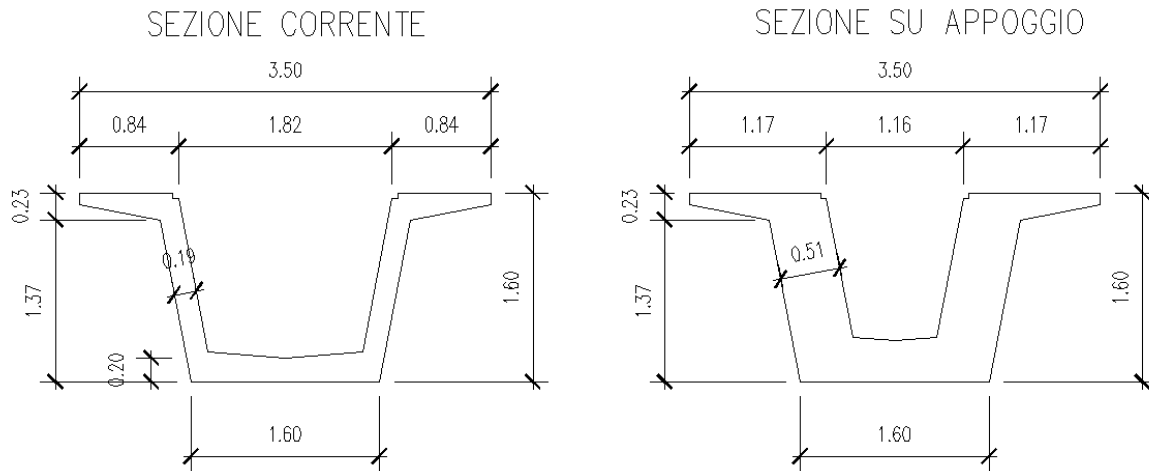
La luce della campata in asse pila è pari a 30.00m, mentre la luce dell'impalcato misurata tra gli appoggi è pari a 28.20m.



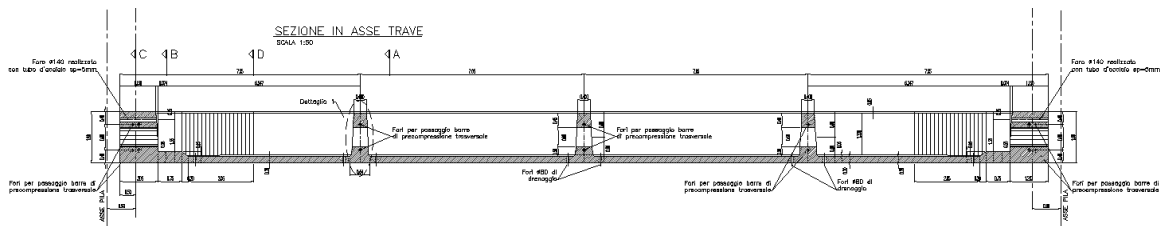
*Figura 1: Pianta travi impalcato*



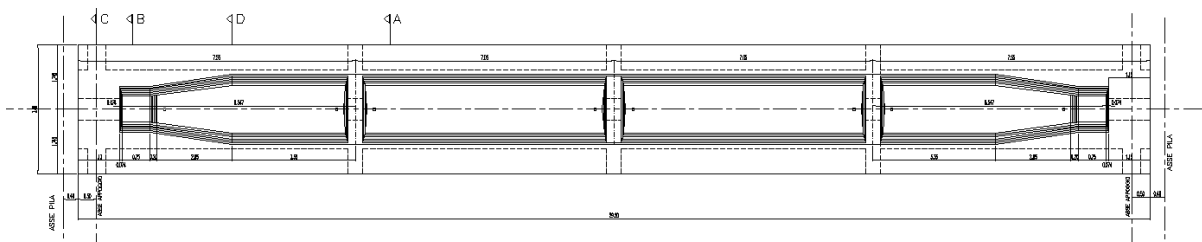
*Figura 2: Sezione trasversale impalcato*



*Figura 3: Sezione corrente della trave*



*Figura 4: Sezione longitudinale della trave*



*Figura 5: Vista dall'alto della trave interna*

## 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

- 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  $E_s = 195.000 \text{ N/mm}^2$ ;
- Tensione utile al rilascio dei tefoli  $\sigma_{spi} = 1350 \text{ N/mm}^2$ .

#### Acciaio armonico stabilizzato in barre da $\phi 36\text{mm}$

- Area nominale  $A = 1.018 \text{ cm}^2$ ;
- Tensione caratteristica di rottura  $f_{ptk} \geq 1050 \text{ N/mm}^2$ ;
- Tensione caratteristica allo 1% di deformazione  $f_{p(1)k} \geq 960 \text{ N/mm}^2$ ;
- Modulo elastico  $E_s = 195.000 \text{ N/mm}^2$ ;
- Tensione utile al rilascio dei tefoli  $\sigma_{spi} = 650 \text{ N/mm}^2$ .



## 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

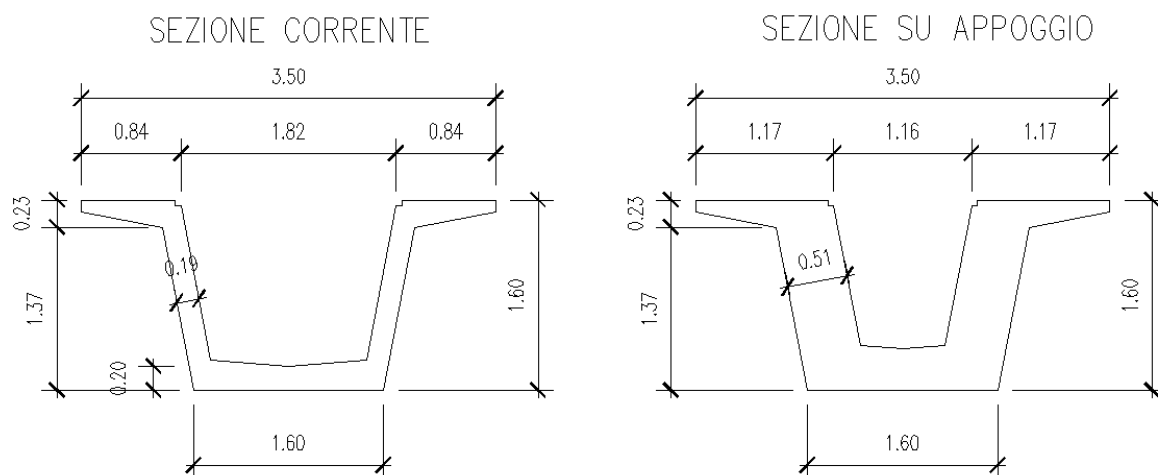


Figura 6: Sezioni cassoncini

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI		
	Sezione su appoggio	Sezione corrente
H (altezza trave)	1.6000 m	1.6000 m
$b_w$ (spessore anima)	0.5100 m	0.1900 m
$A_{trav}$ (area)	2.1002 m <sup>2</sup>	1.1011 m <sup>2</sup>
$Y_g$ (Baricentro dal fondo cassoncino)	0.8043 m	0.7526 m
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	1.2700 m <sup>4</sup>	0.8941 m <sup>4</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.5495 m <sup>4</sup>	0.3641 m <sup>4</sup>
$A_{t2}$ (area di taglio in direzione 2)	1.6620 m <sup>2</sup>	0.6192 m <sup>2</sup>
$A_{t3}$ (area di taglio in direzione 3)	0.6321 m <sup>2</sup>	0.3795 m <sup>2</sup>

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:

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1**  
**dal Km 83+400 al 83+530**  
**Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	10 di 41

$b_w$	0.19	m
$L_e = L_{calcolo}$	28.3	m
S	1.540	m
I/2	1.010	m
D/2	0.740	m
$b_{est} = b_w/2 + L_e/8$	3.633	m
$b_{int} = b_w/2 + L_e/8$	3.633	m
$(S+I/2)/2 - I/2$	0.265	m
<b>Soletta al di sopra dell'anima esterna di un cassoncino di bordo:</b>		
$b_{est} < (S+I/2)/2 - I/2$	0.265	m
$b_{int} < I/2$	1.010	m
$b_{an\_est} = b_{est} + b_{int}$	1.275	m
<b>Soletta al di sopra dell'anima interna di un cassoncino:</b>		
$b_{est} < D/2$	0.740	m
$b_{int} < I/2$	1.010	m
$b_{an\_int} = b_{est} + b_{int}$	1.750	m
<b>Soletta collab. cassoni di bordo</b>		
	<b>3.025</b>	<b>m</b>
<b>Soletta collab. cassoni interni</b>		
	<b>3.500</b>	<b>m</b>
<b>Soletta coll. OMOGEN. cassonc. di bordo</b>		
	<b>2.876</b>	<b>m</b>
<b>Soletta coll. OMOGEN. cassonc. Interni</b>		
	<b>3.328</b>	<b>m</b>

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

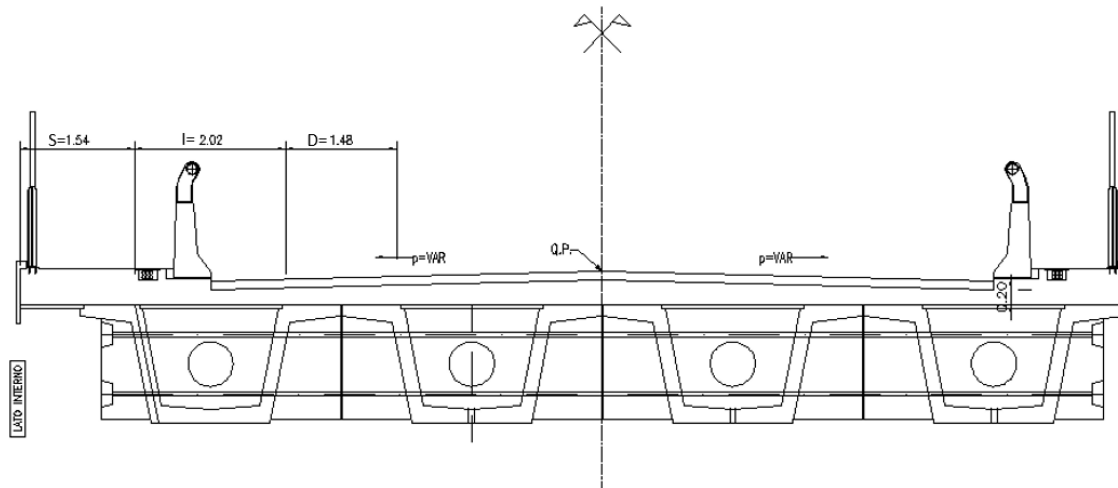


Figura 7: Sezione trasversale impalcato

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

	Trave	Traversi	Soletta	<b>n trave</b>	<b>n traversi</b>
$R_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	550	550	450	-	-
E (kg/cm <sup>2</sup> )	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)	3.3279 m	3.3279 m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.200 m	0.200 m
$A_0$ (area)	2.9322 m <sup>2</sup>	1.9907 m <sup>2</sup>
$Y_{g_0}$ (Baricentro dal fondo cassoncino)	1.0655 m	1.1832 m
$A_{12}$ (area di taglio in direzione 2)	1.8698 m <sup>2</sup>	0.6966 m <sup>2</sup>
$A_{13}$ (area di taglio in direzione 3)	1.2256 m <sup>2</sup>	0.9856 m <sup>2</sup>
$K_t$ (Momento d'inerzia torsionale)	1.0557 m <sup>4</sup>	1.0133 m <sup>4</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	1.0590 m <sup>4</sup>	0.8265 m <sup>4</sup>
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	2.1771 m <sup>4</sup>	1.8307 m <sup>4</sup>

Tabella 2: Caratteristiche geometriche trave interna

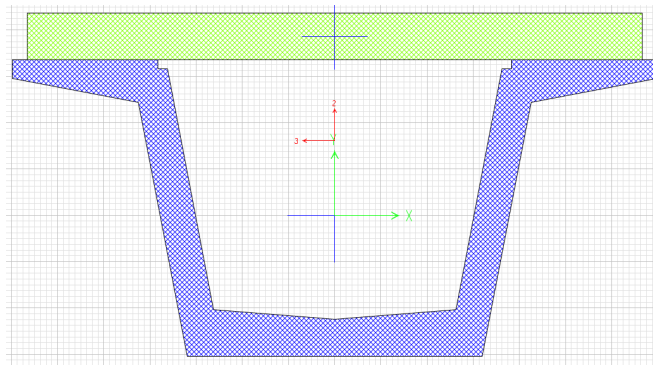


Figura 8: Trave corrente interna

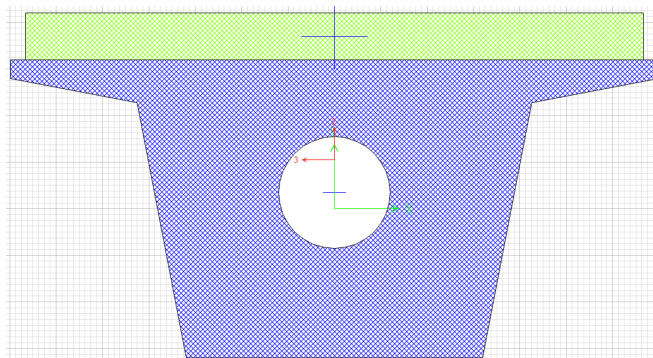


Figura 96: Trave appoggio interna

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE CASSONCINI +SOLETTA (Omogeneizzata)		
TRAVE DI BORDO	Sezione su appoggio (TR-BORDO-APP)	Sezione corrente (TR-BORDO-CAMP)
B (Larghezza collaborante omogeneizz)	2.8763 m	2.8763 m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.200 m	0.200 m
$A_0$ (area)	2.8121 m <sup>2</sup>	1.8706 m <sup>2</sup>
$Y_{g_0}$ (Baricentro dal fondo cassoncino)	1.0374 m	1.1484 m
$A_{t2}$ (area di taglio in direzione 2)	1.8698 m <sup>2</sup>	0.6966 m <sup>2</sup>
$A_{t3}$ (area di taglio in direzione 3)	1.1353 m <sup>2</sup>	0.8953 m <sup>2</sup>
$K_t$ (Momento d'inerzia torsionale)	1.0557 m <sup>4</sup>	1.0133 m <sup>4</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	1.0040 m <sup>4</sup>	0.7884 m <sup>4</sup>
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	2.1771 m <sup>4</sup>	1.8307 m <sup>4</sup>

Tabella 3: Caratteristiche geometriche trave di bordo

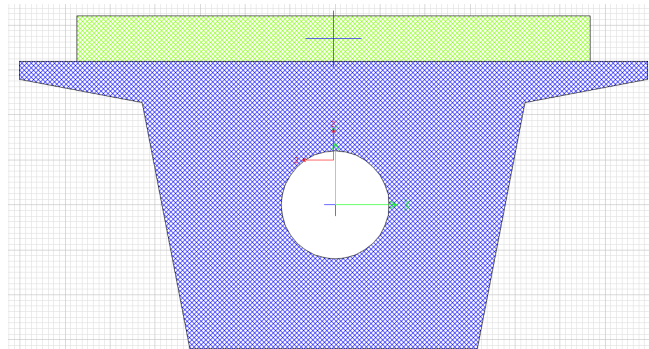


Figura 70: Trave appoggio bordo

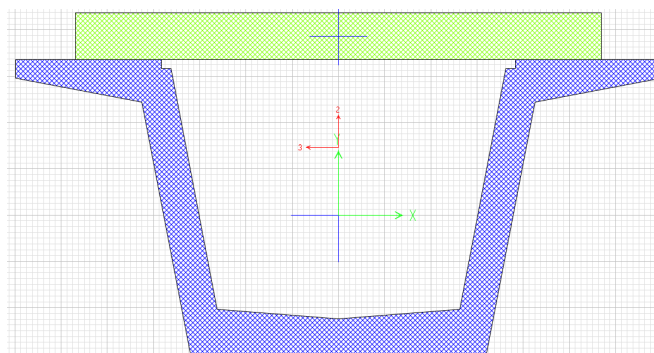


Figura 81: Trave corrente bordo

## 6 CARATTERISTICHE DEI TRAVERSI

### *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:

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

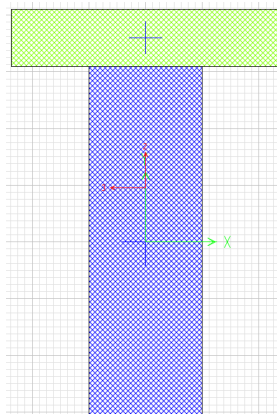
Nella tabella seguente sono riepilogate le grandezze definite.

#### TRAVERSO DI TESTATA

##### Sezione PIENA

$i$	28.20	m
$L_{nervature}$	3.5	m
$b_{est,1}$	0.6875	m
$b_{est,1} < d_{esterno\_max}$	0.55	m
$b_{int,1}$	0.6875	m
$b_{est,2}$	0	m
$b_{int,2}$	0	m
$d_{est}$	0.600	m
$d_{est\_max}$	0.300	m
$s$	0.2	m
$b_{w,transverso}$	0.500	m

<b>Soletta collab. traverso di testata</b>	<b>1.238</b>	<b>m</b>
<b>Soletta collab. omogeneizz.</b>	<b>1.177</b>	<b>m</b>



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO di TESTATA		
SEZIONE PIENA		
TRASV-T-PIENA		
$Y_g$ (Baricentro dal fondo traverso)	0.7748	m
$A_{trav}$ (area)	0.7748	m <sup>2</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.1550	m <sup>4</sup>
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.0161	m <sup>4</sup>
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO+SOLETTA		
B (Larghezza collaborante omogeneizz)	1.1767	m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.200	m
$A_0$ (area)	1.0692	m <sup>2</sup>
$Y_{g_0}$ (Baricentro dal fondo traverso)	1.0226	m
$A_{t2}$ (area di taglio in direzione 2)	0.5250	m <sup>2</sup>
$A_{t3}$ (area di taglio in direzione 3)	0.1961	m <sup>2</sup>
$K_t$ (Momento d'inerzia torsionale)	0.0677	m <sup>4</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.3294	m <sup>4</sup>
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.0501	m <sup>4</sup>

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

### Traverso di campata (sezione piena)

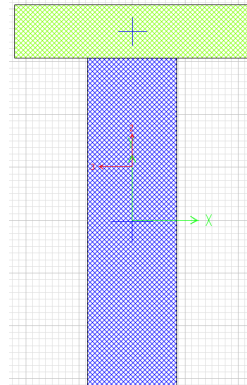
Per i traversi di campata valgono gli stessi criteri esposti in precedenza:

#### TRAVERSO DI CAMPATA

##### Sezione PIENA

$i_{SX}$	7.05	m
$i_{DX}$	7.05	m
$L_{nervature}$	3.5	m
$b_{sx,1}$	0.5875	m
$b_{dx,1}$	0.5875	m
$b_{sx,2}$	0.0000	m
$b_{dx,2}$	0.0000	m
$s$	0.2	m
$b_{w,transverso}$	0.300	m

<b>Soletta collab. traverso di campata</b>	<b>1.175</b>	<b>m</b>
<b>Soletta collab. omogeneizz.</b>	<b>1.117</b>	<b>m</b>



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO di CAMPATA		
SEZIONE PIENA		
TRASV-C-PIENA		
$Y_g$ (Baricentro dal fondo traverso)	0.7748	m
$A_{trasv}$ (area)	0.4649	m <sup>2</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.0930	m <sup>4</sup>
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.0035	m <sup>4</sup>
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVERSO+SOLETTA		
B (Larghezza collaborante omogeneizz)	1.1172	m
H (Altezza di soletta collaborante)	0.200	m
$A_o$ (area)	0.7443	m <sup>2</sup>
$Y_{g_o}$ (Baricentro dal fondo traverso)	1.1127	m
$A_{t,2}$ (area di taglio in direzione 2)	0.5250	m <sup>2</sup>
$A_{t,3}$ (area di taglio in direzione 3)	0.1862	m <sup>2</sup>
$K_t$ (Momento d'inerzia torsionale)	0.0169	m <sup>4</sup>
$J_3$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 3)	0.2359	m <sup>4</sup>
$J_2$ (Momento d'inerzia attorno all'asse 2)	0.0325	m <sup>4</sup>

Tabella 5: Caratteristiche geometriche traverso di campata (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 IV0I00D9CLIV060A001A "Relazione di Calcolo Impalcato appoggi e giunti".

## 8 ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Per l'analisi dei carichi si rimanda al §6 dell'elaborato IV0I00D9CLIV060A001A

## 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.

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

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

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

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (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

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1  
 dal Km 83+400 al 83+530  
 Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	17 di 41

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

- 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
Wy_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
Wy_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
Wy_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wy_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	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	0.9	-0.9	0	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
Wy_scr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wy_car	0	0.9	0	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	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

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1  
dal Km 83+400 al 83+530  
Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IV01 00 D 09 CL IV0608001A A 18 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	1.35	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

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1  
dal Km 83+400 al 83+530  
Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	19 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 interna e per la trave di bordo.

	TRAVE INTERNA				
	MEZZERIA		APPOGGIO		a Le da Testa Trave
	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]
<b>G1</b>	2849.44	0.04	-9.33	37.34	649.61
<b>G1_sol</b>	2954.61	0.19	3.23	-405.41	640.03
<b>G2</b>	1277.40	0.21	6.62	-166.39	270.10
<b>Accidentali traffico</b>	4131.74	390.57	-188.85	-891.33	1290.79
<b>Vento ponte scarico</b>	-5.98	0.00	-0.08	0.65	-1.16
<b>Vento ponte carico</b>	-11.19	-0.01	-0.16	1.21	-2.16

Tabella 6: Sollecitazioni elementari trave interna

	TRAVE BORDO				
	MEZZERIA		APPOGGIO		a Le da Testa Trave
	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]	V [kN]	M [kNm]
<b>G1</b>	2721.57	-0.04	-10.50	-436.58	622.45
<b>G1_sol</b>	2884.07	-0.21	-11.68	-422.94	645.68
<b>G2</b>	1323.99	-0.31	-13.39	-207.15	305.28
<b>Accidentali traffico</b>	3803.03	273.00	-115.66	-651.34	999.46
<b>Vento ponte scarico</b>	-17.76	0.05	1.29	4.66	-9.96
<b>Vento ponte carico</b>	-33.23	-0.21	2.42	8.73	-5.32

Tabella 7: 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: **58 trefoli 0.6"**, aventi area nominale di 1.39 cm<sup>2</sup>

baricentro armatura di precompressione da intradosso trave: 22.86cm;

Ad L=4.20m dalla testa della trave: **26 trefoli 0.6"**, aventi area nominale di 1.39 cm<sup>2</sup>

baricentro armatura di precompressione da intradosso trave:  
40.54cm;

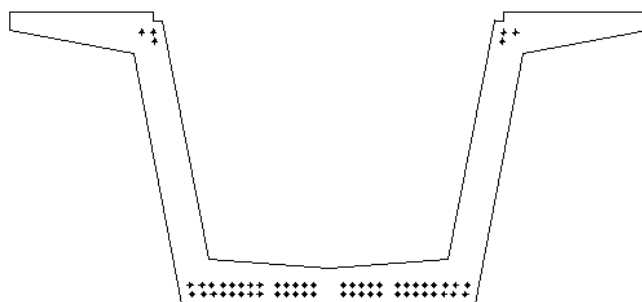


Figura 92: Disposizione armatura di precompressione nella sezione di campata

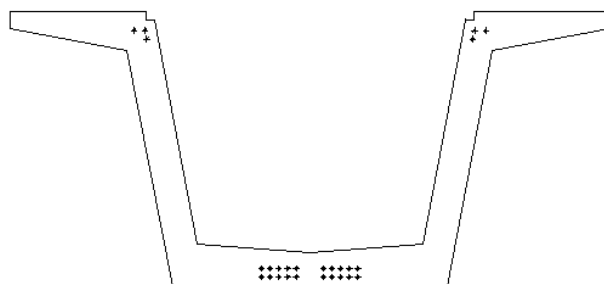
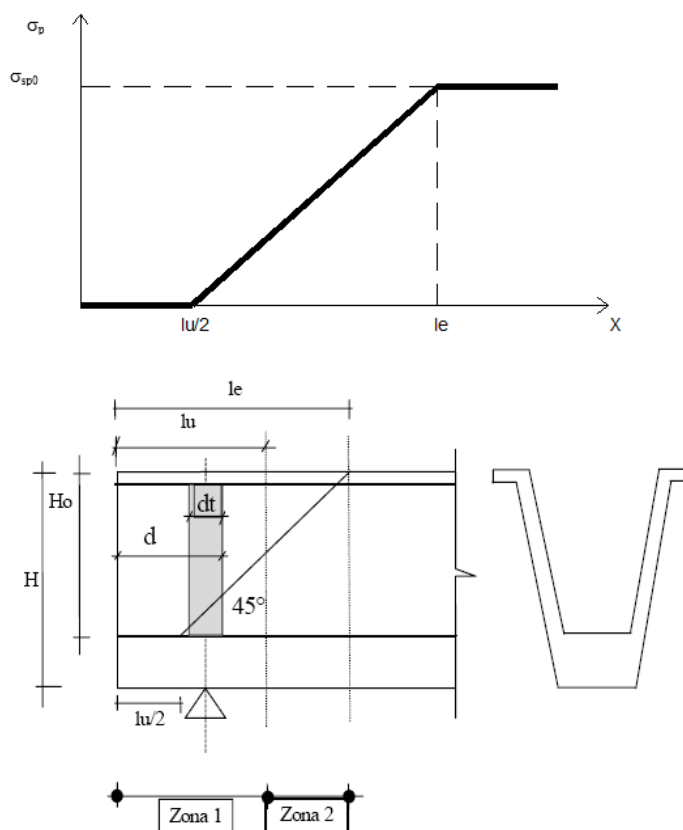


Figura 103: Disposizione armatura di precompressione nella sezione ad L=4.20m dalla testata

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:



Dove:

- H = altezza della trave
- H<sub>0</sub> = altezza utile relativa al baricentro trefoli
- l<sub>u</sub> = lunghezza di trasferimento
- l<sub>e</sub> = lunghezza di introduzione
- d<sub>t</sub> = spessore del traverso di testata
- d = distanza testata trave-estremità traverso
- y<sub>G,trefoli</sub> = baricentro dei trefoli all'appoggio da intradosso trave

in corrispondenza della testata della trave si ha:



**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1**  
**dal Km 83+400 al 83+530**  
**Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	23 di 41

$$H = 1.60 \text{ m}$$

$$y_{G,trefoli} = 0.4052 \text{ m}$$

$$H_0 = 1.60 - 0.4052 = 1.19 \text{ m}$$

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

$$l_e = 35 \phi + H_0 = 35 \times 0.0152 + 1.19 = 1.722 \text{ m}$$

In corrispondenza del taglio dei trefoli (sezione di campata), essendo  $y_{G,trefoli} = 0.2286 \text{ m}$  si ha  $l_e = 1.9034 \text{ m}$ .

### 11.1.1.2 Armatura lenta della trave

Campata: 54  $\Phi$  16

Appoggio: 94  $\Phi$  16

### 11.1.1.3 Armatura lenta della soletta

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

$\Phi$  18/20 inf.  $c = 2.0 + 1.4 + 1.8/2 = 4.3 \text{ cm}$

## 11.1.2 Caratteristiche dei materiali

### 11.1.2.1 Trave

#### CALCESTRUZZO

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

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1**  
**dal Km 83+400 al 83+530**  
**Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	24 di 41

**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
$E_p$	1950000	kg/cm <sup>2</sup>	
$\sigma_{sp0}$	1350	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo
$A_{nominale}$	1.39	cm <sup>2</sup>	area nominale di 1 trefolo
$\phi$	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
----------	-----	-----

**11.1.2.2 Soletta**

**CALCESTRUZZO**

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

**ARMATURA**

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

**11.1.3 Limiti tensionali**

**VERIFICHE A VUOTO E AL SOLLEVAMENTO**

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

**VERIFICHE IN ESERCIZIO**

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

**11.1.4 Sezioni di verifica**

Le verifiche vengono effettuate ad una distanza L 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 L=4.20m dalla testata**

Legenda:

- n = coefficiente di omogeneizzazione acciaio-clc
- 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-clc traverso
- $W_{inf}$  = momento di resistenza fibra trave inferiore
- $W_{sup}$  = momento di resistenza fibra trave superiore
- $W_{sup,soletta}$  = momento di resistenza fibra superiore della soletta

Tipo sez.	Commento	$t_0$ gg	t gg	n	A m <sup>2</sup>	$y_G$ m	$J_3$ m <sup>4</sup>	$n_{soletta}$	$W_{inf}$ m <sup>3</sup>	$W_{sup}$ m <sup>3</sup>	$W_{sup,soletta}$ m <sup>3</sup>
1	Trave $R_{ckj}$	-	-	6.00	1.1291	0.7340	0.3796	-	0.5172	0.4383	-
2	Trave $n_0$	-	-	5.79	1.1280	0.7348	0.3790	-	0.5158	0.4380	-
3	Trave $n(t_{prec}, t_{getto sol})$	6	150	13.24	1.1698	0.7087	0.4004	-	0.5650	0.4493	-
4	Trave $n(t_{matur. cls}, t_{gett})$	28	150	10.85	1.1564	0.7168	0.3937	-	0.5493	0.4458	-
5	Trave $n(t_{matur. cls}, t_{\infty})$	28	25550	14.37	1.1762	0.7049	0.4036	-	0.5725	0.4508	-
6	Trave $n(t_{getto sol}, t_{\infty})$	150	25550	12.01	1.1629	0.7128	0.3970	-	0.5569	0.4475	-
7	Trave+sol $n_0$	-	-	5.79	2.1952	1.2126	0.9150	0.9392	0.7546	2.3619	1.4355
8	Trave+sol $n(t_{getto sol}, t_{\infty})$	150	25550	12.14	2.2309	1.1933	0.9662	0.9392	0.8096	2.3756	1.4712

### 11.1.4.2 Trave di bordo-mezzzeria

Tipo sez.	Commento	t <sub>0</sub>	t	n	A	y <sub>G</sub>	J <sub>3</sub>	n <sub>soletta</sub>	W <sub>inf</sub>	W <sub>sup</sub>	W <sub>sup,soletta</sub>
-	-	gg	gg	-	m <sup>2</sup>	m	m <sup>4</sup>	-	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	Trave R <sub>ckj</sub>	-	-	6.00	1.1514	0.7198	0.3913	-	0.5436	0.4446	-
2	Trave n <sub>0</sub>	-	-	5.79	1.1493	0.7212	0.3902	-	0.5411	0.4440	-
3	Trave n(t <sub>prec</sub> , t <sub>getto sol</sub> )	6	150	13.24	1.2242	0.6772	0.4265	-	0.6298	0.4622	-
4	Trave n(t <sub>matur.cis</sub> , t <sub>gett</sub> )	28	150	10.85	1.2002	0.6907	0.4154	-	0.6014	0.4568	-
5	Trave n(t <sub>matur.cis</sub> , t <sub>∞</sub> )	28	25550	14.37	1.2356	0.6710	0.4316	-	0.6433	0.4646	-
6	Trave n(t <sub>getto sol</sub> , t <sub>∞</sub> )	150	25550	12.01	1.2119	0.6841	0.4208	-	0.6152	0.4595	-
7	Trave+sol n <sub>0</sub>	-	-	5.79	2.2165	1.2010	0.9460	0.9392	0.7877	2.3706	1.4575
8	Trave+sol n(t <sub>getto sol</sub> , t <sub>∞</sub> )	150	25550	12.14	2.2804	1.1674	1.0351	0.9392	0.8867	2.3926	1.5163

### 11.1.4.3 Trave interna- Sezione a L=4.20m dalla testata

Tipo sez.	Commento	t <sub>0</sub>	t	n	A	y <sub>G</sub>	J <sub>3</sub>	n <sub>soletta</sub>	W <sub>inf</sub>	W <sub>sup</sub>	W <sub>sup,soletta</sub>
-	-	gg	gg	-	m <sup>2</sup>	m	m <sup>4</sup>	-	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	Trave R <sub>ckj</sub>	-	-	6.00	1.1291	0.7340	0.3796	-	0.5172	0.4383	-
2	Trave n <sub>0</sub>	-	-	5.79	1.1280	0.7348	0.3790	-	0.5158	0.4380	-
3	Trave n(t <sub>prec</sub> , t <sub>getto sol</sub> )	6	150	13.24	1.1698	0.7087	0.4004	-	0.5650	0.4493	-
4	Trave n(t <sub>matur.cis</sub> , t <sub>gett</sub> )	28	150	10.85	1.1564	0.7168	0.3937	-	0.5493	0.4458	-
5	Trave n(t <sub>matur.cis</sub> , t <sub>∞</sub> )	28	25550	14.37	1.1762	0.7049	0.4036	-	0.5725	0.4508	-
6	Trave n(t <sub>getto sol</sub> , t <sub>∞</sub> )	150	25550	12.01	1.1629	0.7128	0.3970	-	0.5569	0.4475	-
7	Trave+sol n <sub>0</sub>	-	-	5.79	2.1952	1.2126	0.9150	0.9392	0.7546	2.3619	1.4355
8	Trave+sol n(t <sub>getto sol</sub> , t <sub>∞</sub> )	150	25550	12.14	2.2309	1.1933	0.9662	0.9392	0.8096	2.3756	1.4712

### 11.1.4.4 Trave interna- mezzzeria

Tipo sez.	Commento	t <sub>0</sub>	t	n	A	y <sub>G</sub>	J <sub>3</sub>	n <sub>soletta</sub>	W <sub>inf</sub>	W <sub>sup</sub>	W <sub>sup,soletta</sub>
-	-	gg	gg	-	m <sup>2</sup>	m	m <sup>4</sup>	-	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	Trave R <sub>ckj</sub>	-	-	6.00	1.1514	0.7198	0.3913	-	0.5436	0.4446	-
2	Trave n <sub>0</sub>	-	-	5.79	1.1493	0.7212	0.3902	-	0.5411	0.4440	-
3	Trave n(t <sub>prec</sub> , t <sub>getto sol</sub> )	6	150	13.24	1.2242	0.6772	0.4265	-	0.6298	0.4622	-
4	Trave n(t <sub>matur.cis</sub> , t <sub>gett</sub> )	28	150	10.85	1.2002	0.6907	0.4154	-	0.6014	0.4568	-
5	Trave n(t <sub>matur.cis</sub> , t <sub>∞</sub> )	28	25550	14.37	1.2356	0.6710	0.4316	-	0.6433	0.4646	-
6	Trave n(t <sub>getto sol</sub> , t <sub>∞</sub> )	150	25550	12.01	1.2119	0.6841	0.4208	-	0.6152	0.4595	-
7	Trave+sol n <sub>0</sub>	-	-	5.79	2.2165	1.2010	0.9460	0.9392	0.7877	2.3706	1.4575
8	Trave+sol n(t <sub>getto sol</sub> , t <sub>∞</sub> )	150	25550	12.14	2.2804	1.1674	1.0351	0.9392	0.8867	2.3926	1.5163

### 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.

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1**  
**dal Km 83+400 al 83+530**  
**Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IV01 00 D 09 CL IV0608001A A 28 di 41

Calcolo deformazione totale da RITIRO $\epsilon_{cs}(t)$			Calcolo coeff. di VISCOSITA' $\phi(t, t_0)$		
	x CADUTE DI TENSIONE		x CADUTE DI TENSIONE		
	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_{\infty}$	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_{\infty}$	
$R_{ck}$	55	55	55	55	
$f_{ck}$	45	45	45	45	
$f_{cm}$	53	53	53	53	
$E_{cm}$	36283	36283	36283	36283	
$\epsilon_{ca}(\infty)$	0.009%	0.009%	0.748	0.748	
$\epsilon_{cd0}$	0.030%	0.030%	0.920	0.920	
$t_s$	28	150	0.813	0.813	
$t$	150	25550	$\beta(f_{cm})$	2.308	2.308
$A_c$	1 190 000	1 443 333	$t_0$	6	150
$u$	11 710	14 223	$t$	150	25550
$h_0=2A_c/u$	203.2	203.0	$A_c$	1190000	1443333
$k_h$	0.85	0.85	$u$	11710	14223
$\epsilon_{cd}(\infty)$	0.026%	0.026%	$h_0=2A_c/u$	203.2	203.0
$\beta_{ds}(t, t_s)$	0.998	1.000	$\phi_{RH}$	1.351	1.351
$\epsilon_{cd}(t)$	0.026%	0.026%	$\beta_H$	521	521
$\beta_{as}(t)$	0.914	1.000	$\beta(t_0)$	0.65	0.35
$\epsilon_{ca}(t)$	0.008%	0.009%	$\phi_0$	2.04	1.10
$\epsilon_{ca}(t-t_0)$		0.001%	$\beta_c(t, t_0)$	0.632	0.994
$\epsilon_{cs}(t)$	0.034%	0.026%	$\phi(t, t_0)$	1.29	1.10
			$n_0$	5.79	5.79
			$E_{cm}(t)$	15866	17298
			$n(t)$	13.24	12.14

**Calcolo cadute per rilassamento  $\Delta\sigma_{pr}(t)$**

Hp. Classe di rilassamento 1 (rilassamento ordinario)

NTC18 §11.3.3.3	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_{\infty}$	
$\rho_{1000}$	8	8	%
$\sigma_{pi}$	1350	1350	Mpa
$f_{pk}$	1860	1860	Mpa
$\mu=\sigma_{pi}/f_{pk}$	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		
$A_p$	8062 mm <sup>2</sup>	area tot trefoli	
$Y_{G,1^a}$ fila trefoli	14.40 mm	baricentro della prima fila di trefoli	
	$t_0 \rightarrow$ getto soletta	getto soletta $\rightarrow t_{\infty}$	
$Y_{G,sezione}$	720.00	119.00 mm	baricentro della sezione di calcestruzzo
$Z_{cp}$	705.60	104.60 mm	distanza tra il baric. della sez. di cls e le armature
$I_c$	3.8E+11	1.035E+12 mm <sup>4</sup>	Momento inerzia della sezione di calcestruzzo
$\sigma_{c,Qp}$	12.95	11.28 Mpa	
$\Delta\sigma_{p,c+t+s}$	202.24	256.54 Mpa	

### 11.1.6 Effetto del ritiro differenziale trave-soletta

Calcolo deformazione totale da RITIRO $\epsilon_{cs}(t)$			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
$\epsilon_{ca}(\infty)$	0.006%	0.009%	-	$\alpha_1$	0.866	0.748	-
$\epsilon_{cd0}$	0.034%	0.030%	-	$\alpha_2$	0.960	0.920	-
$t_s$	1	150	gg	$\alpha_3$	0.902	0.813	-
$t$	25550	25550	gg	$\beta(f_{cm})$	2.562	2.308	-
$A_c$	253 333	1 190 000	mmq	$t_0$	1	150	gg
$u$	4 933	9 290	mm	$t$	25550	25550	gg
$h_0=2A_c/u$	102.7	256.2	mm	$A_c$	253333	1190000	mmq
$k_n$	1.00	0.79	-	$u$	4933	9290	mm
$\epsilon_{cd}(\infty)$	0.034%	0.024%	-	$h_0=2A_c/u$	102.7	256.2	mm
$\beta_{ds}(t, t_s)$	1.000	1.000	-	$\Phi_{RH}$	1.532	1.325	-
$\epsilon_{cd}(t)$	0.034%	0.024%	-	$\beta_H$	386	604	-
$\beta_{as}(t)$	1.000	1.000	-	$\beta(t_0)$	0.91	0.35	-
$\epsilon_{ca}(t)$	0.006%	0.009%	-	$\varphi_0$	3.57	1.08	-
$\epsilon_{ca}(t-t_0)$		0.001%	-	$\beta_c(t, t_0)$	0.996	0.993	-
$\epsilon_{cs}(t)$	0.040%	0.025%	-	$\varphi(t, t_0)$	3.55	1.08	-
$\Delta\epsilon_{cs, soletta-trave}(\infty)$	0.01545%		-	$n_0$		5.79	-
$\sigma_{traz soletta, ritiro diff}$	-1.156		Mpa	$E_{cm}(t)$	7485	17484	Mpa
$N$ ritiro differenz- a $t_\infty$	292.9		kN	$n(t)$		12.01	-
% 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  $\sigma_{rit} = E_{fco} \cdot \Delta\epsilon(t_\infty, t_0)$  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:

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1  
 dal Km 83+400 al 83+530  
 Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO IV0608001A	REV. A	FOGLIO 30 di 41
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

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

Si riportano in seguito i risultati delle verifiche al rilascio dei trefoli condotte sulle sezioni disposte a 14.1m e a 4.20m dalla testata della trave:

Sezione a 14.10m (mezzera trave)

<b>Trefoli</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>-1251.09</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

<b>Armatura lenta trave</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>99.33</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \max}$ :	<b>99.33</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

<b>Calcestruzzo trave</b>	$\sigma_{\text{cls, max}}$	<b>17.92</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	<b>-0.75</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{c traz, adm}} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_{\text{c compr, adm}} =$	27.31	MPa	

Sezione a 4.20m dalla testata della trave

<b>Trefoli</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>-1303.03</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

<b>Armatura lenta trave</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>47.17</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \max}$ :	<b>47.17</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

<b>Calcestruzzo trave</b>	$\sigma_{\text{cls, max}}$	<b>8.51</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	<b>-0.58</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{c traz, adm}} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_{\text{c compr, adm}} =$	27.31	MPa	

In entrambi i casi le verifiche risultano soddisfatte.



### 11.1.7.2 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  $\pm 0.15$ .

Si riportano risultati delle verifiche al rilascio dei trefoli condotte sulle sezioni disposte a 14.1m e a 4.20m dalla testata della trave:

#### Sezione a 14.10m (mezzeria trave)

<b>Trefoli</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>-1256.10</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	

<b>Armatura lenta trave</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>94.27</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \max}$ :	<b>104.39</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	

<b>Calcestruzzo trave</b>	$\sigma_{\text{cls, max}}$	<b>18.84</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	<b>-1.87</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{c traz, adm}} =$	-3.80	MPa	
	$\sigma_{\text{c compr, adm}} =$	27.31	MPa	

Sezione a 4.20m dalla testata della trave

<b>Trefoli</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>-1305.29</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{traz adm}}$	-1488.00	MPa	
<b>Armatura lenta trave</b>	$\sigma_{a, \min}$ :	<b>44.89</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \max}$ :	<b>49.45</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{a, \text{adm}}$	360.00	MPa	
<b>Calcestruzzo trave</b>	$\sigma_{\text{cls, max}}$	<b>8.93</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{cls, min}}$	<b>-1.07</b>	MPa	<b>VERIFICATO</b>
	$\sigma_{\text{c traz, adm}} =$	-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	$0.8 f_{\text{yk}} = 360 \text{ N/mm}^2$
trazione	$0.8 f_{\text{yk}} = -360 \text{ N/mm}^2$

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1**  
**dal Km 83+400 al 83+530**  
**Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	33 di 41

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 14.10m (mezzeria trave)

Riepilogo sollecitazioni:

Carico	prec.iniz.	p.p. tv	p.p. soletta	perdite 1ªfase	perdite 2ªfase	perm. port.	+vento p. scarico	+vento p. carico	accidentali	centrifuga	frenatura	ritiro differ. tv-sol	ritiro differ. tv-sol
Per quale verifica?	$t_0 - t_c$	$t_0$	$t_c$	$t_0 - t_c$	$t_c$	$t_0$	$t_0 - t_c$	$t_0 - t_c$	$t_0 - t_c$	$t_0 - t_c$	$t_0 - t_c$	$t_0$	$t_c$
Tipo sez.	2	4	6	3	8	7	7	7	7	7	7	7	8
Sez. resist.	Trave	Trave	Trave	Trave	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol	Trave+sol
N (kN)	10884	0	0	-1572	-2003	0	0	0	0	0	-21	59	293
d (m)	-0.7215	-	-	-0.6802	-1.0197	-	-	-	-	-	-	0.6434	0.6780
M (kNm)	-7852	3297	2884	1069	2042	1324	18	33	3803	28	0	38	199
$\sigma$ soletta (Mpa)												-0.23	-1.16
$\sigma$ trefoli (Mpa)	-1350			195	248								

Riepilogo verifiche:

$t_0$	Combo			
Trefoli	RARA	min	-1185.99	verif
		max	-1156.73	verif
Armatura lenta trave	RARA	min	-30.36	verif
		max	-2.04	verif
Armatura soletta	RARA	min	-39.88	verif
		max	-11.34	verif
Calcestruzzo trave	RARA	min	3.02	verif
		max	10.30	verif
	QUASI PERM.	min	7.57	verif
		max	8.32	verif
Calcestruzzo soletta	RARA	min	0.72	verif
		max	4.55	verif
	QUASI PERM.	min	0.72	verif
		max	1.05	verif

$t_{\infty}$	Combo			
Trefoli	RARA	min	-1026.02	verif
		max	-995.41	verif
Armatura lenta trave	RARA	min	-118.06	verif
		max	-89.74	verif
Armatura soletta	RARA	min	-102.27	verif
		max	-73.73	verif
Calcestruzzo trave	RARA	min	0.46	verif
		max	10.52	verif
	QUASI PERM.	min	5.76	verif
		max	7.80	verif
Calcestruzzo soletta	RARA	min	0.32	verif
		max	4.62	verif
	QUASI PERM.	min	0.31	verif
		max	1.12	verif

**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1  
 dal Km 83+400 al 83+530  
 Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	34 di 41

Sezione a 4.20m 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	centrifuga	frenatura	ritiro differ. trav-sol	ritiro differ. trav-sol
Per quale verifica?	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub> - t <sub>c</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>c</sub>
Tipo sez.	2	4	5	2	6	3	8	7	8	7	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	Trave+sol
N (kN)	4879	0	0	0	0	-613	-800	0	0	0	0	0	0	-14	59	293
d (m)	-0.7322	-	-	-	-	-0.7078	-1.0444	-	-	-	-	-	-	-	0.6315	0.6515
M (kNm)	-3572	1418	1418	1431	1431	434	835	667	667	-10	-19	2001	13	1	37	191
σ soletta (Mpa)															-0.23	-1.16
σ trefoli (Mpa)	-1350					170	221									

## Riepilogo verifiche:

t <sub>0</sub>	Combo			
Trefoli	RARA	min	<b>-1197.87</b>	<b>verif</b>
		max	<b>-1181.89</b>	<b>verif</b>
Armatura lenta trave	RARA	min	<b>-17.13</b>	<b>verif</b>
		max	<b>-1.60</b>	<b>verif</b>
Armatura soletta	RARA	min	<b>-22.15</b>	<b>verif</b>
		max	<b>-6.50</b>	<b>verif</b>
Calcestruzzo trave	RARA	min	<b>0.71</b>	<b>verif</b>
		max	<b>5.05</b>	<b>verif</b>
	QUASI PERM.	min	<b>3.61</b>	<b>verif</b>
		max	<b>3.61</b>	<b>verif</b>
Calcestruzzo soletta	RARA	min	<b>0.27</b>	<b>verif</b>
		max	<b>2.32</b>	<b>verif</b>
	QUASI PERM.	min	<b>0.28</b>	<b>verif</b>
		max	<b>0.46</b>	<b>verif</b>

t <sub>∞</sub>	Combo			
Trefoli	RARA	min	<b>-1021.56</b>	<b>verif</b>
		max	<b>-1004.89</b>	<b>verif</b>
Armatura lenta trave	RARA	min	<b>-61.69</b>	<b>verif</b>
		max	<b>-46.16</b>	<b>verif</b>
Armatura soletta	RARA	min	<b>-57.75</b>	<b>verif</b>
		max	<b>-42.11</b>	<b>verif</b>
Calcestruzzo trave	RARA	min	<b>-0.59</b>	<b>verif</b>
		max	<b>5.33</b>	<b>verif</b>
	QUASI PERM.	min	<b>2.31</b>	<b>verif</b>
		max	<b>3.89</b>	<b>verif</b>
Calcestruzzo soletta	RARA	min	<b>-0.30</b>	<b>verif</b>
		max	<b>1.98</b>	<b>verif</b>
	QUASI PERM.	min	<b>-0.29</b>	<b>verif</b>
		max	<b>0.12</b>	<b>verif</b>

**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]	coefficienti	N [kN]	M [kNm]
<b>pp trave</b>	0.00	3297.00	1.35	0.00	4450.95
<b>p soletta</b>	0.00	2884.10	1.35	0.00	3893.54
<b>perm portati</b>	0.00	1323.99	1.50	0.00	1985.99
<b>perdite</b>	-3691.56	3192.08	1.00	-3691.56	3192.08
<b>Accidentali</b>	0.00	3803.00	1.35	0.00	5134.05
<b>Centrifuga</b>	0.00	28.00	0.00	0.00	0.00
<b>Vento</b>	0.00	33.23	0.90	0.00	29.91
<b>Precompressione</b>	10883.70	-7823.96	1.00	10883.70	-7823.96
<b>ritiro</b>	292.93	200.05	1.20	351.52	240.05
<b>Totale</b>				<b>7543.66</b>	<b>11102.60</b>

Nel seguito si riporta la sezione di verifica della trave in mezzzeria in cui è stato trascurato il contributo delle armature lente:

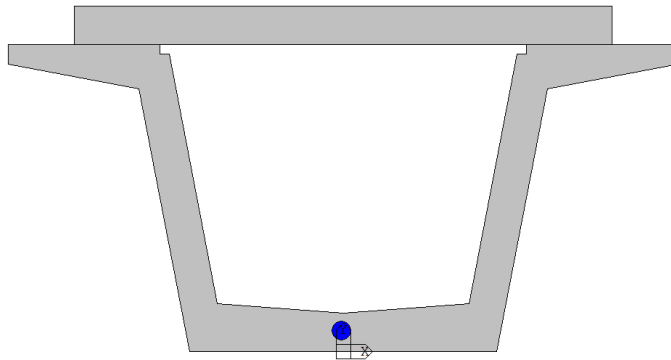


Figura 114: Sezione di verifica in mezzeria

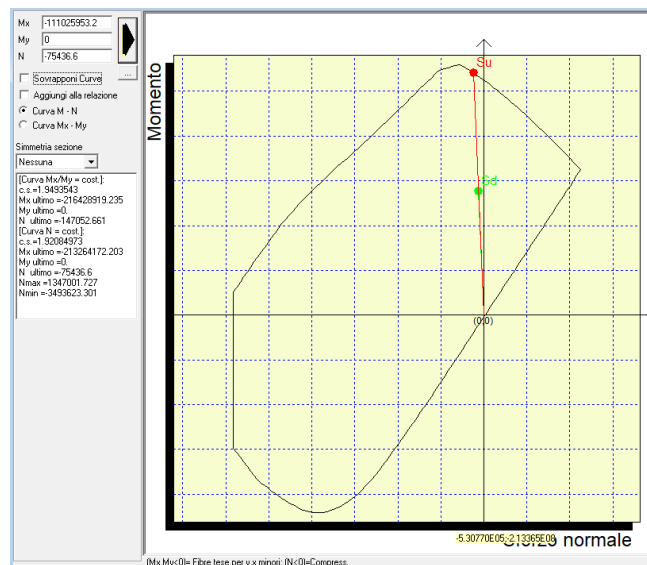


Figura 125: Dominio di resistenza

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 1.94, 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 (4.20m dalla testata della trave).

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]):

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

Sezione di appoggio

**Sollecitazione**

caso	T(kN)	coeff	T(kN)
<b>Dead</b>	-447.00	1.35	-603.45
<b>G1_sol</b>	-418.20	1.35	-564.57
<b>G2_tot</b>	-202.92	1.50	-304.38
<b>Accidentale</b>	-658.00	1.35	-888.30
<b>Vento</b>	8.72	1.00	8.72
			-2351.98

**Verifica**

	f <sub>ck</sub>	b <sub>w</sub>	h	c	φ <sub>long/2</sub>	d	f <sub>ctd</sub>	N	σ	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Ed</sub>	C.S.
Combo	[Mpa]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Mpa]	[N]	[Mpa]	[N]	[N]	[-]
SLU	45.00	1300	1600	50	7	1543	3.80	0	0.000	5329301	-2351980	2.27

Sezione 4.20m dalla testata della trave

**Sollecitazione**

caso	T(kN)	coeff	T(kN)
<b>Dead</b>	-282.80	1.35	-381.78
<b>G1_sol</b>	-286.50	1.35	-386.78
<b>G2_tot</b>	-129.80	1.50	-194.70
<b>Accidentale</b>	-402.00	1.35	-542.70
<b>Vento</b>	2.73	1.00	2.73
			-1503.23

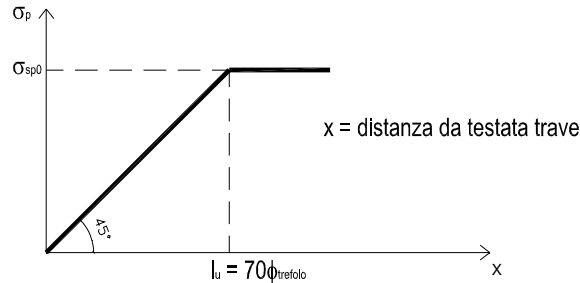
**Verifica**

	f <sub>ck</sub>	b <sub>w</sub>	h	c	φ <sub>long/2</sub>	d	f <sub>ctd</sub>	N	σ	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Ed</sub>	C.S.
Combo	[Mpa]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Mpa]	[N]	[Mpa]	[N]	[N]	[-]
SLU	45.00	380	1600	50	7	1543	3.80	4879000	8.321	2783355	-1503225	1.85

Il coefficiente di sicurezza è superiore all'unità in entrambi i casi 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<sub>0</sub>).



Azione sollecitante:

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

Azione resistente:

- $\sigma_p$  = tensione finale a cadute avvenute nell'armatura di precompressione;  
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  $\tau$  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:

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



**IV08 - Cavalcaferrovia strada provinciale n.3 cat.C1  
dal Km 83+400 al 83+530  
Relazione di calcolo trave c.a.p. 30m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	IV0608001A	A	39 di 41

R =	<b>2822</b>	kN	reazione verticale massima in appoggio del singolo cassoncino
N =	2822	kN	aliquota dello sforzo di competenza della singola anima
$\sigma_{sp0}$ =	1350	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo
rilass. iniz.	0	%	rilassamento iniziale
$\sigma_{spi}$ =	1350	MPa	tensione di tiro applicata ad un trefolo al netto del rilassamento iniziale
Cadute	38	MPa	
$\sigma_p$ =	<b>616.54</b>	MPa	tensione nell'armatura di precompressione a cadute avvenute
n =	<b>6</b>	-	n° trefoli disposti al lembo inferiore
$A_{tf}$ =	1.39	cm <sup>2</sup>	area di ciascun trefolo
L =	<b>0.5</b>	m	distanza dell'asse appoggio dalla testata della trave
$l_u$ =	1.064	m	lunghezza di trasferimento
$N_p$ =	169	kN	sforzo assorbito dall'armatura di precompressione
$\Delta N_p$ =	2653	kN	sforzo residuo da assorbire con apposita armatura lenta
$\sigma_{s,ADM}$ =	377	MPa	tensione ammissibile dell'armatura da inserire
$A'_s$ =	<b>70.37</b>	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura da inserire per assorbire la forza $\Delta N_p$

Si dispongono complessivamente 36  $\phi$  16.