

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA  
U.O. STRUTTURE

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA  
*Infrastrutture strategiche legge n. 443/2001)*

Lotto 1: Ripalta- Lesina

VIADOTTO RIPALTA

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

SCALA:

---

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

LI00 01 D 09 CL VI0100 001 A

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	G. GRIMALDI Gh	06/2016	F. DINUCCI	06/2016	F. GERNONE	06/2016	A. VITTOZZI 06/2016

File: LI0001D09CLV10100001A.doc

n. Elab.

ITALFER S.p.A.  
U.O. STRUTTURE  
Dot. Ing. ANGELO VITTOZZI  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n° A20783

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	8
4	FASI COSTRUTTIVE.....	12
5	CALCOLO ELETTRONICO DELL'IMPALCATO .....	13
5.1	ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE .....	21
6	ANALISI DEI CARICHI .....	23
6.1	PESI PROPRI .....	23
6.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI .....	29
6.3	BALLAST .....	34
6.4	CARICHI ACCIDENTALI .....	38
6.4.1	<i>Effetti dinamici</i> .....	38
6.4.2	<i>Carichi verticali</i> .....	38
6.5	VENTO.....	47
6.6	CARICHI SUI MARCIAPIEDI .....	51
6.7	DERAGLIAMENTO .....	51
6.8	AZIONI SISMICHE .....	51
6.9	EFFETTI DI INTERAZIONE STATICA TRENO – BINARIO - STRUTTURA .....	52
6.10	AVVIAMENTO E FRENATURA.....	52
6.11	RESISTENZE PARASSITE NEI VINCOLI.....	54
7	COMBINAZIONI .....	55
8	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI .....	59

9	TRAVE .....	63
9.1	TRAVI PRINCIPALI - SEZIONE IN MEZZERIA (M+) .....	64
9.1.1	Verifica SLE- tensionale .....	64
9.1.2	Verifica SLU-STR.....	76
9.2	TRAVI PRINCIPALI - SEZIONE A 2.55 METRI DALL'APPOGGIO .....	78
9.2.1	Verifica SLE- tensionale .....	78
9.2.2	Verifica SLU-STR.....	90
9.3	TRAVI PRINCIPALI - VERIFICA FESSURAZIONE SEZIONE DI MEZZERIA .....	92
9.4	TAGLIO E TORSIONE IN SEZIONE CORRENTE .....	93
9.5	TAGLIO E TORSIONE IN SEZIONE DI APPOGGIO .....	101
9.6	ARMATURA DI CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA IN SEZIONE CORRENTE DI APPOGGIO.....	109
10	GIUNTI DI DILATAZIONE .....	111
10.1	CORSA DEGLI APPARECCHI D'APPOGGIO MOBILI .....	111
10.2	ESCURSIONE DEI GIUNTI .....	111
10.3	AMPIEZZA DEI VARCHI.....	112
11	VERIFICA AL SOLLEVAMENTO .....	113
12	SOLETTA .....	114
12.1	INVILUPPO SOLLECITAZIONI.....	114
13	AZIONI SUGLI APPOGGI .....	121
14	INCIDENZE DI ARMATURA.....	123

## 1 PREMESSA

Oggetto del presente documento è il dimensionamento di un impalcato tipo avente luce di 25 m (22,60 m misurata in asse appoggi) per il viadotto a doppio binario con larghezza dell'impalcato di 13,70 m previsto nel progetto definitivo del raddoppio della tratta Termoli – Lesina, linea ferroviaria Pescara – Bari,

L'impalcato è costituito da 4 travi in C.A.P. a cassoncino prefabbricate (precompressione a fili aderenti) solidarizzate da 4 traversi (2 sull'asse-appoggi e 2 in campata), prefabbricati insieme alle travi e da una soletta superiore in c.a. gettata in opera con una larghezza complessiva pari a 13,70 m su cui gravano 2 binari posti ad interasse pari a 4 m, in maniera simmetrica rispetto alla mezzzeria del viadotto.

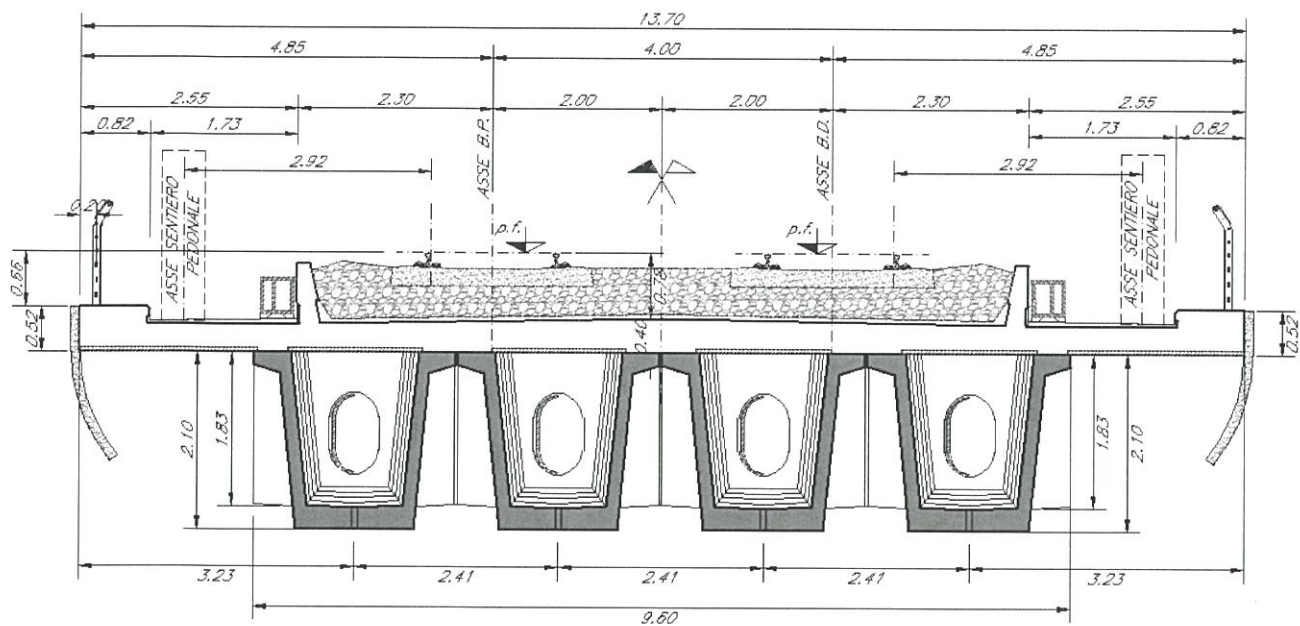


Figura 1: Sezione trasversale impalcato tipo

Lo schema dei vincoli prevede per ogni campata:

- Due appoggi fissi a rigidità variabile e due multidirezionali su un lato;
- Un appoggio unidirezionale (scorrevoli in senso longitudinale) e tre multidirezionali sul lato opposto.

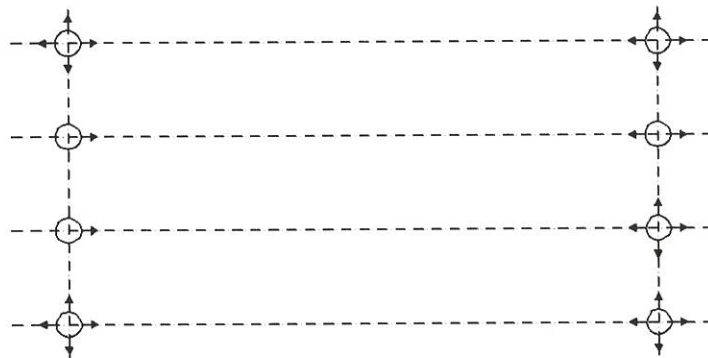
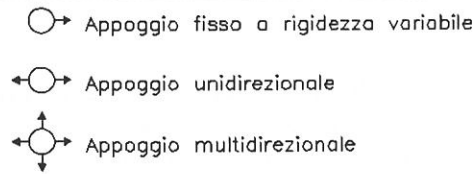


Figura 2: Schema appoggi

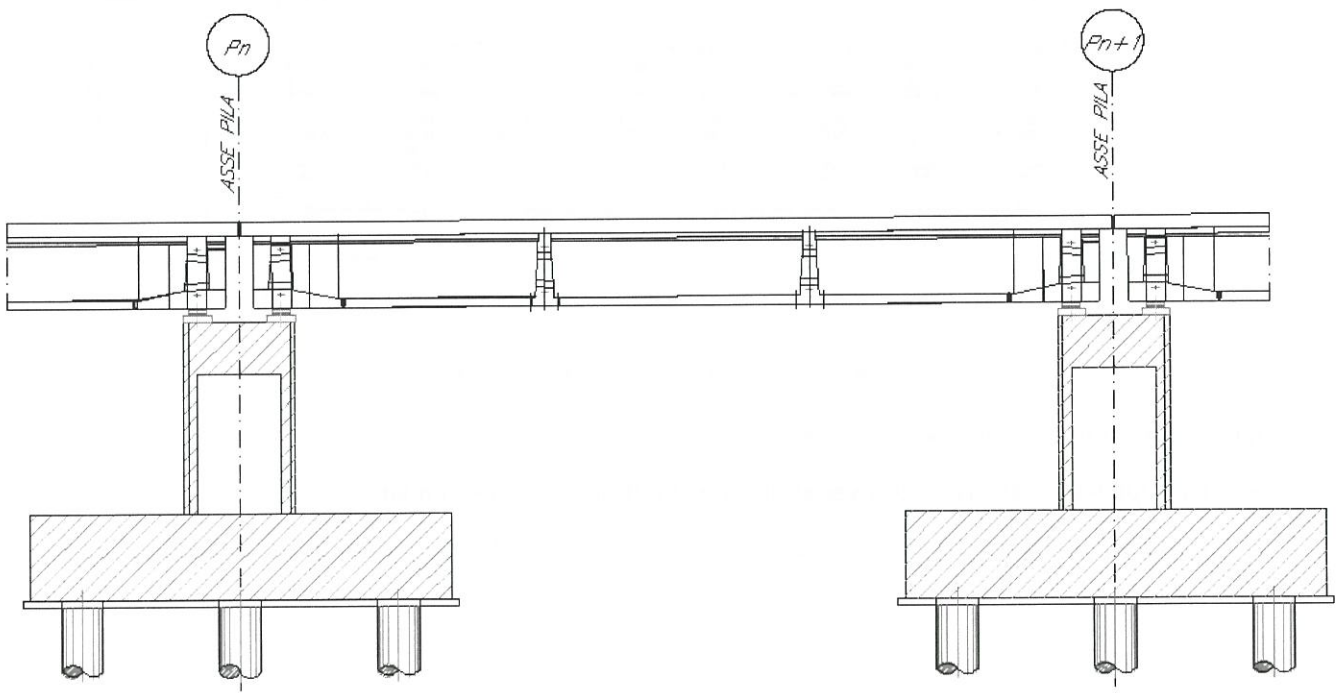


Figura 3: Sezione longitudinale impalcato tipo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:</b> <b>Lotto 1: Ripalta - Lesina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 09CL	DOCUMENTO VI0100 001	REV. A

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente:

- NTC 2008 – D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008.
- Circolare del 02.02.2009 n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14.01.2008.
- RFI DTC INC CS LG IFS 001 A 29122011 Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra. Emissione per applicazione del 21/12/2011
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A 29122011 Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie. Emissione per applicazione del 21/12/2011
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A 27122011 Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario. Emissione per applicazione del 21/12/2011
- RFI DTC INC PO SP IFS 002 A 27122011 Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria. Emissione per applicazione del 21/12/2011
- RFI DTC INC PO SP IFS 003 A 27122011 Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari. Emissione per applicazione del 21/12/2011
- RFI DTC INC PO SP IFS 004 A 28122011 Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo. Emissione per applicazione del 21/12/2011
- RFI DTC INC PO SP IFS 005 A 28122011 Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia. Emissione per applicazione del 21/12/2011

Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si è inoltre fatto riferimento alla normativa Europea di seguito specificata:

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	7 di 123

- UNI EN 1992-1-1: EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- EC8 – Strutture in zone sismiche – parte 1 (generale ed edifici) e parte 2 (ponti).
- STI 2014 - 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.

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI


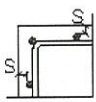
Si riporta nel seguito la tabella dei materiali utilizzati:

TABELLA MATERIALI								
CALCESTRUZZO								
Tipologia Calcestruzzo	Rapporto a/c max (UNI EN 206)	Classe di lavorabilità	Tipologia di cemento	Classe di resistenza minima C(fck/Rel) <sub>min</sub>	Classe di esposizione ambientale (UNI EN 206)	D <sub>max</sub> inerti (mm)	Campi di Impiego	
A	1	0.45	S4-S5	CEM IeV	C45/55	XC3	20	- Impalcato ed Elementi in c.a.p. prefabbricati
B	1	0.45	S4-S5	CEM IeV	C35/45	XC3	25	- Elementi prefabbricati in c.a. per strutture fuori terra
	1	0.45	S4-S5	CEM IeV	C35/45	XC3	20	- Predalles con funzioni strutturali
	3	0.50	S4-S5	CEM IIIeV	C30/37	XC4	20	- Velezze prefabbricate
	3	0.55	S4-S5	CEM IIIeV	C30/37	XC3	20	- Predalles senza funzioni strutturali
	3	0.55	S3-S4	CEM IIIeV	C30/37	XA1	25	- Canalette portacavi ed altri elementi prefabbricati senza funzioni strutturali
C	1	0.50	S4-S5	CEM IeV	C30/37	XC4	25	- Impalcato in c.a. ordinari
	2	0.50	S3-S4	CEM IeV	C30/37	XC4	25	- Solette in c.a. gettate in opera in elevazione - Pile e spalle - Bagnoli e piloni - Strutture in c.a. in elevazione
E		0.55	S3-S4	CEM IIIeV	C30/37	XA1	25	- Tombini a struttura scatolare e circolare
G	1	0.50	S3-S4	CEM IIIeV	C30/37	XC4	25	- Muri di controripa/sottocarpa
	2	0.60	S3-S4	CEM IIIeV	C25/30	XC2	25	- Solette di fondazione - Fondazioni armate
	2	0.50	S3-S4	CEM IIIeV	C30/37	XC4	25	- Cordoli di fondazione barriere antirumore
	3	0.60	S3-S4	CEM IIIeV	C25/30	XC2	40	- Fondazioni non armate (pizzi, sottopinti, ecc...)
	4	0.60	S3-S4	CEM IIIeV	C25/30	XC2	25	- Cunette, canalina e cordoli
H	1	0.60	S4-S5	CEM IIIeV	C25/30	XC2	32	- Pali (di paratia o opere di sostegno), diaframmi e relativi cordoli di collegamento gettati in opera
	2	0.60	S4-S5	CEM IIIeV	C25/30	XC2	32	- Pali/diaframmi di fondazione gettati in opera
I		--	--	CEM IeV	C12/15	X0	--	- Magrone di riempimento e livellamento
ACCIAIO								
ACCIAIO IN BARRE PER GETTI E RETI ELETTRICALI						B450C fyk ≥ 450Mpa ftk ≥ 540Mpa 1.15 ≤ ftk/fyk ≤ 1.35 fyk= tensione caratteristica di snervamento ftk= tensione caratteristica di rottura		
ACCIAIO ARMONICO DI TIPO STABILIZZATO PER TRAVI E TRAVERSI						Trefoli Ø0,6° fptk 1860 MPa - fp(1)k 1670 MPa a trave		
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE PRINCIPALI						S355J2 (ex FE 510 D1)		
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE SECONDARIE						S275JR (ex FE 430 B)		
BULLONI PER UNIONI A TAGLIO						VITE Classe 8.8; DADO Classe B		
BULLONI PER UNIONI AD ATTRITO						VITE Classe 10.9; DADO Classe 10		
ACCIAIO PER ARMATURA MICROPALI						S275JR (ex FE 430 B)		
SALDATURE						In accordo con istruzione FS 44/S		
PIOLI						Acciaio S235 J2G3 + C450 fu/fy ≥ 1.2 fy ≥ 350 Mpa fu ≥ 450 Mpa Allungamento ≥ 12% Strizione ≥ 50% Composizione Chimica C ≤ 0.18; Mn ≤ 0.9; S ≤ 0.04; P ≤ 0.05		



## PRESCRIZIONI

### COPRIFERRO NETTO

- PALI DI FONDAZIONE E PER PARATIE, DIAFRAMMI.....	s=60 mm	 
- SOLETTONI DI FONDAZIONE, FONDAZIONI ARMATE E NON ARMATE.....	s=40 mm	
- OPERE IN ELEVAZIONE IN VISTA (PILE, SPALLE, BAGGIOLI, PULVINI).....	s=40 mm	
- OPERE IN ELEVAZIONE CON SUPERFICI INTERRATE O NON ISPEZIONABILI.....	s=40 mm	
- SOLETTE DA PONTE – ESTRADOSSO.....	s=35 mm	
- SOLETTE DA PONTE – INTRADOSSO (GETTO IN OPERA).....	s=35 mm	
- SOLETTE DA PONTE – INTRADOSSO (GETTO SU PREDALLES).....	s=20 mm	
- IMPALCATI – ARMATURA ORDINARIA.....	s=40 mm	
- IMPALCATI IN C.A.P. – CAVI PRE-TESI.....	s=max( $3\phi_{\text{trifolo}}$ ; 50mm)	
- IMPALCATI IN C.A.P. – CAVI POST-TESI.....	s=max( $\phi_{\text{esterno guaina}}$ ; 60mm)	
- VELETTE.....	s=30 mm	
- PREDALLES CON FUNZIONI STRUTTURALI.....	s=25 mm	
- PREDALLES SENZA FUNZIONI STRUTTURALI.....	s=max( $\phi_{\text{barra inf.}}$ ; 20mm)	
- CUNETTE, CANALETTE E CORDOLI.....	s=40 mm	

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 del D.M. 14 gennaio 2008. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi del D.M. citato.

### CALCESTRUZZO PER TRAVI C.A.P. E TRAVERSI

CALCESTRUZZO		classe	C45/55	N/mm <sup>2</sup>
Rck >=	55	N/mm <sup>2</sup>		
fck =	45	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.1	
fcd =	25.50	N/mm <sup>2</sup>	§4.1.4	$\alpha_{cc} fck/\gamma_c$
fcmm =	53	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.2	fck + 8 (Mpa)
fctm =	3.80	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.3	$0.3 * fck^{2/3}$
fctk =	2.66	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.10.2	$0.7 * fctm$
fctd =	1.77	N/mm <sup>2</sup>	§4.1.5	fctk/ $\gamma_c$
Ecm =	36283	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.5	$22000 * (fcm/10)^{0.3}$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	10 di 123

### CALCESTRUZZO PER SOLETTA

CALCESTRUZZO		classe	C30/37	N/mm <sup>2</sup>
Rck >=	37	N/mm <sup>2</sup>		
fck =	30	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.1	
fcd =	17.00	N/mm <sup>2</sup>	§4.1.4	$\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$
fcm =	38	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.2	$f_{ck} + 8$ (Mpa)
fctm =	2.90	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.3	$0.3 * f_{ck}^{2/3}$
fctk =	2.03	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.10.2	$0.7 * f_{ctm}$
fctd =	1.35	N/mm <sup>2</sup>	§4.1.5	$f_{ctk}/\gamma_c$
Ecm =	32837	N/mm <sup>2</sup>	§11.2.5	$22000 * (f_{cm}/10)^{0.3}$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	11 di 123

## ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

ACCIAIO				
<b>TIPO</b>	<b>B450C</b>			
<b>f<sub>y</sub> nom</b>	450	N/mm <sup>2</sup>	11.3.2.1	tensione di snervamento
<b>f<sub>t</sub> nom</b>	540	N/mm <sup>2</sup>	11.3.2.1	tensione di rottura
<b>f<sub>yd</sub></b>	391,3	N/mm <sup>2</sup>	4.1.6	tensione snerv. di calcolo

$f_y / f_{yk} \leq 1.35$        $f_y$  = singolo valore della tensione snervamento rilevato sperimentalmente

$(f_t / f_y)_{medio} \geq 1.13$        $f_t$  = singolo valore della tensione di rottura rilevato sperimentalmente

## ACCIAIO DA PRECOMPRESSIONE

*trefoli  $\phi$  0.6" stabilizzati*

*(travi e traversi)*

$f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$       tensione caratteristica di rottura

$f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$       tensione caratteristica all'1% di deformazione totale

$E_s = 195000 \text{ N/mm}^2$       modulo elastico

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	12 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

#### 4 FASI COSTRUTTIVE

Sono previste le seguenti fasi di costruzione:

*fase 1* : posizionamento apparecchi di appoggio;

*fase 2.1* : varo delle travi centrali stabilizzate mediante ritegni verticali da posizionarsi sotto i traversi (2+2 per ogni trave);

*fase 2.2* : varo delle travi di bordo stabilizzate ognuna mediante 2+2 ritegni verticali da posizionarsi sotto i traversi sia internamente che esternamente all'asse appoggi;

*fase 3* : inserimento tubi in gomma nelle guaine dei traversi e loro gonfiaggio;

*fase 4* : sigillatura dei traversi, sgonfiaggio tubi in gomma e loro sfilaggio;

*fase 5* : inserimento cavi di precompressione nei traversi:

- tesatura al 10% dei cavi nei traversi e sbloccaggio degli apparecchi di appoggio;
- completamento tesatura contemporanea dei 2 cavi dei traversi di testata;
- completamento tesatura contemporanea dei 2 cavi dei traversi di campata;
- iniezione delle guaine sotto vuoto;

*fase 6* : inghisaggio zanche inferiori appoggi e loro bloccaggio;

*fase 7* : posa in opera delle predalles e sigillatura elementi contigui con mastice;

*fase 8* : getto soletta non oltre 150 giorni dal getto della trave;

*fase 9* : getto cordoli e muretto paraballast e posizionamento scala di accesso al pulvino;

*fase 10* : opere di finitura.

## 5 CALCOLO ELETTRONICO DELL'IMPALCATO

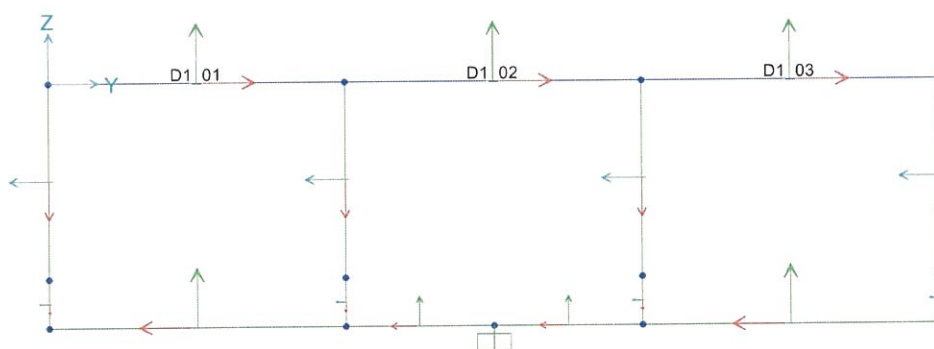
Per il calcolo delle sollecitazioni sulle sottostrutture si è ricorsi all'impiego di modelli agli elementi finiti, messi a punto e risolti con software SAP2000 della Computers and Structures.

Le travi sono state modellate come elementi "frame" rappresentando la soletta ed effettuando automaticamente l'omogeneizzazione dei materiali tramite il section designer di SAP2000.

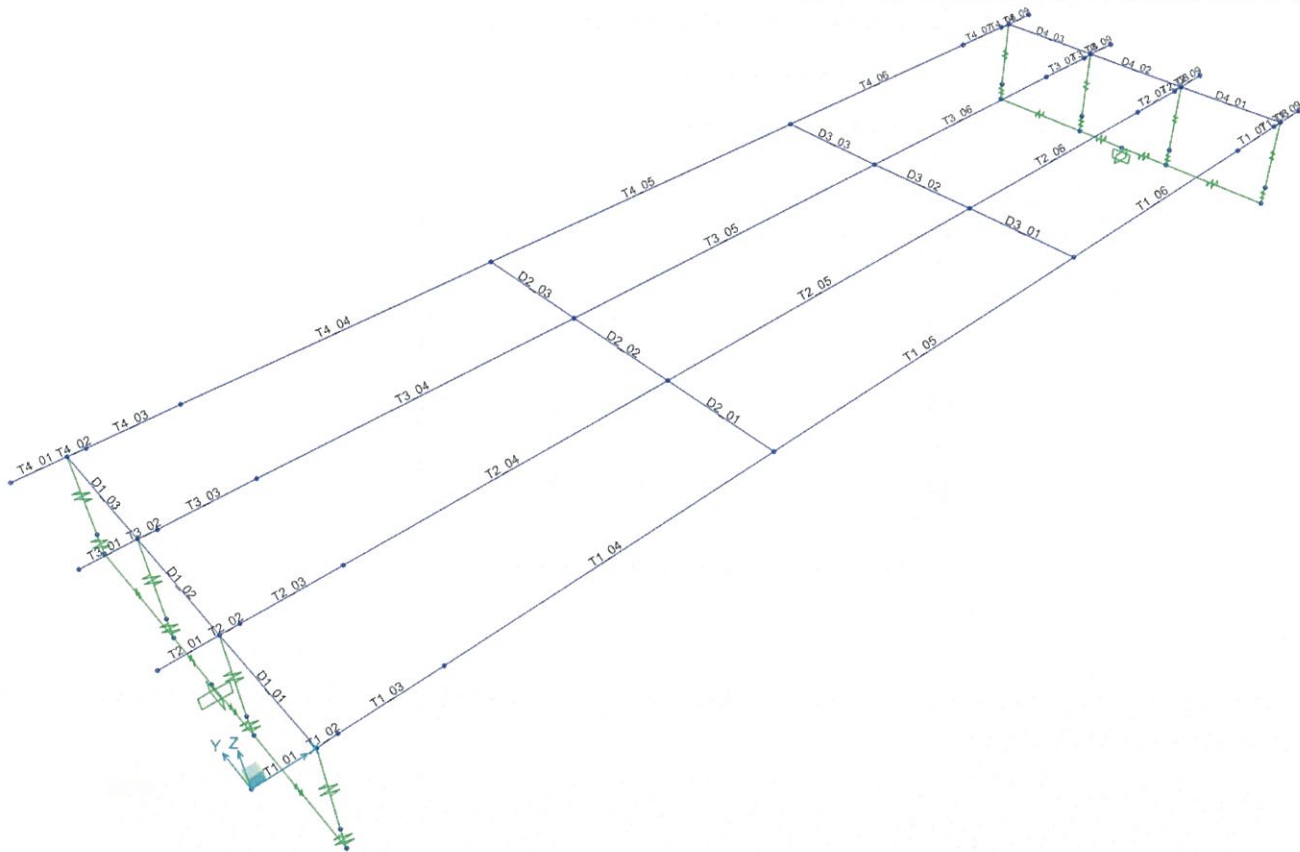
I vincoli esterni disposti alla altezza dei baggioli della struttura sono stati modellati mediante con degli incastrati. Il collegamento agli elementi che simulano il comportamento dei vari appoggi è effettuato mediante elementi link infinitamente rigidi.

TABLE: Link Property Definitions 02 - Linear							
Link	DOF	Fixed	TransKE	RotKE	TransCE	RotCE	DJ
Text	Text	Yes/No	KN/m	KN-m/rad	KN-s/m	KN-m-s/rad	m
FISSO	U1	No	10000000000.00		0.00		
FISSO	U2	No	10000000000.00		0.00		0.00
FISSO	U3	No	10000000000.00		0.00		0.00
MULTIDIR	U1	No	10000000000.00		0.00		
Rigid Link	U1	No	1000000000.00		0.00		
Rigid Link	U2	No	1000000000.00		0.00		0.00
Rigid Link	U3	No	1000000000.00		0.00		0.00
Rigid Link	R1	No		1000000000.00		0.00	
Rigid Link	R2	No		1000000000.00		0.00	
Rigid Link	R3	No		1000000000.00		0.00	
UNIDIREZ	U1	No	10000000000.00		0.00		
UNIDIREZ	U3	No	10000000000.00		0.00		0.00

Gli appoggi, siano essi fissi, unidirezionali o multidirezionali sono stati modellati mediante link opportunamente vincolati



Nel seguito del presente capitolo, s'indicherà con "X" la direzione parallela all'asse del viadotto principale, con "Y" la retta di giacitura orizzontale ortogonale a "X" e con "Z" la direzione verticale.



**Figura 4 – rappresentazione assonometrica del modello viadotto**

Numero di nodi: 58

Numero di elementi *frame*: 48

Numero di elementi *link*: 24

I vincoli esterni sono definiti in modo da riprodurre l'effettivo comportamento degli apparecchi d'appoggio che s'intende utilizzare nell'opera, all'oggetto si ha pertanto quanto segue:

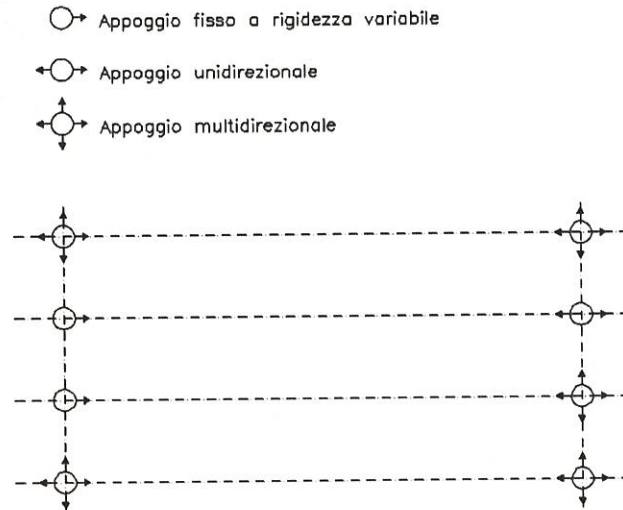


Figura 5 – Schema apparecchi di appoggio

## FASE I

Si riportano le proprietà geometriche e meccaniche della sezione caratteristica corrente della trave, le cui dimensioni sono indicate di seguito.

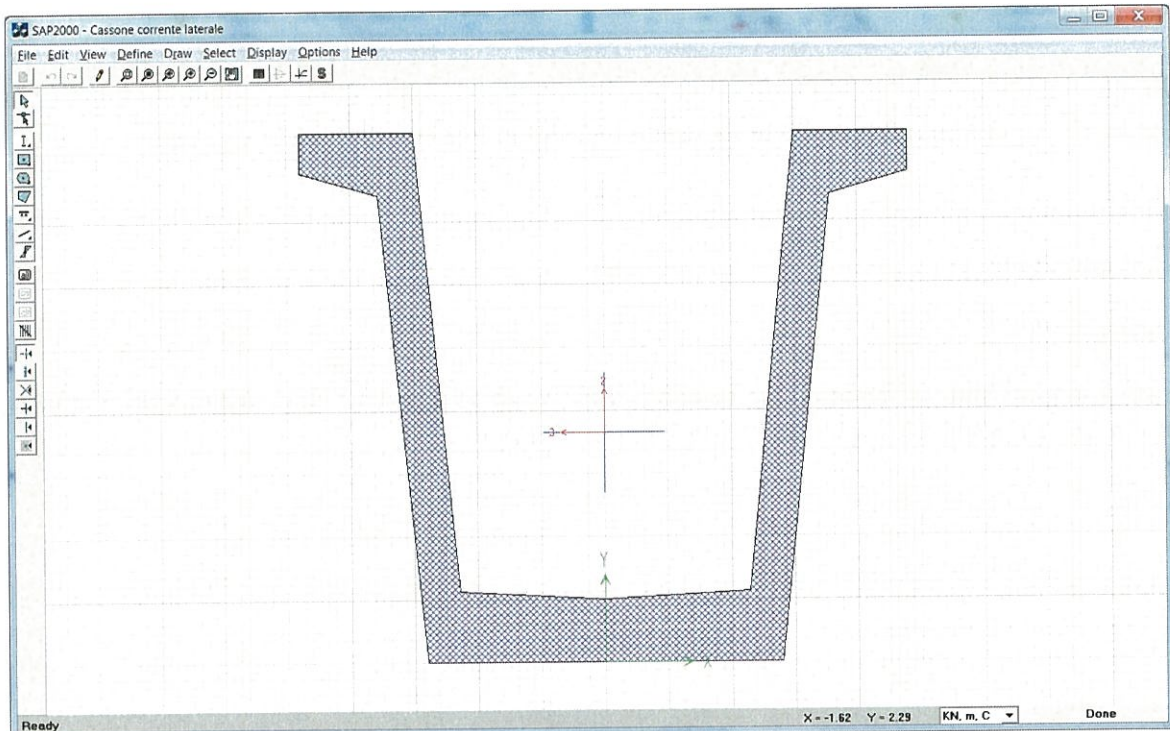


Figura 6 – Sezione tipo cassoncino in c.a.p.

Property Data

Section Name: Cassone corrente laterale

Properties

Cross-section (axial) area	1.0941	Section modulus about 3 axis	0.4938
Moment of Inertia about 3 axis	0.5861	Section modulus about 2 axis	0.4388
Moment of Inertia about 2 axis	0.5266	Plastic modulus about 3 axis	0.7191
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	0.7033
Shear area in 2 direction	0.6509	Radius of Gyration about 3 axis	0.7319
Shear area in 3 direction	0.526	Radius of Gyration about 2 axis	0.6938
Torsional constant	0.0154	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

OK

Figura 7 – Caratteristiche meccaniche sezione tipo cassoncino in c.a.p.

## FASE II

Per la trave di verifica (trave di bordo) si riportano le proprietà geometriche e meccaniche della sezione caratteristica corrente della trave, le cui dimensioni sono indicate di seguito.



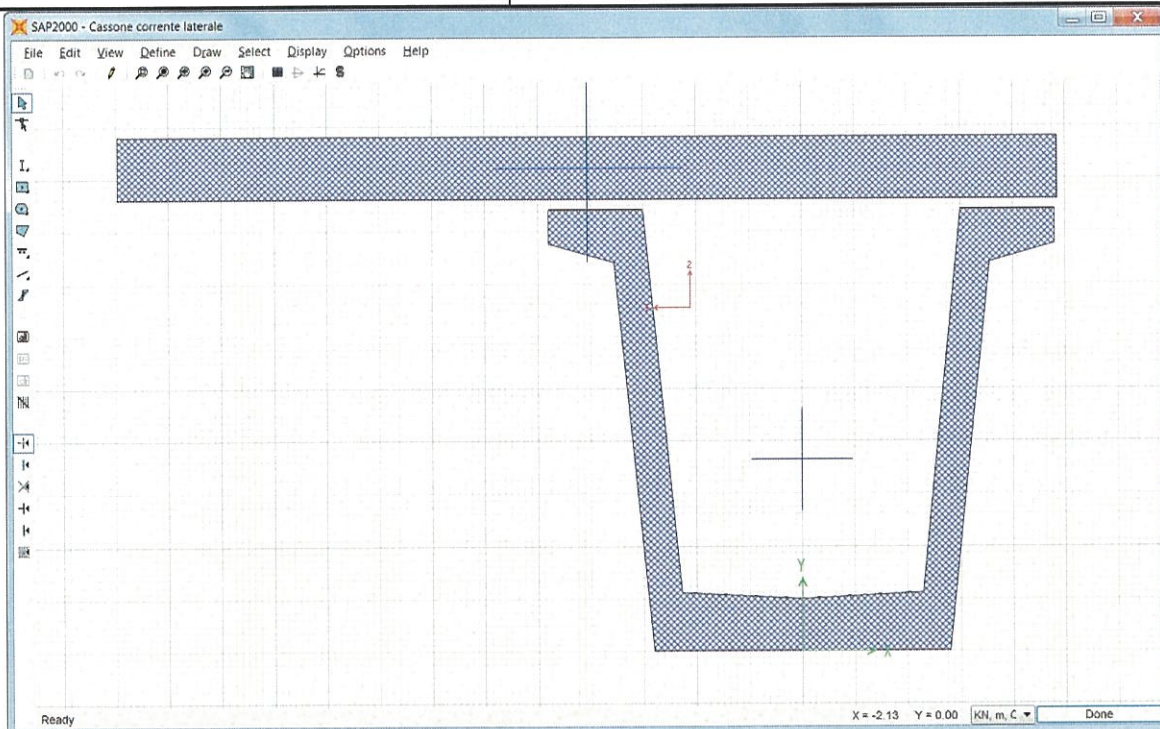


Figura 8 – Sezione tipo cassoncino esterno in c.a.p. con soletta collaborante superiore

Property Data			
Section Name		Cassone corrente laterale_	
Properties			
Cross-section (axial) area	2.2888	Section modulus about 3 axis	1.0346
Moment of Inertia about 3 axis	1.6936	Section modulus about 2 axis	1.1388
Moment of Inertia about 2 axis	3.0864	Plastic modulus about 3 axis	1.5503
Product of Inertia about 2-3	0.8039	Plastic modulus about 2 axis	2.3318
Shear area in 2 direction	0.8806	Radius of Gyration about 3 axis	0.8602
Shear area in 3 direction	1.5873	Radius of Gyration about 2 axis	1.1612
Torsional constant	0.0499	Shear Center Eccentricity (x3)	0.
OK			

Figura 9 – Caratteristiche meccaniche sezione tipo cassoncino in c.a.p. con soletta collaborante superiore

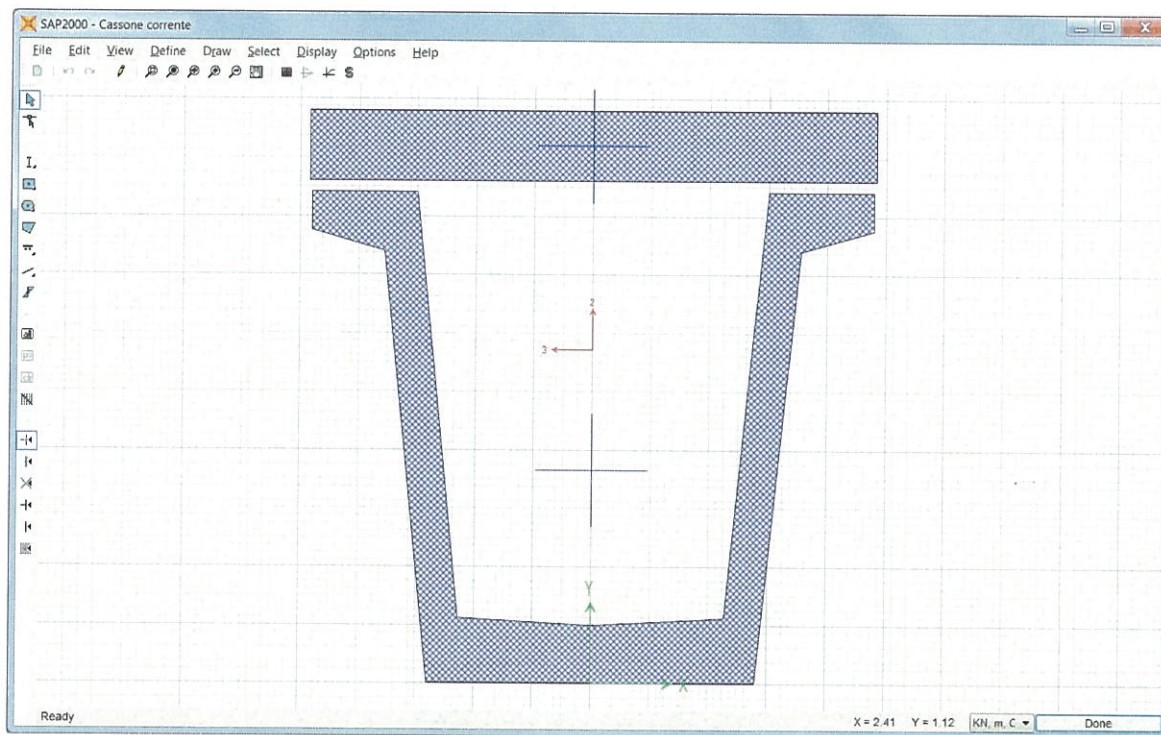


Figura 10 – Sezione tipo cassoncino interno in c.a.p. con soletta collaborante superiore

Property Data			
Section Name		Cassone corrente_	
Properties			
Cross-section (axial) area	1.7438	Section modulus about 3 axis	0.9617
Moment of Inertia about 3 axis	1.3751	Section modulus about 2 axis	0.6972
Moment of Inertia about 2 axis	0.8437	Plastic modulus about 3 axis	1.4066
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	1.1425
Shear area in 2 direction	0.8478	Radius of Gyration about 3 axis	0.888
Shear area in 3 direction	1.0991	Radius of Gyration about 2 axis	0.6956
Torsional constant	0.0335	Shear Center Eccentricity (x3)	0.
OK			

Figura 11 – Caratteristiche meccaniche sezione tipo cassoncino interno in c.a.p. con soletta collaborante superiore

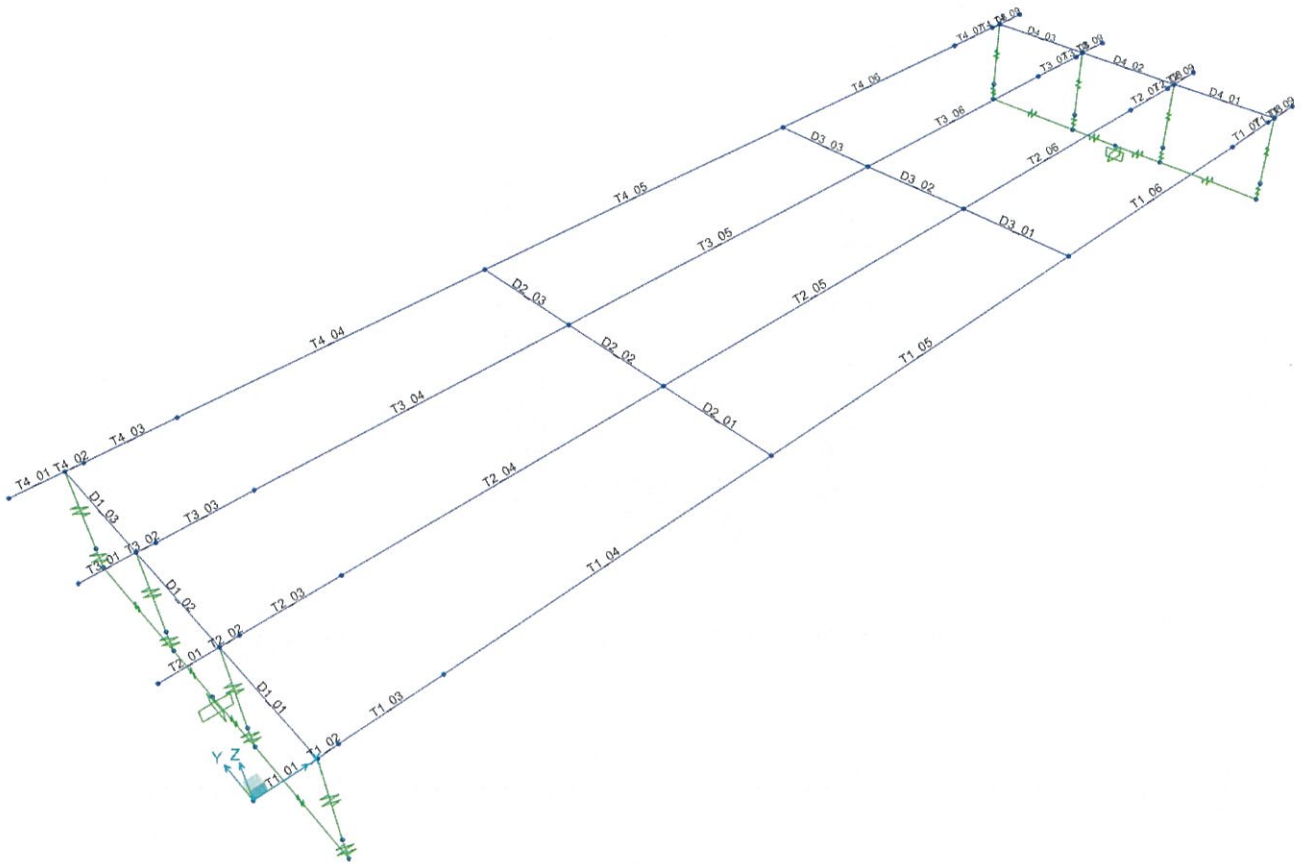


Figura 12 – numerazione delle aste

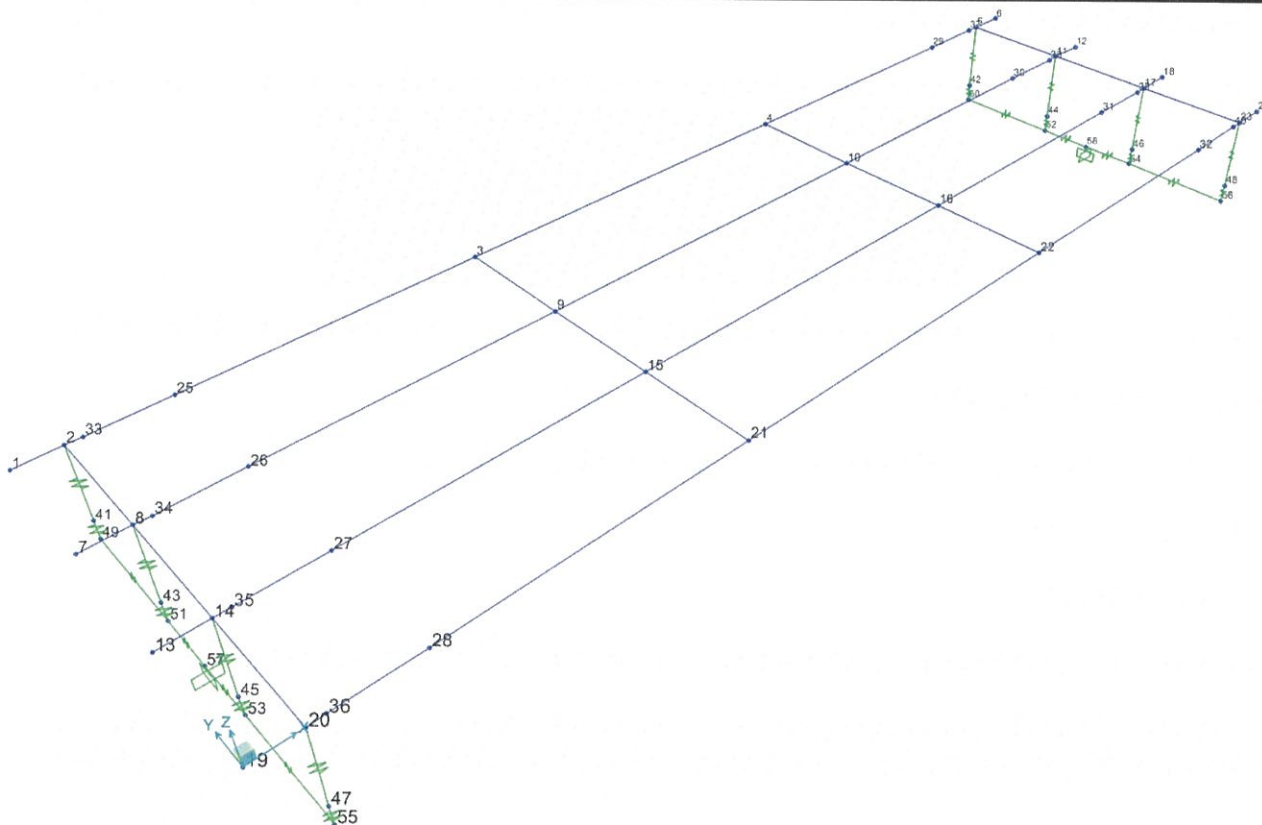


Figura 13 – numerazione dei nodi

## 5.1 Armatura di precompressione

Si descrive lo schema di precompressione, ottenuto con l'impiego di 72 trefoli con diametro  $\varnothing$  pari a 0,6''.

Posizione n°	Area trefolo (cm <sup>2</sup> )	N° trefoli	d (m)
1	1,39	36	0,095
2	1,39	16	0,17
3	1,39	18	0,98
4	1,39	2	2,04

Nella tabella la colonna "d" indica la distanza dei trefoli del livello considerato dal lembo inferiore della trave.

La tensione di tiro è di 1350 MPa.

I limiti tensionali sono ricavati dal paragrafo 4.1.8.1.5 del D.M. 14/01/2008:

$$\sigma_{spi} < 0.90 f_{p(1)k} = 1503 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{spi} < 0.80 f_{ptk} = 1488 \text{ MPa}$$

Il coefficiente di omogeneizzazione è pari al rapporto tra i moduli elastici e vale pertanto 5,35.

Di seguito sono riportate le caratteristiche del cavo risultante, con riferimento a area, momento statico (S), distanza dal lembo superiore della trave (d sup) e l'eccentricità rispetto al baricentro della sezione omogeneizzata (e).

cavo risultante				
	Area	S	d sup	e
	cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m	m
	94,52 cm <sup>2</sup>	0,086	1,696	0,479

La lunghezza di trasferimento della precompressione  $l_{pt}$  è valutata seguendo le indicazioni dell'UNI EN 1992-1-1:2005 (punto 8.10.2.2)

$$l_{pt} = \alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0} / f_{bpt} \quad \text{lunghezza di trasmissione} \quad \text{m} \quad \mathbf{1.10}$$

$$\alpha_1 = \text{rilascio: graduale}=1 \quad \text{improvviso}=1.25 \quad 1.25$$

$$\alpha_2 = \text{barre}=0.25 \quad \text{trefoli}=0.19 \quad 0.19$$

$$\phi = \text{diametro nominale armatura di precompressione} \quad \text{cm} \quad 1.524$$

$$\sigma_{sp,t0} = \text{tensione CR al tempo } t_0 \quad \text{MPa} \quad 1339$$

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t_0) \quad \text{tensione di aderenza uniforme nel cls} \quad \text{MPa} \quad 4.4$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	22 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

$\eta_{p1}$  = fili indentati=2.7 trefoli=3.2 3.2

$\eta_1$  = buona aderenza=1 altrimenti=0.7 1

$f_{ctd}(t_0)$  = resistenza a trazione di progetto all'istante del rilascio MPa 1.38

Il valore di progetto della lunghezza di trasmissione è assunto pari a quello meno favorevole tra:

- $l_{pt1} = 0.8 l_{pt}$  (verifiche locali delle tensioni all'atto del rilascio);
- $l_{pt2} = 1.2 l_{pt}$  (verifiche a taglio allo stato limite ultimo).

## 6 ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Pesi propri

Assumendo un peso del calcestruzzo per unità di volume  $\gamma_{cls}=25$  kN/mc si ha.

a) Peso proprio della trave prefabbricata

Si riporta di seguito lo schema di calcolo della trave, considerando il peso della sezione corrente, nonché di quello dei ringrossi e dei traversi, che globalmente vale 35 KN/ml (per ciascuna trave); si riporta di seguito lo schema statico del calcolo della trave nella condizione di appoggio – appoggio, prima del getto della soletta con i traversi che gravano direttamente su di essi:



Figura 14 – Schema statico trave appoggiata - appoggiata

peso della sezione corrente per metro lineare =  $25.0 \times 1.10 = 27.50$  KN/m:

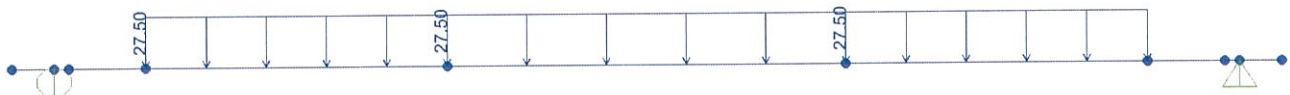


Figura 15 – peso della sezione corrente

peso della sezione di testata metro lineare =  $25.0 \times 2.00 = 50.00$  KN/m:



Figura 16 – peso della sezione di testata

peso della sezione variabile compresa tra la sezione di testata e la sezione corrente:



Figura 17 – peso della sezione variabile

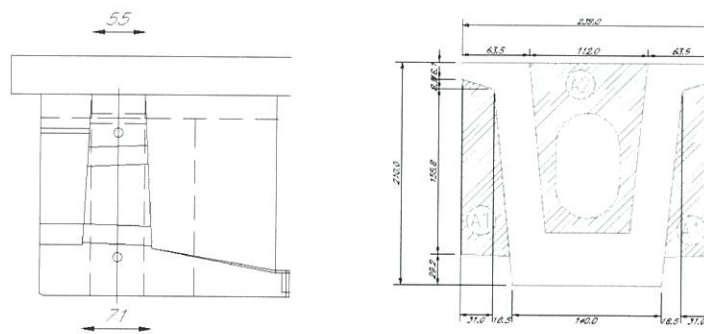
Facendo riferimento alla geometria riportata nelle figure sottostanti, si ricavano i seguenti contributi dei pesi dei trasversi, come forze concentrate:

SEZIONE TRASVERSALE TRAVE  
SEZIONE DI TESTATA

Area cassone = 2.20mq

A1 = 0.605mq

A2 = 1.02mq



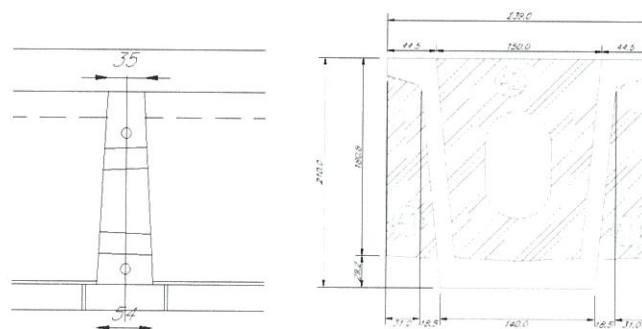
Peso dei trasversi di testata =  $25.0 \times (1.02 + 0.605 + 0.605) \times (0.55 + 0.71) / 2 = 35.00 \text{ KN}$

SEZIONE TRASVERSALE TRAVE  
VERSO TRAVERSO INTERMEDIO

Area cassone = 1.90mq

A1 = 0.605mq

A2 = 1.90mq



Peso dei trasversi centrali =  $25.0 \times (1.90 + 0.605 + 0.605) \times (0.35 + 0.54) / 2 = 35.00 \text{ KN}$





Figura 18 – peso dei traversi

Si riportano di seguito le sollecitazioni del cassone:

- momento in mezzeria: 2016 kNm
- momento a 1.75 m dall'asse appoggi (inizio sezione corrente): 561 kNm
- taglio a 1.75 dall'asse appoggi (inizio sezione corrente): 298 kN
- momento nella sezione di appoggio: -16 kNm
- taglio nella sezione di appoggio: 369 kN

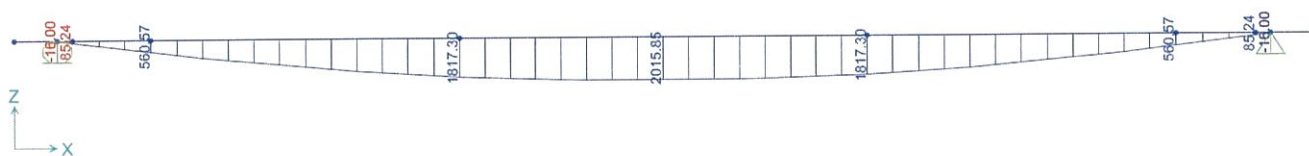


Figura 19 – momento sulla trave



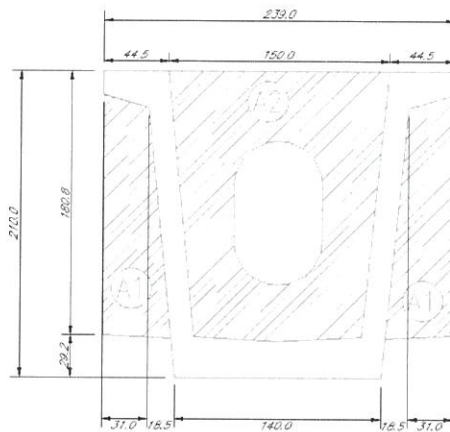
Figura 20 – taglio sulla trave

SEZIONE TRASVERSALE TRAVE  
VERSO TRAVERSO INTERVEDO

Area cassone = 1.10mq

A1 = 0.605mq

A2 = 1.90mq

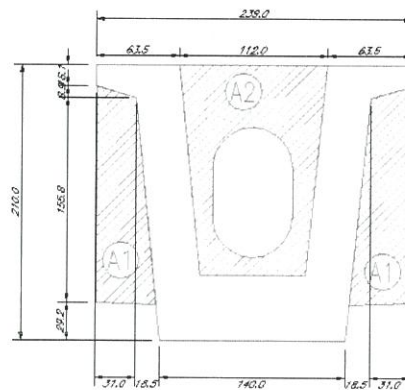


SEZIONE TRASVERSALE TRAVE  
SEZIONE DI TESTATA

Area cassone = 2.20mq

A1 = 0.605mq

A2 = 1.02mq



b) Peso proprio soletta in opera + prédalles

Il getto della soletta dell'impalcato ferroviario sulle prédalles a perdere, avviene dopo aver effettuato la precompressione trasversale dei traversi. Il carico derivante dal getto della soletta opera sul sistema solidarizzato; pertanto il carico globale della soletta di impalcato può ritenersi equamente distribuito sui 4 cassoni. Si segnala che in questa fase non si considerano tutti gli elementi complementari quali i cordoli che verranno realizzati in seconda fase.

Peso proprio della soletta sulle travi:

Il peso proprio della soletta per metro lineare di impalcato, comprensivo delle lastre prefabbricate, è di seguito determinato:

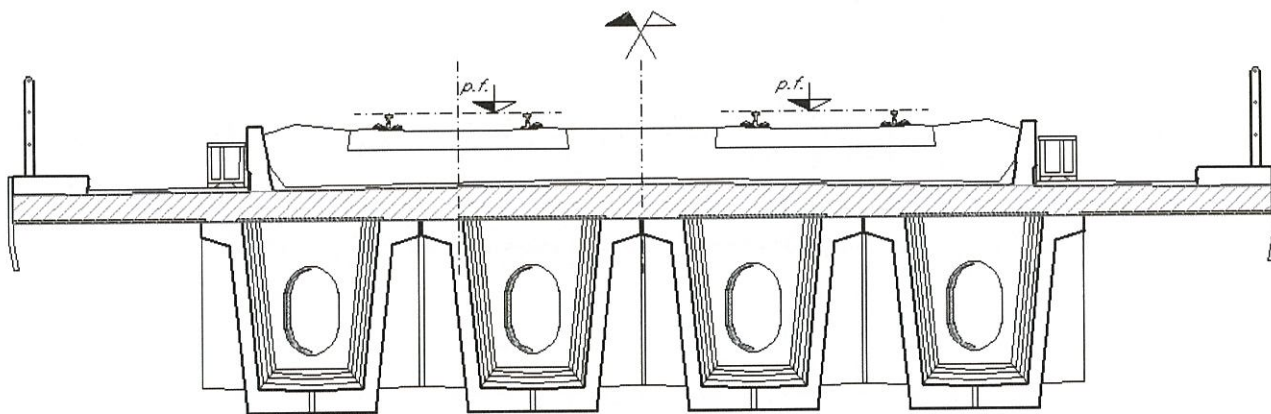


Figura 21 – soletta in cemento armato

La porzione di soletta portata dalle travi ha un'area pari a:

$$A_{\text{soletta}} = 4.90 \text{ m}^2;$$

Il suo contributo per metro lineare di impalcato su ciascun cassone è pari a:

$$p_{\text{soletta}} = 4.90 \times 25.00/4 = 30.62 \text{ KN/m}$$

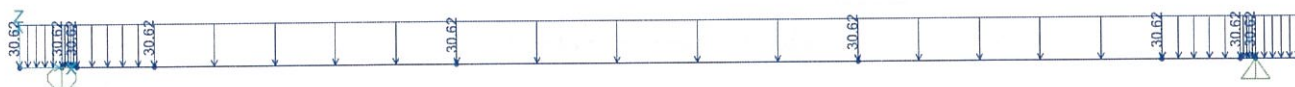
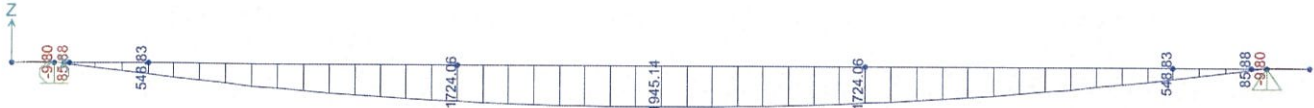


Figura 22: peso soletta sulla trave di bordo

Le sollecitazioni di progetto indotte sui cassoni (esterni ed interni) risultano:

- momento in mezzeria: 1945 kNm
- momento a 1.75 m dall'asse appoggi (inizio sezione corrente): 549 kNm
- taglio a 1.75 dall'asse appoggi (inizio sezione corrente): 293 kN
- momento nella sezione di appoggio: -91 kNm
- taglio nella sezione di appoggio: 346 kN



**Figura 23: momento sulla trave**



**Figura 24: taglio sulla trave**

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	29 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

## 6.2 Carichi permanenti portati

Nella tabella seguente sono riportati i carichi permanenti portati dalle travi laterali:

Cordoli	$p_{cor} = 25.0 \times (0.17) =$	4.25 KN/m
Muretti parballast	$p_{mpa} = 25.0 \times (0.16) =$	4.00 KN/m
veletta	$p_{pca} =$	1.5 KN/m
Canaletta per impianti	$p_{can} =$	3.00 KN/m
Massetto	$p_{imp} = (1.73+1.65) \times 0.05 \times 25 =$	4.30 KN/m
Barriere antirumore	$p_{bant} =$	15.00 KN/m

(\*) si considera un carico per ciascuna barriera di 15KN/ml, con altezza di 4,44 m rispetto al piano del ferro.

Nella tabella seguente sono riportati i carichi permanenti portati dalle travi centrali:

Massetto	$p_{imp} = 2.40 \times 0.05 \times 25 =$	3.00 KN/m
----------	--	-----------

### RIPARTIZIONE DEI CARICHI PERMANENTI PORTATI

	Bar antirumore	Can portacavi	Mur parballast	cordolo	massetto	veletta	Tot
carico dist.	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
Trav_lat sx	15.00	3.00	4.00	4.25	4.30	1.50	<b>32.10</b>
Trav_cent sx	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	<b>3.00</b>
Trav_cent dx	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	<b>3.00</b>
Trav_lat dx	15.00	3.00	4.00	4.25	4.30	1.50	<b>32.10</b>
mom torc.	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m
Trav_lat sx	45.90	2.76	2.50	12.00	4.80	4.90	<b>73.00</b>
Trav_cent sx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Trav_cent dx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Trav_lat dx	45.90	2.76	2.50	12.00	4.80	4.90	<b>73.00</b>

Vengono riportate di seguito le schematizzazioni dei carichi con le relative sollecitazioni:

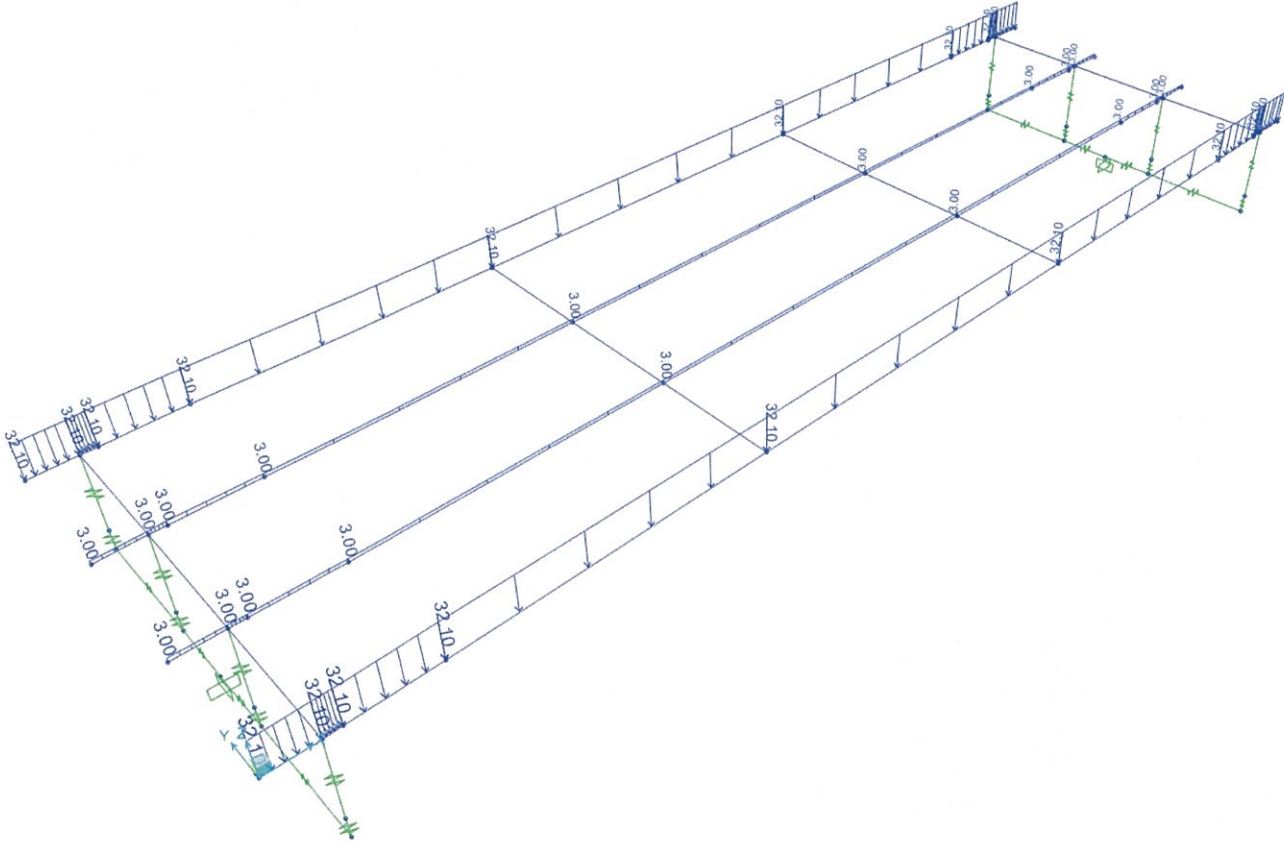


Figura 25 – carichi permanenti portati

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	31 di 123

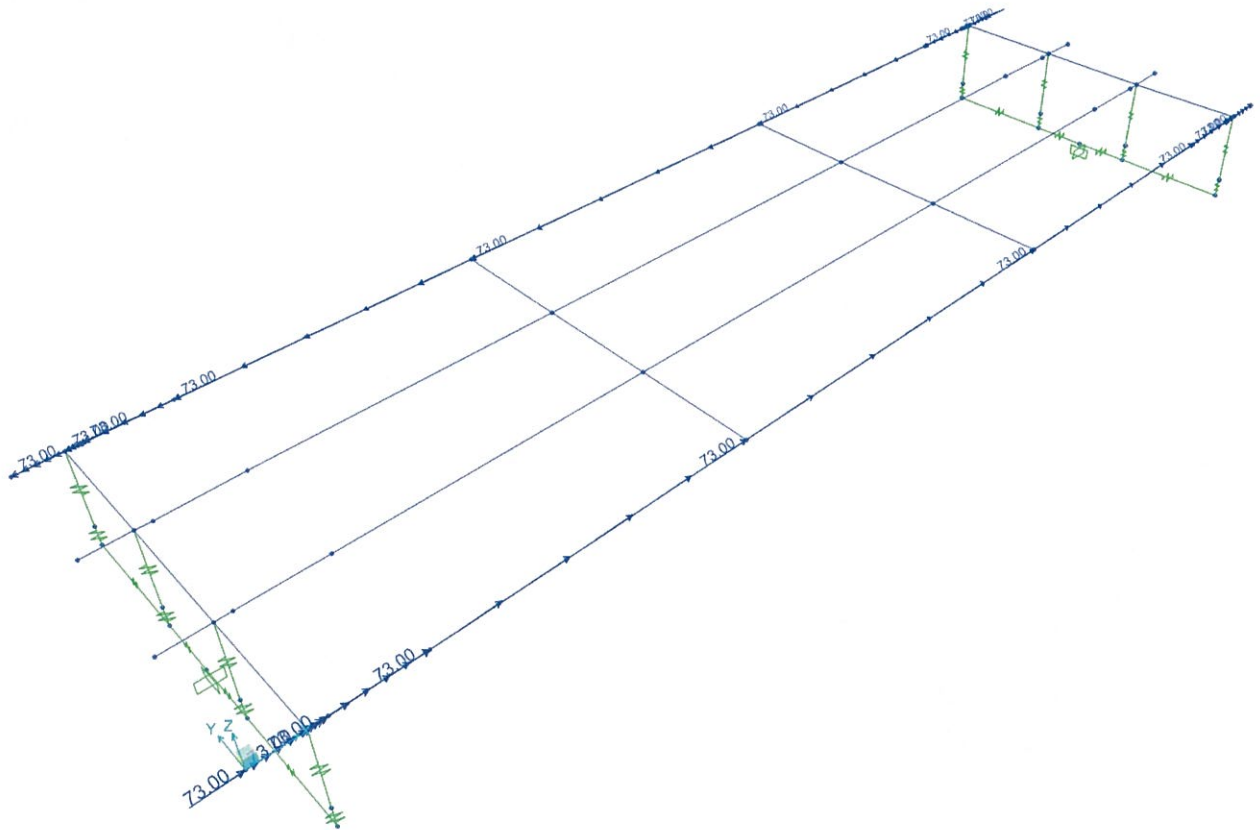


Figura 26 – momento torcente carichi permanenti portati

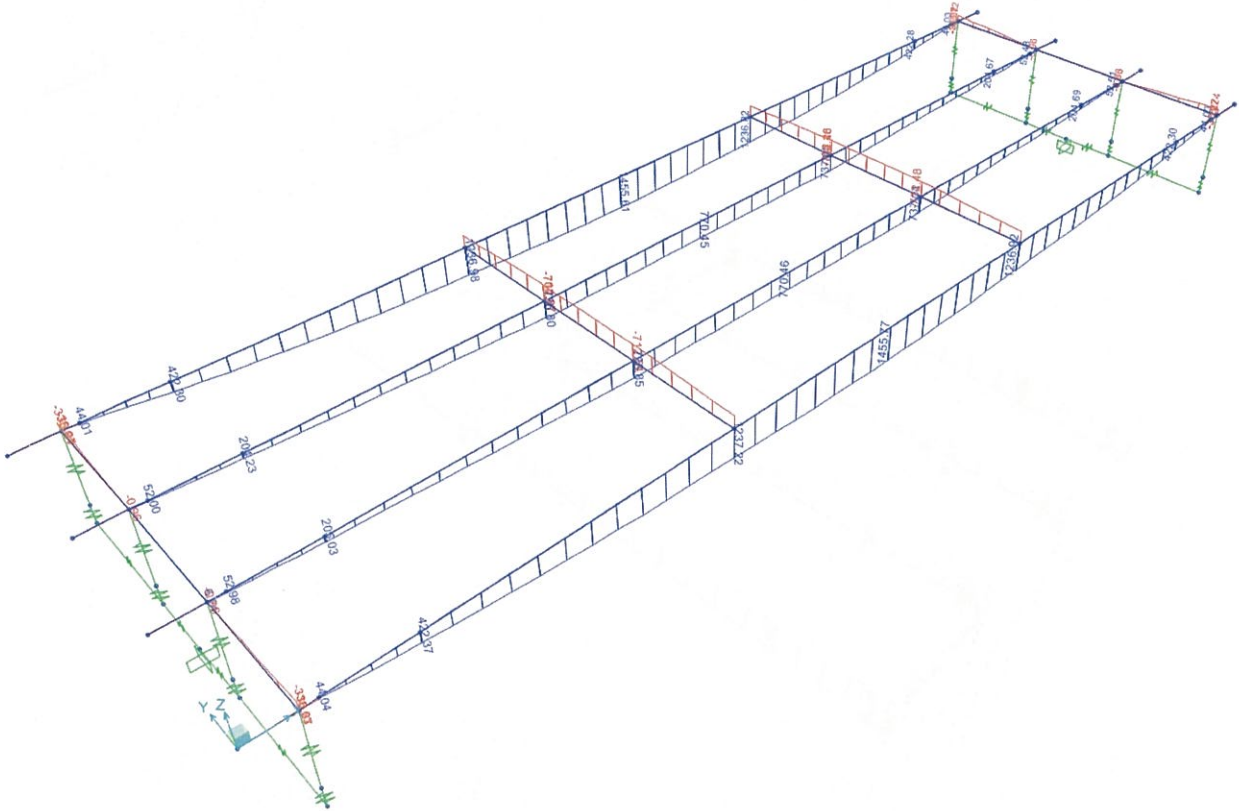


Figura 27 – momento flettente permanenti portati



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	33 di 123

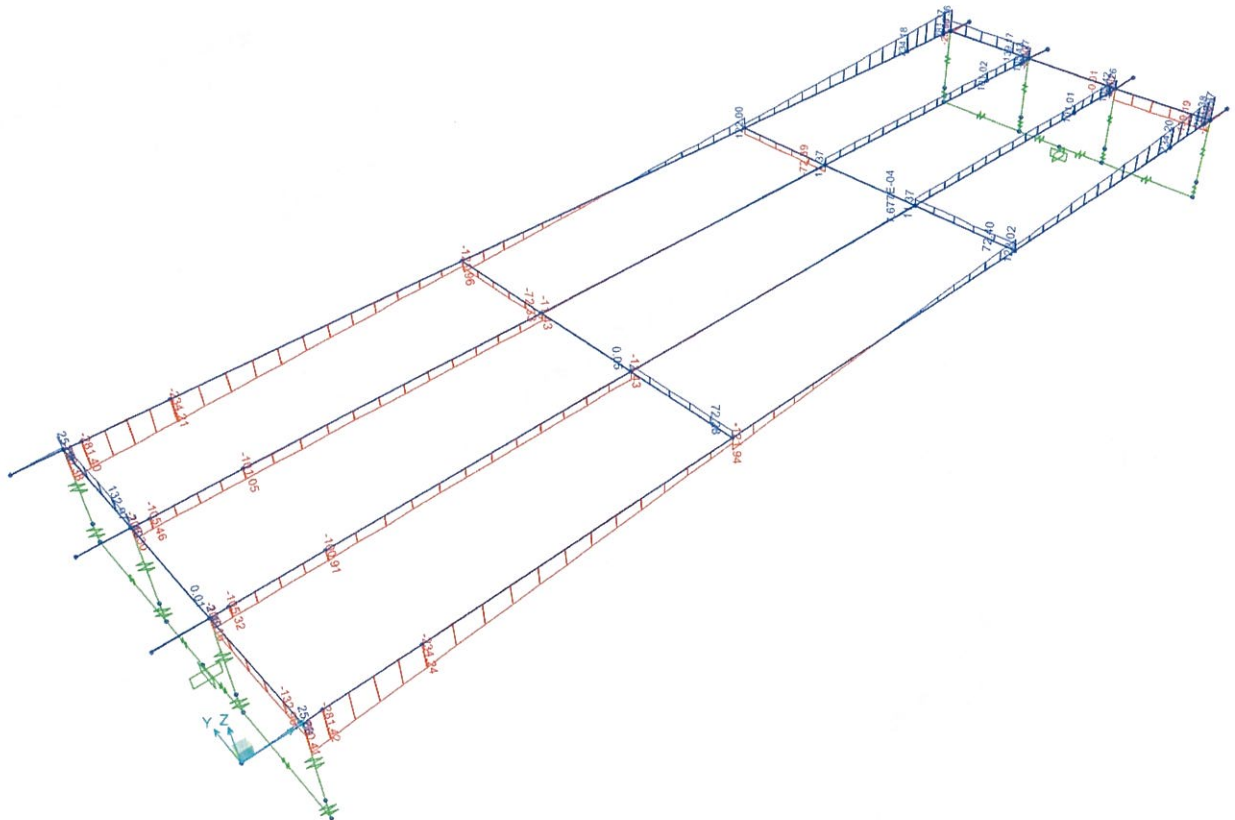


Figura 28 – taglio permanenti portati

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	34 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

### 6.3 Ballast

Nella tabella seguente è riportato il carico del ballast portato dalle travi laterali:

$$\text{Massicciata +armam+imperm} \quad p_{b,ret} = (8.60 \times 0.8 \times 18.0)/4 = 31.00 \text{ KN/m}$$

Nella tabella seguente è riportato il carico del ballast portato dalle travi centrali:

$$\text{Massicciata +armam+imperm} \quad p_{b,ret} = (8.60 \times 0.8 \times 18.0)/4 = 31.00 \text{ KN/m}$$

#### RIPARTIZIONE DEI CARICHI PERMANENTI PORTATI

	Peso mas+arm+i mp.
<b>carico dist.</b>	<b>kN/m</b>
Trav_lat sx	31.00
Trav_cent sx	31.00
Trav_cent dx	31.00
Trav_lat dx	31.00
<b>mom torc.</b>	<b>kNm/m</b>
Trav_lat sx	0.00
Trav_cent sx	0.00
Trav_cent dx	0.00
Trav_lat dx	0.00

Vengono riportate di seguito le schematizzazioni dei carichi con le relative sollecitazioni:

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	35 di 123

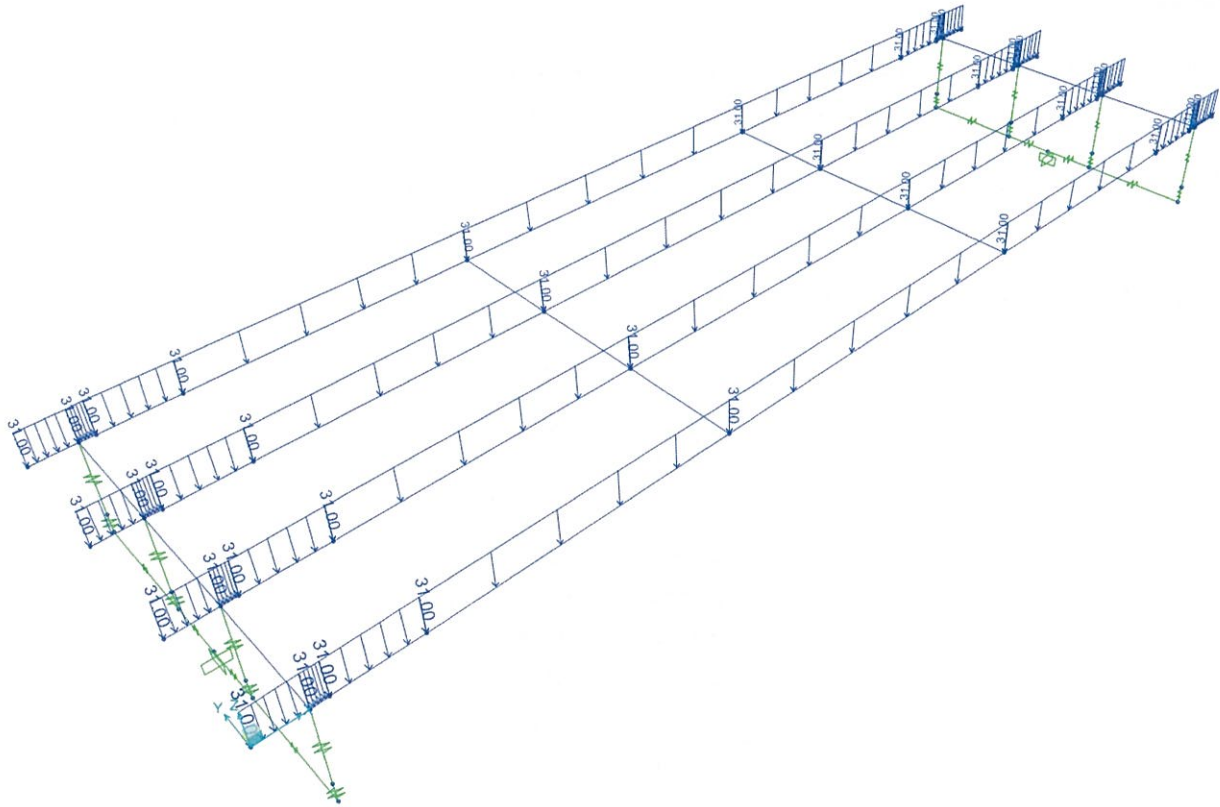


Figura 29 – carico ballast

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	36 di 123

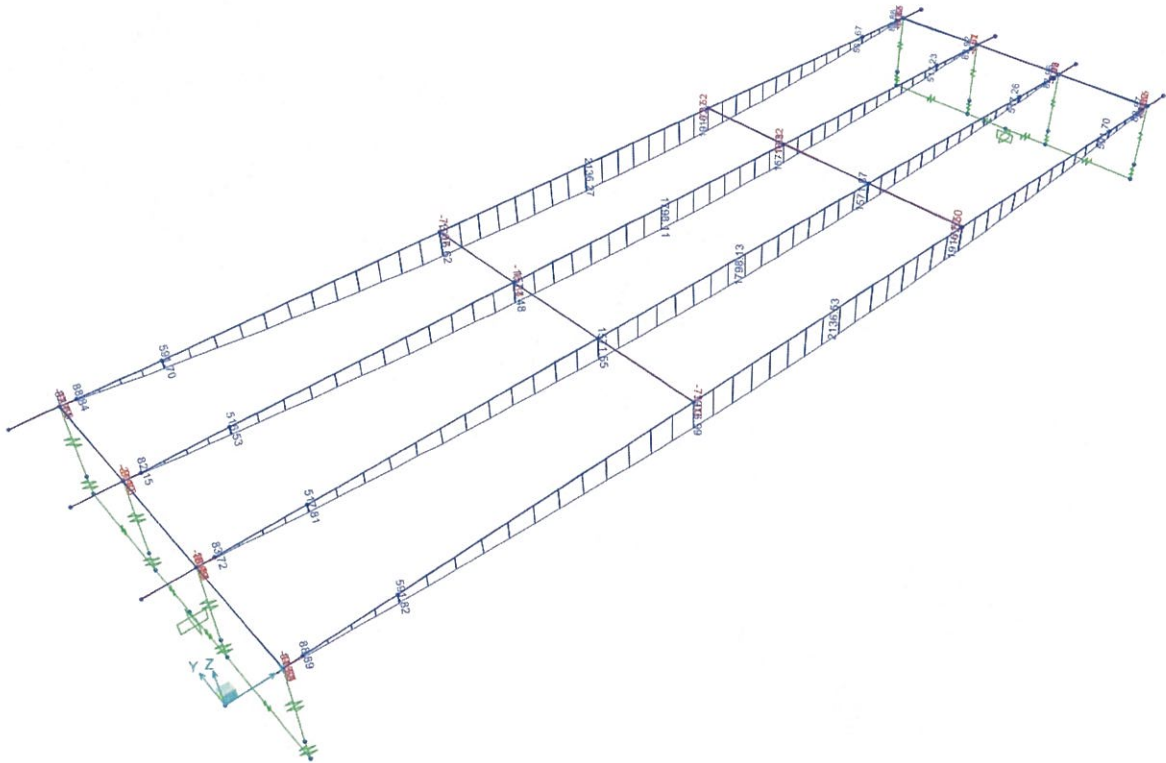


Figura 30 – momento flettente carico ballast

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	37 di 123

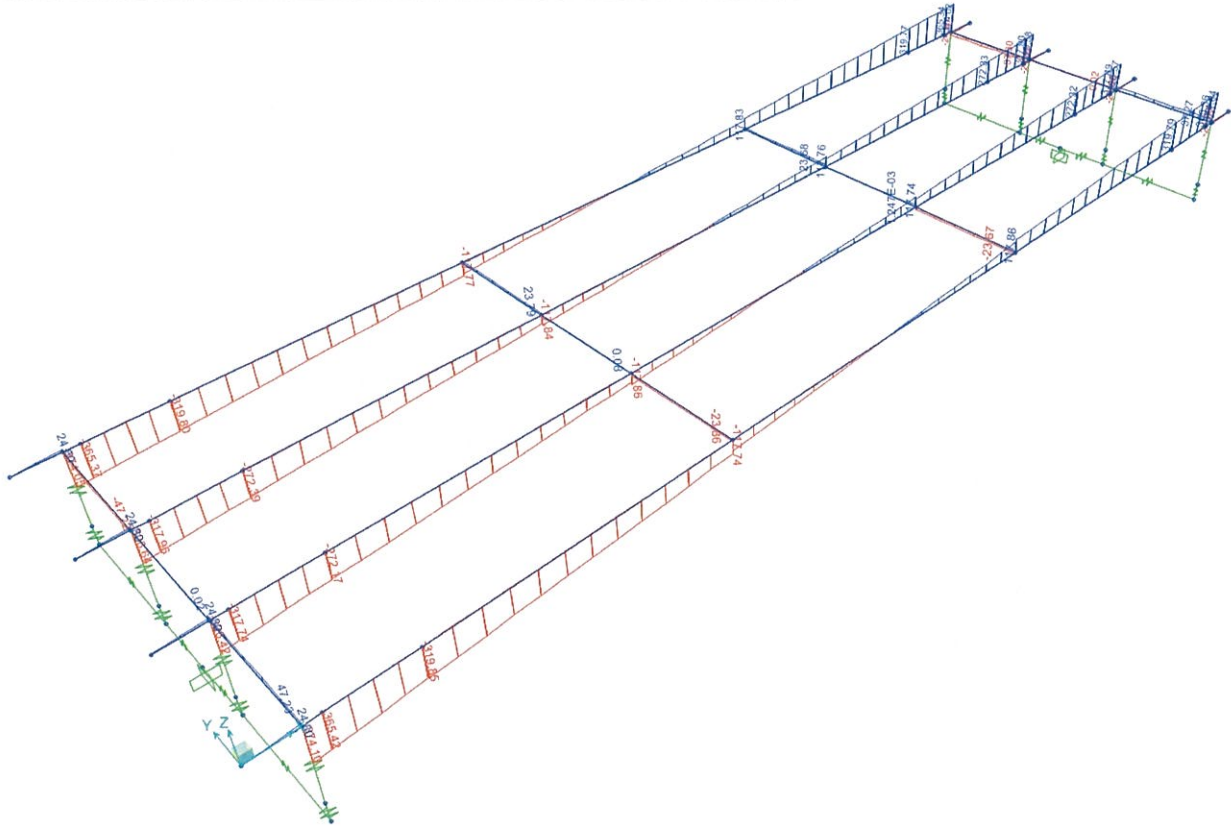


Figura 31 – taglio carico ballast

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:</p> <p>Lotto 1: Ripalta - Lesina</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
	<p>IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>L100</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0100 001</p>	<p>REV</p> <p>A</p>

## 6.4 carichi accidentali

I carichi in esame operano successivamente alla solidarizzazione trasversale dell'impalcato.

Così come evidenziato in fase di progetto definitivo risulta che le sollecitazioni indotte dai treni reali amplificate dai rispettivi coefficienti dinamici  $\phi$  reali, risultano sensibilmente inferiori alle sollecitazioni indotte dai treni di progetto, amplificate dal coefficiente dinamico di progetto  $\phi_3$ . Pertanto si opererà con quest'ultimo approccio.

### 6.4.1 Effetti dinamici

Secondo quanto riportato al paragrafo 1.4.2.5.2 della *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*, che riprende il par. 5.2.2.3.3 del DM 14.1.2008, il coefficiente dinamico adottato è

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.73 = 1.204$$

essendo  $L_\phi = 22.6$  m, come indicato nella tabella 1.4.2.5.3-1 per il caso 5.1: Travi e solette semplicemente appoggiate  $L_\phi =$  luce nella direzione delle travi principali.

### 6.4.2 Carichi verticali

Le azioni variabili verticali sono state definite in accordo con il par. 1.4.1. della *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*.

#### Eccentricità dei carichi accidentali

L'applicazione dei carichi accidentali sugli elementi strutturali dell'impalcato dipende trasversalmente dalle eccentricità di questi rispetto all'asse dell'impalcato. Le eccentricità dei carichi possono essere di diverso tipo:

- eccentricità dovuta al tracciato: distanza asse tracciato-asse impalcato;
- eccentricità dovuta al sopralzo;
- eccentricità propria del modello carico.

Nel caso in esame si è tenuto conto della sola eccentricità propria del modello di carico, avendo potuto trascurare l'eccentricità dovuta al tracciato e al sopralzo.

Il solo modello di carico LM71 ha un'eccentricità pari a  $e_3 = 143.5/18 = 7.97$  cm  $\cong$  8.0 cm (da considerare nella direzione più sfavorevole), essendo 143.5 cm l'asse interno dell'armamento.-

Pertanto, sull'asse in cui circola il treno SW/2 non si considera alcuna eccentricità, mentre sull'asse in cui circola il treno LM71 si considera un'eccentricità pari a 8.00cm verso l'asse dove circola l'SW/2 per avere la condizione più sfavorevole ai fini delle verifiche sui cassoni.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	39 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

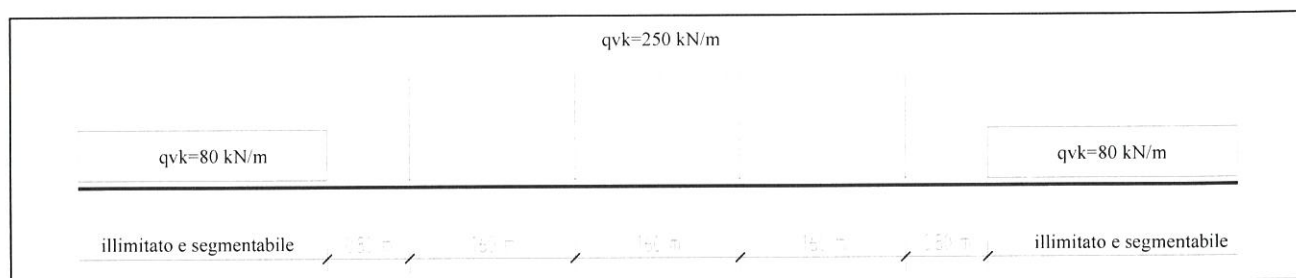
#### 6.4.2.1 Treno LM71

- Distribuzione longitudinale dei carichi assiali  $Q_{vk}$

$$q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$$

$$Q_{vk} = 250 \text{ kN}$$

$$\alpha = 1.1 \text{ (coefficiente di adattamento)}$$



**Figura 32 – Treno di carico LM71**

Per massimizzare gli effetti sono previste 4 distribuzioni con i carichi concentrati posizionati in corrispondenza della mezzeria, in asse al traverso intermedio ed a ridosso del traverso di testata e ad 1.75 dall'asse dell'appoggio.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	40 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

#### 6.4.2.2 Treno SW / 2

- Distribuzione longitudinale dei carichi

$$q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1.0 \text{ (coefficiente di adattamento)}$$

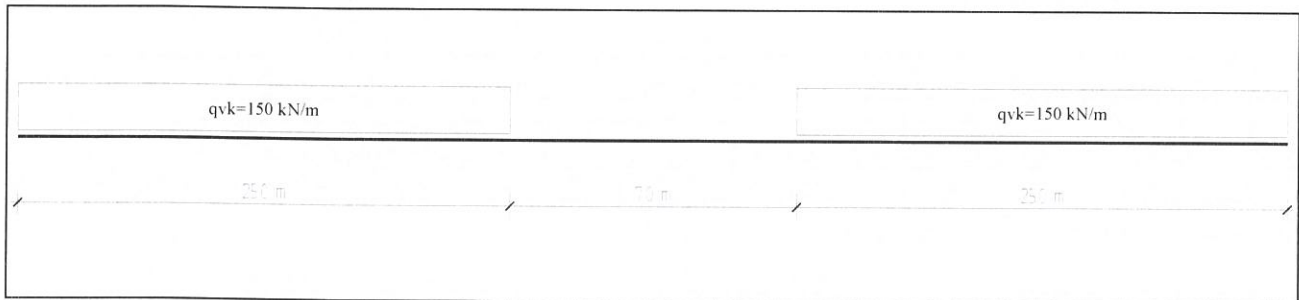


Figura 33 – Treno di carico SW/2

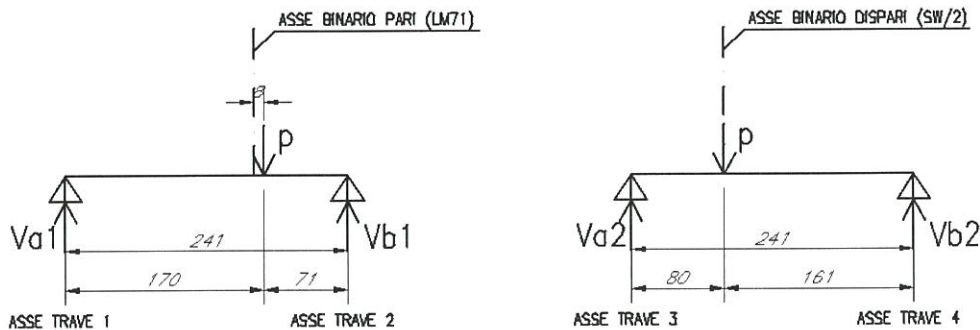


### 6.4.2.3 Distribuzione dei carichi da traffico

Il modello di calcolo utilizzato è implementato nel programma di analisi strutturale agli elementi finiti Sap2000®; tale codice di calcolo, tramite l'utility Moving Load Case, permette di costruire le linee di influenza relative alle distinte sollecitazioni per ciascun punto della struttura (inteso come ciascuna delle stazioni di output definite nell'ambito della descrizione del modello di calcolo), procedendo automaticamente nell'individuazione delle disposizioni longitudinali del carico mobile.

Nel viadotto in esame lo schema di calcolo adottato ed implementato nel codice di calcolo Sap2000 è quello a graticcio (sistema di travi e trasversi). Tale modellazione spaziale del viadotto porta a dover effettuare un ragionamento riguardo al ruolo che giocano le rigidità delle travi per ovviare al fatto che la linea di carico definita nel modello deve essere legata ad elementi frame. Tali elementi che rappresentano le travi sono disposti in una posizione spaziale diversa rispetto alle linee di carico definite dalla normativa e ciò comporta l'impossibilità di applicare le linee di carico così come definite dalla normativa.

Si è dovuto pertanto tener conto della ripartizione di ciascun carico sulle travi, studiando ciascuna porzione di soletta compresa tra due travi successive, con schema statico appoggio – appoggio, definendo così i coefficienti di ripartizione su ciascuna trave:



I carichi da traffico sono stati introdotti considerando come condizione più gravosa quella che prevede la contemporaneità dei treni LM71 e SW/2 (traffico pesante). La ripartizione del modello di carico sulle due travi del modello avviene secondo la schematizzazione di trave appoggiata riportata nella figura sopra:

#### distribuzione del carico LM71:

Impalcato in rettilineo:  $e_3$  (modello di carico LM71 sul binario di sinistra e SW/2 su quello di destra)

Reazioni di trave appoggiata	L=	241.0 cm
Trave SX	$d_A$ =	170.0 cm
	$d_B$ =	71.0 cm
1) $R_A + R_B = P$		
2) $R_B \times L = P \times d_A$		
	$R_B = P \times \frac{d_A}{L}$	$P \times 0.70$
	$R_A = P - R_B$	$P \times 0.30$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	42 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Valori effettivi

$$p = 105.95 \text{ KN/m}$$

$$P_{conc} = 331.10 \text{ KN}$$

$$R_B = 74.17 \text{ KN/m}$$

$$R_B = 231.77 \text{ KN}$$

$$R_A = 31.78 \text{ KN/m}$$

$$R_A = 99.33 \text{ KN}$$

distribuzione del carico SW/2:

Reazioni di trave appoggiata

Trave DX

$$L = 241.0 \text{ cm}$$

$$d_A = 80 \text{ cm}$$

$$d_B = 161.0 \text{ cm}$$

1)  $R_A + R_B = P$

2)  $R_B \times L = P \times d_A$

$$R_B = P \times \frac{d_A}{L} = P \times 0.33$$

$$R_A = P - R_B = P \times 0.67$$

Valori effettivi

$$p = 180.6 \text{ KN/m}$$

$$P_{conc} = 0.00 \text{ KN}$$

$$R_B = 59.60 \text{ KN/m}$$

$$R_B = 0.00 \text{ KN}$$

$$R_A = 121.00 \text{ KN/m}$$

$$R_A = 0.00 \text{ KN}$$

Con questo procedimento, è possibile assegnare le linee di carico a ciascuna frame rappresentativo delle travi:

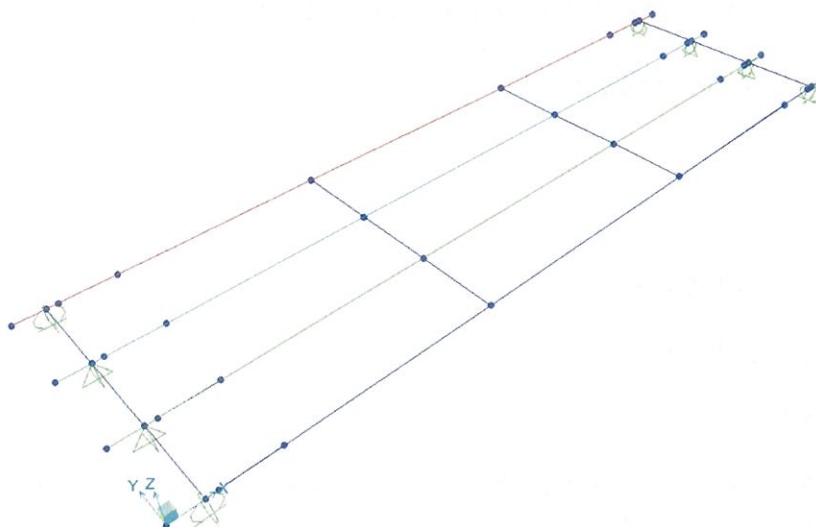


Figura 34 – Lanes assegnati ai telai travi per carichi modello

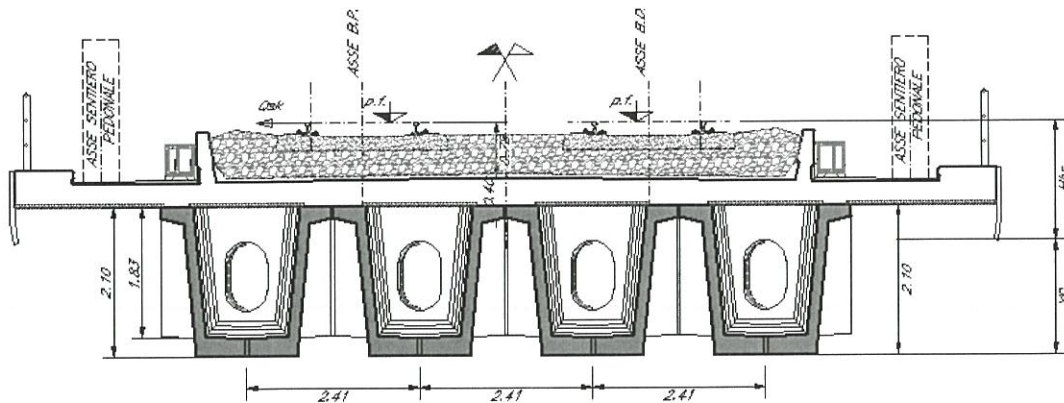
#### 6.4.2.4 Serpeggio

L'azione laterale associata al serpeggio è definita al par. 1.4.3.2 della *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*, che riprende il par. 5.2.2.4.2 del DM 14.1.2008, ed equivale ad una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario, del valore di 100 kN.

L'azione orizzontale in esame è stata considerata ai soli fini del calcolo delle azioni sugli apparecchi di appoggio.

Carichi agenti sulle travi.

L'azione del serpeggio viene riportata nel modello di analisi nel baricentro delle travi (sezione omogeneizzata, condizioni di breve termine), come forza orizzontale e coppia concentrata. La forza orizzontale, diretta verso l'esterno, viene ripartita in parti uguali sulle quattro travi, la coppia concentrata invece viene assegnata alle due travi interessate dalla sollecitazione, sotto forma di forze verticali, determinate da un meccanismo di tira e spingi.



Quindi, considerando un solo binario caricato:

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

$$H_{br} = 1.68 \text{ m}$$

$$M = Q_{sk} \times H_{br} = 100 \times 1.68 = 168.00 \text{ KNm}$$

$$R_{iv} = -R_{jv} = M/2.60 = 168.0 / 2.41 = 69.70 \text{ KN}$$

$$R_{io} = R_{jo} = Q_{sk}/2 = 50.00 \text{ KN}$$

Il tira e spingi fornito dalle reazioni  $R_{iv}$ , viene applicato come carico uniformemente distribuito longitudinalmente su una lunghezza di 2.00m, pertanto si ha:

treno LM71:



LINEA PESCARA – BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:  
Lotto 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	44 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

$$r_{iv} = -r_{jv} = (M/2.41) * \alpha / 2.00 = (168.0 / 2.41) * 1.10 / 2.00 = 38.35 \text{ KN/m}$$

treno SW/2:

$$r_{iv} = -r_{jv} = (M/2.41) * \alpha / 2.00 = (168.0 / 2.41) * 1.00 / 2.00 = 34.85 \text{ KN/m}$$



LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:

Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO DEFINITIVO

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	45 di 123

#### 6.4.2.5 Forza centrifuga

Nel caso in esame la forza centrifuga non viene tenuta in considerazione, in quanto, l'eccentricità propria del modello di carico è superiore ad essa.

#### 6.4.2.6 Effetti aerodinamici associati al passaggio dei treni

Gli effetti aerodinamici associati al passaggio dei treni sono analoghi a quelli del vento (carichi equivalenti statici sulle barriere anti-rumore). L'intensità della pressione da considerare viene determinata secondo quanto indicato nel punto 1.4.6. delle Istruzioni, che riportano la figura 5.2.8 del DM 14 gennaio 2008. Nel caso in esame la distanza delle barriere dai binari è pari a 4,65 m, e per una velocità di linea pari a 160km/h, si ottiene:

$$q_{1k} = \pm 0.19 \text{ kN/m}^2$$

Poiché la barriera ha un'altezza dal piano del ferro di 4,44 m e la distanza del piano del ferro dalla sommità del cordolo su cui è ancorata la barriera è pari a 0,66 m, le sollecitazioni relative agli effetti aerodinamici risultano:

$$F_{wk} = 0.19 \text{ kN/m}^2 \cdot (4,44 \text{ m} + 0,66 \text{ m}) = 0.19 \text{ kN/m}^2 \cdot 5.10 \text{ m} = 0,97 \text{ kN/m}$$

Il momento valutato rispetto al baricentro della soletta vale:

$$M = 0,97 \text{ kN/m} \cdot 2.9 \text{ m} = 2.82 \text{ kNm/m}$$

## 6.5 Vento

Il calcolo dell'azione del vento è stato condotto secondo quanto riportato al par. 3.3 del DM 2008 e si riportano di seguito i principali parametri di calcolo:

### CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO

#### 4) Sicilia e provincia di Reggio Calabria

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
4	28	500	0.02
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			115
$T_R$ (Tempo di ritorno)			112.5
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])			28.000
$\alpha_R(T_R)$			1.04562
$v_b(T_R) = v_b \times \alpha_R$ [m/s]			29.277

$p$  (pressione del vento [N/mq]) =  $q_b C_e C_p C_d$   
 $q_b$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])  
 $C_e$  (coefficiente di esposizione)  
 $C_p$  (coefficiente di forma)  
 $C_d$  (coefficiente dinamico)



#### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	456.29
--------------	--------

#### Coefficiente di forma

È il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

#### Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	48 di 123

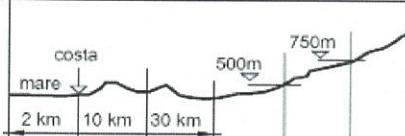
RELAZIONE DI CALCOLO

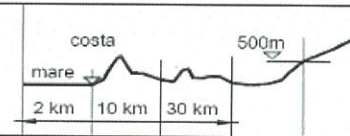
Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

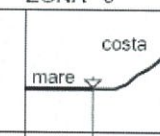
C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

Categoria di esposizione

ZONE	1,2,3,4,5
	
A	-- IV IV V V V
B	-- III III IV IV IV
C	-- * III III IV IV
D	I II II II III **
	* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5
	** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1

ZONA	6
	
A	-- III IV V V
B	-- II III IV IV
C	-- II III III IV
D	I I II II III

ZONE	7,8
	
A	-- -- IV
B	-- -- IV
C	-- -- III
D	I II *
	* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7

ZONA	9
	
A	-- I
B	-- I
C	-- I
D	I I

Zona	Classe di rugosità	a <sub>s</sub> [m]
3	C	0

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

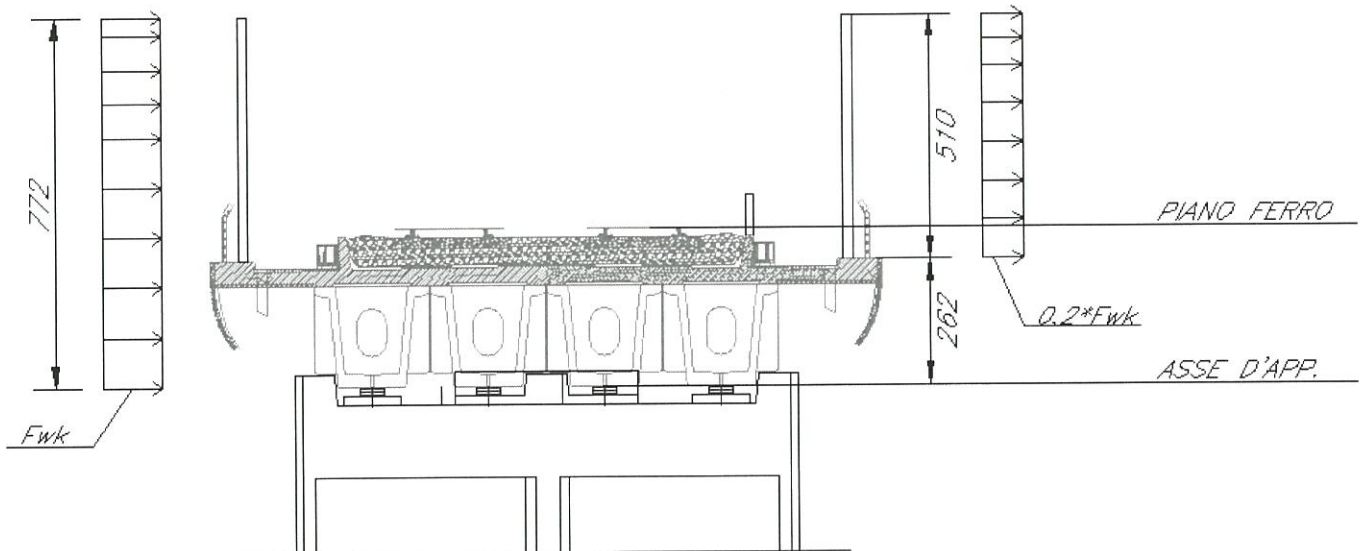
Cat. Esposiz.	k <sub>r</sub>	z <sub>0</sub> [m]	z <sub>min</sub> [m]	c <sub>t</sub>
II	0.19	0.05	4	1

La pressione cinetica di riferimento è pari a:

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 456.29 \text{ N/m}^2$$

Con riferimento alla seguente figura si calcola la pressione del vento alle tre diverse quote della superficie totale investita dal vento; in particolare si approssima l'andamento della curva logaritmica ad una curva ad andamento bilineare avente un valore minimo, uno intermedio e uno massimo. Dal calcolo dei tre valori di pressione si ricava successivamente una pressione media agente sull'intera superficie:





### Calcolo di $q_v$

$$c_e = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + \ln(z/z_0)] = 2,53 \quad (\text{classe di rugosità C, cat. di esposizione II})$$

dove:

$$\begin{cases} k_r = 0,19 \\ c_t = 1,0 \\ z = 8,68 - 3,28 + 3,86 + 3,86 = 13,12 \text{ m} \\ z_0 = 0,05 \text{ m} \end{cases}$$

$$c_p = 1,4 \text{ (secondo quanto riportato al §3.3.10.4.1, per } \phi=1)$$

$$q_v = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 456,29 \cdot 2,53 \cdot 1,4 \cdot 1 \approx 1,61 \text{ kN/m}^2$$

Sul lato direttamente esposto all'azione del vento si ha pertanto:

$$F_{wk} = 1,61 \text{ kN/m}^2 \cdot (5,10 \text{ m} + 2,62 \text{ m}) = 1,61 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,72 \text{ m} = 12,43 \text{ kN/m}$$

Tale forza agisce interamente in corrispondenza della trave direttamente esposta all'azione del vento rimanenti travi.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	50 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Il momento valutato rispetto al baricentro dell'impalcato vale:

$$M = 12.5 \text{ kN/m} \cdot (3.86 - y_G) = 12.43 \cdot 2.26 \text{ m} = 28.1 \text{ kNm/m}$$

Sull'altro lato, a seguito dell'azione agente sulla sola barriera antirumore il valore è pari allo 0.2 di  $F_{wk}$  come riportato in normativa:

$$F_{wk} = 0.2 \cdot 1.61 \text{ kN/m}^2 \cdot 5.10 \text{ m} = 1.64 \text{ kN/m}$$

Il momento valutato rispetto al baricentro dell'impalcato vale:

$$M = 1.64 \text{ kN/m}^2 \cdot (5.10/2 + 0.5 + 2.1 - y_G) = 1.64 \cdot 3.57 = 5.86 \text{ kNm/m}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:</b> Lotto 1: Ripalta - Lesina <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>L100</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 09CL	DOCUMENTO VI0100 001	REV. A

## 6.6 Carichi sui marciapiedi

Il carico sui marciapiedi è definito in accordo a quanto precisato al par. 1.4.1.6 della *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*.

$$q_{vk} = 10.0 \text{ kN/m}^2$$

Per questo tipo di carico, che non deve considerarsi contemporaneo al transito dei convogli ferroviari, non deve applicarsi l'incremento dinamico.

Essendo la larghezza del marciapiede pari a 1.30m si ha un carico verticale di:

$$10 \cdot 1.3 = 13 \text{ kN/m}$$

Sulle travi esterne, viene esercitato un momento dovuto al carico sul marciapiede pari a:

$$13 \cdot b = 13 \cdot 1.77 = 23.00 \text{ kNm/m}$$

## 6.7 Deragliamento

Il deragliamento è un'azione derivante dall'esercizio ferroviario che deve essere considerata quale azione eccezionale, secondo quanto indicato al par. 1.5 della *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*.

- Caso 1

Si devono considerare due carichi verticali lineari  $q_{A1d} = 60 \text{ kN/m}$  ciascuno, posizionati longitudinalmente su una lunghezza di 6,40 m, ad una distanza trasversale pari allo scartamento S. Il carico più eccentrico tra i due deve essere posto ad una distanza massima di 1,5S dall'asse dei binari.

- Caso 2

Si deve considerare un unico carico lineare  $q_{A2d} = 80 \times 1.4 \text{ kN/m}$  esteso per 20 m e disposto con una eccentricità massima, lato esterno, di 1,5 S rispetto all'asse del binario.

Nel caso in esame la forza del deragliamento non è stata considerata ai fini del dimensionamento in quanto con la geometria in esame non può pregiudicare la stabilità globale dell'opera.

## 6.8 Azioni sismiche

L'azione sismica risulta non essere dimensionante per l'impalcato. Pertanto verrà trattata in modo dettagliato nella relazione di calcolo inerente le sottostrutture.

## 6.9 Effetti di interazione statica treno – binario - struttura

Con riferimento alla valutazione degli effetti di Interazione Statica Treno-Binario-Struttura si rimanda ai documenti di calcolo delle opere specifiche in cui l'impalcato in esame viene adottato.

## 6.10 Avviamento e frenatura

L'azione di frenatura ed avviamento dei treni è definita secondo quanto riportato nel par. 1.4.3.3 della *Specificazione per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*.

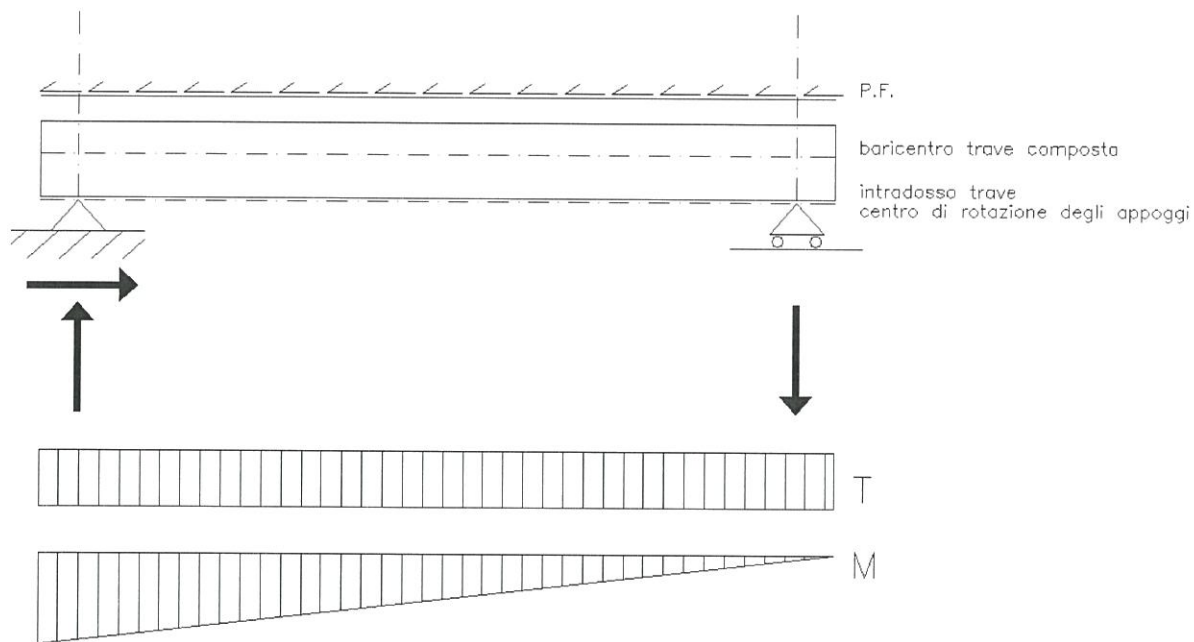


Figura 35 – Sollecitazioni indotte da frenatura e avviamento dei treni

- Treno SW/2 in frenatura :

$$Q_{1,k} = 35 \text{ kN/m} \cdot 25 \text{ m} = 875 \text{ kN}$$

$$F_{o(\text{fisso})} = 875 \text{ kN}$$

$$F_{v(\text{fisso})} = F_{v(\text{mobile})} = 875 \text{ kN} \cdot 3.38 \text{ m} / 22.60 \text{ m} = 131 \text{ kN}$$

$$V = 131 \text{ kN}$$

$$M = 875 \text{ kN} \cdot (1.35 \text{ m} + 0.1 \text{ m}) = \pm 1269 \text{ kNm}$$

Il momento è valutato come effetto flettente applicato nel baricentro della trave composta, che dista 1,35 m dall'intradosso della trave, a cui si aggiungono 0,10 m fino all'asse di rotazione degli appoggi.

- Treno LM71 in avviamento :

$$Q_{l,k} = 33 \text{ kN/m} \cdot 25 \text{ m} = 825 \text{ kN}$$

$$F_{o(\text{fisso})} = 825 \text{ kN}$$

$$F_{v(\text{fisso})} = F_{v(\text{mobile})} = 825 \text{ kN} \cdot 3.38 \text{ m} / 22.60 \text{ m} = 123 \text{ kN}$$

$$V = 123 \text{ kN}$$

$$M = 825 \text{ kN} \cdot (1.35 \text{ m} + 0.1 \text{ m}) = \pm 1196 \text{ kNm}$$

Il momento è valutato come effetto flettente applicato nel baricentro della trave composta, che dista 1,35 m dall'intradosso della trave, a cui si aggiungono 0,10 m fino all'asse di rotazione degli appoggi.

Momento complessivo sull'impalcato dovuto alla frenatura e all'avviamento in mezzeria:

$$\text{a) } M_{SW2} \text{ in frenatura: } 1269 \text{ kNm/2} = 634.5 \text{ kNm}$$

$$\text{b) } M_{LM71} \text{ in avviamento: } 1196 \text{ kNm/2} = 598 \text{ kNm}$$

Su ogni trave, considerando una ripartizione uniforme, si ha:

$$\text{a) } M_{SW2} \text{ in frenatura} = 158.625 \text{ kNm}$$

$$\text{b) } M_{LM71} \text{ in avviamento} = 149.500 \text{ kNm}$$

Momento complessivo sull'impalcato dovuto alla frenatura e all'avviamento a 1.75m dall'appoggio:

$$\text{c) } M_{SW2} \text{ in frenatura: } 1269 \text{ kNm} \times (22,60 - 1,75)/22,60 = 1170 \text{ kNm}$$

$$\text{d) } M_{LM71} \text{ in avviamento: } 1196 \text{ kNm} \times (22,60 - 1,75)/22,60 = 1078 \text{ kNm}$$

Su ogni trave, considerando una ripartizione uniforme, si ha:

$$\text{c) } M_{SW2} \text{ in frenatura} = 292,50 \text{ kNm}$$

$$\text{d) } M_{LM71} \text{ in avviamento} = 269,50 \text{ kNm}$$

### 6.11 Resistenze parassite nei vincoli

Si considerano le resistenze parassite nei vincoli in condizioni di spostamento relativo incipiente prodotto dalle variazioni di temperatura.

$$f \cdot (V_g + V_q) = (5592 + 4048.52) \cdot 0.03 = 290 \text{ kN} \quad \text{con } f = 0.03$$

Su ciascun fisso agisce una resistenza parassita pari a:

$$f/2 \cdot = 290/2 = 145 \text{ kN}$$

L'azione in esame è stata considerata ai soli fini del calcolo delle azioni sugli apparecchi di appoggio.

## 7 COMBINAZIONI

Si riportano le tabelle delle varie combinazioni di carico indicate dalla normativa in merito ai sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari.

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella seguente tabella:

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc.)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tabella 1 - Valutazione dei carichi da traffico (da "Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei font ferroviari")

Nel seguito si riportano le combinazioni delle azioni da utilizzare.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (S.L.U.):

- $\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \dots$  (2.5.1)

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (S.L.E.) irreversibili:

- $G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \dots$  (2.5.2)

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (S.L.E.) reversibili:

- $G1 + G2 + P + \psi 11 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$  (2.5.3)

Combinazione quasi permanente (S.L.E.), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

- $G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$  (2.5.4)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 D.M. 14/01/08):

- $E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$  (2.5.5)

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 D.M. 14/01/08):

- $G1 + G2 + P + Ad + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$  (2.5.6)

Pertanto, si ottengono le seguenti combinazioni ai diversi stati limite (si riportano i coefficienti moltiplicativi del valore caratteristico dell'azione, pari in generale a  $\gamma \cdot \psi_{ij}$ ).

#### *Azioni permanenti*

- g1 = peso proprio delle strutture
- g2 = carichi permanenti portati
- g3 = Ballast

#### *Azioni variabili*



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100.001	A	57 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

- q1 = treno  
 q2 = treno scarico  
 q3 = frenatura e avviamento  
 q4 = centrifuga  
 q5 = serpeggio  
 q6 = vento  
 q7 = sisma  
 q8 = resistenze parassite dei vincoli  
 q9 = deragliamento

*Distorsioni*

- $\varepsilon 1$  = precompressione  
 $\varepsilon 2$  = effetti reologici (ritiro, viscosità e rilassamento)  
 $\varepsilon 3$  = variazioni termiche

**STATO LIMITE ESERCIZIO**

**COMBINAZIONE CARATTERISTICA**

	g1	g2	g3	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	$\varepsilon 1$	$\varepsilon 2$	$\varepsilon 3$
<b>K1</b>	1	1	1	1	0	0.5	1	1	0.6	0	1	0	1	1	0.6
<b>K2</b>	1	1	1	0	1	0	1	1	0.6	0	1	0	1	1	0.6
<b>K3</b>	1	1	1	1	0	1	0.5	0.5	0.6	0	1	0	1	1	0.6
<b>K4</b>	1	1	1	0.8	0	0.4	0.8	0.8	1	0	1	0	1	1	0.6
<b>K5</b>	1	1	1	0.8	0	0.4	0.8	0.8	0.6	0	1	0	1	1	1

**COMBINAZIONE FREQUENTE**

	g1	g2	g3	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	$\varepsilon 1$	$\varepsilon 2$	$\varepsilon 3$
<b>F1</b>	1	1	1	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0	0	1	0	1	1	0.5
<b>F2</b>	1	1	1	0	0.8	0	0.8	0.8	0	0	1	0	1	1	0.5
<b>F3</b>	1	1	1	0.8	0	0.8	0.4	0.4	0	0	1	0	1	1	0.5
<b>F4</b>	1	1	1	0	0	0	0	0	0.5	0	1	0	1	1	0.5
<b>F5</b>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0.6

**COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE**

	g1	g2	g3	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	$\varepsilon 1$	$\varepsilon 2$	$\varepsilon 3$
<b>QP1</b>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0.5

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	58 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**STATO LIMITE ULTIMO**

**COMBINAZIONE FONDAMENTALE**

	g1	g2	g3	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	ε1	ε2	ε3
<b>U1</b>	1.35	1.35	1.5	<b>1.45</b>	0	0.725	1.45	1.45	0.9	0	1.35	0	1	1.2	0.72
<b>U2</b>	1.35	1.35	1.5	0	<b>1.45</b>	0	1.45	1.45	0.9	0	1.35	0	1	1.2	0.72
<b>U3</b>	1.35	1.35	1.5	1.45	0	<b>1.45</b>	0.73	0.73	0.9	0	1.35	0	1	1.2	0.72
<b>U4</b>	1.35	1.35	1.5	1.16	0	0.58	1.16	1.16	<b>1.5</b>	0	1.35	0	1	1.2	0.72
<b>U5</b>	1.35	1.35	1.5	1.16	0	0.58	1.16	1.16	0.9	0	1.35	0	1	1.2	<b>1.2</b>

**COMBINAZIONE SISMICA**

	g1	g2	g3	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	ε1	ε2	ε3
<b>S1</b>	1	1	1	0.2	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	1	1	0.5

**COMBINAZIONE ECCEZIONALE**

	g1	g2	g3	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	ε1	ε2	ε3
<b>E1</b>	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>	1	1	0.5

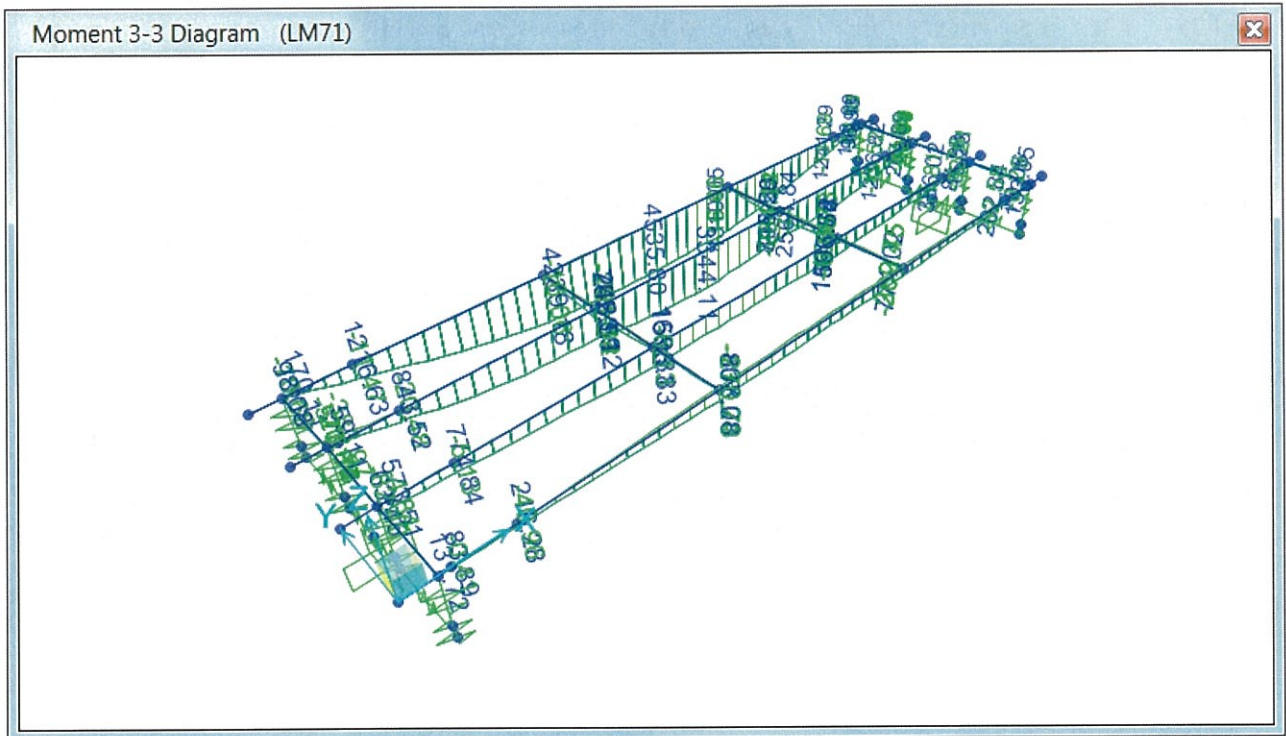
IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100.001	A	59 di 123

## 8 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito alcune sollecitazioni ottenuta dal modello di calcolo, relative alle condizioni di carico elementari:



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

LI00

01

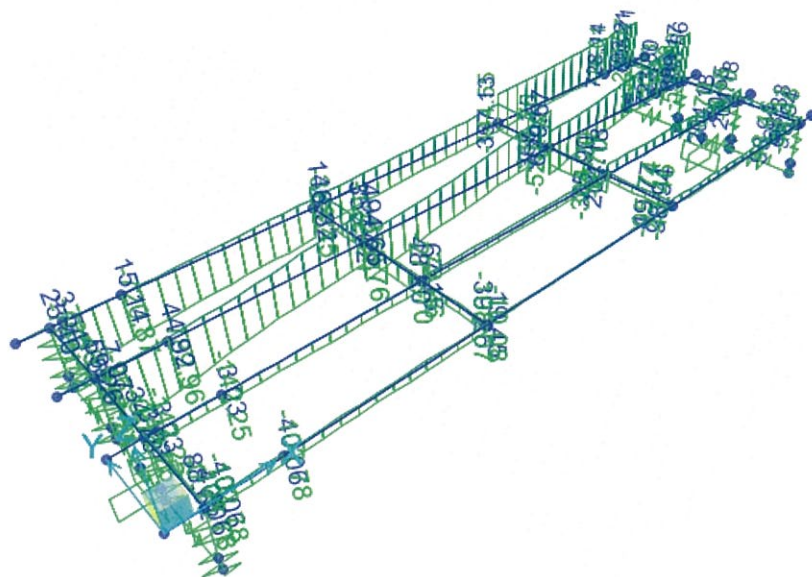
D 09CL

VI0100 001

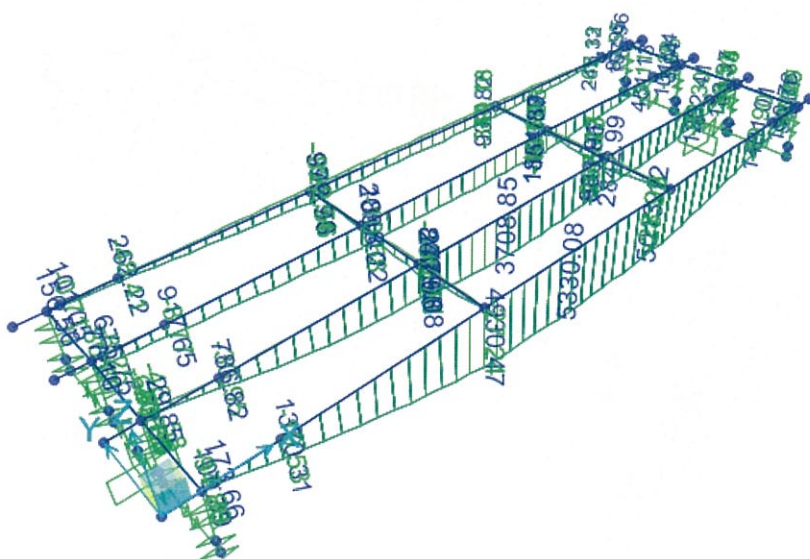
A

60 di 123

Shear Force 2-2 Diagram (LM71)

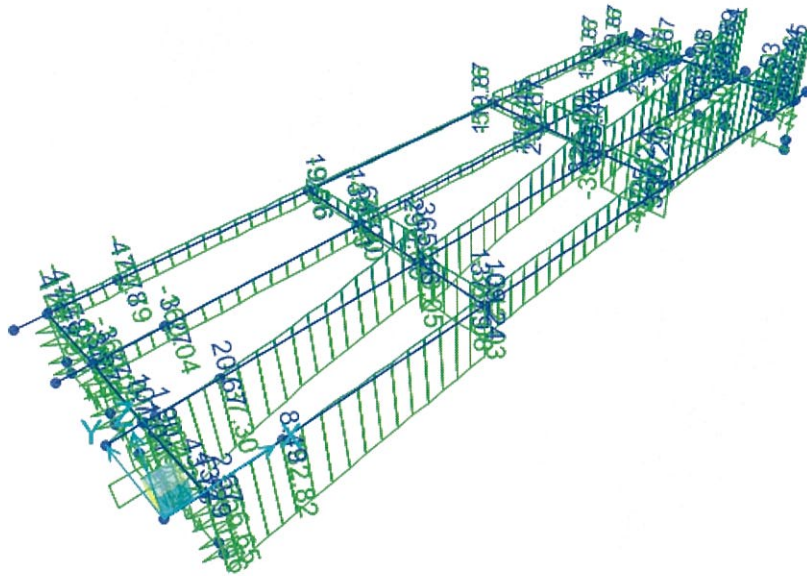


Moment 3-3 Diagram (SW/2)

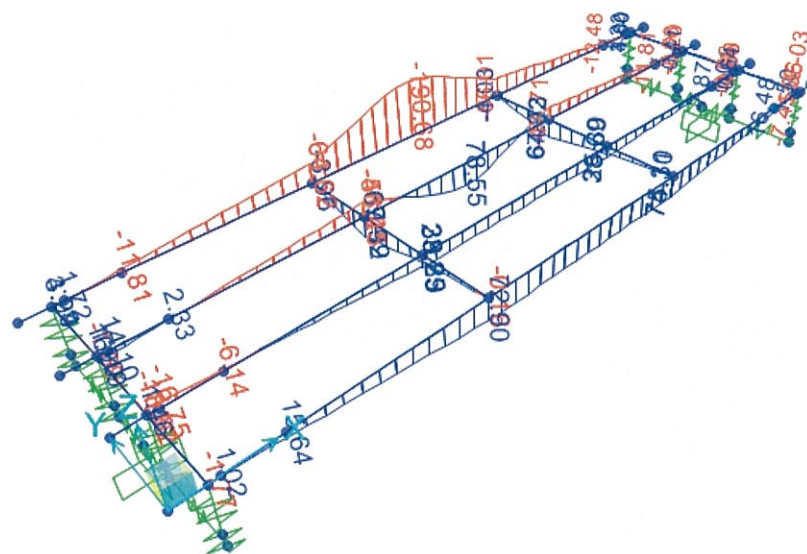


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100.001	A	61 di 123

Shear Force 2-2 Diagram (SW/2)



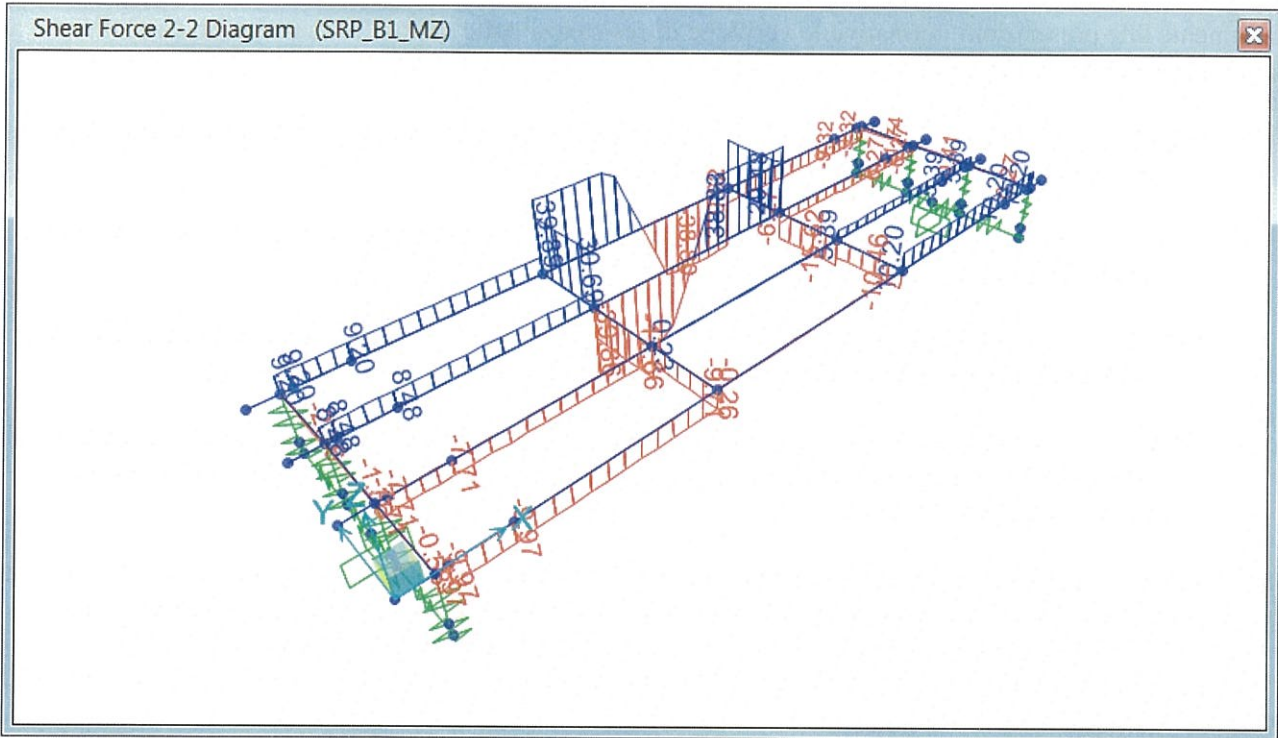
Moment 3-3 Diagram (SRP\_B1\_MZ)



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	62 di 123



## 9 TRAVE

Conformemente alle prescrizioni normative le verifiche di resistenza delle sezioni in esame sono condotte tenendo conto delle seguenti fasi costruttive:

- Fase 0** condizione a vuoto: peso proprio ( $G_1$ ) + precompressione iniziale a cadute istantanee avvenute (P) (sezione resistente solo trave in c.a.p. –  $S_1$ );
- Fase 1** getto della soletta su predalles ( $G_1$ ) gravanti sulle travi in c.a.p. + precompressione a cadute lente avvenute (P) (sezione resistente solo trave in c.a.p. –  $S_1$ );
- Fase 2** sovraccarichi permanenti ( $G_2$ ) + precompressione a cadute lente avvenute (P), (sezione resistente omogeneizzata composta da trave in c.a.p. + soletta collaborante –  $S_2$ );
- Fase 3** condizione di servizio: carichi mobili (Q) + precompressione finale a cadute lente avvenute (P) + ritiro del calcestruzzo ( $\epsilon_2$ ) (sezione resistente omogeneizzata composta da trave in c.a.p. + soletta collaborante –  $S_2$ ).

Per ogni fase sono verificate le tensioni ai lembi superiore ed inferiore della trave e, una volta che la soletta diventa collaborante, anche la tensione al lembo superiore della soletta stessa. I limiti tensionali per l'acciaio da precompressione e per il calcestruzzo nelle varie fasi, sono definiti nel D.M. 14 Gennaio 2008 al §4.1.8.1. Tali verifiche sono state effettuate in corrispondenza della mezzeria dove sono presenti 72 cavi e nella sezione a 1.75 metri dell'appoggio dove i cavi sono 48.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	64 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

## 9.1 Travi principali - Sezione in mezzera (M+)

### 9.1.1 Verifica SLE- tensionale

Verifica al tiro e in servizio trave in c.a.p a fili aderenti

#### Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo travi		Calcestruzzo soletta	
Tipo di calcestruzzo	C45/55	Tipo di cls	C30/37
$R_{ck}$	55.00 N/mm <sup>2</sup>	$R_{ck}$	35 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	45.65 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ck}$	29.05 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm}$	53.65 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cm}$	37.05 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$	-3.83 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctm}$	-2.83 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$	36416.11 N/mm <sup>2</sup>	$E_{cm}$	32588.11 N/mm <sup>2</sup>

#### Caratteristiche cls al trasferimento della precompressione

t	14 giorni
$f_{cm}(t)$	49.38 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}(t)$	41.38 N/mm <sup>2</sup>
0.7 $f_{ck}(t)$	28.97 N/mm <sup>2</sup>
0.6 $f_{ck}(t)$	24.83 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}(t)$	-3.53 N/mm <sup>2</sup>
K	1.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}(t) \cdot k$	-3.53 N/mm <sup>2</sup>

momento di trasferimento della precompressione

valore limite della tensione all'atto della precompressione (p. 4.1.8.1.4)

valore limite della tensione di esercizio a cadute avvenute (p. 4.1.8.1.3)

valore di riduzione della resistenza a trazione del cls per le verifiche del conglomerato

Acciaio	
Tipo di cavo	3
Classe di armatura	classe 2
$f_{ptk}$	1860 N/mm <sup>2</sup>
$f_{p(1)k}$	1670 N/mm <sup>2</sup>
---	---
$f_{pk}$	1670 N/mm <sup>2</sup>
$E_p$	195 GPa

Scrivere (1) Barre, (2) Fili, (3) Trefoli, (4) Trefoli a fili sagomati, (5) Trecce p. 11.3.3.2  
(Classe 1: Trecce, filo o trefolo ordinario; Classe 2: Trecce, filo o trefolo stabilizzato; Classe 3: barra laminata p.11.3.3.3)

#### Limiti tensioni massime iniziali all'atto della tesatura

$\sigma_{spi} = 0.9 f_{pk}$	1503.00 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{spi} = 0.8 f_{ptk}$	1488.00 N/mm <sup>2</sup>

Condizione più restrittiva

#### Predimensionamento

$N_{p0}$	13510.80 kN
Diametro nominale	0.6"
$A_{nom}$	139.00 mm <sup>2</sup>
numero minimo di cavi	66

forza di precompressione iniziale

Area nominale

$$num.min.cavi = \text{INT} \left( \frac{N_{p0}}{\sigma_{spi} \cdot A_{nom}} \right) + 1$$



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100.001	A	65 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Sollecitazioni al tiro**

$M_{pp, trave}$	<b>2016.00 kNm</b>
Luce trave -	m
Peso proprio trave+trasversi pref -	kN/m
$g_{cls}$	25.00 kN/m <sup>3</sup>

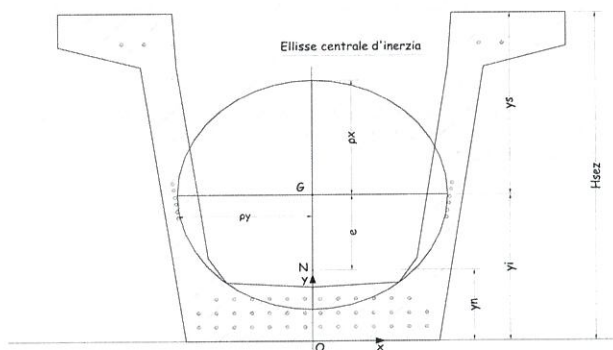
momento massimo sollecitante dovuto al peso proprio della trave

**Riassunto caratteristiche sezione omogeneizzata**

coefficiente di omogeneizzazione $n$	5	(acciaio e cls)
$A_{cls}$	10863.60	cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39	cm <sup>2</sup>
numero di trefoli scelto $n^o$	72	
$A_{tr}$	100.08	cm <sup>2</sup>
$A^*$	11299.43	cm <sup>2</sup>
$H_{sez}$	210.00	cm
$y_i$	89.10	cm
$y_s = H_{sez} - y_i$	120.90	cm
$I_g^*$	58237667	cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_g^* / y_s$	481716.44	cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_g^* / y_i$	653593.21	cm <sup>3</sup>
$y_n$	46.72	cm
$e$	42.38	cm

area totale dell'armatura di precompressione

punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature)  
eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogeneizzata



**TIRO INIZIALE**

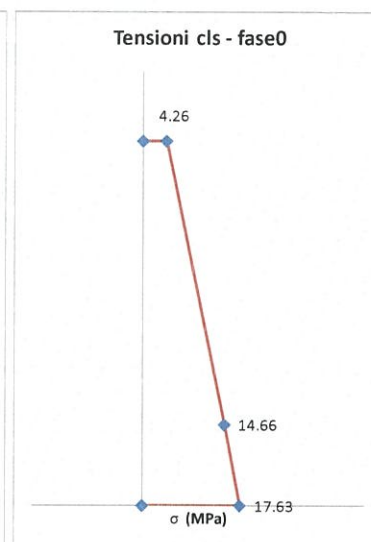
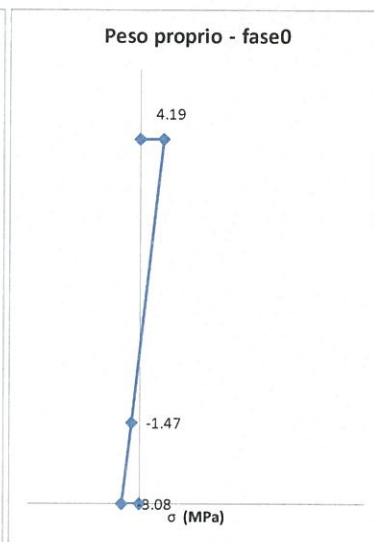
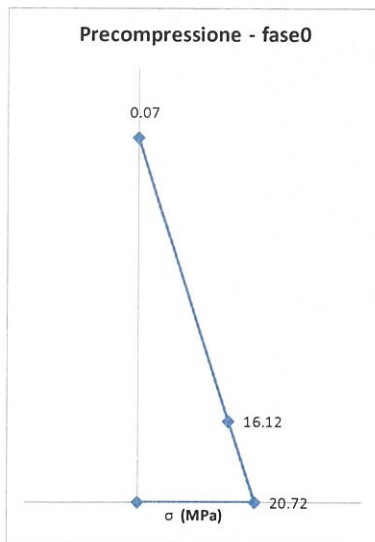
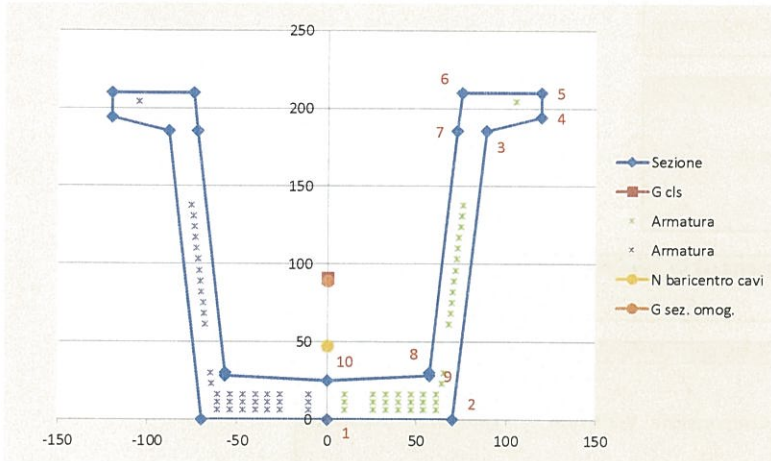
$N_p^0$	13511 kN
$\sigma_{pi} = N_p^0 / A_{tr}$	1350.00 N/mm <sup>2</sup>

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	66 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**RILASCIO DEL CAVO: fase 0**



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	67 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**- Tensione cls a livello del cavo al tiro**

$$\sigma_{cc}^t = \frac{N_{p0}}{A^*} + \frac{N_{p0} \cdot e}{I_i^*} \cdot e = 16.12 \text{ MPa} \quad \text{Compressione}$$

**Perdite di tensione istantanee**

**- Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls

1263.66 MPa

**Precompressione dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls**

$$N_p^0 = N_{p0} - \Delta N_i = 12646.70 \text{ kN}$$

**- Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cs}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_z^*} = 4.26 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 \text{ fck}(t)$$

0.7 fck(t)      28.97 MPa  
Coeff. di sicurezza      6.81 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{ci}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_i^*} = 17.63 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 \text{ fck}(t)$$

0.7 fck(t)      28.97 MPa  
Coeff. di sicurezza      1.64 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e = 14.66 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 \text{ fck}(t)$$

0.7 fck(t)      28.97 MPa  
Coeff. di sicurezza      1.98 coefficiente di sicurezza

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp}^0 = \sigma_{sp}^t + n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e = 1271.51 \text{ MPa}$$

**GETTO IN OPERA DELLA SOLETTA : fase 1**

(Sezione resistente formata dalla sola trave, soletta considerata solo come carico)

**Sollecitazioni al getto della soletta**

$$M_{max} = M_{pp,soletta} = 1945.00 \text{ kNm}$$

momento massimo sollecitante dovuto al solo peso proprio della soletta

**Variazioni di tensione dovute a M<sub>max</sub>**

$\Delta \sigma_{cs}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_s$	4.0376 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta \sigma_{ci}^1 = -\frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_i$	-2.98 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta \sigma_{cc}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	-1.42 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m  
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	68 di 123

A favore di sicurezza si è considerato che il getto della soletta avvenga dopo molto tempo rispetto al tiro delle travi in precompresso, in modo da poter considerare in questa fase tutte le perdite di tensione lente riguardo la precompressione.

#### Perdite di tensione lente a tempo finito

termine maturazione $t_s$	7 giorni	età del cls all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	14 giorni	età del cls al momento di applicazione della precompressione
RH	80 %	umidità ambientale relativa

#### Deformazione per ritiro

$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	<b>-0.0002880</b>	<b>deformazione totale per ritiro</b>
$\Delta\sigma_{cs} = -E_s \epsilon_{cs}$	<b>56.1522000 MPa</b>	<b>perdita di precompressione per ritiro</b>
$\epsilon_{cd,r}$	<b>-0.0001988</b>	<b>deformazione per ritiro da essiccamento a tempo <math>\infty</math></b>
$\epsilon_{cd}(t)$	<b>-0.0001988</b>	<b>deformazione per ritiro da essiccamento a tempo <math>t</math></b>
$\beta_{cs}(t, t_s)$	1.00	
u	11771.24 mm	perimetro di cls esposto all'aria
$h_0$	184.6 mm	dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ $A_c$ è l'area della sezione in cls e u il perimetro
$k_h$	0.87	
UR	80 %	umidità relativa
$\epsilon_{c0}$	-0.000228	
$\epsilon_{ca}$	<b>-0.0000891</b>	<b>ritiro autogeno</b>

#### Deformazione per viscosità

$\epsilon_v = \frac{\sigma_{cc}^0}{E_c} \varphi(t, t_0) + \frac{\Delta\sigma_{cc}^1}{E_c} \varphi(t, t_1)$	<b>-0.0006359</b>	<b>deformazione per viscosità</b>
$\varphi(t, t_0)$	1.58	
$\varphi(t, t_1)$	0.00	
$\Delta\sigma_v = -E_s \epsilon_v$	<b>124.01 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>perdita di precompressione per viscosità</b>

#### Cadute di tensione per rilassamento dell'acciaio

$\Delta\sigma_r^1$	<b>85.21 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>perdita di precompressione per rilassamento</b>
--------------------	-------------------------------	--

#### Perdita di precompressione totale in fase 1

$$\Delta\sigma_{tot} := \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_{rit} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr}}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_I} \cdot \left(1 + \frac{A_I}{J} \cdot e_c^2\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \Phi)}$$

**216.10 N/mm<sup>2</sup>**

$$\Delta N_t = \Delta\sigma_{pr}^1 \cdot A_{tr} \quad 2162.77 \text{ kN}$$

#### Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione

$\Delta\sigma_{prcs}^1 = -\frac{\Delta N_t}{A^*} + \frac{\Delta N_t \cdot e}{W_S^*}$	-0.0112 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci}^1 = -\frac{\Delta N_t}{A^*} - \frac{\Delta N_t \cdot e}{W_S^*}$	-3.3165 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc}^1 = -\frac{\Delta N_t}{A^*} - \frac{\Delta N_t \cdot e^2}{I_G^*}$	-2.5811 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	69 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Tensione cls lembo superiore**

$\sigma_{cs}^1 = \sigma_{cs}^0 + \Delta \sigma_{cs}^1 + \Delta \sigma_{pres}^1$	<b>8.28 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	3.31			

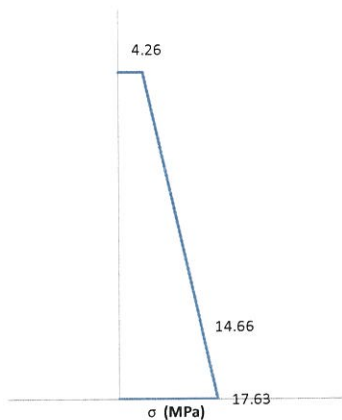
**Tensione cls lembo inferiore**

$\sigma_{cl}^1 = \sigma_{cl}^0 + \Delta \sigma_{cl}^1 + \Delta \sigma_{pres}^1$	<b>11.34 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	2.42			

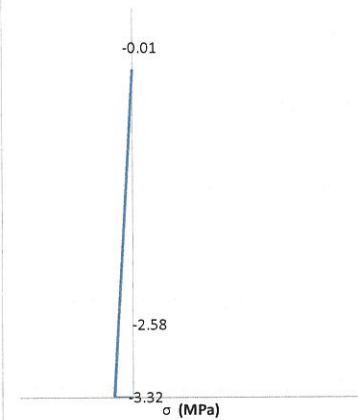
**Tensione cls a livello del cavo**

$\sigma_{cc}^1 = \sigma_{cc}^0 + \Delta \sigma_{cc}^1 + \Delta \sigma_{pres}^1$	<b>10.66 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	2.57			

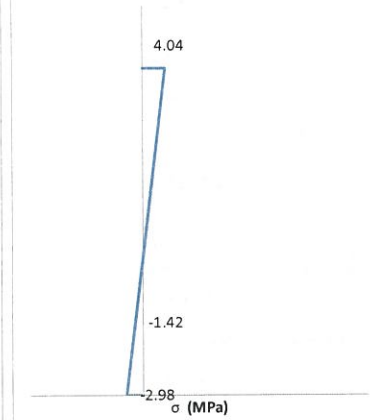
Tensioni cls - fase0



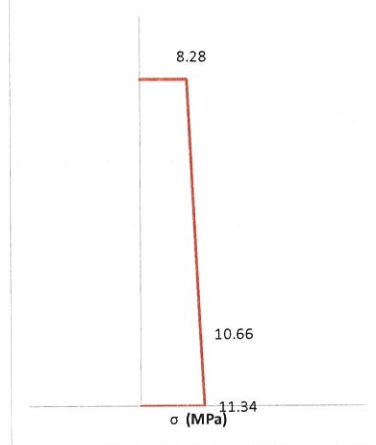
Perdite - fase1



Peso soletta - fase1



Tensioni cls - fase1



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	70 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp}^1 = \sigma_{sp}^0 - n \cdot \Delta \sigma_{prcc}^1 + n \cdot \Delta \sigma_{cc}^1 = 1265.27 \text{ MPa}$$

**AZIONE DEI PERMANENTI PORTATI : fase 2**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Caratteristiche sezione omogeneizzata 2

(si omogeneizza rispetto al cls di CAP)

$n_2$	<b>1.117</b>	coefficiente omogeneizzazione (rapporto tra i due moduli elastici, soletta e CAP)
$A_{cls}$	18595.38 cm <sup>2</sup>	
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>	
$n^o$	72.00	numero di trefoli scelto
$A_{tr}$	100.08 cm <sup>2</sup>	area totale dell'armatura di precompressione
$A^*$	19031.20 cm <sup>2</sup>	
$H_{sez1}$	246.00 cm	
$Y_{i1}$	145.78 cm	
$Y_{s,soletta} = H_{sez1} - Y_{i1}$	100.22 cm	
$Y_{s,trave} = H_{sez} - Y_{i1}$	64.22 cm	
$H_{sol}$	36.00 cm	
$e_1$	82.22 cm	(utile per le azioni differenziali soletta - trave)
$I_g^*$	146274605 cm <sup>4</sup>	
$W_s^* = I_g^* / Y_s$	1459511.53 cm <sup>3</sup>	
$W_t^* = I_g^* / Y_t$	1003403.94 cm <sup>3</sup>	
$Y_n$	46.72 cm	punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature)
$e$	99.06 cm	eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogeneizzata

**Sollecitazioni**

$M_{perm,portati} = M_{max}$  **3593.00 kNm**

momento massimo sollecitante dovuto ai permanenti portati (pavimentazione, cordolo, sicur via, barriera antirumore)

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100.001	A	71 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Variazioni di tensione dovute a Mmax

$$\Delta\sigma_{cs,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n \cdot I_g^2} \cdot y_{s,soletta} \quad 2.20 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{ci,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n \cdot I_g^2} \cdot y_{i,soletta} \quad 1.41 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{cs,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^2} \cdot y_{s,trave} \quad 1.58 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{ci,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^2} \cdot y_{i,trave} \quad -3.58 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{cc}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^2} \cdot e \quad -2.43 \text{ MPa}$$

limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute

variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta

variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta

variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave

variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave

variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

Perdite di tensione lente a tempo infinito

Deformazione per ritiro nella trave

$\epsilon_{cd}$	-0.0001988
$\epsilon_{cd}(t)$	-0.0001988
$\epsilon_{cd} - \epsilon_{ca}(t)$	<b>0.0000000</b>
$\Delta\sigma_{ritiro} = -E_s(\epsilon_{cd} - \epsilon_{ca}(t))$	<b>0.00 MPa</b>
u	11771.24 mm
h <sub>0</sub>	184.6 mm
k <sub>h</sub>	0.87
UR	80 %
$\epsilon_{c0}$	-0.000228
$\epsilon_{ca}$	<b>0.0000000</b>

**deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞**

ritiro avvenuto nelle fasi precedenti

ritiro depurato da quello avvenuto nelle fasi precedenti

**perdita di precompressione per ritiro a t ∞**

perimetro di cls esposto all'aria

dimensione fittizia pari a 2A<sub>v</sub>/u Ac è l'area della sezione in cls e u il perimetro

umidità relativa

**ritiro autogeno (già scontato)**

Deformazione per ritiro nella soletta

$\epsilon_{cd}$	<b>-0.0001677</b>
% ritiro trave esaurito	100%
$\epsilon_{cd}(t)$	0.0000000
$\Delta\epsilon_{cd}$	<b>-0.0002153</b>
Ac	8640 cm <sup>2</sup>
u	4920.00 mm
h <sub>0</sub>	351.2 mm
k <sub>h</sub>	0.74
UR	80 %
$\epsilon_{c0}$	-0.000228
$\epsilon_{ca}$	<b>-0.0000476</b>

**deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞**

Percentuale di ritiro esaurito dalla trave al momento del getto della soletta

ritiro della trave ancora da scontare

**ritiro totale depurato da quello delle fasi precedenti (ritiro differenziale)**

Area sola soletta

perimetro di cls esposto all'aria

dimensione fittizia pari a 2A<sub>v</sub>/u Ac è l'area della sezione in cls e u il perimetro

umidità relativa

**ritiro autogeno soletta**

Deformazione per viscosità

$$\epsilon_v(x, t_2) = \Phi(x, t_2)\sigma_v/E_s \quad -0.0001189$$

$\Delta\sigma_v(x, t_2)$	<b>2.32 Mpa</b>
UR	75.00 scrivere 55 o 75
t <sub>2</sub>	61.00 giorni

**perdita di precompressione per viscosità a t ∞**

fissato 61\_momento della mes: max 60gg in tab

$$\Phi(x, t_0) \quad 1.78$$

Effetto del ritiro differenziale tra trave e soletta

Ecv	1172234.09 N/cm <sup>2</sup>
Δσ soletta	-2.52 MPa
N	2181.08 kN
M	1793.32 kNm
Δσ sup soletta	-0.40 MPa
Δσ inf soletta	-0.79 MPa
Δσ sup trave	1.93 MPa
Δσ inf trave	-0.64 MPa
Δσ cavi trave	-0.07 MPa

modulo elastico del cls scontato degli effetti viscosi

trazione iniziale nella soletta

Cadute di tensione per rilassamento dell'acciaio

$$\Delta\sigma_r^1 \quad 0.00 \text{ N/mm}^2$$

**perdita di precompressione per rilassamento a t ∞**

Perdita di precompressione totale in fase 2

$$\Delta\sigma_{pr}^2 = \Delta\sigma_{ritiro}^2 + \Delta\sigma_v^2 + \Delta\sigma_r^2 \quad 2.32 \text{ MPa}$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^2 \cdot A_{tr} \quad 23.21 \text{ kN}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	72 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.0032 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.0019 MPa	Trazione	variazione di tensione nella soletta al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcs,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.0021 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-0.0351 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prctrave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e^2}{I_g^*}$	-0.0278 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdcs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prcs,soletta}^2$$

**1.81 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      17.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      9.65

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prci,soletta}^2$$

**0.62 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      17.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      28.32

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^2 = \sigma_{cs,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcs,trave}^2$$

**11.79 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      2.32

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci,trave}^2 = \sigma_{ci,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{prci,trave}^2$$

**7.08 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.87

**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc,trave}^2 = \sigma_{cc,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc,trave}^2$$

**8.13 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.37

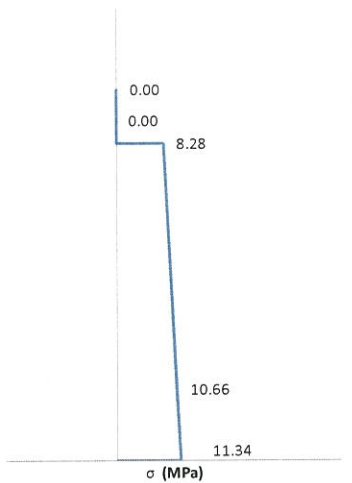


IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

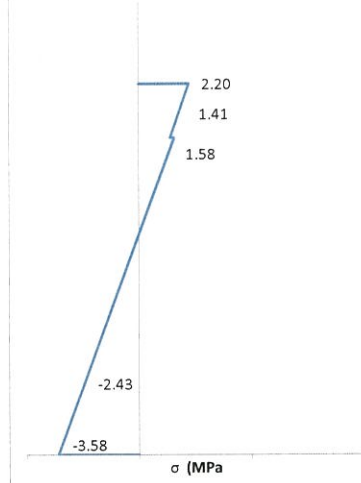
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	73 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

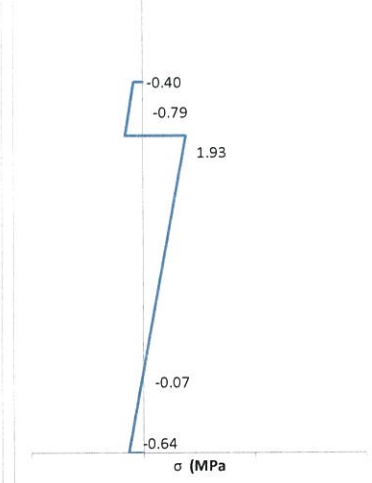
Tensioni cls - fase1



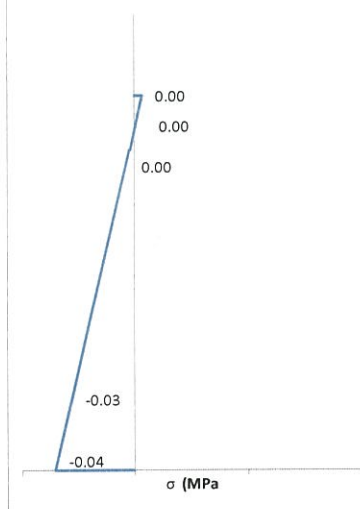
Tensioni permanenti - fase2



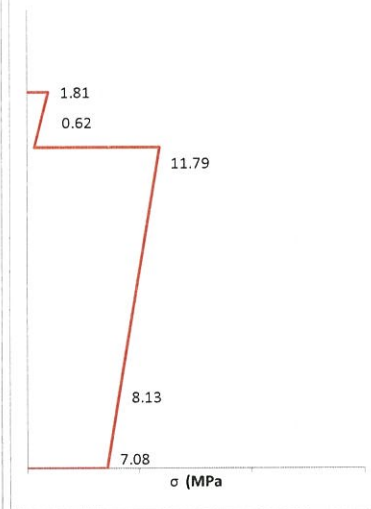
Tensioni ritiro soletta - fase2



Perdite - fase2



Tensioni cls - fase2



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp}^2 = \sigma_{sp}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prec, trave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{rdcc, trave}^2 = 1278.52 \text{ MPa}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	74 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**ESERCIZIO: fase 3**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Sollecitazioni

$M_{max}$  6913.00 kNm momento massimo sollecitante dovuto ai variabili da traffico

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^3 = \frac{M_{max}^g}{nI_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	4.239 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^3 = \frac{M_{max}^g}{nI_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	2.716 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^3 = \frac{M_{max}^g}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	3.035 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{ci,trave}^3 = \frac{M_{max}^g}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-6.890 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^3 = \frac{M_{max}^g}{I_g^*} \cdot e$	-4.681 MPa	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$\sigma_{cs,soletta}^3 = \sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^3$	<b>6.05 MPa</b>	Compressione <b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	17.43 MPa		
Coeff. di sicurezza	2.88		

**Tensione cls lembo inferiore soletta**

$\sigma_{ci,soletta}^3 = \sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^3$	<b>3.33 MPa</b>	Compressione <b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	17.43 MPa		
Coeff. di sicurezza	5.23		

**Tensione cls lembo superiore trave**

$\sigma_{cs,trave}^3 = \sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^3$	<b>14.83 MPa</b>	Compressione <b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	27.39 MPa		
Coeff. di sicurezza	1.85		

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$\sigma_{ci,trave}^3 = \sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^3$	<b>0.19 MPa</b>	Compressione <b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	27.39 MPa		
Coeff. di sicurezza	140.79		

**Tensione cls a livello del cavo**

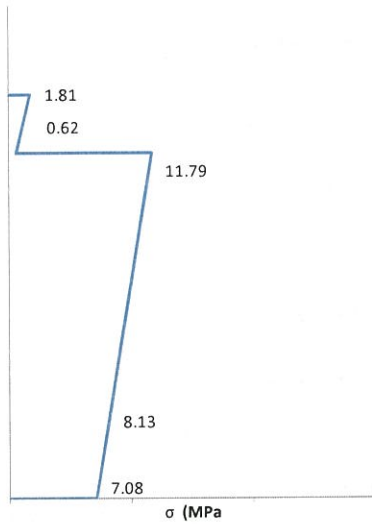
$\sigma_{cc}^3 = \sigma_{cc}^2 + \Delta\sigma_{cc}^3$	<b>3.45 MPa</b>	Compressione <b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	27.39 MPa		
Coeff. di sicurezza	7.94		

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

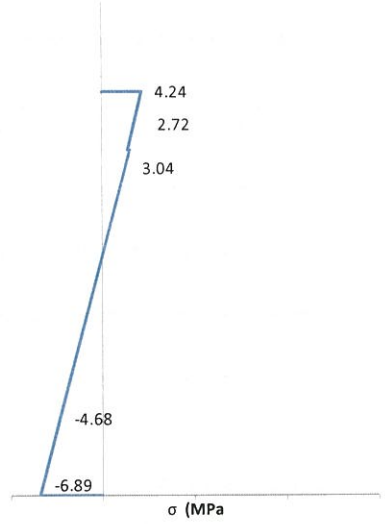
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	75 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

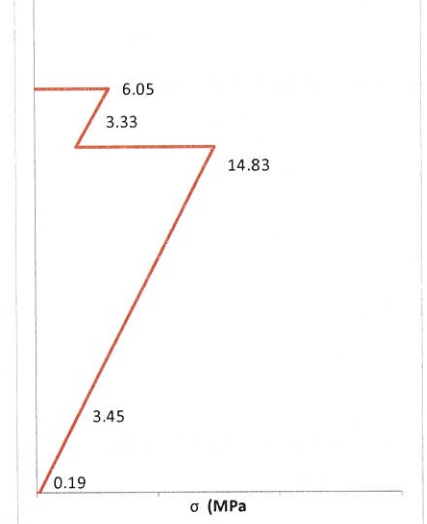
Tensioni cls - fase2



Accidentali- fase3



Tensioni - fase3



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp}^3 = \sigma_{sp}^2 + n \cdot \Delta \sigma_{cc}^3 = 1303.59 \text{ MPa}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	76 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

### 9.1.2 Verifica SLU-STR

Si riportano le verifiche nei confronti delle azioni flettenti allo stato limite ultimo

Si individua la configurazione di equilibrio limite di deformazione della sezione.

Tensioni limite nel calcestruzzo:

Resistenza a compressione a S.L.U. della trave	$f_{cd,tr}$	25.87 MPa
Resistenza a compressione a S.L.U. della soletta	$f_{cd,soi}$	16.46 MPa

Tensioni limite nell'acciaio:

Tensione di rottura a S.L.U. dell'acciaio armonico	$f_{sptd} = f_{sptk}/\gamma_s$	1617 MPa
--	--------------------------------	----------

Deformazioni limite:

Deformazione di compressione massima a S.L.U. nel cls	$\epsilon_{cu}$	0.0035 -
Deformazione di trazione massima a S.L.U. nell'acciaio armonico	$\epsilon_{spu}$	-0.0350 -
Deformazione di trazione a snervamento nell'acciaio armonico	$\epsilon_{spy}$	-0.0074 -

DEFORMAZIONI NELLA CONFIGURAZIONE LIMITE

0.002845678

Nel calcestruzzo:

Deformazione di compressione massima nel cls	$\epsilon_c$	0.0028460 -
--	--------------	-------------

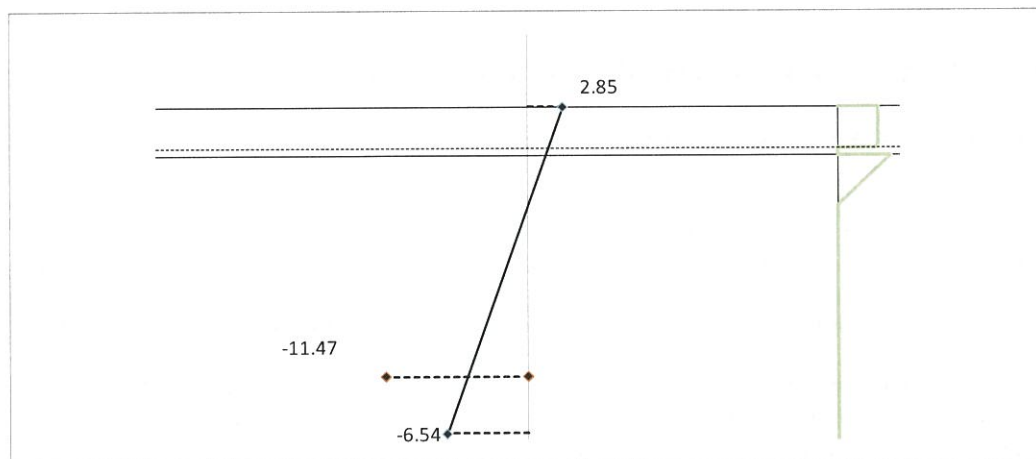
Nell'armatura ordinaria:

Deformazione di trazione max nell'acciaio ordinario	$\epsilon_{aoLimite}$	-0.0065400 -
---	-----------------------	--------------

Nell'armatura di precompressione:

	$\epsilon$ iniziale al tiro	-0.0069231 -
	$\epsilon$ perdite	0.0005144 -
	$\epsilon$ pp+perm	-0.0001478 -
Deformazione di trazione max nell'acciaio armonico	$\epsilon$ Finale	-0.0065565 -
	$\epsilon$ Limite	-0.0049151 -
	$\epsilon$ Totale	-0.0114716 -

Altezza massima sezione composta	H	246.0 cm
Posizione del baricentro dei cavi dall'intradosso della trave	h	46.72222222 cm
Posizione dell'asse neutro dall'intradosso della trave	$d_0$	172.9 cm



TENSIONI NELLA CONFIGURAZIONE LIMITE

Tensione di snervamento dell'acciaio armonico	$f_{p(1)k}/\gamma_s$	1452 MPa
Tensione nell'armatura di precompressione	$\sigma_{spi}$	1476 MPa

RISULTANTI DEGLI SFORZI NELLA CONFIGURAZIONE DI EQUILIBRIO LIMITE

Nell'armatura di precompressione:

Risultante nell'armatura di precompressione	$R_{spi}$	-14769.8 kN
---	-----------	-------------

Nel calcestruzzo:

Risultante degli sforzi nel calcestruzzo compresso	$R_c$	14771 kN
--	-------	----------

Scarto tra le risultanti di trazione e di compressione

$$\Delta R_c = 1 \text{ kN}$$

MOMENTI RESISTENTI NELLA CONFIGURAZIONE DI EQUILIBRIO LIMITE

Nell'armatura di precompressione:

Momento resistente dell'armatura di precompressione	$M_{spi}$	-6901 kNm
---	-----------	-----------

Nel calcestruzzo:

Momento resistente nel calcestruzzo compresso	$M_c$	33216 kNm
---	-------	-----------

<b>MOMENTO RESISTENTE TOTALE</b>	<b><math>M_{rd}</math></b>	<b>26315 kNm</b>
----------------------------------	----------------------------	------------------

## 9.2 Travi principali - Sezione a 2.55 metri dall'appoggio

### 9.2.1 Verifica SLE- tensionale

#### Verifica al tiro e in servizio trave in c.a.p a fili aderenti

##### Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo travi			Calcestruzzo soletta		
Tipo di calcestruzzo	C45/55		Tipo di cls	C30/37	
$R_{ck}$	55.00 N/mm <sup>2</sup>		$R_{ck}$	35 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck}$	45.65 N/mm <sup>2</sup>		$f_{ck}$	29.05 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cm}$	53.65 N/mm <sup>2</sup>		$f_{cm}$	37.05 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctm}$	-3.83 N/mm <sup>2</sup>		$f_{ctm}$	-2.83 N/mm <sup>2</sup>	
$E_{cm}$	36416.11 N/mm <sup>2</sup>		$E_{cm}$	32588.11 N/mm <sup>2</sup>	
Caratteristiche cls al trasferimento della precompressione					
t	14 giorni		momento di trasferimento della precompressione		
$f_{cm}(t)$	49.38 N/mm <sup>2</sup>				
$f_{ck}(t)$	41.38 N/mm <sup>2</sup>		valore limite della tensione all'atto della precompressione (p. 4.1.8.1.4)		
0.7 $f_{ck}(t)$	28.97 N/mm <sup>2</sup>		valore limite della tensione di esercizio a cadute avvenute (p. 4.1.8.1.3)		
0.6 $f_{ck}(t)$	24.83 N/mm <sup>2</sup>				
$f_{ctm}(t)$	-3.53 N/mm <sup>2</sup>				
k	1.00 N/mm <sup>2</sup>		valore di riduzione della resistenza a trazione del cls per le verifiche del conglomerato		
$f_{ctm}(t) \cdot k$	-3.53 N/mm <sup>2</sup>				

Acciaio	
Tipo di cavo	3
Classe di armatura	classe 2
$f_{ptk}$	1860 N/mm <sup>2</sup>
$f_p(1)k$	1670 N/mm <sup>2</sup>
---	---
---	---
$f_{pk}$	<b>1670 N/mm<sup>2</sup></b>
$E_p$	<b>195 GPa</b>

Scrivere (1) Barre, (2) Fili, (3) Trefoli, (4) Trefoli a fili sagomati, (5) Trecce p. 11.3.3.2  
(Classe 1: Trecce, filo o trefolo ordinario; Classe 2: Trecce, filo o trefolo stabilizzato; Classe 3: barra laminata p.11.3.3.3)

Limiti tensioni massime iniziali all'atto della tesatura		
$\sigma_{spi} = 0.9 f_{pk}$	1503.00 N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{spi} = 0.8 f_{ptk}$	1488.00 N/mm <sup>2</sup>	Condizione più restrittiva

Predimensionamento		
$N_{p0}$	9007.20 kN	forza di precompressione iniziale
Diametro nominale	0.6"	
$A_{nom}$	139.00 mm <sup>2</sup>	Area nominale
numero minimo di cavi	44	$num. min. cavi = int \left( \frac{N_{p0}}{\sigma_{spi} \cdot A_{nom}} \right) + 1$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	79 di 123

**Sollecitazioni al tiro**

$M_{pp, trave}$	<b>561.00 kNm</b>
Luce trave -	m
Peso proprio trave+trasversi pref -	kN/m
$g_{cls}$	25.00 kN/m <sup>2</sup>

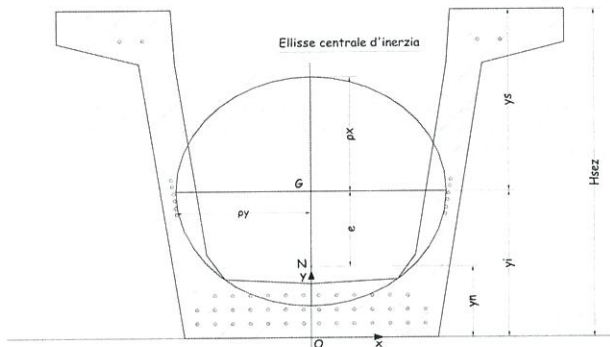
momento massimo sollecitante dovuto al peso proprio della trave

**Riassunto caratteristiche sezione omogeneizzata**

coefficiente di omogeneizzazione $n$	5	(acciaio e cls)
$A_{cls}$	10863.60	cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39	cm <sup>2</sup>
numero di trefoli scelto $n^o$	48	
$A_{tr}$	66.72	cm <sup>2</sup>
$A^*$	11154.15	cm <sup>2</sup>
$H_{sez}$	210.00	cm
$y_i$	90.12	cm
$y_s = H_{sez} - y_i$	119.88	cm
$I_g^*$	59195271	cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_g^* / y_s$	493792.21	cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_g^* / y_i$	656841.47	cm <sup>3</sup>
$y_n$	64.58	cm
$e$	25.54	cm

area totale dell'armatura di precompressione

punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature)  
eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogeneizzata



**TIRO INIZIALE**

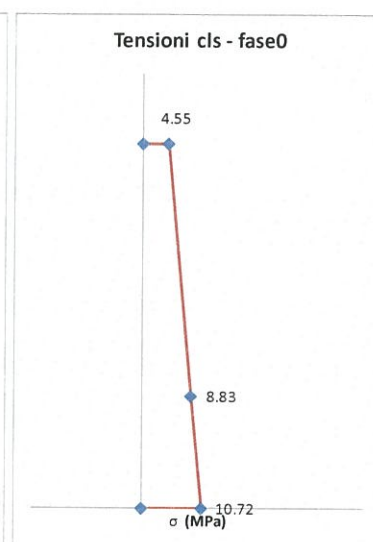
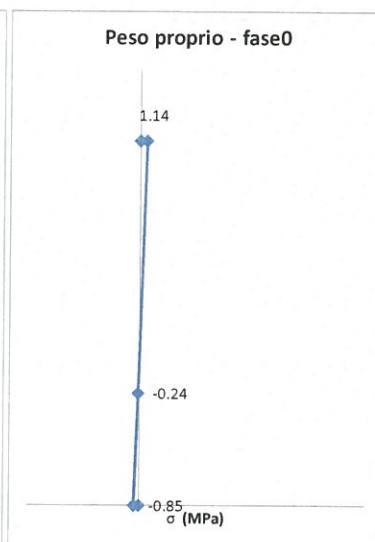
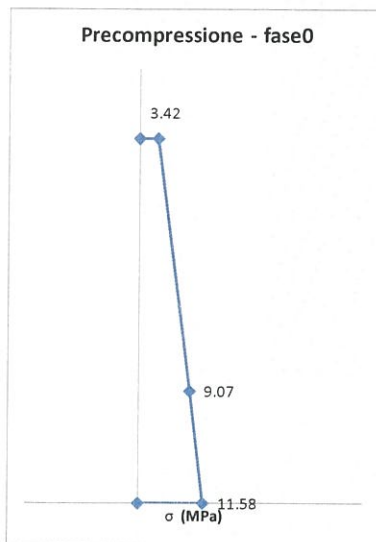
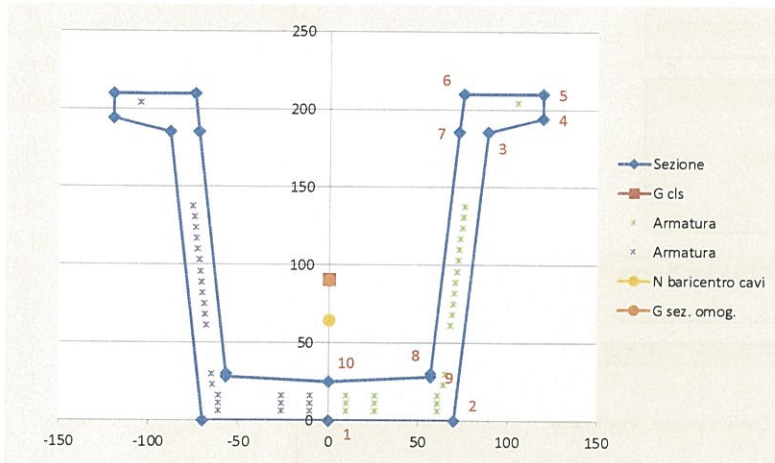
$N_p^0$	9007	kN
$\sigma_{pi} = N_p^0 / A_{tr}$	1350.00	N/mm <sup>2</sup>

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	80 di 123

**RILASCIO DEL CAVO: fase 0**





IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	81 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**- Tensione cls a livello del cavo al tiro**

$$\sigma_{cc}^I = \frac{N_{p0}}{A^*} + \frac{N_{p0} \cdot e}{I_j^*} \cdot e$$

9.07 MPa      Compressione

**Perdite di tensione istantanee**

**- Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls

1301.45 MPa

**Precompressione dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls**

$$N_p^0 = N_{p0} - \Delta N_i$$

**8683.24 kN**

**- Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cs}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_z^*}$$

**4.55 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      28.97 MPa  
Coeff. di sicurezza      6.36 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{ci}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_i^*}$$

**10.72 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      28.97 MPa  
Coeff. di sicurezza      2.70 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_j^*} \cdot e$$

**8.83 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      28.97 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.28 coefficiente di sicurezza

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp}^0 = \sigma_{sp}^I + n \cdot \frac{M_g}{I_j^*} \cdot e =$$

1302.74 MPa

**GETTO IN OPERA DELLA SOLETTA : fase 1**

(Sezione resistente formata dalla sola trave, soletta considerata solo come carico)

**Sollecitazioni al getto della soletta**

$$M_{max} = M_{pp,soletta} \quad \mathbf{549.00 \text{ kNm}}$$

momento massimo sollecitante dovuto al solo peso proprio della soletta

**Variazioni di tensione dovute a  $M_{max}$**

$$\Delta \sigma_{cs}^1 = \frac{M_{max}}{I_j^*} \cdot y_s$$

1.1118 MPa      Compressione      variazione di tensione nel cls al lembo superiore

$$\Delta \sigma_{ci}^1 = - \frac{M_{max}}{I_j^*} \cdot y_i$$

-0.84 MPa      Trazione      variazione di tensione nel cls al lembo inferiore

$$\Delta \sigma_{cc}^1 = \frac{M_{max}}{I_j^*} \cdot e$$

-0.24 MPa      Trazione      variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	82 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

A favore di sicurezza si è considerato che il getto della soletta avvenga dopo molto tempo rispetto al tiro delle travi in precompressione, in modo da poter considerare in questa fase tutte le perdite di tensione lente riguardo la precompressione.

**Perdite di tensione lente a tempo finito**

termine maturazione $t_s$	7 giorni	età del cls all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	14 giorni	età del cls al momento di applicazione della precompressione
RH	80 %	umidità ambientale relativa

**Deformazione per ritiro**

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca} \quad -0.0002880$$

$$\Delta\sigma_{cs} = -E_s \epsilon_{cs} \quad 56.1522000 \text{ MPa}$$

deformazione totale per ritiro  
perdita di precompressione per ritiro

$$\epsilon_{cd,t} \quad -0.0001988$$

$$\epsilon_{cd}(t) \quad -0.0001988$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) \quad 1.00$$

deformazione per ritiro da essiccamento a tempo  $x$   
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo  $t$

$$u \quad 11771.24 \text{ mm}$$

$$h_0 \quad 184.6 \text{ mm}$$

$$k_n \quad 0.87$$

$$UR \quad 80 \%$$

$$\epsilon_{c0} \quad -0.000228$$

perimetro di cls esposto all'aria  
dimensione fittizia pari a  $2A_c/u$   $A_c$  è l'area della sezione in cls e  $u$  il perimetro

umidità relativa

$$\epsilon_{ca} \quad -0.0000891$$

ritiro autogeno

**Deformazione per viscosità**

$$\epsilon_v = \frac{\sigma_{cc}^0}{E_c} \varphi(t, t_0) + \frac{\Delta\sigma_{cc}^1}{E_c} \varphi(t, t_1) \quad -0.0003829$$

deformazione per viscosità

$$\varphi(t, t_0) \quad 1.58$$

$$\varphi(t, t_1) \quad 0.00$$

$$\Delta\sigma_v = -E_s \epsilon_v \quad 74.67 \text{ N/mm}^2$$

perdita di precompressione per viscosità

**Cadute di tensione per rilassamento dell'acciaio**

$$\Delta\sigma_r^1 \quad 85.21 \text{ N/mm}^2$$

perdita di precompressione per rilassamento

**Perdita di precompressione totale in fase 1**

$$\Delta\sigma_{tot} := \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_{rit} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr}}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_I} \cdot \left(1 + \frac{A_I}{J_I} \cdot ec^2\right)} \cdot (1 + 0.8 \cdot \Phi) \quad 183.68 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta N_I = \Delta\sigma_{pr}^1 \cdot A_{tr} \quad 1225.49 \text{ kN}$$

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{pres}^1 = -\frac{\Delta N_I}{A^*} + \frac{\Delta N_I \cdot e}{W_S^*}$	-0.4649 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{pret}^1 = -\frac{\Delta N_I}{A^*} - \frac{\Delta N_I \cdot e}{W_S^*}$	-1.5751 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc}^1 = -\frac{\Delta N_I}{A^*} - \frac{\Delta N_I \cdot e^2}{I_G^*}$	-1.2337 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	83 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cs}^1 = \sigma_{cs}^0 + \Delta \sigma_{cs}^1 + \Delta \sigma_{pres}^1$$

5.20 MPa      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa

Coeff. di sicurezza      5.27

**Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{cl}^1 = \sigma_{cl}^0 + \Delta \sigma_{cl}^1 + \Delta \sigma_{pres}^1$$

8.31 MPa      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa

Coeff. di sicurezza      3.30

**Tensione cls a livello del cavo**

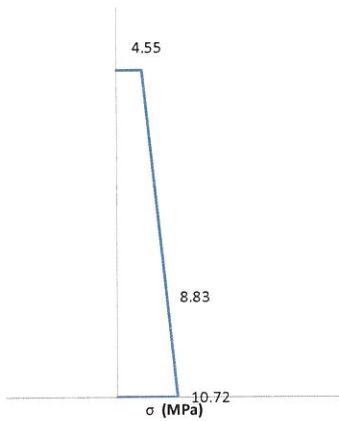
$$\sigma_{cc}^1 = \sigma_{cc}^0 + \Delta \sigma_{cc}^1 + \Delta \sigma_{pres}^1$$

7.35 MPa      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$

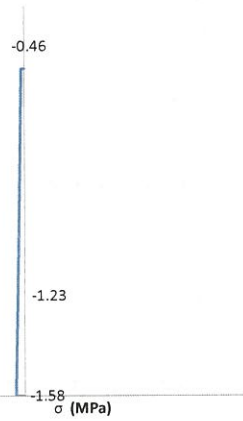
0,6xfck      27.39 MPa

Coeff. di sicurezza      3.72

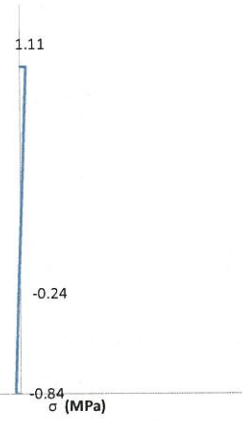
Tensioni cls - fase0



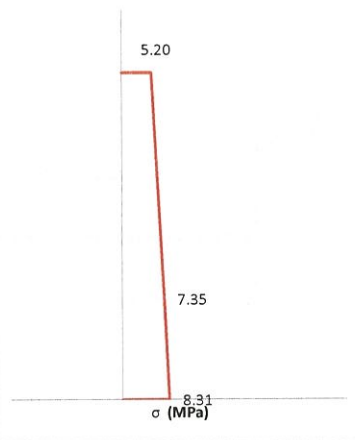
Perdite - fase1



Peso soletta - fase1



Tensioni cls - fase1



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100.001	A	84 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp}^1 = \sigma_{sp}^0 - n \cdot \Delta \sigma_{prcc}^1 + n \cdot \Delta \sigma_{cc}^1 = 1297.40 \text{ MPa}$$

**AZIONE DEI PERMANENTI PORTATI : fase 2**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Caratteristiche sezione omogeneizzata 2

(si omogeneizza rispetto al cls di CAP)

$n_2$	<b>1.117</b>	coefficiente omogeneizzazione (rapporto tra i due moduli elastici, soletta e CAP)
$A_{cls}$	18595.38 cm <sup>2</sup>	
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>	
$n^o$	48.00	numero di trefoli scelto
$A_{tr}$	66.72 cm <sup>2</sup>	area totale dell'armatura di precompressione
$A^*$	18885.93 cm <sup>2</sup>	
$H_{sez1}$	246.00 cm	
$y_{i1}$	146.80 cm	
$y_{s,soletta} = H_{sez1} - y_{i1}$	99.20 cm	
$y_{s,trave} = H_{sez} - y_{i1}$	63.20 cm	
$H_{sol}$	36.00 cm	
$e_1$	81.20 cm	(utile per le azioni differenziali soletta - trave)
$I_g^*$	145578449 cm <sup>4</sup>	
$W_s^* = I_g^* / y_s$	1467461.10 cm <sup>3</sup>	
$W_i^* = I_g^* / y_i$	991707.85 cm <sup>3</sup>	
$y_n$	64.58 cm	punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature)
$e$	82.21 cm	eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogeneizzata

Sollecitazioni

$M_{perm,portati} = M_{max}$	<b>1014.00 kNm</b>	momento massimo sollecitante dovuto ai permanenti portati (pavimentazione, cordolo, sicur via, barriera antirumore)
------------------------------	--------------------	---

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	85 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n \cdot I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.62 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	0.39 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	0.44 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-1.02 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	-0.57 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
		variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Perdite di tensione lente a tempo infinito**  
**Deformazione per ritiro nella trave**

$\epsilon_{cd,r}$	-0.0001988	<b>deformazione per ritiro da essiccamento a tempo <math>\infty</math></b>
$\epsilon_{cd}(t)$	-0.0001988	ritiro avvenuto nelle fasi precedenti
$\epsilon_{cd,r} - \epsilon_{cd}(t)$	<b>0.0000000</b>	ritiro depurato da quello avvenuto nelle fasi precedenti
$\Delta\sigma_{ritiro} = -E_s(\epsilon_{cd,r} - \epsilon_{cd}(t))$	<b>0.00 MPa</b>	<b>perdita di precompressione per ritiro a t <math>\infty</math></b>
u	11771.24 mm	perimetro di cls esposto all'aria
h <sub>0</sub>	184.6 mm	dimensione fittizia pari a 2A <sub>s</sub> /u Ac è l'area della sezione in cls e u il perimetro
k <sub>h</sub>	0.87	
UR	80 %	umidità relativa
$\epsilon_{c0}$	-0.000228	
$\epsilon_{ca}$	<b>0.0000000</b>	<b>ritiro autogeno (già scontato)</b>

**Deformazione per ritiro nella soletta**

$\epsilon_{cd,r}$	-0.0001677	<b>deformazione per ritiro da essiccamento a tempo <math>\infty</math></b>
% ritiro trave esaurito	100%	Percentuale di ritiro esaurito dalla trave al momento del getto della soletta
$\epsilon_{cd}(t)$	0.0000000	ritiro della trave ancora da scontare
$\Delta\epsilon_{cd,r}$	<b>-0.0002153</b>	<b>ritiro totale depurato da quello delle fasi precedenti (ritiro differenziale)</b>
Ac	8640 cm <sup>2</sup>	Area sola soletta
u	4920.00 mm	perimetro di cls esposto all'aria
h <sub>0</sub>	351.2 mm	dimensione fittizia pari a 2A <sub>s</sub> /u Ac è l'area della sezione in cls e u il perimetro
k <sub>h</sub>	0.74	
UR	80 %	umidità relativa
$\epsilon_{c0}$	-0.000228	
$\epsilon_{ca}$	<b>-0.0000476</b>	<b>ritiro autogeno soletta</b>

**Deformazione per viscosità**

$\epsilon_v(x, t_2) = \Phi(x, t_2)\sigma_{c0}/E_c$	-0.0000280	
$\Delta\sigma_v(x, t_2)$	<b>0.55 Mpa</b>	<b>perdita di precompressione per viscosità a t <math>\infty</math></b>
UR	75.00	scrivere 55 o 75
t <sub>2</sub>	61.00 giorni	fissato 61_momento della mese: max 60gg in tab
$\Phi(x, t_0)$	1.78	

**Effetto del ritiro differenziale tra trave e soletta**

E <sub>cv</sub>	1172234.09 N/cm <sup>2</sup>	modulo elastico del cls scontato degli effetti viscosi
$\Delta\sigma$ soletta	-2.52 MPa	trazione iniziale nella soletta
N	2181.08 kN	
M	1771.13 kNm	
$\Delta\sigma$ sup soletta	-0.41 MPa	
$\Delta\sigma$ inf soletta	-0.80 MPa	
$\Delta\sigma$ sup trave	1.92 MPa	
$\Delta\sigma$ inf trave	-0.63 MPa	
$\Delta\sigma$ cavi trave	0.15 MPa	

**Cadute di tensione per rilassamento dell'acciaio**

$\Delta\sigma_r^1$	0.00 N/mm <sup>2</sup>	perdita di precompressione per rilassamento a t $\infty$
--------------------	------------------------	--

**Perdita di precompressione totale in fase 2**

$\Delta\sigma_{pr}^2 = \Delta\sigma_{ritiro}^2 + \Delta\sigma_v^2 + \Delta\sigma_r^2$	<b>0.55 MPa</b>	
$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^2 \cdot A_{tr}$	3.64 kN	

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	86 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{\text{pres,soletta}}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.0001 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo superiore
$\Delta\sigma_{\text{pres,soletta}}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.0006 MPa	Trazione	variazione di tensione nella soletta al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{\text{pres,trave}}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.0006 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{\text{pres,trave}}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-0.0049 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{\text{pres,trave}}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e^2}{I_g^*}$	-0.0036 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdcs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{pres,soletta}^2 \quad \mathbf{0.21 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificat Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      17.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      83.96

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{pres,soletta}^2 \quad \mathbf{-0.41 \text{ MPa}} \quad \text{Trazione} \quad \text{Verificat } \sigma > k f_{ctm}(t)$$

fctm/1,2      -2.36 MPa  
Coeff. di sicurezza      5.77

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^2 = \sigma_{cs,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{pres,trave}^2 \quad \mathbf{7.56 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificat Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.62

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci,trave}^2 = \sigma_{ci,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{pres,trave}^2 \quad \mathbf{6.65 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificat Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      4.12

**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc,trave}^2 = \sigma_{cc,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc,trave}^2 + \Delta\sigma_{pres,trave}^2 \quad \mathbf{6.93 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificat Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

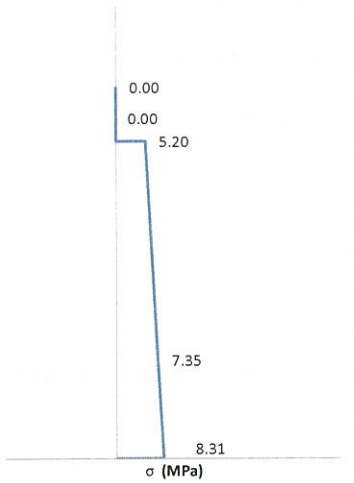
0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.95

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

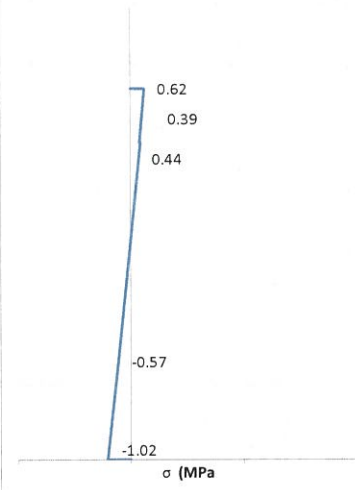
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100.001	A	87 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

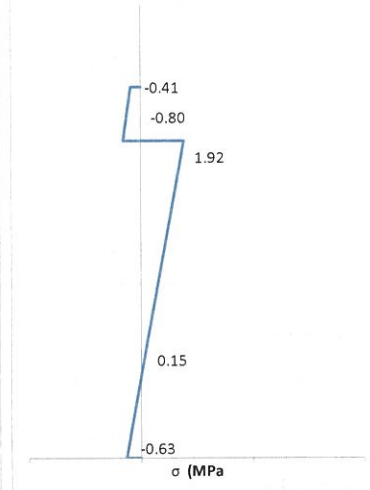
Tensioni cls - fase1



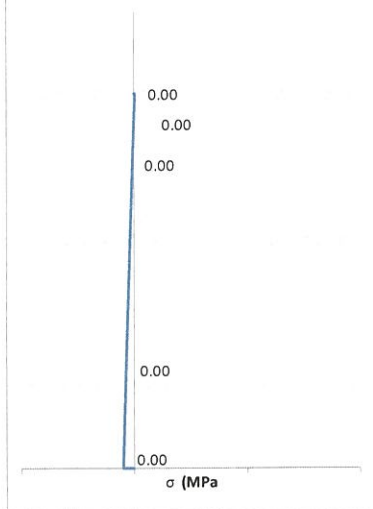
Tensioni permanenti - fase2



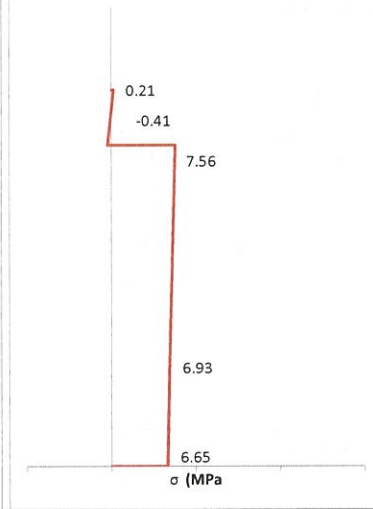
Tensioni ritiro soletta - fase2



Perdite - fase2



Tensioni cls - fase2



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp}^2 = \sigma_{sp}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prec, trave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{idc, trave}^2 = 1299.62 \text{ MPa}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	88 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**ESERCIZIO: fase 3**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Sollecitazioni

$M_{max}$  2216.00 kNm momento massimo sollecitante dovuto ai variabili da traffico

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^3 = \frac{M_{max}^g}{nI_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	1.351 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^3 = \frac{M_{max}^g}{nI_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	0.861 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^3 = \frac{M_{max}^g}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	0.962 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{ci,trave}^3 = \frac{M_{max}^g}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-2.235 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^3 = \frac{M_{max}^g}{I_g^*} \cdot e$	-1.251 MPa	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$\sigma_{cs,soletta}^3 = \sigma_{cs,soletta}^2 + \Lambda\sigma_{cs,soletta}^3$  1.56 MPa Compressione **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$

0,6xfck 17.43 MPa  
Coeff. di sicurezza 11.18

**Tensione cls lembo inferiore soletta**

$\sigma_{ci,soletta}^3 = \sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^3$  0.45 MPa Compressione **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$

0,6xfck 17.43 MPa  
Coeff. di sicurezza 38.60

**Tensione cls lembo superiore trave**

$\sigma_{cs,trave}^3 = \sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^3$  8.53 MPa Compressione **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$

0,6xfck 27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza 3.21

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$\sigma_{ci,trave}^3 = \sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^3$  4.42 MPa Compressione **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$

0,6xfck 27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza 6.20

**Tensione cls a livello del cavo**

$\sigma_{cc}^3 = \sigma_{cc}^2 + \Lambda\sigma_{cc}^3$  5.68 MPa Compressione **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$

0,6xfck 27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza 4.82

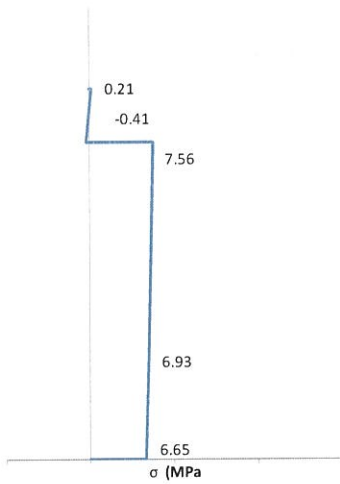


IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

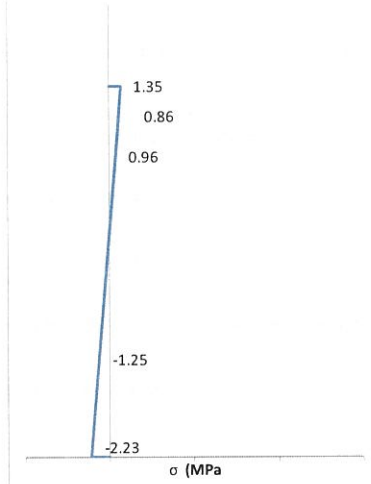
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100.001	A	89 di 123

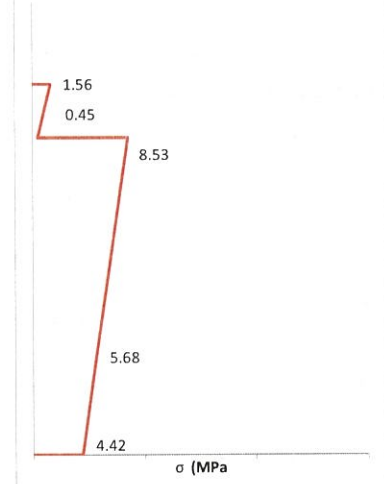
Tensioni cls - fase2



Accidentali- fase3



Tensioni - fase3



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp}^3 = \sigma_{sp}^2 + n \cdot \Delta \sigma_{cc}^3 = 1306.32 \text{ MPa}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	90 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

### 9.2.2 Verifica SLU-STR

Si riportano le verifiche nei confronti delle azioni flettenti allo stato limite ultimo

Si individua la configurazione di equilibrio limite di deformazione della sezione.

Tensioni limite nel calcestruzzo:

Resistenza a compressione a S.L.U. della trave	$f_{cd,tr}$	25.87 MPa
Resistenza a compressione a S.L.U. della soletta	$f_{cd,soi}$	16.46 MPa

Tensioni limite nell'acciaio:

Tensione di rottura a S.L.U. dell'acciaio armonico	$f_{spta} = f_{sptk}/\gamma_s$	1617 MPa
--	--------------------------------	----------

Deformazioni limite:

Deformazione di compressione massima a S.L.U. nel cls	$\epsilon_{cu}$	0.0035 -
Deformazione di trazione massima a S.L.U. nell'acciaio armonico	$\epsilon_{spu}$	-0.0350 -
Deformazione di trazione a snervamento nell'acciaio armonico	$\epsilon_{spy}$	-0.0074 -

DEFORMAZIONI NELLA CONFIGURAZIONE LIMITE

Nel calcestruzzo:		0.002845678
-------------------	--	-------------

Deformazione di compressione massima nel cls	$\epsilon_c$	0.0028435 -
--	--------------	-------------

Nell'armatura ordinaria:

Deformazione di trazione max nell'acciaio ordinario	$\epsilon_{aoLimite}$	-0.0150000 -
---	-----------------------	--------------

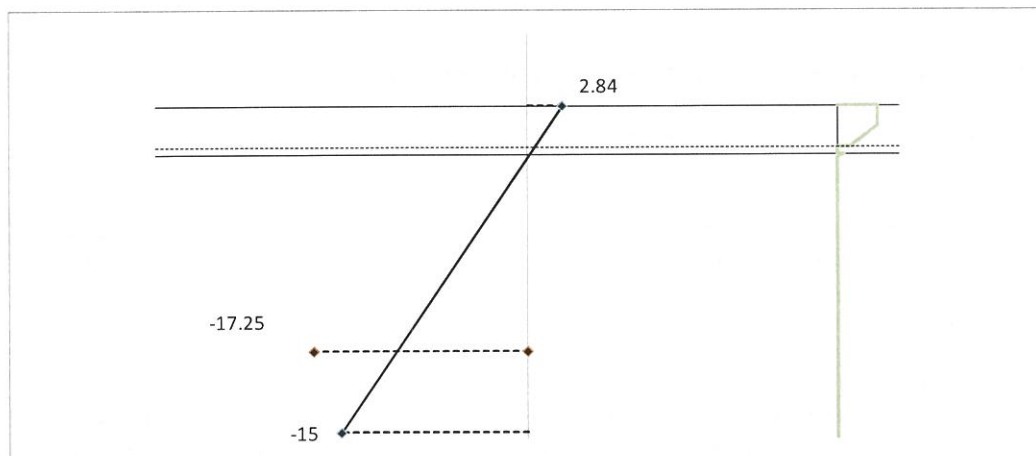
Nell'armatura di precompressione:

	$\epsilon_{iniziale\ al\ tiro}$	-0.0069231 -
	$\epsilon_{perdite}$	0.0002830 -
	$\epsilon_{pp+perm}$	-0.0000246 -
Deformazione di trazione max nell'acciaio armonico	$\epsilon_{Finale}$	-0.0066647 -
	$\epsilon_{Limite}$	-0.0105885 -
	$\epsilon_{Totale}$	-0.0172532 -

Altezza massima sezione composta	H	246.0 cm
----------------------------------	---	----------

Posizione del baricentro dei cavi dall'intradosso della trave	h	64.58333333 cm
---	---	----------------

Posizione dell'asse neutro dall'intradosso della trave	$d_0$	207.6 cm
--	-------	----------



TENSIONI NELLA CONFIGURAZIONE LIMITE

Tensione di snervamento dell'acciaio armonico	$f_{p(1)k}/\gamma_s$	1452 MPa
Tensione nell'armatura di precompressione	$\sigma_{spi}$	1510 MPa

RISULTANTI DEGLI SFORZI NELLA CONFIGURAZIONE DI EQUILIBRIO LIMITE

Nell'armatura di precompressione:

Risultante nell'armatura di precompressione	$R_{spi}$	-10073.0 kN
---	-----------	-------------

Nel calcestruzzo:

Risultante degli sforzi nel calcestruzzo compresso	$R_c$	10074 kN
--	-------	----------

Scarto tra le risultanti di trazione e di compressione

$$\Delta R_c = 1 \text{ kN}$$

MOMENTI RESISTENTI NELLA CONFIGURAZIONE DI EQUILIBRIO LIMITE

Nell'armatura di precompressione:

Momento resistente dell'armatura di precompressione	$M_{spi}$	-6505 kNm
---	-----------	-----------

Nel calcestruzzo:

Momento resistente nel calcestruzzo compresso	$M_c$	23491 kNm
---	-------	-----------

**MOMENTO RESISTENTE TOTALE**

$$M_{rd} = 16986 \text{ kNm}$$

### 9.3 Travi principali - Verifica fessurazione sezione di mezzeria

Le combinazioni SLE Frequenti presentano sollecitazioni inferiori a quelle delle combinazioni Rare analizzate nelle verifiche tensionali sopra riportate.

Secondo il §4.1.2.2.4.1 delle Norme Tecniche lo stato limite di formazione delle fessure si ha quando la tensione massima di trazione della sezione supera

$$\frac{f_{ctm}}{1.2} = 3.16 \text{ MPa}$$

Si ha quindi che le combinazioni frequenti non portano mai alla formazione di fessure in quanto già nelle combinazioni RARE la tensione massima non supera il valore sopra riportato.

#### 9.4 Taglio e torsione in sezione corrente

Si effettua la verifica a taglio in corrispondenza della sezione corrente prossima all'appoggio ( $x = 1.75$  m dall'asse appoggi, coincidente con l'inizio del ringrosso).

La disposizione dei carichi accidentali è tale da massimizzare il valore delle azioni in oggetto.

##### VERIFICA A TAGLIO-TORSIONE

La verifica viene condotta con riferimento a due combinazioni distinte, una per massimizzare l'effetto del taglio, valutando il valore di momento torcente concomitante, l'altra per massimizzare l'effetto torcente, considerando altresì l'effetto del taglio concomitante.

La prima combinazione prevede che entrambi i binari siano caricati, con i treni di carico disposti in modo da massimizzare gli effetti sull'appoggio.

La seconda combinazione prevede un solo binario caricato.

Per effetto dei carichi considerati si hanno quindi i seguenti valori di taglio massimo sulla trave più caricata:

$$T_{G1} = 590 \text{ kN}$$

$$T_{G2} = 234 \text{ kN}$$

$$T_{G3} = 320 \text{ kN}$$

$$T_{SW2+LM71} = 886 \text{ kN}$$

$$T_{\text{avviamento } SW2} = 134 \text{ kN} / 4 \text{ travi} = 33.50 \text{ kN}$$

$$T_{\text{frenatura } LM71} = 126 \text{ kN} / 4 \text{ travi} = 31.50 \text{ kN}$$

$$T_{\text{vento}} = 64 \text{ kN}$$

I valori di taglio sopra descritti vanno incrementati mediante i coefficienti di combinazione allo stato limite ultimo:

$$T_{G1} = 1.35 \cdot 590 = 797 \text{ kN}$$

$$T_{G2} = 1.35 \cdot 234 \text{ kN} = 316 \text{ kN}$$

$$T_{G3} = 1.50 \cdot 320 \text{ kN} = 480 \text{ kN}$$

$$T_{SW2+LM71} = 1.45 \cdot 886 \text{ kN} = 1285 \text{ kN}$$

$$T_{\text{avviamento } SW2} = 1.45 \cdot 33.50 \text{ kN} = 48.575 \text{ kN}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	94 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

$$T_{\text{frenatura LM71}} = 1.45 \cdot 31.50 \text{ kN} = 45.675 \text{ kN}$$

$$T_{\text{vento}} = 0.9 \cdot 64 \text{ kN} = 58 \text{ kN}$$

$$T_{\text{Sd SLU}} = \mathbf{3030 \text{ kN}}$$

Il valore del momento torcente concomitante è pari a 84.00 kNm. Infatti, considerando il caso di massimo taglio, ovvero con entrambi i binari caricati, la torsione è dovuta alla differenza di momento torcente dato dal treno tipo SW2 e quello dato dal treno tipo LM71 più il contributo del vento.

Per la combinazione di massimo momento torcente, si considerano i medesimi valori di calcolo sopra descritti, esclusi quelli relativi al treno di carico tipo LM71 (valori dovuti al carico da traffico verticale e alla frenatura).

Riassumendo si hanno i seguenti valori di sollecitazione per le due combinazioni descritte:

*Sollecitazioni allo SLU Combinazione di massimo taglio*

$$V_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo dello sforzo di taglio agente} \quad \text{kN} \quad 3030$$

$$T_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo del momento torcente agente} \quad \text{kNm} \quad 84$$

*Sollecitazioni allo SLU Combinazione di massima torsione*

$$V_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo dello sforzo di taglio agente} \quad \text{kN} \quad 2834$$

$$T_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo del momento torcente agente} \quad \text{kNm} \quad 148$$

Si riporta nel seguito il dettaglio del calcolo per le due combinazioni considerate sopra descritte.

Combinazione di massimo taglio

Verifica a taglio

**Dati di progetto:**

**T = 3027.0** KN azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 55.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
 B450C **450** tipologia barre d'acciaio  
 $B = 32.0$  cm base sezione rettangolare  
 $H = 210.0$  cm altezza sezione rettangolare  
 $c = 5.0$  cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 16.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 4$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 804.2$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 $s = 15$  cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata **N** (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	<b>0</b>	<b>0</b>
II° strato	<b>0</b>	<b>0</b>

$A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.3123$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 32.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio  
 $H = 210.0$  cm altezza sezione  
 $d = H - c = 205.0$  cm altezza utile della sezione  
 $k = 1.312$  k deve essere  $\leq 2$   
 $A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> armature di trazione  
 $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00000$   
 $N_{sd} = 0.0$  N  
 $A_c = 672000.0$  mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{cp} = 0.0$  N/mm<sup>2</sup>  
 $v_{min} = 0.4$   
 $V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 233.2$  KN  
 $V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 233.22$  KN **c.s. = 0.08 no!**

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	96 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Verifica a taglio sezione con armatura resistente a taglio**

Verifica biella di conglomerato compressa:

$f_{cd} =$	25.9	N/mm <sup>2</sup>	
$b_w =$	32.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$H =$	210.0	cm	altezza sezione
$d = H - c =$	205.0	cm	altezza utile della sezione
$z =$	184.5	cm	braccio della coppia interna
$\alpha_{cW} =$	1.0		da definire in funzione della compressione presente
$\alpha =$	1.571	rad	inclinazione armatura trasversale
$\theta =$	0.785	rad	inclinazione biella compressa
$\cot\theta + \tan\theta =$	2.0		
$1 + \cot\alpha =$	1.0		$\cot\alpha = 0$ per staffe verticali o combinate
$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/200) =$	0.49		
$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b_w (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2\theta) =$	<b>3818.2</b>	KN	

Verifica armatura trasversale d'anima:

$f_{ctd} =$	1.8	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ywd} =$	391.3	N/mm <sup>2</sup>	
$b_w =$	32.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$d =$	205.0	cm	altezza utile della sezione
$A_{sw} =$	804.2	mm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
$s =$	15.0	cm	passo armatura trasversale
$\alpha =$	1.571	rad	inclinazione armatura trasversale
$\delta =$	1.0		coefficiente per la presenza di sforzo normale
$V_{Rsd} = (0.9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \text{sen}\alpha =$	<b>3870.9</b>	KN	

Verifica complessiva:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = \mathbf{3818.2} \quad \text{kN} \quad \mathbf{c.s. = 1.26} \quad > \mathbf{1} \quad \text{verifica soddisfatta}$$





LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:

Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO DEFINITIVO

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	97 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

### Verifica a torsione

#### TORSIONE SEMPLICE DI SEZIONE POLIGONALE

NOME SEZIONE: torsione

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Stati Limite Ultimi

Normativa di riferimento:

NTC

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C45/55  
 Resist. compr. di calcolo  $f_{cd}$  : 255.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. compr. ridotta  $f_{cd}'$  : 127.50 daN/cm<sup>2</sup>

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam.  $f_{yk}$  : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo  $f_{yd}$  : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>

#### COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE POLIGONALE

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-16.0	0.0
2	-16.0	210.0
3	16.0	210.0
4	16.0	0.0

#### RISULTATI DEL CALCOLO A TORSIONE SEMPLICE

Momento Torcente  $T_{sdu}$  di calcolo: 84 daNm  
 Momento Torc. Resist.  $T_{rdu}$  sez. tubolare conglom.: 50314 daNm  
 Momento Torc. Resist.  $T_{rds}$  sviluppato dalle staffe: 33881 daNm  
 Momento Torc. Resist.  $T_{rld}$  delle barre longitudinali: 3568 daNm

#### Sezione verificata a torsione semplice

Area  $A_c$  del perimetro esterno sezione: 6720 cm<sup>2</sup>  
 Misura  $P_c$  del Perimetro esterno sezione: 484 cm  
 Spessore sez. anulare resistente ( $=A_c/P_c$ ): 13.9 cm  
 Area resistente (racchiusa dal perimetro medio): 3553 cm<sup>2</sup>  
 Misura del Perimetro medio sez. tubolare resist.: 428 cm<sup>2</sup>

Area Staffe di calcolo: 0.0 cm<sup>2</sup>/m  
 Staffe progettate: 1 Staffa  $\varnothing$  16 /33.0 (6.1)  
 Area barre longitudinali calcolate: 0.3 cm<sup>2</sup>  
 Barre longitudinali progettate: 14  $\varnothing$  10 (11.0 cm<sup>2</sup>)

N.B. Le armature sopra definite come 'calcolate' sono quelle ottenute con riferimento al momento agente ed alle resistenze dei materiali impiegati. Le armature sopra definite come 'progettate' oltre a tener conto del diametro effettivo scelto per le barre considerano anche le minime quantità di normativa. Il numero delle barre longitudinali progettate è tale da consentirne la

disposizione lungo il perimetro con interasse non superiore a 35 cm.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	98 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione di massima torsione

Verifica a taglio

Dati di progetto:

$T = 2834.0$  KN azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 55.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
B450C **450** tipologia barre d'acciaio  
 $B = 32.0$  cm base sezione rettangolare  
 $H = 210.0$  cm altezza sezione rettangolare  
 $c = 5.0$  cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 16.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 4$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 804.2$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 $s = 15$  cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata  (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	0	0
II° strato	0	0

$A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.3123$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 32.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio

$H = 210.0$  cm altezza sezione

$d = H - c = 205.0$  cm altezza utile della sezione

$k = 1.312$  k deve essere  $\leq 2$

$A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> armature di trazione

$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00000$

$N_{sd} = 0.0$  N

$A_c = 672000.0$  mm<sup>2</sup>

$\sigma_{cp} = 0.0$  N/mm<sup>2</sup>

$v_{min} = 0.4$

$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 233.2$  KN

$V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 233.22$  KN **c.s. = 0.08 no!**

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	99 di 123

**Verifica a taglio sezione con armatura resistente a taglio**

Verifica biella di conglomerato compressa:

$$\begin{aligned}
 f_{cd} &= 25.9 && \text{N/mm}^2 \\
 b_w &= 32.0 && \text{cm} \quad \text{larghezza sezione resistente a taglio} \\
 H &= 210.0 && \text{cm} \quad \text{altezza sezione} \\
 d = H - c &= 205.0 && \text{cm} \quad \text{altezza utile della sezione} \\
 z &= 184.5 && \text{cm} \quad \text{braccio della coppia interna} \\
 \alpha_{cw} &= 1.0 && \text{da definire in funzione della compressione presente} \\
 \alpha &= 1.571 && \text{rad} \quad \text{inclinazione armatura trasversale} \\
 \theta &= 0.785 && \text{rad} \quad \text{inclinazione biella compressa} \\
 \cot\theta + \tan\theta &= 2.0 \\
 1 + \cot\alpha &= 1.0 && \cot\alpha = 0 \text{ per staffe verticali o combinate} \\
 v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/200) &= 0.49 \\
 V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot b_w (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot\theta^2) &= \mathbf{3818.2} && \text{KN}
 \end{aligned}$$

Verifica armatura trasversale d'anima:

$$\begin{aligned}
 f_{ctd} &= 1.8 && \text{N/mm}^2 \\
 f_{ywd} &= 391.3 && \text{N/mm}^2 \\
 b_w &= 32.0 && \text{cm} \quad \text{larghezza sezione resistente a taglio} \\
 d &= 205.0 && \text{cm} \quad \text{altezza utile della sezione} \\
 A_{sw} &= 804.2 && \text{mm}^2 \quad \text{area armatura trasversale} \\
 s &= 15.0 && \text{cm} \quad \text{passo armatura trasversale} \\
 \alpha &= 1.571 && \text{rad} \quad \text{inclinazione armatura trasversale} \\
 \delta &= 1.0 && \text{coefficiente per la presenza di sforzo normale} \\
 V_{Rsd} = (0.9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \text{sen}\alpha &= \mathbf{3870.9} && \text{KN}
 \end{aligned}$$

Verifica complessiva:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = \mathbf{3818.2} \quad \text{kN} \quad \text{c.s.} = \mathbf{1.35} \quad > \mathbf{1} \quad \text{verifica soddisfatta}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	100 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

*Verifica a torsione*

**TORSIONE SEMPLICE DI SEZIONE POLIGONALE**

**NOME SEZIONE:** torsione

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Stati Limite Ultimi

Normativa di riferimento:

NTC

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C45/55  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 255.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd': 127.50 daN/cm<sup>2</sup>

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>

**COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE POLIGONALE**

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-16.0	0.0
2	-16.0	210.0
3	16.0	210.0
4	16.0	0.0

**RISULTATI DEL CALCOLO A TORSIONE SEMPLICE**

Momento Torcente T<sub>sd</sub> di calcolo: 148 daNm  
 Momento Torc. Resist. Tr<sub>du</sub> sez. tubolare conglom.: 50314 daNm  
 Momento Torc. Resist. Tr<sub>sd</sub> sviluppato dalle staffe: 33881 daNm  
 Momento Torc. Resist. Tr<sub>ld</sub> delle barre longitudinali: 3568 daNm

**Sezione verificata a torsione semplice**

Area A<sub>c</sub> del perimetro esterno sezione: 6720 cm<sup>2</sup>  
 Misura P<sub>c</sub> del Perimetro esterno sezione: 484 cm  
 Spessore sez. anulare resistente (=A<sub>c</sub>/P<sub>c</sub>): 13.9 cm  
 Area resistente (racchiusa dal perimetro medio): 3553 cm<sup>2</sup>  
 Misura del Perimetro medio sez. tubolare resist.: 428 cm<sup>2</sup>

Area Staffe di calcolo: 0.0 cm<sup>2</sup>/m  
 Staffe progettate: 1 Staffa Ø 16 /33.0 (6.1)  
 Area barre longitudinali calcolate: 0.5 cm<sup>2</sup>  
 Barre longitudinali progettate: 14 Ø 10 (11.0 cm<sup>2</sup>)

N.B. Le armature sopra definite come 'calcolate' sono quelle ottenute con riferimento al momento agente ed alle resistenze dei materiali impiegati. Le armature sopra definite come 'progettate' oltre a tener conto del diametro effettivo scelto per le barre considerano anche le minime quantità di normativa. Il numero delle barre longitudinali progettate è tale da consentirne la

disposizione lungo il perimetro con interasse non superiore a 35 cm.

## 9.5 Taglio e torsione in sezione di appoggio

Si effettua la verifica a taglio in corrispondenza della sezione di appoggio.

La disposizione dei carichi accidentali è tale da massimizzare il valore delle azioni in oggetto.

### VERIFICA A TAGLIO-TORSIONE

La verifica viene condotta con riferimento a due combinazioni distinte, una per massimizzare l'effetto del taglio, valutando il valore di momento torcente concomitante, l'altra per massimizzare l'effetto torcente, considerando altresì l'effetto del taglio concomitante.

La prima combinazione prevede che entrambi i binari siano caricati, con i treni di carico disposti in modo da massimizzare gli effetti sull'appoggio.

La seconda combinazione prevede un solo binario caricato.

Per effetto dei carichi considerati si hanno quindi i seguenti valori di taglio massimo sulla trave più caricata:

$$T_{G1} = 715 \text{ kN}$$

$$T_{G2} = 291 \text{ kN}$$

$$T_{G3} = 374 \text{ kN}$$

$$T_{SW2+LM71} = 975 \text{ kN}$$

$$T_{\text{avviamento SW2}} = 134 \text{ kN} / 4 \text{ travi} = 33.50 \text{ kN}$$

$$T_{\text{frenatura LM71}} = 126 \text{ kN} / 4 \text{ travi} = 31.50 \text{ kN}$$

$$T_{\text{vento}} = 64 \text{ kN}$$

I valori di taglio sopra descritti vanno incrementati mediante i coefficienti di combinazione allo stato limite ultimo:

$$T_{G1} = 1.35 \cdot 715 = 965 \text{ kN}$$

$$T_{G2} = 1.35 \cdot 291 \text{ kN} = 393 \text{ kN}$$

$$T_{G3} = 1.50 \cdot 374 \text{ kN} = 561 \text{ kN}$$

$$T_{SW2+LM71} = 1.45 \cdot 975 \text{ kN} = 1414 \text{ kN}$$

$$T_{\text{avviamento SW2}} = 1.45 \cdot 33.50 \text{ kN} = 48.575 \text{ kN}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	102 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

$$T_{\text{frenatura LM71}} = 1.45 \cdot 31.50 \text{ kN} = 45.675 \text{ kN}$$

$$T_{\text{vento}} = 0.9 \cdot 64 \text{ kN} = 58 \text{ kN}$$

$$T_{\text{Sd SLU}} = \mathbf{3485 \text{ kN}}$$

Il valore del momento torcente concomitante è pari a 84.00 kNm. Infatti, considerando il caso di massimo taglio, ovvero con entrambi i binari caricati, la torsione è dovuta alla differenza di momento torcente dato dal treno tipo SW2 e quello dato dal treno tipo LM71 più il contributo del vento.

Per la combinazione di massimo momento torcente, si considerano i medesimi valori di calcolo sopra descritti, esclusi quelli relativi al treno di carico tipo LM71 (valori dovuti al carico da traffico verticale e alla frenatura).

Riassumendo si hanno i seguenti valori di sollecitazione per le due combinazioni descritte:

*Sollecitazioni allo SLU Combinazione di massimo taglio*

$$V_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo dello sforzo di taglio agente} \quad \text{kN} \quad 3485$$

$$T_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo del momento torcente agente} \quad \text{kNm} \quad 239$$

*Sollecitazioni allo SLU Combinazione di massima torsione*

$$V_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo dello sforzo di taglio agente} \quad \text{kN} \quad 3290$$

$$T_{\text{Ed}} = \text{valore di calcolo del momento torcente agente} \quad \text{kNm} \quad 336$$

Si riporta nel seguito il dettaglio del calcolo per le due combinazioni considerate sopra descritte.

Combinazione di massimo taglio

Verifica a taglio

**Dati di progetto:**

**T = 3485.0** KN azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 55.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
 B450C 450 tipologia barre d'acciaio  
 B = 70.0 cm base sezione rettangolare  
 H = 210.0 cm altezza sezione rettangolare  
 c = 5.0 cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 16.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 6$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 1206.4$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 s = 13 cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata **N** (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	0	0
II° strato	0	0

$A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.3123$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 70.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio  
 $H = 210.0$  cm altezza sezione  
 $d = H - c = 205.0$  cm altezza utile della sezione  
 $k = 1.312$  k deve essere  $\leq 2$   
 $A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> armature di trazione  
 $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00000$   
 $N_{sd} = 0.0$  N  
 $A_c = 1470000.0$  mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{cp} = 0.0$  N/mm<sup>2</sup>  
 $v_{min} = 0.4$   
 $V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 510.2$  KN  
 $V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 510.17$  KN **c.s. = 0.15 no!**

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	104 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**Verifica a taglio sezione con armatura resistente a taglio**

Verifica biella di conglomerato compressa:

$f_{cd} =$	25.9	N/mm <sup>2</sup>	
$b_w =$	70.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$H =$	210.0	cm	altezza sezione
$d = H - c =$	205.0	cm	altezza utile della sezione
$z =$	184.5	cm	braccio della coppia interna
$\alpha_{cW} =$	1.0		da definire in funzione della compressione presente
$\alpha =$	1.571	rad	inclinazione armatura trasversale
$\theta =$	0.785	rad	inclinazione biella compressa
$\cot\theta + \tan\theta =$	2.0		
$1 + \cot\alpha =$	1.0		$\cot\alpha = 0$ per staffe verticali o combinate
$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/200) =$	0.49		
$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot b_w (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2\theta) =$	<b>8352.2</b>	KN	

Verifica armatura trasversale d'anima:

$f_{ctd} =$	1.8	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ywd} =$	391.3	N/mm <sup>2</sup>	
$b_w =$	70.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$d =$	205.0	cm	altezza utile della sezione
$A_{sw} =$	1206.4	mm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
$s =$	12.5	cm	passo armatura trasversale
$\alpha =$	1.571	rad	inclinazione armatura trasversale
$\delta =$	1.0		coefficiente per la presenza di sforzo normale
$V_{Rsd} = (0.9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \text{sen}\alpha =$	<b>6967.6</b>	KN	

Verifica complessiva:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = \mathbf{6967.6} \quad \text{kN} \quad \mathbf{c.s. = 2.00} \quad > 1 \text{ verifica soddisfatta}$$



IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	105 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

*Verifica a torsione*

**TORSIONE SEMPLICE DI SEZIONE POLIGONALE**

**NOME SEZIONE:** torsione\_app

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Stati Limite Ultimi

Normativa di riferimento:

NTC

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C45/55  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 255.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd': 127.50 daN/cm<sup>2</sup>

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>

**COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE POLIGONALE**

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-35.0	0.0
2	-35.0	210.0
3	35.0	210.0
4	35.0	0.0

**RISULTATI DEL CALCOLO A TORSIONE SEMPLICE**

Momento Torcente T<sub>sd</sub> di calcolo: 239 daNm  
 Momento Torc. Resist. Tr<sub>du</sub> sez. tubolare conglom.: 215246 daNm  
 Momento Torc. Resist. Tr<sub>sd</sub> sviluppato dalle staffe: 76664 daNm  
 Momento Torc. Resist. Tr<sub>ld</sub> delle barre longitudinali: 8688 daNm

**Sezione verificata a torsione semplice**

Area Ac del perimetro esterno sezione: 14700 cm<sup>2</sup>  
 Misura P<sub>c</sub> del Perimetro esterno sezione: 560 cm  
 Spessore sez. anulare resistente (=Ac/P<sub>c</sub>): 26.3 cm  
 Area resistente (racchiusa dal perimetro medio): 8039 cm<sup>2</sup>  
 Misura del Perimetro medio sez. tubolare resist.: 455 cm<sup>2</sup>

Area Staffe di calcolo: 0.0 cm<sup>2</sup>/m  
 Staffe progettate: 1 Staffa Ø 16 /33.0 (6.1)  
 Area barre longitudinali calcolate: 0.3 cm<sup>2</sup>  
 Barre longitudinali progettate: 16 Ø 10 (12.6 cm<sup>2</sup>)

N.B. Le armature sopra definite come 'calcolate' sono quelle ottenute con riferimento al momento agente ed alle resistenze dei materiali impiegati. Le armature sopra definite come 'progettate' oltre a tener conto del diametro effettivo scelto per le barre considerano anche le minime quantità di normativa. Il numero delle barre longitudinali progettate è tale da consentirne la

disposizione lungo il perimetro con interasse non superiore a 35 cm.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	106 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione di massima torsione

Verifica a taglio

Dati di progetto:

$T = 3290.0$  KN azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 55.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
B450C **450** tipologia barre d'acciaio  
 $B = 70.0$  cm base sezione rettangolare  
 $H = 210.0$  cm altezza sezione rettangolare  
 $c = 5.0$  cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 16.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 6$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 1206.4$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 $s = 13$  cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata **N** (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	0	0
II° strato	0	0

$A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.3123$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 70.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio  
 $H = 210.0$  cm altezza sezione  
 $d = H - c = 205.0$  cm altezza utile della sezione  
 $k = 1.312$  k deve essere  $\leq 2$   
 $A_{sl} = 0.0$  mm<sup>2</sup> armature di trazione

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00000$$

$N_{sd} = 0.0$  N

$A_c = 1470000.0$  mm<sup>2</sup>

$\sigma_{cp} = 0.0$  N/mm<sup>2</sup>

$v_{min} = 0.4$

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 510.2 \text{ KN}$$

$$V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 510.17 \text{ KN} \quad \text{c.s.} = 0.16 \text{ no!}$$

**Verifica a taglio sezione con armatura resistente a taglio**

Verifica biella di conglomerato compressa:

$f_{cd} =$	25.9	N/mm <sup>2</sup>	
$b_w =$	70.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$H =$	210.0	cm	altezza sezione
$d = H - c =$	205.0	cm	altezza utile della sezione
$z =$	184.5	cm	braccio della coppia interna
$\alpha_{cW} =$	1.0		da definire in funzione della compressione presente
$\alpha =$	1.571	rad	inclinazione armatura trasversale
$\theta =$	0.785	rad	inclinazione biella compressa
$\cot\theta + \tan\theta =$	2.0		
$1 + \cot\alpha =$	1.0		$\cot\alpha = 0$ per staffe verticali o combinate
$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/200) =$	0.49		
$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot b_w (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2\theta) =$	<b>8352.2</b>	KN	

Verifica armatura trasversale d'anima:

$f_{ctd} =$	1.8	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ywd} =$	391.3	N/mm <sup>2</sup>	
$b_w =$	70.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$d =$	205.0	cm	altezza utile della sezione
$A_{sw} =$	1206.4	mm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
$s =$	12.5	cm	passo armatura trasversale
$\alpha =$	1.571	rad	inclinazione armatura trasversale
$\delta =$	1.0		coefficiente per la presenza di sforzo normale
$V_{Rsd} = (0.9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \text{sen}\alpha =$	<b>6967.6</b>	KN	

Verifica complessiva:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = \mathbf{6967.6} \quad \text{kN} \quad \mathbf{c.s. = 2.12} \quad > 1 \text{ verifica soddisfatta}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	108 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

### Verifica a torsione

#### TORSIONE SEMPLICE DI SEZIONE POLIGONALE

NOME SEZIONE: torsione\_app

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Stati Limite Ultimi

Normativa di riferimento:

NTC

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO -	Classe: C45/55		
	Resis. compr. di calcolo fcd :	255.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd' :	127.50	daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo: B450C		
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>

#### COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE POLIGONALE

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-35.0	0.0
2	-35.0	210.0
3	35.0	210.0
4	35.0	0.0

#### RISULTATI DEL CALCOLO A TORSIONE SEMPLICE

Momento Torcente T <sub>sd</sub> di calcolo:	336	daNm
Momento Torc. Resist. Tr <sub>sd</sub> sez. tubolare conglom.:	215246	daNm
Momento Torc. Resist. Tr <sub>sd</sub> sviluppato dalle staffe:	76664	daNm
Momento Torc. Resist. Tr <sub>ld</sub> delle barre longitudinali:	8688	daNm

#### Sezione verificata a torsione semplice

Area A <sub>c</sub> del perimetro esterno sezione:	14700	cm <sup>2</sup>
Misura P <sub>c</sub> del Perimetro esterno sezione:	560	cm
Spessore sez. anulare resistente (=A <sub>c</sub> /P <sub>c</sub> ):	26.3	cm
Area resistente (racchiusa dal perimetro medio):	8039	cm <sup>2</sup>
Misura del Perimetro medio sez. tubolare resist.:	455	cm <sup>2</sup>

Area Staffe di calcolo:	0.0	cm <sup>2</sup> /m
Staffe progettate:	1 Staffa Ø 16 /33.0 (6.1)	
Area barre longitudinali calcolate:	0.5	cm <sup>2</sup>
Barre longitudinali progettate:	16 Ø 10 (12.6	cm <sup>2</sup> )

N.B. Le armature sopra definite come 'calcolate' sono quelle ottenute con riferimento al momento agente ed alle resistenze dei materiali impiegati. Le armature sopra definite come 'progettate' oltre a tener conto del diametro effettivo scelto per le barre considerano anche le minime quantità di normativa. Il numero delle barre longitudinali progettate è tale da consentirne la disposizione lungo il perimetro con interasse non superiore a 35 cm.

## 9.6 Armatura di connessione trave-soletta in sezione corrente di appoggio

Per la verifica dell'armatura di connessione tra trave e soletta si adotta la formula contenuta in UNI EN 1992-1-1 al punto 6.2.5, di seguito riportata.

Si considera il valore dello scorrimento all'interfaccia, dovuto ai carichi permanenti portati e ai carichi accidentali. Il calcolo dello scorrimento non tiene conto del taglio dovuto ai pesi propri (sia della trave prefabbricata che della soletta), poiché tali carichi agiscono in una fase in cui il collegamento tra trave e soletta non è ancora funzionante.

Per effetto dei carichi considerati si hanno quindi i seguenti valori di taglio sulla trave più caricata ottenuti dal modello di calcolo:

$$T_{G2} = 290 \text{ kN}$$

$$T_{G3} = 374 \text{ kN}$$

$$T_{SW2} = 871 \text{ kN}$$

$$T_{LM71} = 103 \text{ kN}$$

$$T_{\text{avviamento } SW2} = 131 \text{ kN} / 4 \text{ travi} = 32.75 \text{ kN}$$

$$T_{\text{frenatura } LM71} = 123 \text{ kN} / 4 \text{ travi} = 30.75 \text{ kN}$$

I valori di taglio sopra descritti vanno incrementati mediante i coefficienti di combinazione allo stato limite ultimo:

$$T_{G2} = 1.35 \cdot 290 \text{ kN} = 391.5 \text{ kN}$$

$$T_{G3} = 1.50 \cdot 374 \text{ kN} = 561 \text{ kN}$$

$$T_{SW2} = 1.45 \cdot 871 \text{ kN} = 1262.95 \text{ kN}$$

$$T_{LM71} = 1.45 \cdot 103 \text{ kN} = 149.35 \text{ kN}$$

$$T_{\text{avviamento } SW2} = 1.45 \cdot 32.75 \text{ kN} = 47.50 \text{ kN}$$

$$T_{\text{frenatura } LM71} = 1.45 \cdot 30.75 \text{ kN} = 44.70 \text{ kN}$$

$$T_{Sd SLU} = 2457 \text{ kN}$$

Lo sforzo di scorrimento per metro lineare è pari a:

$$q_B = \tau \cdot b = T_{\text{max}} \cdot S_{\text{sol}} / J$$

con  $S_{\text{sol}} = 710381 \text{ cm}^3$  momento statico della soletta rispetto all'asse neutro della sezione omogeneizzata.

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	110 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

$J = 1.462 \text{ cm}^4$  momento di inerzia della sezione omogeneizzata

$q_B = 245700 * 710381/146274605 = 1190 \text{ Kg/cm} = 119000 \text{ Kg/m}$

vengono posizionate staffe  $\phi 18$  a 4 braccia con passo 10cm  $A_s = 4 * 2.54 = 10.16 \text{ cm}^2$

$\tau = q_B / (n * A_s) = 119000 / (10 * 10.16) = 1171.25 \text{ Kg/cm}^2 < f_{yd} / (3)^{0.5} = 3987 / (3)^{0.5} = 2301 \text{ Kg/cm}^2$

In cui  $f_{yd}$  è la resistenza di calcolo dell'acciaio riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

con:

$\gamma_s$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio pari a 1.15

$f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio pari a 450 Mpa

## 10 GIUNTI DI DILATAZIONE

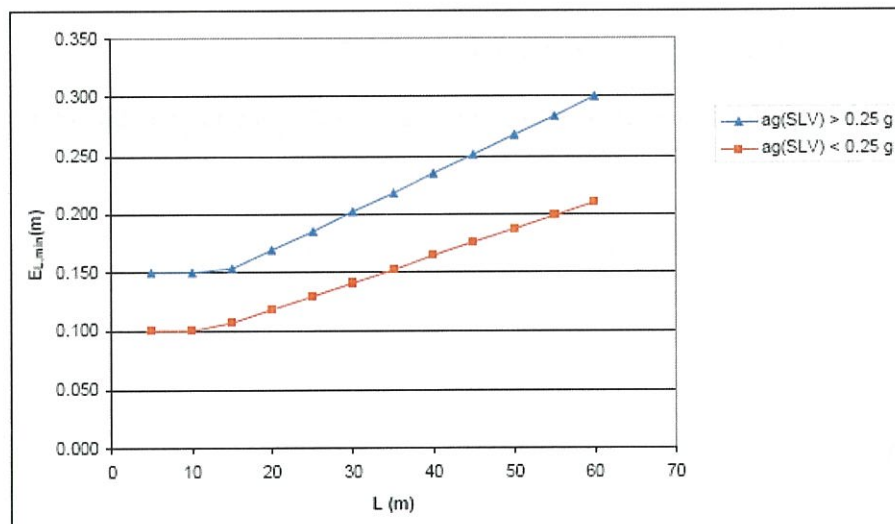
Viene di seguito riportata il calcolo dell'escursione dei giunti e degli apparecchi di appoggio secondo quanto riportato al §2.1.5 della “Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”.

Accelerazione orizzontale massima al sito  $a_g = 0.372g > 0.25g$

$$E_L \geq 3.3 * L / 1000 + 0.1 = 0.1825 \text{ m}$$

L = lunghezza del ponte 25.00 m

$$E_{Lmin} = 19.00 \text{ cm}$$



### 10.1 Corsa degli apparecchi d'appoggio mobili

La corsa degli apparecchi d'appoggio mobili deve essere non inferiore a  $\pm (E_L/2 + E_L/8)$  con un minimo di  $\pm (E_L/2 + 15 \text{ mm})$ . La grandezza  $E_L$  è definita nel punto 2.1.5.1 della “Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”.

$$\pm (E_L/2 + E_L/8) = \pm 11.88 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm}$$

$$\pm (E_L/2 + 15 \text{ mm}) = \pm 11 \text{ cm}$$

### 10.2 Escursione dei giunti

Il giunto fra le testate di due travi adiacenti dovrà consentire una escursione totale pari a:

$$\pm (E_L/2 + 10 \text{ mm}) \text{ calcolata in accordo con il punto 2.1.5.1.}$$

$$\pm (E_L/2 + 10 \text{ mm}) = \pm 10.50 \text{ cm}$$

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	112 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

### 10.3 Ampiezza dei varchi

Il varco da prevedere fra le testate degli impalcati adiacenti, a temperatura media ambiente, dovrà essere non inferiore a:

$$V \geq E_L/2 + V_o \text{ ove } V_o = 20 \text{ mm}$$

$$E_L/2 + 20\text{mm} = 11.5 \text{ cm}$$

Si adotta un varcho da 12cm.

In corrispondenza della spalla fissa è previsto un giunto tipo beta 60/100, tutti gli altri giunti sono tipo 60/200





LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA:

Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO DEFINITIVO

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100.001	A	113 di 123

## 11 VERIFICA AL SOLLEVAMENTO

Con riferimento alla disposizione dei martinetti di sollevamento, lo schema statico e la posizione dei vincoli coincide praticamente con la configurazione di esercizio, pertanto si omettono le verifiche.

## 12 SOLETTA

Nelle verifiche della soletta le predalles non sono state considerate reagenti.

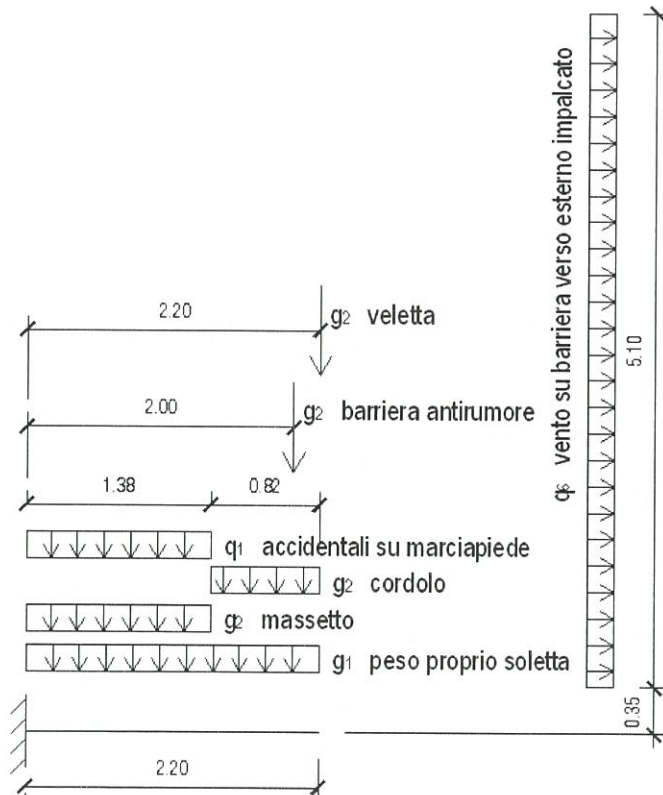
Per le verifiche in esercizio non è stata considerata l'azione di peso proprio della soletta, in quanto agente sulle predalles in fase di getto.

Il limite di apertura delle fessure, calcolate nella soletta in combinazione caratteristica delle azioni, è stato considerato pari a 0.20 mm.

### 12.1 Inviluppo sollecitazioni

Si riporta nel seguito l'analisi in dettaglio della sezione di incastro in corrispondenza dello sbalzo terminale, che rappresenta la situazione gravosa.

Lo schema statico è rappresentato nella seguente figura, dove sono riportati anche i carichi agenti considerati nelle verifiche.



Si riportano di seguito i contributi dei singoli carichi in termini di momento flettente negativo all'incastro:

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	115 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Peso Proprio	M= -18,15 kN m
Permanenti (cordolo e massetto)	M= -10,37 kN m
Barriera antirumore	M= -30 kN m
Veletta	M= -3.30 kN m
Totale permanenti portati	M = 43.67 kN m
Carico accidentale su marciapiede $q_1$	M= -9.53 kN m
Vento sulla barriera antirumore	$q_6$ M= 37 kN m

Calcolo delle sollecitazioni per le verifiche delle tensioni in esercizio e di fessurazione:

Data la presenza di due carichi accidentali (carico sul marciapiede e vento) le possibili combinazioni da considerare sono due, in ciascuna delle quali uno dei due carichi è considerato come dominante.

In particolare per la combinazione caratteristica (rara) si hanno le seguenti due possibili combinazioni:

- 1)  $1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2 + 1 \cdot q_1 + 0.60 \cdot q_6$
- 2)  $1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2 + 0.80 \cdot q_6 + 1 \cdot q_6$

Per la combinazione quasi permanente invece esiste solo la seguente combinazione:

- 1)  $1 \cdot g_1 + 1 \cdot g_2$

Per le verifiche in esercizio non è stata considerata l'azione di peso proprio della soletta, in quanto agente sulle predalles in fase di getto.

Si hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

Larghezza soletta considerata  $B= 1.00$  m

Altezza  $H = 0.25$  m

Armatura al lembo superiore ( $1 \phi 18/10$ ) = 25.45 cm<sup>2</sup>/m;

$$(c+\phi/2)=3.5+1.8/2 = 4.40 \text{ cm}$$

$$\phi_{\text{equivalente}} = 18 \text{ mm}$$

Armatura al lembo inferiore ( $1 \phi 16/20$ ) = 10.05 cm<sup>2</sup>/m;

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	116 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

$$(c+\phi/2) = [(2.0+1.6/2)]=2.80\text{cm}$$

$$\phi_{\text{equivalente}} = 16 \text{ mm}$$

Determinate le caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata con  $n=15$  si ricava il valore dell'asse neutro per le sollecitazioni involuppate e il conseguente stato pensionale.

#### Combinazione caratteristica rara

Nel caso in esame si ricava che:

Momento in esercizio negativo = -88.30 kN m (ottenuto per la combinazione caratteristica 2 di cui sopra)

Azione normale: -12.75 kN (trazione) azione del vento sulla barriera

#### Combinazione quasi permanente

Nel caso in esame si ricava che:

Momento in esercizio negativo = -43.67 kN m (ottenuto per la combinazione q. perm. 1 di cui sopra)

Azione normale: -12.75 kN (trazione) azione del vento sulla barriera

Momento di fessurazione negativo = -80.30 kN m

#### Calcolo delle sollecitazioni per le verifiche allo stato limite ultimo per flessione:

Il momento massimo allo SLU negativo si ottiene con riferimento alla seguente combinazione delle azioni:

$$1.35 \cdot g_1 + 1.35 \cdot g_2 + 1.16 \cdot q_1 + 1.50 \cdot q_6$$

e vale pertanto  $M = -150 \text{ KN m}$

azione assiale di trazione di  $1.5 \times 12.75 \text{ kN} = 19.13 \text{ kN}$ , dovuta all'azione del vento.

#### **DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE:** solettone

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	117 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

Riferimento alla sismicità:  
Posizione sezione nell'asta:

Zona non sismica  
In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C30/37

Resis. compr. di calcolo fcd : 170.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd' : 85.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 328366 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione fctm : 28.96 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0

Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 180.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : Non prevista

Combinazioni Frequenti in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 180.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : 0.300 mm

Combinazioni Quasi Permanenti in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 135.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068  
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Coeff. Aderenza ist.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 1.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza diff.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO**

**DOMINIO N° 1**

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C30/37

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-50.00	0.00
2	-50.00	25.00
3	50.00	25.00
4	50.00	0.00

**DATI BARRE ISOLATE**

N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini  
 Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O  
 Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O  
 Diam. Diametro in mm della barra

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm	Diam.Ø, mm
1	-47.20	2.80	16
2	-47.20	20.60	18
3	47.20	20.60	18

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	118 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

4 47.20 2.80 16

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.  
 N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.  
 N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.  
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	1	4	3	16
2	2	3	8	18

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-1913	-15000	0	10	0

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	-1275	-8830	0

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	0	-8030	0

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	-1275	-4367	0

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	119 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 1.9 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.7 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 1.1 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	-1913	-15000	0	-1922	-18048	0	1.204

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00415	-50.0	0.0	0.00150	-47.2	2.8	-0.01122	47.2	20.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.00000000	-0.000714377	0.003500000		

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di conglomerato [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 09CL	VI0100 001	A	120 di 123

RELAZIONE DI CALCOLO

K3 Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni  
Ap.fess. Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N.Comb. Ver Sc max Xc max Yc max Sf min Xf min Yf min Ac eff. D fess. .

1 S 93.1 50.0 0.0 -1980 -15.7 20.6 800 119

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N.Comb. Ver Sc max Xc max Yc max Sf min Xf min Yf min Ac eff. D fess. K3 Ap.Fess.

1 S 85.1 50.0 0.0 -1778 -47.2 20.6 800 87 0.125 0.115

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

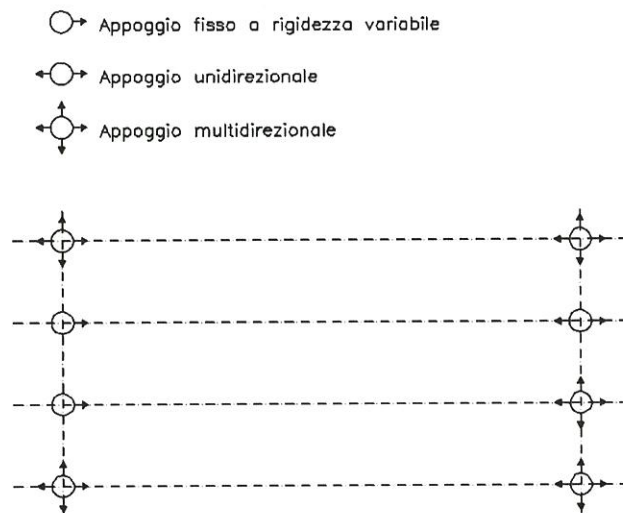
N.Comb. Ver Sc max Xc max Yc max Sf min Xf min Yf min Ac eff. D fess. K3 Ap.Fess.

1 S 45.9 50.0 0.0 -992 -5.2 20.6 850 121 0.125 0.059



### 13 AZIONI SUGLI APPOGGI

Nel seguito si riepilogano i valori delle azioni sugli appoggi per effetto dei carichi descritti in precedenza. Per la determinazione dei valori complessivi delle azioni sugli appoggi si rimanda alla relazione di calcolo delle sottostrutture.



Nelle tabelle che seguono si fa riferimento alla figura sopra riportata, dove la spalla 1 è quella a sinistra, e gli appoggi sono numerati a partire dall'alto.

SPALLA 1 (MULTI/FISSO/FISSO/MULTI)	APPOGGIO 1 (MULTIDIR.)			APPOGGIO 2 (FISSO)			APPOGGIO 3 (FISSO)			APPOGGIO 4 (MULTIDIR.)		
	V	Ht	HI	V	Ht	HI	V	Ht	HI	V	Ht	HI
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
G1 (PESO PROPRIO TRAVE+TRAVERSI)	444.00	0.00	0.00	444.00	0.00	0.00	444.00	0.00	0.00	444.00	0.00	0.00
G1 (PESO PROPRIO SOLETTA)	454.00	0.00	0.00	278.50	0.00	0.00	278.50	0.00	0.00	454.00	0.00	0.00
G2 (CARICHI PERMANENTI)	463.00	0.00	0.00	-38.00	0.00	0.00	-38.00	0.00	0.00	463.00	0.00	0.00
G3 (BALLAST)	374.00	0.00	0.00	376.50	0.00	0.00	376.50	0.00	0.00	374.00	0.00	0.00
Q1 (TRAFFICO FERROVIARIO)	867.00	0.00	0.00	1238.00	0.00	0.00	1238.00	0.00	0.00	853.00	0.00	0.00
CENTRIFUGA	0.00	0.00	0.00	0.00	39.30	0.00	0.00	39.20	0.00	0.00	0.00	0.00
SERPEGGIO	0.00	0.00	0.00	0.00	105.00	0.00	0.00	105.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VENTO	0.00	0.00	0.00	0.00	113.00	0.00	0.00	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FRENATURA/AVVIAM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	850.00	0.00	0.00	850.00	0.00	0.00	0.00
RESISTENZE PARASSITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	145.00	0.00	0.00	145.00	0.00	0.00	0.00

SPALLA 2 (MULTI/UNIDIR/MULTI/MULTI)	APPOGGIO 5 (MULTIDIR.)			APPOGGIO 6 (UNIDIR.)			APPOGGIO 7 (MULTIDIR.)			APPOGGIO 8 (MULTIDIR.)		
	V	Ht	HL	V	Ht	HL	V	Ht	HL	V	Ht	HL
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
G1 (PESO PROPRIO TRAVE+TRAVERS)	444.00	0.00	0.00	444.00	0.00	0.00	444.00	0.00	0.00	444.00	0.00	0.00
G1 (PESO PROPRIO SOLETTA)	454.00	0.00	0.00	278.50	0.00	0.00	278.50	0.00	0.00	454.00	0.00	0.00
G2 (CARICHI PERMANENTI)	463.00	0.00	0.00	-38.00	0.00	0.00	-38.00	0.00	0.00	463.00	0.00	0.00
G3 (BALLAST)	374.00	0.00	0.00	376.50	0.00	0.00	376.50	0.00	0.00	374.00	0.00	0.00
Q1 (TRAFFICO FERROVIARIO)	867.00	0.00	0.00	1238.00	0.00	0.00	1238.00	0.00	0.00	853.00	0.00	0.00
CENTRIFUGA	0.00	0.00	0.00	0.00	78.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SERPEGGIO	0.00	0.00	0.00	0.00	210.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VENTO	0.00	0.00	0.00	0.00	176.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FRENATURA/AVVIAM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RESISTENZE PARASSITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

I valori

Il significato dei simboli utilizzati è il seguente:

V: forza normale

Ht: forza orizzontale di taglio agente in dir. Trasversale

HL: forza orizzontale di taglio agente in dir. Longitudinale

Tabella Caratteristiche appoggi

	Vmax (KN)	Ht (KN)	HL (KN)
FISSO	3400	1900	1800
UNIDIREZIONALE LONG	3400	1900	-
MULTIDIREZIONALE	4000	-	-

IMPALCATO DB A 4 CASSONCINI L=25 m

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 09CL	VI0100 001	A	123 di 123

## 14 INCIDENZE DI ARMATURA

I valori delle incidenze di armatura lenta:

Travi –  $i = 160 \text{ kg/ mc}$

Soletta –  $i = 140 \text{ kg/mc}$

Per quanto riguarda l'armatura di precompressione per ciascuna trave prefabbricata sono previsti 72 trefoli  $\phi 0.6''$  stabilizzati in direzione longitudinale. Di questi, 24 trefoli vengono neutralizzati per una lunghezza di 2.55 m.

Per ciascun traverso, è previsto 1 cavo di precompressione superiore da 9 trefoli  $\phi 0.6''$  e 1 cavo di precompressione inferiore da 5 trefoli  $\phi 0.6''$ .