

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

DIREZIONE TECNICA - CENTRO DI PRODUZIONE MILANO

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

OPERE PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

**SL11 - SOTTOVIA VIA MINGHETTI AL KM 8+700.81 - PARABIAGO
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

SCALA:

-

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

MDL1 12 D 26 CL SL1100 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A.INGLETTI	Dic. 2010			S. Beralli		

File: MDL1_12_D_26_CL_SL1100_001_A.doc

n.

INDICE

1	PREMESSA	6
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	7
4	RIFERIMENTI NORMATIVI	8
5	MATERIALI.....	10
6	CARATTERISTICHE DEL TERRENO	13
7	PONTE	16
7.1	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	16
7.2	CRITERI DI CALCOLO.....	17
7.3	SCHEMI DI CALCOLO	18
8	ANALISI DEI CARICHI.....	19
8.1	CARICHI PERMANENTI.....	19
8.1.1	<i>Pesi propri Impalcato</i>	19
8.2	CARICHI ACCIDENTALI.....	19
8.2.1	<i>Treno LM 71</i> :	20
8.2.2	<i>Treno SW2</i> :	20
8.2.3	<i>Sovraccarico sui marciapiedi:</i>	21
8.2.4	<i>Vento ($Q= 2,50 \text{ kN/m}^2$):</i>	21
8.2.5	<i>Forza centrifuga:</i>	21
8.2.6	<i>Azione di frenatura</i>	21
8.2.7	<i>Azione di avviamento</i>	22
8.2.8	<i>Coefficiente di incremento dinamico</i>	22

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	3 di 44

8.2.9	Azione laterale.....	23
8.3	AZIONI ECCEZIONALI.....	23
8.3.1	Azioni Sismiche.....	23
8.3.2	Deragliamento.....	25
8.4	COMBINAZIONI DI CARICO.....	25
9	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SULLA FASCIA B_{RS}	27
9.1	MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA.....	27
9.1.1	Permanenti:.....	27
9.1.2	Accidentali:.....	27
9.1.3	Incremento dinamico:.....	27
9.1.4	Frenatura / Avviamento:.....	27
9.2	TAGLIO AGLI APPOGGI.....	28
9.2.1	Permanenti:.....	28
9.2.2	Accidentali:.....	28
9.2.3	Incremento dinamico:.....	28
9.2.4	Frenatura / Avviamento:.....	28
9.3	COPPIE TORCENTI UNITARIE.....	29
9.3.1	Centrifuga:.....	29
9.3.2	Eccentricità di carico:.....	29
9.3.3	Vento:.....	29
9.3.4	Azione laterale:.....	30
10	SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE DI BORDO FASCIA.....	31
10.1	MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA:.....	31
10.1.1	Permanenti:.....	31
10.1.1	Accidentali:.....	31

10.1.2	Incremento dinamico:.....	31
10.1.3	Frenatura / Avviamento:.....	31
10.1.4	Centrifuga:.....	32
10.1.5	Eccentricità di carico LM71:.....	32
10.1.6	Effetto della sovraelevazione:.....	32
10.1.7	Vento:.....	32
10.1.8	Azione laterale:.....	33
10.2	TAGLIO ALL'APPOGGIO.....	33
10.2.1	Permanenti:.....	33
10.2.2	Accidentali:.....	33
10.2.3	Incremento dinamico:.....	33
10.2.4	Frenatura / Avviamento:.....	33
10.2.5	Centrifuga:.....	34
10.2.6	Eccentricità di carico LM71:.....	34
10.2.7	Effetto della sovraelevazione:.....	34
10.2.8	Vento:.....	34
10.2.9	Azione laterale:.....	34
10.3	SFORZO NORMALE.....	35
10.3.1	Frenatura / Avviamento:.....	35
11	RIEPILOGO SOLLECITAZIONI PER TRAVE DI BORDO FASCIA.....	36
11.1	MODELLO DI CARICO: TRENO LM71.....	36
11.2	MODELLO DI CARICO: TRENO SW/2.....	36
12	VERIFICHE DI RESISTENZA.....	38
13	CALCOLO DELLA FREQUENZA PROPRIA DELL'IMPALCATO.....	40
14	VERIFICHE DI DEFORMABILITA'.....	41



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	5 di 44

14.1	FRECCIA PER I SOVRACCARICHI DINAMIZZATI DEL TRENO LM71:	41
14.2	ROTAZIONE AGLI APPOGGI.....	42
14.3	SGHEMBO	42
15	SCARICHI APPOGGI	44

1 PREMESSA

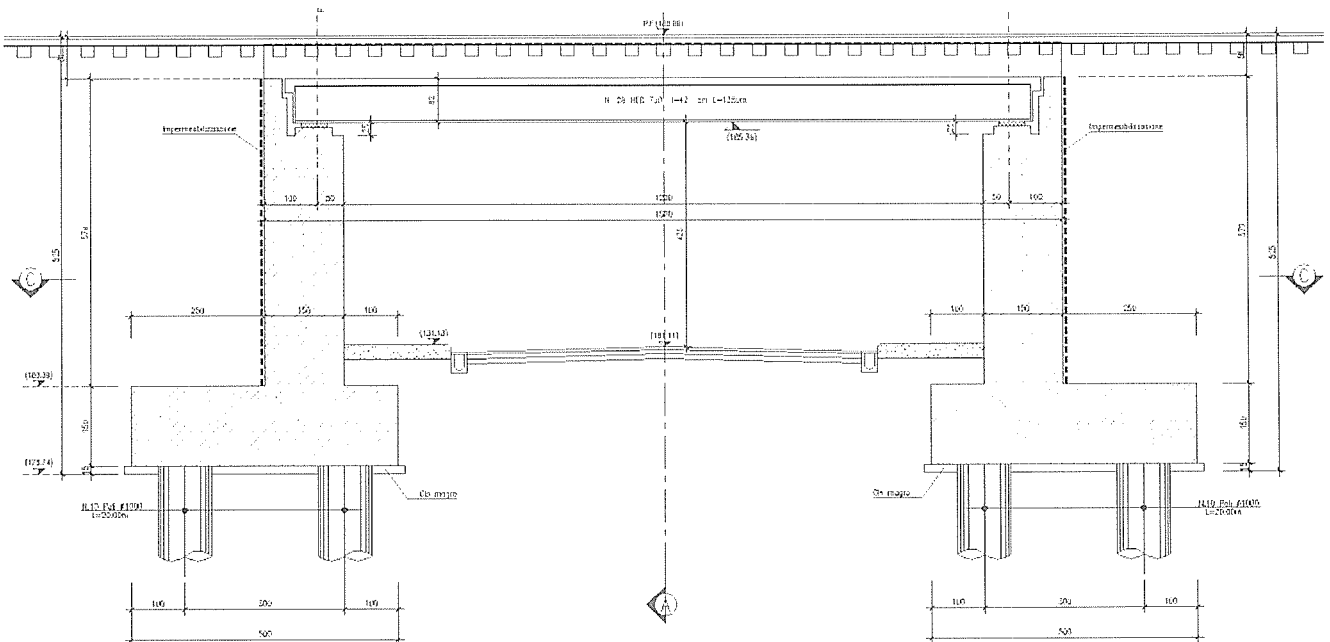
Il Progetto Definitivo di Potenziamento della Linea Rho-Arona – tratta Gallarate-Rho, riguarda il quadruplicamento dell'attuale linea a due binari attraverso l'ampliamento della sede ferroviaria attuale.

Il progetto richiede la realizzazione o l'adeguamento di alcune opere strutturali che consentano l'integrazione degli interventi di ampliamento con le infrastrutture preesistenti: il presente documento riguarda, nello specifico, la verifica degli elementi strutturali per l'ampliamento del ponte ferroviario di Via Minghetti al km 8+700.81.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione di calcolo ha per oggetto il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche di resistenza delle spalle e le fondazioni per l'ampliamento del ponte ferroviario di Via Minghetti.

Viene condotta la verifica in condizioni sismiche per un sito classificato a bassa sismicità (S=6).



3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documenti Referenziati

Per la redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

- [E_1] MDL1 12 D26 RB GE0005 001 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Relazione geotecnica generale.
- [E_2] MDL1 12 D26 F5 GE0005 001 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 1/4.
- [E_3] MDL1 12 D26 F5 GE0005 002 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 2/4.
- [E_4] MDL1 12 D26 F5 GE0005 003 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 3/4.
- [E_5] MDL1 12 D26 F5 GE0005 004 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 4/4.
- [E_6] MDL1 12 D26 WA RI0000 001 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Rilevati - Sezioni tipo degli interventi.

4 RIFERIMENTI NORMATIVI

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

- **Legge n° 1086 del 5 Novembre 1971**

"Norme per la disciplina delle Opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica";

- **D.M. 9 Gennaio 1996**

"Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";

- **Min. LL.PP. Circolare 15/10/1996 n. 252/AA.GG./S.T.C.**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9.1.1996;

- **D.M. 16 Gennaio 1996**

"Norme tecniche relative ai criteri per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";

- **Min. LL.PP. Circolare 04/07/1996 n.156 AA.GG./STC**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relativi ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M. 16.1.1996;

- **D.M. 16 Gennaio 1996**

"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche";

- **Min. LL.PP. Circolare 10/04/1997 n. 65/AA.GG**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche" di cui al D.M. 16.1.1996;

- **Norme CNR 10011/85:**

Costruzioni in acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

- **Istruzioni FS. del 2 Giugno 1995 I/SC/PS-OM/2298**

"Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo". Testo aggiornato della istruzione n° I/SC/PS-OM/2298 del 2 Giugno 1995 completo delle relative integrazioni - 13 Gennaio 1997;

- **Istruzione FF.SS. n° 44b del 14/04/1998**

"Istruzioni tecniche per manufatti sottobinario da costruire in zona sismica". Testo aggiornato dell'istruzione 44/b del 14/11/1996, approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto dell'Assemblea Generale del 16/12/1997;

- **D.M. 11 Marzo 1988:**

"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

- **Min. LL.PP. Circolare 24/09/1988 n.30483:**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

- **Decreto ministeriale LL.PP. 04/05/1990**

Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione e il collaudo dei ponti stradali;

- **Supplemento ordinario alla G.U. n.105 del 08/05/2003 – Ordinanza del presidente del consiglio dei ministri 20/03/2003**

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica (ordinanza n.3274).

5 MATERIALI

a) Calcestruzzo per impalcato, spalle:

resistenza $R_{ck} = 35 \text{ MPa}$

I valori delle tensioni ammissibili sono:

massima compressione: $\sigma_{ci} = 11 \text{ MPa}$

massima tensione per taglio in assenza di armature: $\tau_{c0} = 0.67 \text{ MPa}$

massima tensione per taglio in presenza di armature: $\tau_{c1} = 1.97 \text{ MPa}$

massima tensione per taglio e torsione: $\tau_{c1} = 2.17 \text{ MPa}$

b) Calcestruzzo per fondazioni:

resistenza $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

I valori delle tensioni ammissibili sono:

massima compressione: $\sigma_{ci} = 9.8 \text{ MPa}$

massima tensione per taglio in assenza di armature: $\tau_{c0} = 0.6 \text{ MPa}$

massima tensione per taglio in presenza di armature: $\tau_{c1} = 1.83 \text{ MPa}$

massima tensione per taglio e torsione: $\tau_{c1} = 2.01 \text{ MPa}$

c) Acciaio in tondi ad aderenza migliorata



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	11 di 44

Si utilizza acciaio di tipo Fe B44 k avente:

tensione alla soglia di snervamento:

$$f_{yk}=430 \text{ MPa}$$

tensione ammissibile massima:

$$\sigma_f=255 \text{ MPa}$$

d) Acciaio per reti elettrosaldate

Si utilizza acciaio avente:

tensione alla soglia di snervamento:

$$f_{yk} > 375 \text{ MPa}$$

tensione alla soglia di rottura:

$$f_{tk} > 430 \text{ MPa}$$

e) Acciaio travi ed elementi saldati

I profili sono in acciaio di qualita' S275 della UNI EN 10025 (ex Fe 430):

S275JR UNI-EN 10025/95 per profili laminati,

S275J2G3 o S275J2G4 UNI-EN 10025/95 per profili saldati a completa

penetrazione, i cui valori ammissibili delle tensioni sono:

$$\sigma_{amm}= 190 \text{ MPa} \quad \tau_{amm}= 0,577 \cdot 190= 110 \text{ MPa}$$

Per la condizione di carico II di Normativa, i valori delle tensioni ammissibili sono amplificati per il coefficiente 1.125.

Con riferimento alle usuali simbologie, le caratteristiche geometriche del profilo scelto sono le seguenti:

altezza: $H_p= 70 \text{ cm}$ area sezione: $A_p= 306.4 \text{ cm}^2$

largh. ala: $B_p= 30 \text{ cm}$ momento inerzia: $J_p=256900 \text{ cm}^4$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL.1100 001	A	12 di 44

spess. anima: $S_p = 1.70$ cm modulo resistenza: $W_p = 7340$ cm³

spess. ala: $T_p = 3.2$ cm momento statico di mezza sezione rispetto

all'asse baricentrico $S_{xp} = 4100$ cm³

peso unitario: $P_p = 2,41$ kN/m (**peso unitario di HEB700**)

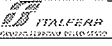
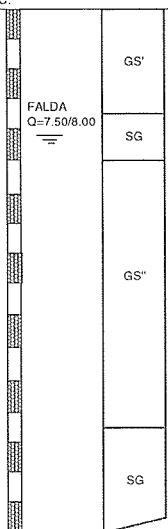
6 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

La caratterizzazione stratigrafica della tratta in esame è stata individuata dalle informazioni ottenute dalla campagna d'indagine svolta nell'anno 2008.

Negli elaborati [E_2]÷[E_3] e [E_4]÷[E_5], ovvero profilo geotecnico della tratta, sono rappresentate le indagini eseguite durante la campagna geognostica del 2008: in particolare, nelle immediate vicinanze dell'opera in esame (prg. km 8+700.81) è stato eseguito il sondaggio S14, spinto fino alla profondità di 20.0 m dal p.c.

Sulla base di quanto sopra e dalla caratterizzazione stratigrafica e dei parametri geotecnici di progetto riportati nella relazione geotecnica generale (elaborato [E_1]), per l'opera in oggetto è stata individuata la caratterizzazione stratigrafico-geotecnica di progetto riportata nella seguente scheda geotecnica, caratterizzante il sito di ubicazione dell'opera.

Si riporta di seguito la scheda geotecnica caratterizzante il sito d'ubicazione dell'opera:

		PROGETTO: POTENZIAMENTO LINEA RHO-ARONA - TRATTA RHO-GALLARATE		Pk rif. KM 8+700.81																																																																
		OPERA: SL11																																																																		
STRATIGRAFIE - VOLUMI																																																																				
P.C. 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32			LEGENDA																																																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>UNITA'</th> <th>DESCRIZIONE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GS'</td> <td>Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)</td> </tr> <tr> <td>GS''</td> <td>Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)</td> </tr> <tr> <td>SG</td> <td>Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.</td> </tr> </tbody> </table>		UNITA'	DESCRIZIONE	GS'	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)	GS''	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)	SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.	PARAMETRI GEOTECNICI																																																									
	UNITA'	DESCRIZIONE																																																																		
	GS'	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)																																																																		
	GS''	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)																																																																		
	SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>γ (kN/m³)</th> <th>c_u (kN/m²)</th> <th>c' (kN/m²)</th> <th>ϕ' (kN/m²)</th> <th>v (-)</th> <th>V_s (m/s)</th> <th>$G_0^{(1)}$ (MPa)</th> <th>$E_0^{(2)}$ (MPa)</th> <th>$E_{op}^{(3)}$ (MPa)</th> <th>$E_u^{(4)}$ (MPa)</th> <th>$E_s^{(5)}$ (MPa)</th> <th>$k_h^{(6)}$ (kN/m³)</th> <th>N_{cPT} cp/30cm</th> <th>c_v (cm²/s)</th> <th>c_d (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GS'</td> <td>19±20.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>35±37</td> <td>-</td> <td>200±350</td> <td>70±250</td> <td>-</td> <td>15±40</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>4±35</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>GS''</td> <td>19±20.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>36±38</td> <td>-</td> <td>250±450</td> <td>150±400</td> <td>-</td> <td>30±50</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>25±60</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SG</td> <td>20±21.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>32±35</td> <td>-</td> <td>300±400</td> <td>200±350</td> <td>-</td> <td>20±40</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>30±60</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			γ (kN/m ³)	c_u (kN/m ²)	c' (kN/m ²)	ϕ' (kN/m ²)	v (-)	V_s (m/s)	$G_0^{(1)}$ (MPa)	$E_0^{(2)}$ (MPa)	$E_{op}^{(3)}$ (MPa)	$E_u^{(4)}$ (MPa)	$E_s^{(5)}$ (MPa)	$k_h^{(6)}$ (kN/m ³)	N_{cPT} cp/30cm	c_v (cm ² /s)	c_d (%)	GS'	19±20.5	-	-	35±37	-	200±350	70±250	-	15±40	-	-	-	4±35	-	-	GS''	19±20.5	-	-	36±38	-	250±450	150±400	-	30±50	-	-	-	25±60	-	-	SG	20±21.5	-	-	32±35	-	300±400	200±350	-	20±40	-	-	-	30±60	-	-	Nota ⁽¹⁾ modulo di taglio iniziale associato a piccole deformazioni ⁽²⁾ modulo di Yong associato a piccole deformazioni ⁽³⁾ modulo di Yong operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno ⁽⁴⁾ modulo di Young operativo in condizioni non drenate ⁽⁵⁾ modulo di reazione orizzontale ⁽⁶⁾ gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale	
		γ (kN/m ³)	c_u (kN/m ²)	c' (kN/m ²)	ϕ' (kN/m ²)	v (-)	V_s (m/s)	$G_0^{(1)}$ (MPa)	$E_0^{(2)}$ (MPa)	$E_{op}^{(3)}$ (MPa)	$E_u^{(4)}$ (MPa)	$E_s^{(5)}$ (MPa)	$k_h^{(6)}$ (kN/m ³)	N_{cPT} cp/30cm	c_v (cm ² /s)	c_d (%)																																																				
	GS'	19±20.5	-	-	35±37	-	200±350	70±250	-	15±40	-	-	-	4±35	-	-																																																				
	GS''	19±20.5	-	-	36±38	-	250±450	150±400	-	30±50	-	-	-	25±60	-	-																																																				
SG	20±21.5	-	-	32±35	-	300±400	200±350	-	20±40	-	-	-	30±60	-	-																																																					
SONDAGGI DI RIFERIMENTO: S14																																																																				

I simboli rappresentati nella scheda geotecnica hanno il seguente significato:

γ = peso di volume naturale

c_u = coesione non drenata

c' = coesione efficace

ϕ' = angolo d'attrito

ν = coefficiente di Poisson

V_s = velocità delle onde di taglio

G_o = modulo di taglio iniziale associato a piccole deformazioni

E_o = modulo di Young operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno

E_{op} = modulo di Young operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno

E_u = modulo di Young operativo in condizioni non drenate

E_s = modulo di reazione orizzontale

K_h = gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale

N_{SPT} = numero di colpi/30 cm di riferimento nel calcolo dei pali di fondazione

c_v = coefficiente di consolidazione primaria

c_α = coefficiente di consolidazione secondaria

Note: - il valore di ϕ' adottato per i terreni tipo GS'' è stato considerato pari a quello dello strato GS' ($\phi = 35^\circ$) a favore di sicurezza.

- il valore del modulo di Young E_{op} adottato per i terreni tipo S è stato stimato cautelativamente a favore di sicurezza.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	15 di 44

Per i dettagli circa le prove in sito ed in laboratorio si rimanda alla relazione geotecnica generale, elaborato [E_5].

Per quanto concerne la falda, nella zona in esame il livello di falda è posto a $7.5 \div 8.0$ m dal p.c., come si evince dal profilo geotecnica di riferimento (si veda l'elaborato [E_11], in particolare in corrispondenza del sondaggio S23).

Si sottolinea che nel profilo geotecnico di riferimento, in particolare in corrispondenza del sondaggio S14) ad una profondità compresa fra 2 e 5 m dal p.c. e 10.5 e 14 m dal p.c. sono segnalate intercalazioni di livelli ghiaiosi G con localmente elementi di dimensioni maggiori di 60 mm: nella definizione della stratigrafia di progetto dell'opera in esame si è scelto a favore di sicurezza, di trascurare la presenza di tali livelli ghiaiosi.

L'indicazione della possibile presenza delle lenti ghiaiose G rivestirà invece carattere di particolare importanza nella fase di realizzazione delle opere provvisorie, per le quali si dovranno quindi disporre opportune modalità realizzative.

7 PONTE

7.1 Geometria della struttura

Il ponte oggetto di verifica rientra nella cat. A e presenta una campata unica di lunghezza 14.20 m e interasse appoggi 13.00 m.

L'impalcato sarà realizzato con travi incorporate in un getto di cls, ed avrà una larghezza di 12.54 m, tale da consentire la disposizione di n. 2 binari.

Si utilizzano n. 29 profili HEB 700 ad interasse di 42.00 cm.

L'altezza massima della sola struttura dell'impalcato è pari a 0,82 m.

I binari sull'impalcato si presenteranno in rettilineo.

La velocità di progetto è stata fissata in 200 km/h.

I dati di progetto per la verifica dell'impalcato sono:

Ponte di categoria:	Cat= A
Numero binari:	$n_b = 2$
Lunghezza di calcolo:	$L_{imp} = 13.00 \text{ m}$
Lunghezza impalcato:	$L_{imp} = 14.20 \text{ m}$
Raggio della curva:	$R_b = \infty \text{ m}$
Sovraelevazione della rotaia:	$E_b = 0 \text{ cm}$
Velocità di progetto LM71:	$V_{b1} = 200 \text{ km/h}$
Velocità di progetto SW/2:	$V_{b2} = 100 \text{ km/h}$
Larghezza strutt. dell'impalcato:	$B_i = 13.00 \text{ m}$

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	17 di 44

Larghezza del ballast:	$B_b = 996 \text{ m}$
Spessore medio del ballast:	$S_b = 75 \text{ cm}$
Larghezza di ripartizione per tensioni:	$B_{rs} = 4.0 \text{ m}$
Larghezza di ripart. per deformazioni:	$B_{rd} = 5.0 \text{ m}$
Profilo delle travi in acciaio:	HEB 700
Numero totale travi:	$n_{pt} = 29$
Interasse delle travi:	$I_p = 42 \text{ cm}$
Spessori dell'impalcato:	: 82 cm
Altezza delle barriere dal piano del ferro:	$H_b = 6.0 \text{ m}$

7.2 CRITERI DI CALCOLO


Secondo L'Istruzione FF.SS. 44/d, il peso dei convogli ferroviari, ai fini del calcolo delle tensioni, viene ripartito sulla larghezza: $B_{rs} = 4.0 \text{ m}$.

Per cui il numero di travi comprese in tale fascia e':

$$N_{ps} = B_{rs}/I_p = 4.0/0.42 = 9.5$$

Per le verifiche delle deformazioni, si considera resistente una striscia longitudinale larga $B_{rd} = 5.0 \text{ m}$, nella quale sono poste n° 12 travi.

Le azioni vengono combinate in modo da determinare le massime sollecitazioni negli elementi strutturali.

	POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA					
	TRATTA RHO-GALLARATE					
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO						
SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	18 di 44

7.3 SCHEMI DI CALCOLO

Lo schema di calcolo che viene considerato è stato determinato in relazione alla geometria della struttura, alle fasi costruttive, al tipo di carichi agenti e delle sollecitazioni che ne derivano.

Pertanto l'impalcato è stato schematizzato con uno schema di trave appoggiata.

Le azioni verticali prodotte dai carichi permanenti e accidentali e quelle prodotte dalle azioni di frenatura e avviamento sono ugualmente ripartite sulle Nps travi contenute nella fascia resistente $Brs = 4.0$ m. Le azioni orizzontali trasversali, invece, riportate al baricentro delle travi, producono delle coppie torcenti lungo l'asse dell'impalcato che hanno come effetto quello di caricare maggiormente le travi più esterne della fascia considerata. Analogo effetto hanno l'eccentricità di carico del treno LM71 (8 cm) e l'eventuale sopraelevazione della rotaia esterna.

8 ANALISI DEI CARICHI

8.1 CARICHI PERMANENTI

8.1.1 Pesi propri Impalcato

Peso totale delle travi in acciaio: $Q_{1t} = N_{pt} * P_p = 29 * 2,41 = 70.00 \text{ kN/m}$

Peso calcestruzzo in opera: $Q_{1s} = 8.24 * 25 = 206.00 \text{ kN/m}$

Peso permanenti portati

Ballast (0.7 * 180): $Q_{1p} = 128 \text{ kN/m}$

Incidenza cordoli, barriere, finiture $Q_{1p} = 20.00 \text{ kN/m}$

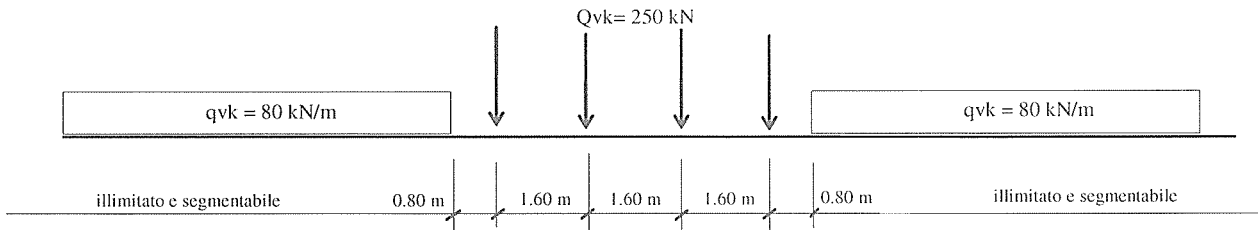
Peso totale impalcato: $Q_1 = 457.00 \text{ kN/m}$

8.2 CARICHI ACCIDENTALI

I sovraccarichi di servizio sono costituiti dai treni **LM 71** e **SW/2**, con *coefficienti di adattamento* α rispettivamente pari a 1.1 per il treno LM 71 e 1.0 per il treno SW/2, validi per ponti di categoria A. Per tali coefficienti verranno amplificati i valori dei carichi verticali e le azioni di frenatura e avviamento.

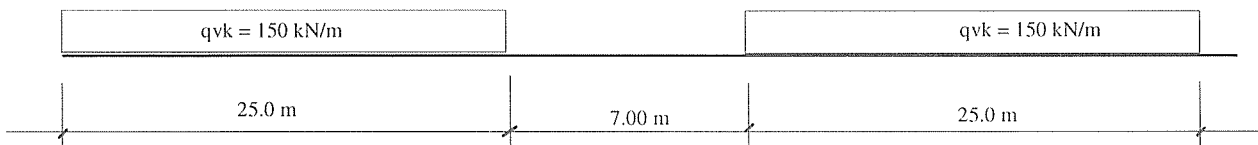
Gli schemi di carico previsti sono:

a) *treno LM 71:*



con eccentricita' $e_t = 1435 / 18 = 80$ mm rispetto all'asse del binario.

b) treno SW/2:



8.2.1 Treno LM 71 :

Carico equivalente flettente: $Q_{21f} = 150.00$ kN/m

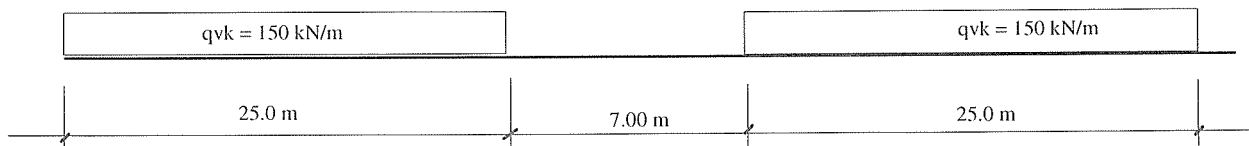
Carico equivalente tagliante: $Q_{21t} = 165.40$ kN/m

Nota: I valori dei sovraccarichi sono già incrementati del coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$.

8.2.2 Treno SW2 :

Carico equivalente flettente: $Q_{22f} = 150.00$ kN/m

Carico equivalente tagliante: $Q_{22t} = 150.00$ kN/m



8.2.3 Sovraccarico sui marciapiedi:

$Q_{23} = 10 \text{ kN/m}$ non concomitante con il transito dei treni.

8.2.4 Vento ($Q = 2,50 \text{ kN/m}^2$):

Viene considerato agente sulla superficie del treno (o barriere) e su quella del ponte. Il centro di spinta H_{g4} si trova a:

$$H_{g4} = (H_b + S_b + S_{sn}) / 2 - H_p / 2 = 4.38 \text{ m}$$

dal baricentro delle travi.

La spinta del vento risulta:

$$Q_{24} = Q_v * (H_b + S_b + S_{sn}) = 25.02 \text{ kN/m}$$

H_b = altezza barriere = 6.00 m

8.2.5 Forza centrifuga:

Le forze centrifughe risultano nulle

8.2.6 Azione di frenatura

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi a:

$$H_{gpf} = S_{pfr} - H_p / 2 = 1.28 \text{ m}$$

dal baricentro delle travi.

Treno LM71:

$$Q2261 = Ff1 * L_b = 284 \text{ kN}$$

Treno SW/2:

$$Q2262 = Ff2 * L_b = 497 \text{ kN}$$

8.2.7 Azione di avviamento

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi a:

$$H_{gpf} = 1.28 \text{ m dal baricentro delle travi.}$$

Treno LM71

$$Q2271 = Fa1 * L_b = 467 \text{ kN}$$

Treno SW/2

$$Q2272 = Fa1 * L_b = 497 \text{ kN}$$

8.2.8 Coefficiente di incremento dinamico

Per la luce del ponte $L_b = 13 \text{ m}$, esso risulta:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_b} - 0.2} + 0.73 = 1.36$$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	23 di 44

8.2.9 Azione laterale

Azione di serpeggio: $F_l = 100$ kN.

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi a:

$H_{gpf} = 1.28$ m dal baricentro delle travi.

8.3 AZIONI ECCEZIONALI

8.3.1 Azioni Sismiche

Le azioni sismiche verticali, da associare al sovraccarico dovuto al transito di treni di peso ridotto $p = s Q_t$, sono valutate con:

$$F_v = m C I \varepsilon W \quad \text{con: } m = 2;$$

$C = 0.04$ per la zona in esame;

$$I = 1.0$$

$$\varepsilon = 1.0$$

$$W = P + s Q_t \quad \text{con}$$


$P =$ p.p. e carichi permanenti

$$s = 1.5 \text{ per } n = 2 \text{ binari}$$

$$Q_t = 80.0 \text{ kN/m}$$

I carichi permanenti sono:

$$P = 457 \text{ KN/m}$$

	POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA					
	TRATTA RHO-GALLARATE					
	PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO					
SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO	COMMESSA MDL1	LOTTO 12	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO SL1100 001	REV. A	FOGLIO 24 di 44

Le azioni sismiche verticali sono quindi pari a:

$$F_v = 2 \cdot 0.04 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot (457 + 1.5 \cdot 80.0) = 46 \text{ kN/m}$$

per cui i carichi verticali da considerare durante il sisma sono pari a:

$$F_{v\text{-tot}} = (P + s \cdot Qt) + F_v = 457 + 1.5 \cdot 80.0 + 46 = 623 \text{ kN/m}$$

Si nota che in fase statica (in assenza di sisma), il massimo carico complessivo da considerare sull'impalcato, per i treni:

- SW/2 con $q = \phi_3 \cdot 150 = 1.33 \cdot 150 = 199.5 \text{ kN/m}$
- LM 71 con $q = \alpha \cdot \phi_3 \cdot [4 \cdot 250 + 80 \cdot (13 - 6.4)] / 13 = 172 \text{ kN/m}$

e' pari a:

$$F_{v\text{-tot}} = P + Q[SW/2 + LM 71] = 457 + [199.5 + 172] = 828 \text{ kN/m.}$$

Dal confronto fra i due valori di $F_{v\text{-tot}}$ in fase sismica ed in fase statica, si nota che le azioni relative alla prima non sono dimensionanti ($600 < 828$), per cui non verranno considerate le azioni sismiche in direzione verticale.

Le azioni sismiche orizzontali, da associare al sovraccarico dovuto al transito di treni di peso ridotto $p = s \cdot Qt$, sono valutate con:

$$F_o = C R I \varepsilon \beta W \quad \text{con:} \quad R = 1.0 \text{ e:}$$

- $\beta = 1.2$ per strutture isostatiche
- $\beta = 2.5$ per calcolo e verifica degli apparecchi d'appoggio (in favore di sicurezza anche per le spalle)

applicate ai propri centri di massa ed, in particolare, le azioni orizzontali sismiche competenti al transito dei treni sono applicate alla quota di 2.0 m dal P.F.

Con considerazioni analoghe a quelle svolte al punto precedente si trova che *gli effetti verticali* relativi al momento ribaltante della forza sismica del treno, associati con il *sovraccarico verticale ridotto* $p = s \cdot Qt$, non sono dimensionanti per gli elementi principali dell'impalcato, per cui le azioni sismiche in direzione orizzontali verranno utilizzate esclusivamente per il dimensionamento delle spalle e degli apparecchi di appoggio.

Con i dati ricavati al punto precedente, si ha:

$$F_o = 0.04 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot \beta \cdot (457 + 1.5 \cdot 80) = \beta \cdot 23.2 \text{ kN/m}$$

8.3.2 Deragliamento

Per le verifiche di stabilità globale dell'opera si prenderà in considerazione il carico convenzionale di **80 KN/m** esteso per 9.7 m e disposto con una eccentricità massima di 1.5 s rispetto all'asse del binario, e cioè pari a $1.5 \cdot 1435 = 2153$ mm rispetto all'asse del binario.

8.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche verranno condotte con il metodo delle **Tensioni Ammissibili**.

Le combinazioni di Carico che verranno considerate per le verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili sono riportate nella tabella seguente:

Comb:	AZIONE								
	G_k	Q_k				T_k	W_k	A_k	
	Carichi perm.	Carichi vertic.	Frenat. e avviam.	Centrif.	Azione laterale	Variaz. tem.	Vento	Eccez. (sisma/deragl.)	
TA1:	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	0	0.6	0	$Q_k = LM71+SW/2$ - Gruppo carico 1 - Verifiche impalcato

con:

G_k = valore caratteristico delle azioni per i pesi propri e sovraccarichi permanenti;

Q_k = valore caratteristico della azioni per transito dei treni;



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100'001	A	26 di 44

T_k = valore caratteristico delle azioni per variazioni termiche;

W_k = valore caratteristico delle azioni del vento;

A_k = valore caratteristico delle azioni eccezionali;

Rispetto alle Combinazioni di Normativa, non si considerano le combinazioni TA2, TA3, TA4, TA5 in quanto non significative.

9 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SULLA FASCIA B_{RS}

9.1 MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA

9.1.1 Permanenti:

$$M_{f1} = \frac{Q1 \cdot L_b^2}{8 \cdot B_i} \cdot B_{rs} = 3079 \text{ kNm}$$

9.1.2 Accidentali:

$$\text{Treno LM71: } M_{f21} = \frac{Q21f \cdot L_b^2}{8} = 3169 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } M_{f22} = \frac{Q22f \cdot L_b^2}{8} = 3169 \text{ kNm}$$

9.1.3 Incremento dinamico:

$$\text{Treno LM71: } M_{f31} = (\Phi_3 - 1) \cdot M_{f21} = 1154 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } M_{f32} = (\Phi_3 - 1) \cdot M_{f22} = 1154 \text{ kNm}$$

9.1.4 Frenatura / Avviamento:

$$\text{Treno LM71: } M_{f41} = \frac{Q2271 \cdot H_p}{2} = 82 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } M_{f42} = \frac{Q2272 \cdot H_p / 2}{2} = 87 \text{ kNm}$$

9.2 TAGLIO AGLI APPOGGI

9.2.1 Permanenti:

$$T1 = \frac{Q1 \cdot L_b}{2 \cdot B_i} \cdot B_{rs} = 947 \text{ kN}$$

9.2.2 Accidentali:

$$\text{Treno LM71: } T21 = \frac{Q21t \cdot L_b}{2} = 735 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } T22 = \frac{Q22t \cdot L_b}{2} = 975 \text{ kN}$$

9.2.3 Incremento dinamico:

$$\text{Treno LM71: } T31 = (\Phi_3 - 1) \cdot Q21 = 267 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } T32 = (\Phi_3 - 1) \cdot Q22 = 355 \text{ kN}$$

9.2.4 Frenatura / Avviamento:

$$\text{Treno LM71: } T41 = \frac{Q2271 \cdot H_{gpf}}{L_t} = 4613 \text{ kNm}$$

Treno SW/2: $T_{42} = \frac{Q_{2272} \cdot H_{gpf}}{L_t} = 4893 \text{ kNm}$

9.3 COPPIE TORCENTI UNITARIE

9.3.1 Centrifuga:

Treno LM71: azioni flettenti: $M_{t11f} = Q_{2251f} \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

azioni taglianti: $M_{t11t} = Q_{2251t} \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

Treno SW/2: azioni flettenti: $M_{t12f} = Q_{2252f} \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

azioni taglianti: $M_{t12t} = Q_{2252t} \cdot H_{g5} = 0 \text{ kNm/m}$

9.3.2 Eccentricità di carico:

Treno LM71: si assume pari a 8 cm come da Normativa.

azioni flettenti: $M_{t21f} = Q_{21f} \cdot 0.08 = 12 \text{ kNm/m}$

azioni taglianti: $M_{t21t} = Q_{21t} \cdot 0.08 = 9 \text{ kNm/m}$

9.3.3 Vento:

$M_{t4} = Q_{24} \cdot H_{g4} = 39 \text{ kNm/m}$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	30 di 44

9.3.4 Azione laterale:

$$M_{t5} = F_l \cdot H_{gpf} = 100 \cdot 1.28 = 128 \text{ kNm/m}$$

10 SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE DI BORDO FASCIA

10.1 MOMENTO FLETTENTE IN MEZZERIA:

10.1.1 Permanenti:

$$\text{Mu1} = \text{Mf1}/\text{N}_{\text{ps}} = 323 \text{ kNm}$$

1.1.1 *Accidentali:*

Treno LM71: $\text{Mu21} = \text{Mf21}/\text{N}_{\text{ps}} = 333 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $\text{Mu22} = \text{Mf22}/\text{N}_{\text{ps}} = 333 \text{ kNm}$

10.1.2 Incremento dinamico:

Treno LM71: $\text{Mu31} = (\phi_3 - 1) * \text{Mu21} = 121 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $\text{Mu32} = (\phi_3 - 1) * \text{Mu22} = 121 \text{ kNm}$

10.1.3 Frenatura / Avviamento:

Treno LM71: $\text{Mu41} = \text{Mf41}/\text{N}_{\text{ps}} = 8.61 \text{ kNm}$

Treno SW/2: $\text{Mu42} = \text{Mf42}/\text{N}_{\text{ps}} = 9.13 \text{ kNm}$

L'incremento di carico verticale prodotto sulle travi di bordo dalle coppie torcenti si valuta, in prima approssimazione, considerando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $b * h$ pari a: $1.0 * \text{Brs} = 1.0 * 4.0 \text{ m}$, con momento d'inerzia: $J_u = 1.0 * 4.0^3 / 12 = 5.33333 \text{ m}^3$. L'incremento di carico sulla trave a bordo fascia e' dato da: $\Delta q = \text{Mt}/J_u * \Delta p * I_p$. Per l'interasse delle travi $I_p = 0.42 \text{ m}$ e per la



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	32 di 44

distanza Δp tra gli assi della striscia longitudinale e della ipotetica trave il cui interasse di influenza e' posto al limite del bordo fascia, si ha:

$$\Delta p = (\text{Brs} - \text{Ip}) / 2 = (4.00 - 0.42) / 2 = 1.79 \text{ m, e quindi:}$$

$$\Delta q = \text{Mt} / 5.33333 * 1.79 * 0.42 \text{ kg/m}$$

Calcolando si ottiene: $\Delta q = \text{Kt} * \text{Mt} = 0.14 * \text{Mt}$.

10.1.4 Centrifuga:

$$\text{Treno LM71: } \text{Mu}_{51} = 1/8 * (\text{Kt} * \text{Mt}_{11f}) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } \text{Mu}_{52} = 1/8 * (\text{Kt} * \text{Mt}_{12f}) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$$

10.1.5 Eccentricità di carico LM71:

$$\text{Treno LM71: } \text{Mu}_{61} = 1/8 * (\text{Kt} * \text{Mt}_{21f}) * L_b^2 = 63.22 \text{ kNm}$$

10.1.6 Effetto della sovravelevazione:

$$\text{Treno LM71: } \text{Mu}_{71} = 1/8 * (\text{Kt} * \text{Mt}_{31f}) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$$

$$\text{Treno SW/2: } \text{Mu}_{72} = 1/8 * (\text{Kt} * \text{Mt}_{32f}) * L_b^2 = 0 \text{ kNm}$$

10.1.7 Vento:

$$\text{Mu}_8 = 1/8 * (\text{Kt} * \text{Mt}_4) * L_b^2 = 206.46 \text{ kNm/m}$$

10.1.8 Azione laterale:

$$Mu9 = 1/4 * (Kt * Mt5) * L_b = 103.75 \text{ kNm/m}$$

10.2 TAGLIO ALL'APPOGGIO

10.2.1 Permanenti:

$$Tu1 = T1 / N_{ps} = 99.47 \text{ kN}$$

10.2.2 Accidentali:

$$\text{Treno LM71: } Tu21 = T21 / N_{ps} = 77.12 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } Tu22 = T22 / N_{ps} = 102.38 \text{ kN}$$

10.2.3 Incremento dinamico:

$$\text{Treno LM71: } Tu31 = T31 / N_{ps} = 28.09 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } Tu32 = T32 / N_{ps} = 37.29 \text{ kN}$$

10.2.4 Frenatura / Avviamento:

$$\text{Treno LM71: } Tu41 = T41 / N_{ps} = 2.65 \text{ kN}$$

$$\text{Treno SW/2: } Tu42 = T42 / N_{ps} = 2.81 \text{ kN}$$

10.2.5 Centrifuga:

Treno LM71: $Tu51 = 1/2 * (Kt * Mt11t) * L_b = 0 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu52 = 1/2 * (Kt * Mt12t) * L_b = 0 \text{ kN}$

10.2.6 Eccentricità di carico LM71:

treno LM71: $Tu61 = 1/2 * (Kt * Mt21t) * L_b = 14.65 \text{ kN}$

10.2.7 Effetto della sovravelevazione:

Treno LM71: $Tu71 = 1/2 * (Kt * Mt31t) * L_b = 0 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Tu72 = 1/2 * (Kt * Mt32t) * L_b = 0 \text{ kN}$

10.2.8 Vento:

$Tu8 = 1/2 * (Kt * Mt4) * L_b = 63.53 \text{ kN}$

10.2.9 Azione laterale:

$Tu9 = Kt * Mt5 = 31.92 \text{ kN}$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	35 di 44

10.3 SFORZO NORMALE

10.3.1 Frenatura / Avviamento:

Treno LM71: $Nu41 = Q2271/N_{ps} = 49.20 \text{ kN}$

Treno SW/2: $Nu42 = Q2262/N_{ps} = 52.19 \text{ kN}$

11 RIEPILOGO SOLLECITAZIONI PER TRAVE DI BORDO FASCIA
11.1 MODELLO DI CARICO: TRENO LM71

MODELLO DI CARICO LM71						
AZIONE	M_{mezzeria} [kNm]		T_{appoggio} [kN]		N [kN]	
Permanenti	Mu1	323.27	Tu1	99.47		0
Treno LM71	Mu21	332.72	Tu21	77.12		0
Incremento dinamico	Mu31	121.20	Tu31	28.09		0
Frenatura e avviamento	Mu41	8.61	Tu41	2.65	Nu41	49.20
Centrifuga	Mu51	0.01	Tu51	0,00		0
Eccentricità di carico	Mu61	63.22	Tu51	14.65		0
Effetto della sopraelevazione	Mu71	0,00	Tu61	0,00		0
Vento	Mu8	206.46	Tu8	63.53		0
Azione laterale	Mu9	103.75	Tu9	31.92		0

11.2 MODELLO DI CARICO: TRENO SW/2
MODELLO DI CARICO SW/2

AZIONE	$M_{mezzzeria}$ [kNm]		$T_{appoggio}$ [kN]		N [kN]	
Permanenti	Mu1	323.27	Tu1	99.47		0
Treno LM71	Mu22	332.72	Tu22	102.38		0
Incremento dinamico	Mu32	121.20	Tu32	37.29		0
Frenatura e avviamento	Mu42	9.13	Tu42	2.81	Nu42	52.19
Centrifuga	Mu52	0,00	Tu52	0,00		0
Effetto della sopraelevazione	Mu72	0,00	Tu72	0,00		0
Vento	Mu8	206.46	Tu8	63.53		0
Azione laterale	Mu9	103.75	Tu9	31.92		0

12 VERIFICHE DI RESISTENZA

Le verifiche sono condotte con il metodo della tensioni ammissibili, facendo riferimento alla condizione di carico TA1 di tabella 1.7.3.2 della Istruzione per il calcolo dei ponti ferroviari. La condizione TA1 e': $G_k + Q_k + 0.6 \cdot W_k$ dove:

- Q_k : e' il valore caratteristico delle azioni legate al transito dei treni e per calcolarlo occorre fare riferimento ad uno dei gruppi di azioni della tabella 1.7.2.3. Si assume per la verifiche il gruppo 1 dove i coefficienti di simultaneita' delle azioni valgono: 1.0 per i carichi verticali; 0.5 per frenatura e avviamento; 1.0 per centrifuga; 1.0 per azione laterale;
- W_k e' l'azione del vento;
- G_k sono i carichi permanenti.

Le sollecitazioni risultanti sono:

$$M_{tot} = \mu_1 + (\mu_2 + \mu_3 + 0.5 \cdot \mu_4 + \mu_5 + \mu_6 - \mu_7 + \mu_9) + 0.6 \cdot \mu_8$$

$$T_{tot} = \tau_1 + (\tau_2 + \tau_3 + 0.5 \cdot \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 - \tau_7 + \tau_9) + 0.6 \cdot \tau_8$$

$$N_{tot} = 0.5 \cdot \nu_4$$

Per il treno LM71 si ha:

$$M_{tot1} = 1072 \text{ kNm} \quad T_{tot1} = 291 \text{ kN} \quad N_{tot1} = 25 \text{ kN}$$

Per il treno SW/2 si ha:

$$M_{tot2} = 1009 \text{ kNm} \quad T_{tot2} = 311 \text{ kN} \quad N_{tot2} = 26 \text{ kN}$$

Le verifiche sono eseguite con: $\sigma = M_{tot}/W_p + N_{tot}/A_p$

$$\tau = T_{tot} \cdot S_{xp} / (S_p \cdot J_p)$$

Per il treno LM71 si ha:

$$\sigma = 146.10 \text{ Mpa} < 185 \cdot 1.125 = 208 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 – RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 001	A	39 di 44

$$\tau = 27.29 \text{ Mpa} < 185 / (3)^{0.5} = 107 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

Per il treno SW/2 si ha:

$$\sigma = 137.53 \text{ Mpa} < 185 * 1.125 = 208 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

$$\tau = 29.16 \text{ Mpa} < 185 / (3)^{0.5} = 107 \text{ MPa (verifica soddisfatta)}$$

13 CALCOLO DELLA FREQUENZA PROPRIA DELL'IMPALCATO

Questa verifica viene eseguita per controllare l'affidabilità del coefficiente di incremento dinamico Φ_3 assunto nei calcoli. Essa consiste nell'accertare che la frequenza propria n_0 sia contenuta all'interno del fuso indicato in fig. 1.4.2.3 dell'Istruzione per il calcolo dei ponti.

Il limite superiore del fuso è: $L_{sf} = 94.76 \cdot L_b^{-0.748} = 13.9$ Hz

Il limite inferiore del fuso è: $L_{if} = 80/L = 6.2$ Hz

Considerando resistente l'intero impalcato con il calcestruzzo omogeneizzato con $n = 6$, si ottiene il momento d'inerzia:

$$J_f = [B_i \cdot S_{sn}^3 / 12 + (n - 1) \cdot N_{pt} \cdot J_p] / n = 15811409 \text{ cm}^4$$

La frequenza propria è data da: $n_0 = 17.75 / (f_0)^{0.5}$

dove f_0 è la freccia dell'impalcato per i carichi permanenti $Q_1 = 457$ kN/m

Si ha: $f_0 = 5 / 384 \cdot Q_1 \cdot L_b^4 / (E_p \cdot J_f) = 5.12$ mm

e quindi $n_0 = 17.75 / 5.12^{0.5} = 7.85$ Hz

Si hanno i confronti: $n_0 = 7.85 < 13.9$ (verifica soddisfatta)

$$n_0 = 7.85 > 6.2 \text{ (verifica soddisfatta)}$$

14 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Le verifiche di deformabilità sono condotte agli stati limite di servizio con la combinazione rara delle azioni fornita dalla:

$$F_d = S_j(G_{kj}) + Q_{kl} + S_{(j=2)} P_{0j} * Q_{ki}$$

Assumendo come azione di base Q_{kl} l'azione da traffico ferroviario, le azioni dovute al vento e alla termica vanno moltiplicate per $P_0 = 0.6$. Per il calcolo di Q_{kl} si fa riferimento ancora al gruppo di carico 1. Le verifiche di deformabilità si effettuano considerando reagente una striscia longitudinale di impalcato larga 5.0 metri, includendo anche il calcestruzzo omogeneizzato con $n = 6$. Le travi in tale striscia sono: $N_{pd} = 11.9$.

Con tali premesse, il momento d'inerzia vale:

$$J_d = [B_{rd} * S_{sn}^3 / 12 + (n - 1) * N_{pd} * J_p] / n = 6377556 \text{ cm}^4$$

14.1 FRECCIA PER I SOVRACCARICHI DINAMIZZATI DEL TRENO LM71:

Il valore limite nel caso di velocità di LM71 pari a 160 km/h vale:

$$F_{dl} = L_b / K_{dl} = 9700 / 1200 = 8.0 \text{ mm per ponti a una campata con luce minore di 30 m.}$$

$$Q_d = \phi_3 * Q_{21f} = 204.64 \text{ kN/m}$$

$$F_d = 5/384 * Q_d * L_b^4 / (E_p * J_d) = 5.68 \text{ mm}$$

$$F_d = 5.68 \text{ mm} < 9.2 \text{ mm (verifica soddisfatta)}$$

14.2 ROTAZIONE AGLI APPOGGI

Il valore limite per ponti con n. 2 binari , una campata e V=160 km/h vale:

$\vartheta_{rl} = 0.002$ rad, all'estremità dell'impalcato.

1. Effetto del treno LM71 dinamizzato: $\vartheta_1 = 1/24 * Q_d * L_b^3 / (E_p * J_d) = 0.0014$ rad.
2. Effetto del gradiente termico $\Delta_{gt} = 10^\circ$ gradi tra estradosso e intradosso:

$\vartheta_2 = L_b/2 * \alpha * \Delta_{gt} / S_{sn} = 0.00079$ rad.

$\vartheta = \vartheta_1 + 0.6 * \vartheta_2 = 0.00187$ rad

$\vartheta = 0.00187$ rad < 0.002 rad. (verifica soddisfatta)

14.3 SGHEMBO

Il valore limite dello sgheambo alla velocità di 160 km/h è $S_{gl} = 3.0$ mm/m.

La verifica si effettua ipotizzando la presenza di un profilo metallico in corrispondenza di ciascuna rotaia e calcolando la differenza di abbassamento tra i due profili in corrispondenza delle sezione posta a 3.0 m dall'appoggio, ipotizzando una distribuzione trasversale degli abbassamenti di tipo lineare.

Gli effetti prodotti dal treno LM71 sono:

forza centrifuga: $M_{t11f} = 0$ kNm/m

eccentricità del carico: $\phi_3 * M_{t21f} = 16.37$ kNm/m

sovraelevazione: $M_{t31f} = 0$ kNm/m

vento: $0.6 * M_{t4} = 23.51$ kNm/m

azione laterale: $\frac{M_{t5}}{L_b} = 9.85$ kNm/m

Totale: $M_{tsg} = 49.73$ kNm/m

L'incremento e decremento di carico Δ_q prodotti sulle due travi considerate da tali effetti si valuta considerando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $b * h$ pari a $1.0 * B_{tr} = 1.0 * 4.0$ m e momento d'inerzia $J_u = 1.0 * 4.0^3 / 12 = 5.333333$ m⁴.

$$- \Delta_q = M_{tsg} / J_u * s / 2 * I_p = 2.81 \text{ kN/m.}$$

$$- J_{sg} = J_d / N_{pd} = 535715 \text{ cm}^4$$

per una trave con il relativo calcestruzzo di influenza.

La freccia verticale a 3.0 metri dall'appoggio vale:

$$F_{dsg} = 1/24 * \Delta_q * L_b^4 * (k_3 - 2 * k_3^3 + k_3^4) / (E_p * J_{sg})$$

con: $k_3 = 3.0 / L_b = 0.27$ per cui si ottiene:

$$F_{dsg} = 0,62 \text{ mm}$$

pertanto le due travi subiscono una differenza di deformazione pari a:

$$\Delta s_g = 2 * F_{dsg} = 1.24 \text{ mm} < 3.0 \text{ mm. (verifica soddisfatta)}$$

15 SCARICHI APPOGGI

Si riporta di seguito le tabelle degli scarichi agli appoggi nelle condizioni di carico di esercizio, sismiche e per soli carichi permanenti, avendo considerato il carico verticale ripartito sul 100% del numero totale di appoggi, mentre le forze longitudinali e trasversali ripartite solo sul 50%. Nel calcolo delle azioni sismiche è stato adoperato un coefficiente di struttura $\beta=2.5$.

Nella relazione di calcolo delle spalle cautelativamente le azioni orizzontali sono state considerate al 100% su una o sull'altra spalla adoperando un coefficiente $\beta=2$.

SCARICHI DI APPOGGIO IN NEOPRENE ARMATO ($\beta = 2.5$ ripartizione delle azioni orizzontali sul 50% dei vincoli)								
Condizioni di esercizio non sismiche			Condizioni sismiche			Condizioni di soli carichi permanenti		
N	T _L	T _T	N	T _L	T _T	N	T _L	T _T
[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
61	6	4	2	17	0	99	-	-
311	48	6	319	4	4	99	-	-
296	48	6	2	17	0	-	-	-
311	48	6	319	4	7	-	-	-

