

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

CUP: J31J05000010001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA.

TRATTA RHO-GALLARATE

QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y

QUADRUPPLICAMENTO RHO (e) – PARABIAGO (i) E RACCORDO Y

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

VI05 – Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87

Relazione di calcolo impalcato

SCALA:

-

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

MDL 1 3 2 D 2 6 CL VI 0 5 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	A.Ingletti	Novembre 2017	F.Coppini	Novembre 2017	S. Borelli	Novembre 2017		
B	Emissione per aggiornamento documentale	S. Scata	Agosto 2019	A. Cimarelli	Agosto 2019	M.Berlingieri	Agosto 2019		

File: MDL132D26CLVI0500001B.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	8
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	8
4	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	9
5	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	10
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	11
6.1	CALCESTRUZZO.....	11
6.2	ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO	11
6.3	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA.....	11
7	CARATTERISTICHE DEL TERRENO.....	13
8	ANALISI DEI CARICHI	15
8.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G_{1k}).....	15
8.2	PESO PERMANENTI NON STRUTTURALI (G_{2k})	15
8.3	CARICHI ACCIDENTALI	16
8.3.1	<i>Treni di carico</i>	16
8.3.2	<i>Coefficiente dinamico Φ</i>	16
8.3.3	<i>Carico sui marciapiedi</i>	16
8.3.4	<i>Vento</i>	17
8.3.5	<i>Azione di frenatura/avviamento</i>	17
8.3.6	<i>Azione laterale da serpeggio</i>	17
8.3.7	<i>Azione sismica</i>	17
8.3.8	<i>Azione termica</i>	20
9	CALCOLO STRUTTURALE DELL'IMPALCATO	21
9.1	CRITERI DI CALCOLO	21
9.1.1	<i>Verifiche di resistenza</i>	21

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	3 di 57

9.1.2	Verifiche di deformabilità.....	21
9.2	SCHEMI DI CALCOLO.....	21
10	COMBINAZIONI DI CARICO.....	23
11	VERIFICHE DI RESISTENZA DELL'IMPALCATO.....	24
11.1	CALCOLO DEL MOMENTO FLETTENTE SOLLECITANTE MASSIMO.....	24
11.1.1	Effetto dei permanenti strutturali e non strutturali.....	24
11.1.2	Effetto degli accidentali.....	24
11.1.3	Effetto dell'incremento dinamico.....	24
11.1.4	Effetto della frenatura /avviamento.....	24
11.2	CALCOLO DEL TAGLIO SOLLECITANTE MASSIMO.....	25
11.2.1	Effetto dei permanenti strutturali e non strutturali.....	25
11.2.2	Effetto degli accidentali.....	25
11.2.3	Effetto dell'incremento dinamico.....	25
11.2.4	Effetto della frenatura /avviamento.....	25
11.3	CALCOLO DELLE COPPIE TORCENTI.....	26
11.3.1	Effetto torcente da eccentricità di carico.....	26
11.3.2	Effetto torcente da vento.....	26
11.3.3	Effetto torcente da azione laterale serpeggio.....	26
11.4	SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE DI BORDO FASCIA.....	26
11.4.1	Incremento effetto da eccentricità di carico LM71.....	26
11.4.2	Incremento effetto da carico da vento.....	26
11.4.3	Incremento effetto da azione laterale di serpeggio.....	26
11.4.4	Azione assiale da frenatura/avviamento.....	27
11.5	CALCOLO DELLA RESISTENZA DELLE TRAVI INCORPORATE.....	27
11.6	CALCOLO DELLA RESISTENZA DELLO SBALZO.....	27

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	4 di 57

12	CALCOLO DELLA FREQUENZA PROPRIA DELL'IMPALCATO	28
13	VERIFICHE DI DEFORMABILITA'	28
13.1	ROTAZIONE AGLI APPOGGI.....	29
13.2	SGHEMBO	29
14	RISULTATI DEL CALCOLO	30
14.1	IMPALCATO CENTRALE	30
14.2	IMPALCATO A SINISTRA	35
14.3	IMPALCATO A DESTRA	40
14.4	VERIFICA DI RESISTENZA DELL'IMPALCATO	45
14.5	VERIFICA DELLO SBALZO.....	46
15	APPOGGI.....	50
15.1	IMPALCATO CENTRALE	51
15.2	IMPALCATO A SINISTRA	52
15.3	IMPALCATO A DESTRA	53
15.4	DIMENSIONAMENTO APPOGGI.....	55
16	INCIDENZA ARMATURE	57

1 PREMESSA

Oggetto del presente documento sono i calcoli relativi all'impalcato del Prolungamento del ponte sul canale rivestito al km 0+810.87, previsto per il potenziamento della linea Rho – Arona, tratta Gallarate – Rho. L'opera in questione è individuata con la WBS VI05.

L'opera consiste in 3 viadotti separati ad 1 sola campata, due dei quali saranno successivamente solidarizzati, realizzati con impalcati in travi in acciaio incorporate nel cls, di luce 9.80 m, in asse appoggi. Le travi in acciaio hanno un'obliquità rispetto all'asse appoggi di circa 7°. L'andamento planimetrico dell'asse di progetto dei binari è in rettifilo.

Il viadotto centrale accoglie una piattaforma a doppio binario, mentre i due laterali hanno un solo binario.

Le spalle hanno la medesima carpenteria. Sono spalle tradizionali fondate su micropali $\Phi 300$.

Lo schema di vincoli prevede lo schema a cerniera – cerniera con l'utilizzo di appoggi in neoprene armato.

L'impalcato ha una larghezza pari a circa 26m. E' costituito da 3 impalcati separati fisicamente da un giunto, di larghezza, rispettivamente, pari 7.50 – 10.60 – 7.90m. Tali valori sono indicativi e non univoci. La parte centrale accoglie una piattaforma a doppio binario, mentre i due laterali accolgono un singolo binario.

I tre impalcati sono costituiti da un totale di 51 travi (14 + 23 + 14) HEB 600 disposte ad interasse di 42 cm e collegate trasversalmente da tiranti $\phi 30$ disposti ad interasse 1.15m. I tiranti verranno saldati tramite apposite rondelle alle travi forate per permettere il passaggio dei tiranti stessi. Ai fini delle verifiche di resistenza si considerano le sole travi metalliche mentre per le verifiche di deformabilità si considera collaborante anche la parte in calcestruzzo con rapporto tra i moduli elastici di acciaio e calcestruzzo pari a 6 come previsto da RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2, punto 2.9.2.2. Il calcolo si riferisce alla situazione peggiore, ossia l'impalcato più largo, con gli sbalzi laterali maggiori ed è valido anche per gli altri due.

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	6 di 57

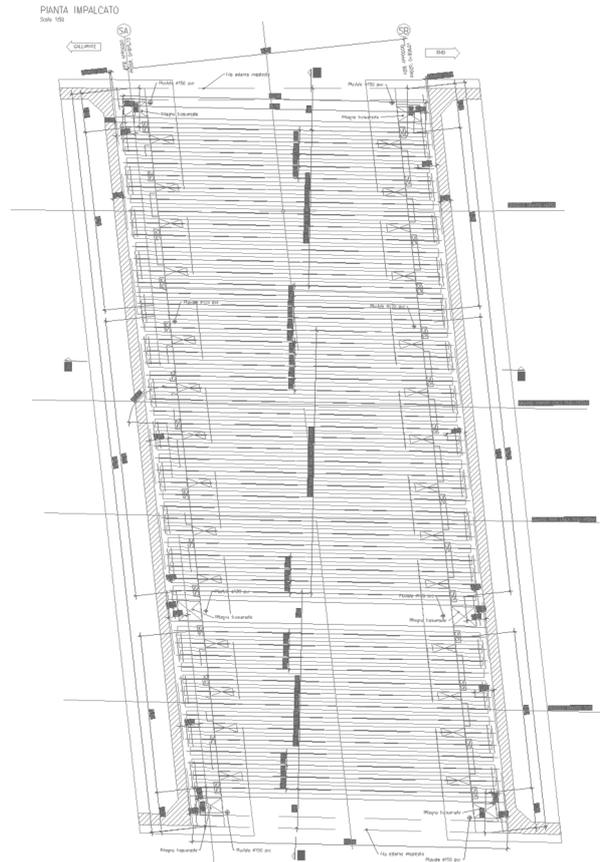


Figura 1. Pianta impalcato.

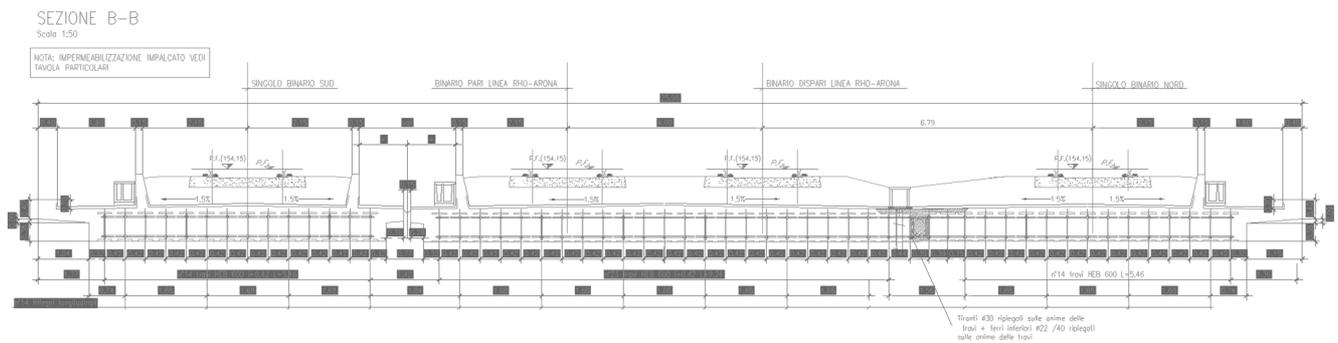


Figura 2. Sezione trasversale.

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	7 di 57

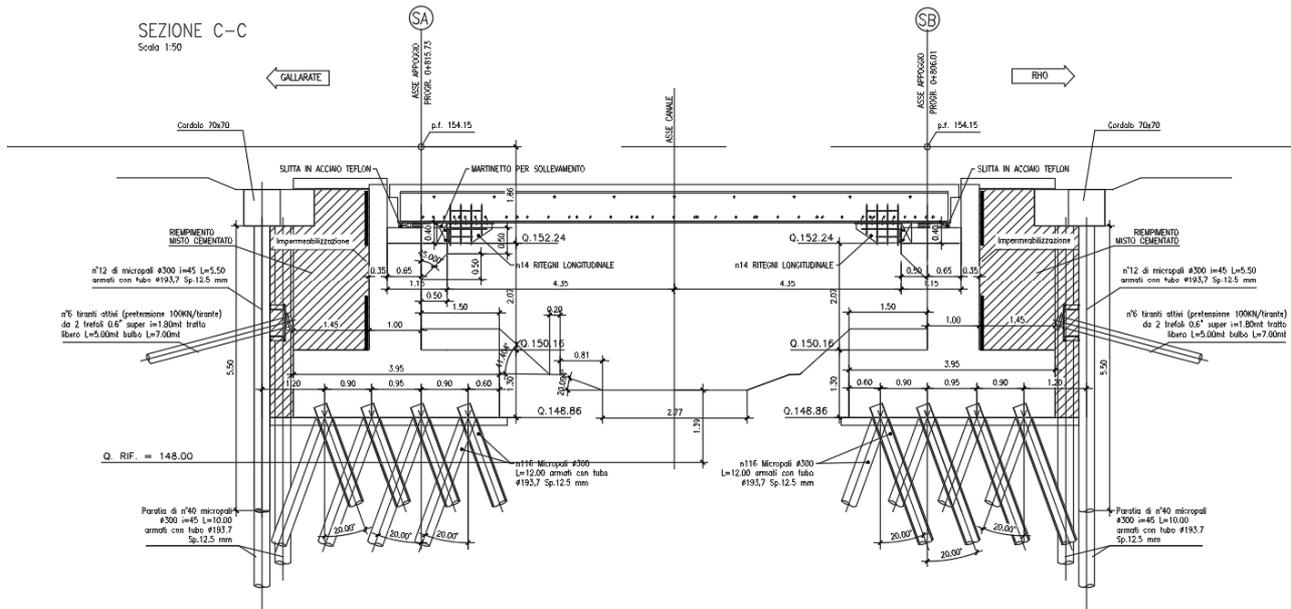


Figura 3. Sezione longitudinale.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	8 di 57

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento tratta le verifiche strutturali e relative alle strutture di cui in premessa.

3 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Legge 05/01/1971 n. 1086, “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge n.64 02/02/1974, “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D.M. 14/01/2008, “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC08).
- Circolare n. 617: 02/02/2009, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.
- UNI EN 1992-1 Eurocodice 2: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali”.
- UNI EN 1992-2 Eurocodice 2: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti”.
- UNI EN 1998-5 Eurocodice 8: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1:2014: “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale – Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.

Si riporta, ora, l'elenco delle norme tecniche, delle circolari e delle istruzioni F.S. delle quali si è tenuto conto.

- RFI DTC SI MA IFS 001 A – Parte I;
- RFI DTC SI AG MA IFS 001 A Parte II sezione 1;
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2;
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 A Parte II sezione 3;
- RFI DTC SI GA MA IFS 001 A Parte II sezione 4;
- RFI DTC SI CS MA IFS 002 A Parte II sezione 5;
- RFI DTC SI CS MA IFS 003 A Parte II sezione 6.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
 0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
 CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	9 di 57

4 ELABORATI DI RIFERIMENTO

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

OPERE PRINCIPALI - Ponti e viadotti																					
<i>VI05- Prolungamento ponte su canale rivestito km 0+810.87</i>																					
Relazione tecnica descrittiva	M	D	L	1	3	2	D	2	6	R	G	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Relazione di calcolo impalcato	M	D	L	1	3	2	D	2	6	C	L	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Relazione di calcolo spalle e fondazioni	M	D	L	1	3	2	D	2	6	C	L	V	I	0	5	0	0	0	0	2	B
Relazione di calcolo opere provvisionali	M	D	L	1	3	2	D	2	6	C	L	V	I	0	5	0	0	0	0	3	B
Relazione di compatibilità idraulica	M	D	L	1	3	2	D	2	6	R	I	V	I	0	5	0	0	0	0	1	A
Planimetria generale dell'intervento	M	D	L	1	3	2	D	2	6	P	9	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Sistemazione spondale canale - Pianta e sezioni	M	D	L	1	3	2	D	2	6	P	A	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Carpenteria impalcato	M	D	L	1	3	2	D	2	6	B	B	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Carpenteria spalle	M	D	L	1	3	2	D	2	6	B	B	V	I	0	5	0	0	0	0	2	B
Opere provvisionali	M	D	L	1	3	2	D	2	6	B	9	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Fasi realizzative	M	D	L	1	3	2	D	2	6	B	9	V	I	0	5	0	0	0	0	2	B
Particolari, dettagli e finiture	M	D	L	1	3	2	D	2	6	B	C	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B

5 UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Unità di misura principali

N	(Newton)	unità di forza
m	(metro)	unità di lunghezza
kg	(kilogrammo-massa)	unità di massa
s	(secondo)	unità di tempo

Unità di misura derivate

kN	(kiloNewton)	10^3 N
MN	(megaNewton)	10^6 N
kgf	(kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
cm	(centimetro)	10^{-2} m
mm	(millimetro)	10^{-3} m
Pa	(Pascal)	1 N/m ²
kPa	(kiloPascal)	10^3 N/m ²
MPa	(megaPascal)	10^6 N/m ²
N/m³	(peso specifico)	
g	(accelerazione di gravità)	~ 9.81 m/s ²

Corrispondenze notevoli

1 MPa = 1 N/mm ²
1 MPa \sim 10 kgf/cm ²
1 kN/m ³ \sim 100 kgf/m ³

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

γ	(gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m ³)
σ	(sigma)	tensione normale	(N/mm ²)
τ	(tau)	tensione tangenziale	(N/mm ²)
ϵ	(epsilon)	deformazione	(m/m - adimensionale)
φ	(fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)

6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

6.1 Calcestruzzo

- Magrone classe C12/15;
- Soletta in c.a. classe C28/35 $f_{ck} \geq 28$ MPa;

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	[MPa]	35
Modulo elastico istantaneo	E_{cm}	[MPa]	32300
Resistenza a trazione semplice (media)	f_{ctm}	[MPa]	2.77
Resistenza a trazione semplice (frattile al 5%)	$f_{ctk(5\%)}=0.7*f_{ctm}$	[MPa]	1.94
Resistenza a trazione per flessione (media)	$f_{cfm}=1.2*f_{ctm}$	[MPa]	3.32
Resistenza a trazione per flessione (frattile al 5%)	$f_{cfk(5\%)}=0.7*f_{cfm}$	[MPa]	2.33
Resistenza di calcolo cilindrica (per strutture in C.A.)	$f_{cd}=(f_{ck}/1.5)*0.85$	[MPa]	15.87

6.2 Acciaio da cemento armato

Acciaio tipo	B450C
Tensione snervamento caratteristica	$f_{yd}=450$ MPa
Modulo elastico	$E = 210000$ MPa
Tensione di calcolo	$f_{yd}=391.3$ MPa

6.3 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio S355 J2 secondo UNI EN 10025 (Ex Fe510)

Modulo elastico	E	[MPa]	210000
Modulo di elasticità trasversale	G	[MPa]	784000
Coefficiente di Poisson	ν	[-]	0.3
Peso dell'unità di volume	γ	[kN/m ³]	78.5



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	12 di 57

Coefficiente di dilatazione termica	α	[°C ⁻¹]	1.20E-05
Tipo Acciaio		[-]	S355
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq$	[MPa]	510
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk} \geq$	[MPa]	355



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	13 di 57

7 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Nel periodo settembre – dicembre 2008 sono stati eseguiti 25 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo spinti fino ad una profondità massima di 30 m. Nel periodo maggio – giugno 2017 sono stati eseguiti 8 sondaggi integrativi anch'essi spinti fino ad una profondità massima di 30 m. All'interno dei fori sono state effettuate prove penetrometriche dinamiche (SPT) e prove di permeabilità tipo Lefranc.

Al fine di rilevare la profondità della superficie piezometrica della falda freatica, venti sondaggi sono stati strumentati con piezometri a tubo aperto (diametro di 2 pollici).

In dettaglio, nel corso dei sondaggi sono state sviluppate le seguenti attività:

prelievo di campioni indisturbati (n. 3) e rimaneggiati (n. 232 di cui 160 relativi al 2008 e 72 al 2017), successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio;

n. 237 (165 relative al 2008 e 72 relative al 2017) prove SPT (Standard Penetration Test);

n. 22 (14 relative al 2008 e 8 relative al 2017) prove di permeabilità in foro tipo Lefranc;

rilievo del livello dell'acqua all'interno dei fori di sondaggio, durante le operazioni di perforazione;

misure speditive della resistenza alla punta con penetrometro tascabile, limitatamente ai termini LS, presenti nei sondaggi PNMDL1R26 – SCMDL1R27;

stratigrafie dei terreni.

Le operazioni di perforazione sono state eseguite utilizzando un carotiere semplice con valvola in testa a sfera e calice per perforazione a secco, con un diametro nominale ϕ_{est} pari a 101 mm e lunghezza utile $l = 150 \div 300$ cm.

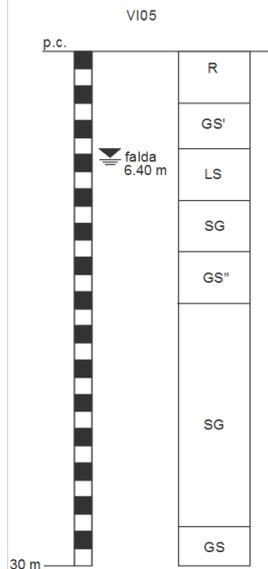
Sulla base di quanto sopra e dalla caratterizzazione stratigrafica e dei parametri geotecnici di progetto riportati nella relazione geotecnica generale, per l'opera in oggetto è stata individuata la caratterizzazione stratigrafico-geotecnica di progetto riportata nella seguente scheda geotecnica, caratterizzante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

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

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	14 di 57

OPERA: VI05
PK rif. KM 0+810.87
SONDAGGIO DI RIFERIMENTO: SCMDL1R25



LEGENDA UNITA'

Unità	DESCRIZIONE
LS	Limo sabbioso, a tratti limo argilloso debolmente sabbioso
GS'	Ghiaia sabbiosa (livelli superficiali entro 5m)
GS''	Ghiaia sabbiosa (livelli profondi oltre 5m)
SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa
SL	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa, con qualche elemento lapideo di dimensioni cm

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ	c_u	c'	ϕ	V_s	G_0	E_{op}	k	N_{SPT}	c_v
	(kN/m ³)	(kPa)	(kPa)	(°)	(m/s)	(MPa)	(MPa)	(cm/s)	(N ₂ +N ₃)	(cm ² /s)
LS	20	30±100	10±30	25±30	-	-	10±20	10 ⁻⁵	-	3·10 ⁻³ ±5·10 ⁻³
GS'	19±20.5	-	-	35±37	200±350	70±250	20±40	10 ⁻² ±10 ⁻³	4±37	-
GS''	19±20.5	-	-	37±39	250±450	150±400	15±45	10 ⁻² ±10 ⁻³	25±60	-
SG	20±21	-	-	32±35	300±450	200±450	15±30	10 ⁻³	30±60	-
SL	20±21.5	-	-	30±32	-	-	18±20	10 ⁻⁴	-	-

Note

γ	peso per unità di volume
c_u	resistenza non drenata
c'	coesione efficace
ϕ	angolo di resistenza al taglio
V_s	velocità delle onde di taglio nei primi 30 m
G_0	modulo di taglio a piccole deformazioni
E_{op}	modulo di Young operativo
k	coefficiente di permeabilità
N_{SPT}	numero di colpi / 30 cm
c_v	coefficiente di consolidazione

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_0 = 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

8 ANALISI DEI CARICHI

Si riporta di seguito l'analisi dei carichi considerata per il calcolo delle sollecitazioni sulla struttura.

8.1 Carichi permanenti strutturali (G_{1k})

Peso proprio travi in acciaio: $N \cdot (A \cdot \gamma)$

dove:

- N=numero travi d'acciaio;
- A=area profilo trave d'acciaio;
- $\gamma=78.5 \text{ kN/m}^3$, peso specifico dell'acciaio.

Peso calcestruzzo in opera: $(B \cdot H - N \cdot A) \cdot \gamma$

dove:

- B=larghezza impalcato;
- H=spessore impalcato;
- $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$, peso specifico del c.a.

8.2 Peso permanenti non strutturali (G_{2k})

Ballast: $S_b \cdot B_b \cdot \gamma$

Dove:

- S_b = spessore ballast;
- B_b =larghezza ballast;
- γ =peso specifico del ballast.

Barriere: 2 kN/m^2

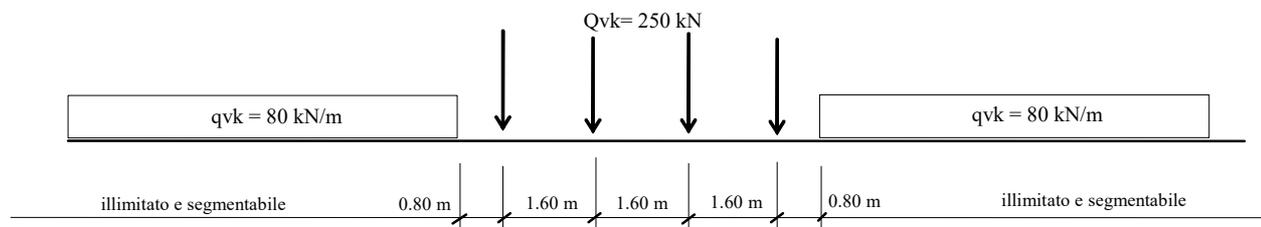
Canalette: 5 kN/m

8.3 Carichi accidentali

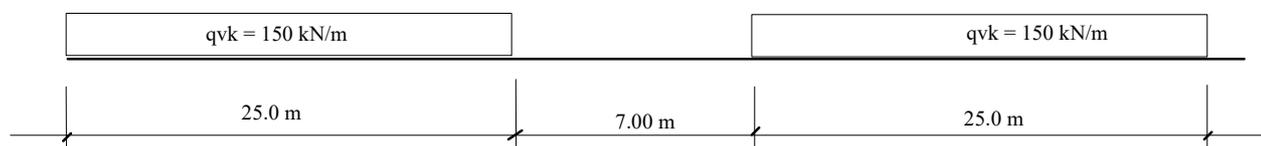
8.3.1 Treni di carico

I carichi verticali viaggianti sono definiti per mezzo di modelli di carico; in particolare, sono forniti due treni di carico distinti: il primo rappresentativo del traffico normale (Treno di carico **LM 71**), il secondo rappresentativo del traffico pesante (Treno di carico **SW/2**). I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento “ α ”, variabile in ragione della tipologia dell’Infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere, metropolitane, ecc.). Sono state considerate due tipologie di carico i cui valori caratteristici sono definiti nel seguito. I riferimenti ai modelli di carico considerati sono il treno di carico LM 71 e il treno SW/2.

- Treno LM 71:



- Treno SW/2:



8.3.2 Coefficiente dinamico Φ

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall’applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli. Per velocità di percorrenza non superiori a 200 km/h, in accordo al DM 14/01/2008 si può assumere:

- (b) per linee con ridotto standard manutentivo:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Figura 4. Estratto formula 5.2.7, NTC08.

8.3.3 Carico sui marciapiedi

Il carico sui marciapiedi si considera non concomitante con il transito dei treni: 10 kN/m



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	17 di 57

8.3.4 Vento

Viene considerato agente sulla superficie del treno (o barriere) e su quella del ponte una pressione :

$$Q_v = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

Il centro di spinta si trova alla distanza verticale:

$$H_g = (H_{\text{barr}} + H + S_b) / 2 - h / 2, \text{ misurata dal baricentro delle travi di altezza } h.$$

La spinta del vento risulta:

$$F_v = Q_v \cdot (H_{\text{barr}} + S_b + H)$$

- H_{barr} = altezza barriere;
- H = spessore dell'impalcato;
- S_b = spessore medio del ballast.

8.3.5 Azione di frenatura/avviamento

L'azione di avviamento/frenatura viene considerata distribuita ed agente a livello del piano del ferro (PF) e quindi alla distanza verticale misurata dal baricentro delle travi, pari a:

$$H_g = (d_{\text{PF}} + H) - h / 2$$

dove:

d_{PF} = distanza piano del ferro (PF) da estradosso impalcato.

L'azione è calcolata in base al treno di carico considerato:

- Avviamento treno LM71 o SW/2: $Q_{\text{la,k}} = \min(33L; 1000) \text{ kN}$;
- Frenatura treno SW/2: $Q_{\text{fb,k}} = 35 \cdot (L; 25) \text{ kN}$.

8.3.6 Azione laterale da serpeggio

Azione di serpeggio:

$$Q_{\text{sk}} = 100 \text{ kN}$$

Viene considerata agente a livello del piano del ferro e quindi ad $H_g = (d_{\text{PF}} + H) - h / 2$, dal baricentro delle travi di altezza h .

8.3.7 Azione sismica

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati i seguenti valori: $V_N = 50$ anni e classe d'uso III a cui corrisponde un coefficiente d'uso $C_U = 1.50$.

La vita di riferimento V_R è quindi pari a 75 anni.

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	18 di 57

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito:

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso: $C_U = 1.5$
- Vita nominale: $V_N = 50$ anni
- Categoria di suolo: C
- Condizione topografica: T_1
- Fattore di struttura: $q = 1$

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo SpettriNTC v1.0.3, messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate
LONGITUDINE: 9.01966 LATTITUDINE: 45.51764

Ricerca per comune
REGIONE: Lombardia PROVINCIA: Varese COMUNE: Gallarate

Elaborazioni grafiche:
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



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

Interpolazione: superficie rigata

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N : 50 info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U : 1.5 info

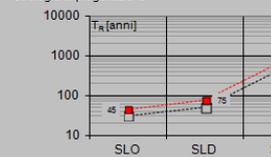
Valori di progetto:
Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R : 75 info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R : info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	45
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	75
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	712
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	1462

Elaborazioni:
Grafici parametri azione
Grafici spettri di risposta
Tabella parametrizzazione

Strategia di progettazione



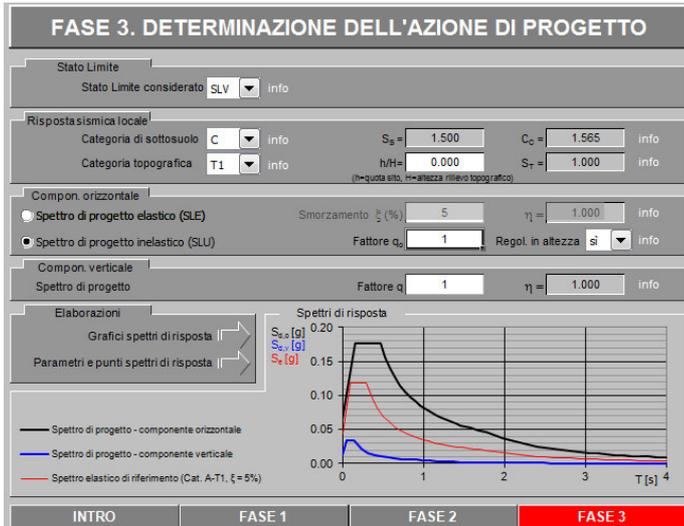
LEGENDA GRAFICO:
---□--- Strategia per costruzioni ordinarie
---■--- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

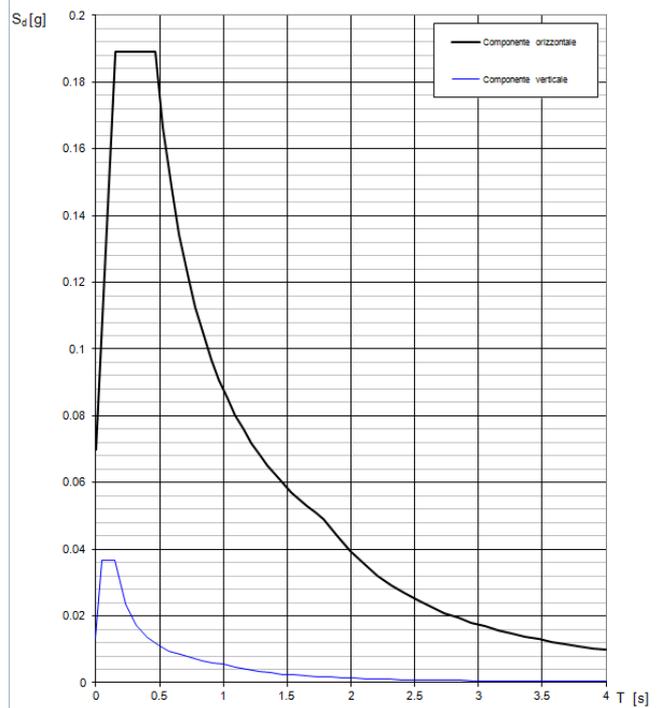
VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM 0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	19 di 57

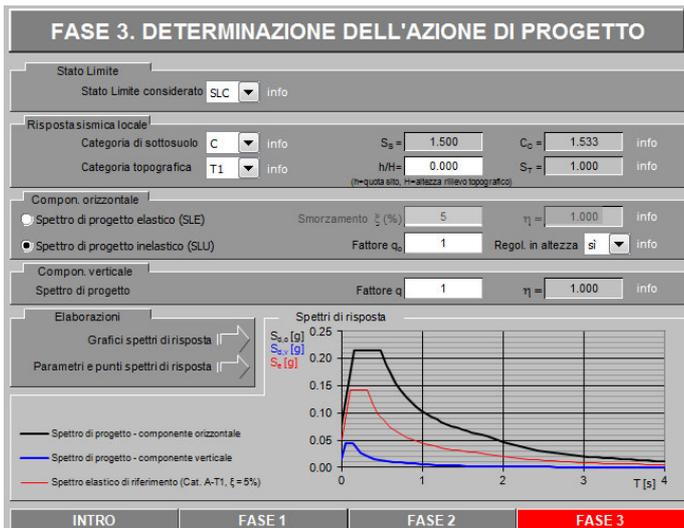
Spettro SLV:



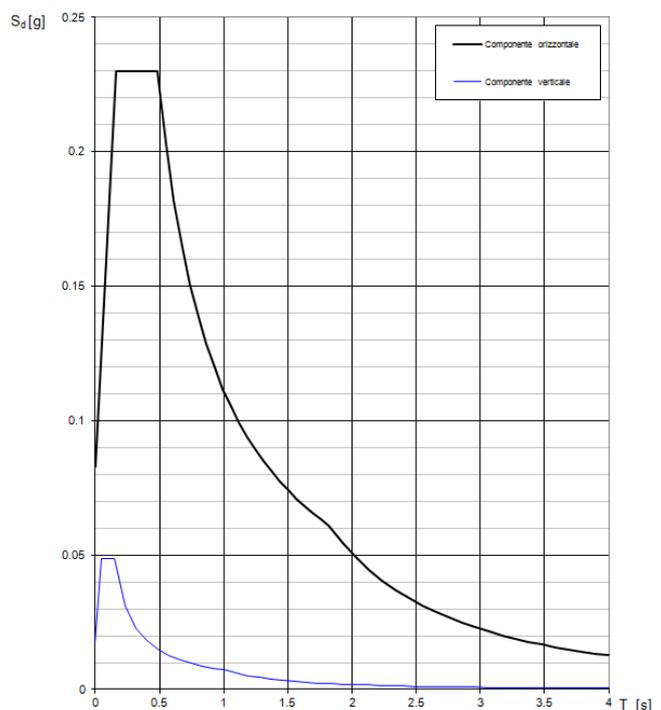
Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



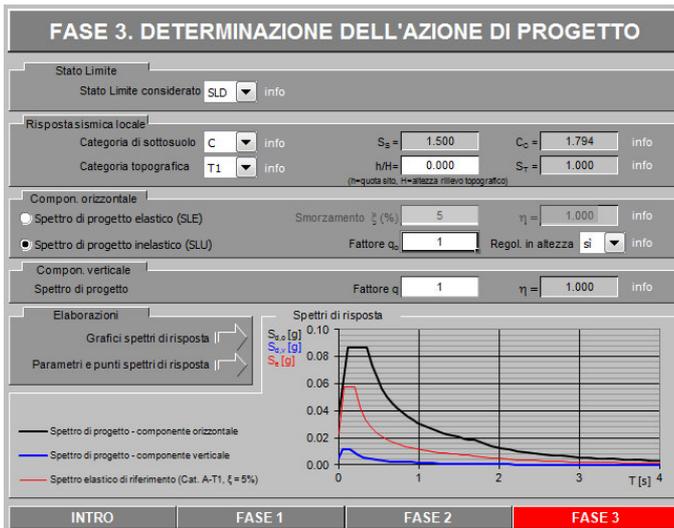
Spettro SLC:



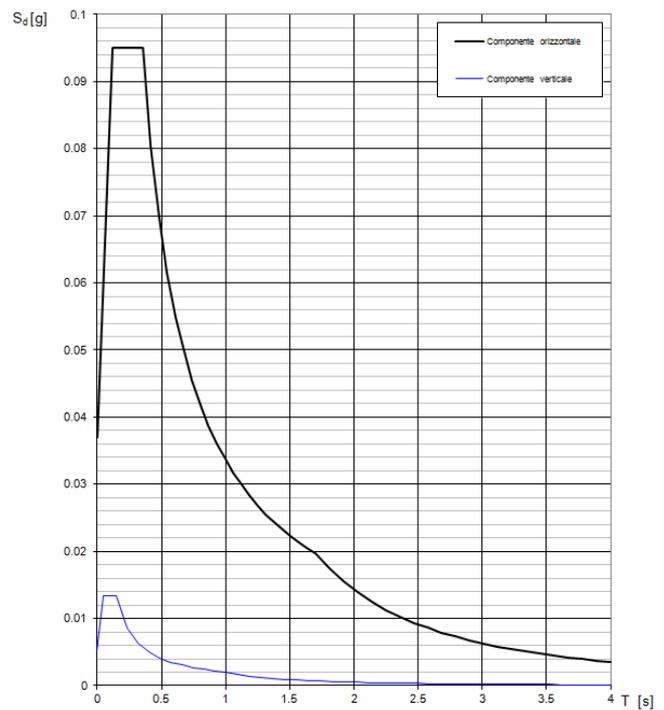
Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



Spettro SLD:



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



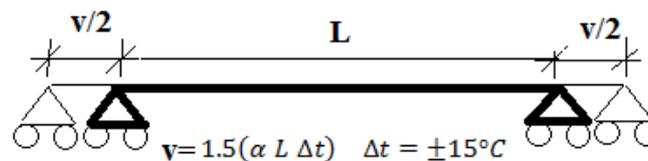
8.3.8 Azione termica

La variazione termica applicata sulla struttura è pari a:

$$\Delta T = \pm 15^\circ\text{C}$$

con una variazione termica aggiuntiva a farfalla pari a $\Delta T = \pm 5^\circ\text{C}$. Il coefficiente di dilatazione termica si assume pari ad $\alpha = 10^{-5}$. Esclusivamente per il calcolo delle escursioni dei giunti e degli apparecchi d'appoggio la variazione di temperatura uniforme dovrà essere incrementata del 50%.

Lo schema di calcolo dello spostamento termico è il seguente:





POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	21 di 57

9 CALCOLO STRUTTURALE DELL'IMPALCATO

L'impalcato è stato verificato mediante l'ausilio di un foglio di calcolo in ambiente Excel, impostato con i criteri previsti dalla normativa di riferimento.

9.1 Criteri di calcolo

Il dimensionamento degli impalcati a travi incorporate è stato fatto in accordo alle normative di riferimento attuali, secondo i criteri di calcolo previsti al cap. 2.9.2 di RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2 con i criteri di seguito descritti.

9.1.1 Verifiche di resistenza

Il calcestruzzo deve essere considerato non collaborante, pertanto la resistenza deve essere affidata alle sole travi di acciaio contenute all'interno della zona di ripartizione del carico pari a:

- 3.5 m per luce di calcolo $L \leq 6.0\text{m}$;
- 4.0 m per luce di calcolo $L > 6.0\text{m}$.

Secondo le istruzioni RFI il peso dei convogli ferroviari, ai fini del calcolo, viene ripartito sulla larghezza: $B_{rs}=4.0$ m.

Per cui il numero di travi comprese in tale fascia è:

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

9.1.2 Verifiche di deformabilità

Il calcestruzzo deve essere considerato interamente collaborante ai fini della determinazione dell'inerzia flessionale dell'impalcato con coefficiente di omogeneizzazione pari a $n = 6$ e della ripartizione trasversale dei sovraccarichi mobili.

Per le verifiche delle deformazioni, si considera resistente una striscia longitudinale larga:

$$B_{rd} = 5.0 \text{ m}$$

nella quale sono poste in numero di:

$$N_{pd} = B_{rd} / I_p = 11.9$$

9.2 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 travi contenute nella fascia resistente $B_{rs} = 4.0$ m.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	22 di 57

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 e l'eventuale sopraelevazione della rotaia esterna.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	23 di 57

10 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche agli stati limite sono state eseguite in accordo alle combinazioni delle azioni previste dai capitoli 2.5.3 e 5.2.3 delle NTC08, amplificando gli effetti delle sollecitazioni massime caratteristiche che sono state calcolate in accordo all'istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2. Si assume per le verifiche il *gruppo 1* e il *gruppo 3* delle azioni, che restituiscono la situazione più sfavorevole per l'impalcato.

Nel gruppo 1 i coefficienti di simultaneità delle azioni valgono:

- 1.0 per i carichi verticali;
- 0.5 per frenatura/avviamento;
- 1.0 per l'azione centrifuga;
- 1.0 per azione laterale da serpeggio;
- 0.6 per il vento.

Nel gruppo 3 i coefficienti di simultaneità delle azioni valgono:

- 1.0 per i carichi verticali;
- 1.0 per frenatura/avviamento;
- 0.5 per l'azione centrifuga;
- 1.0 per azione laterale da serpeggio;
- 0.5 per l'azione da serpeggio;
- 0.6 per il vento.

I valori delle sollecitazioni caratteristiche risultanti sono dati da:

$$M_{\text{tot,k}}(\text{gr1}) = M_1 + (M_2 + M_3 + 0.5 \cdot M_4 + M_5 + M_6 - M_7 + M_9) + 0.6 \cdot M_8$$

$$V_{\text{tot,k}}(\text{gr1}) = V_1 + (V_2 + V_3 + 0.5 \cdot V_4 + V_5 + V_6 - V_7 + V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

$$M_{\text{tot,k}}(\text{gr3}) = M_1 + (M_2 + M_3 + M_4 + 0.5 \cdot M_5 + M_6 - M_7 + 0.5 \cdot M_9) + 0.6 \cdot M_8$$

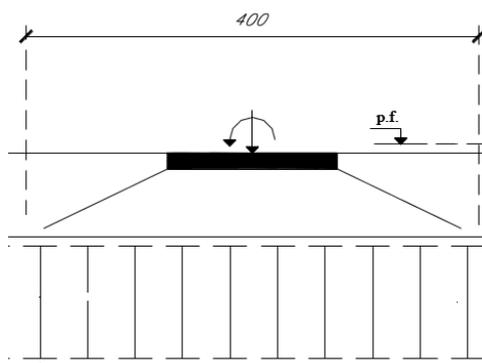
$$V_{\text{tot,k}}(\text{gr3}) = V_1 + (V_2 + V_3 + V_4 + 0.5 \cdot V_5 + V_6 - V_7 + 0.5 \cdot V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

A ciascun pedice è associato l'effetto derivante dall'azione corrispondente:

1. Permanenti strutturali e non strutturali;
2. Treni di carico;
3. Incremento dinamico;
4. Frenatura/avviamento;
5. Forza centrifuga;
6. Eccentricità del treno di carico;
7. Effetto da sopraelevazione;
8. Vento;
9. Serpeggio.

11 VERIFICHE DI RESISTENZA DELL'IMPALCATO

Viene eseguito il calcolo delle sollecitazioni su una larghezza di 4 m.



11.1 Calcolo del momento flettente sollecitante massimo

11.1.1 Effetto dei permanenti strutturali e non strutturali

$$M_{1'} = \frac{G_{1k} L^2 N_{ps}}{8 N}$$

$$M_{1''} = \frac{G_{2k} L^2 N_{ps}}{8 N}$$

11.1.2 Effetto degli accidentali

$$M_2 = \frac{Q_{LM71,k} L^2}{8}$$

$$M_2 = \frac{Q_{SW/2,k} L^2}{8}$$

11.1.3 Effetto dell'incremento dinamico

$$M_3 = (\Phi_3 - 1) M_2$$

11.1.4 Effetto della frenatura /avviamento

$$M_4 = F_f \cdot H_g$$

11.2 Calcolo del taglio sollecitante massimo

11.2.1 Effetto dei permanenti strutturali e non strutturali

$$V_{1'} = \frac{G_{1k} L N_{ps}}{2} \frac{N_{ps}}{N}$$

$$V_{1''} = \frac{G_{2k} L N_{ps}}{2} \frac{N_{ps}}{N}$$

11.2.2 Effetto degli accidentali

$$V_2 = \frac{Q_{LM71,k} L}{2}$$

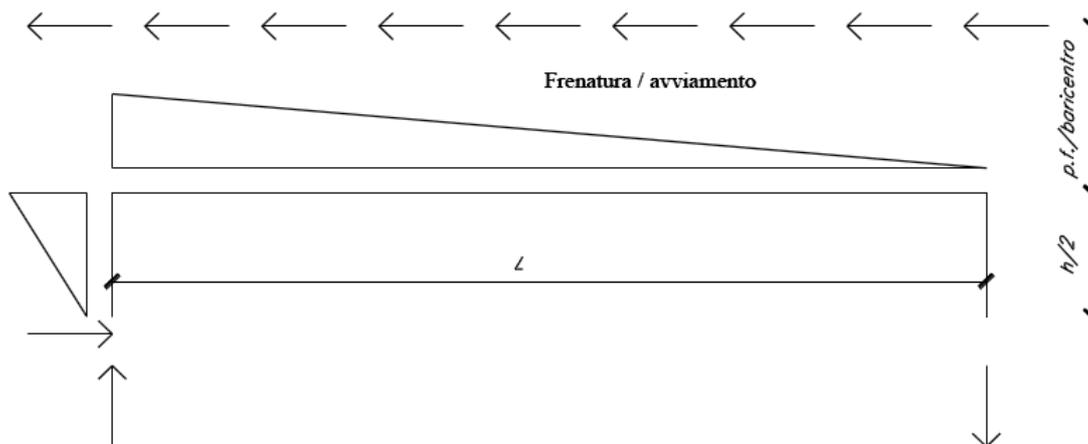
$$V_2 = \frac{Q_{SW/2,k} L}{2}$$

11.2.3 Effetto dell'incremento dinamico

$$V_3 = (\Phi_3 - 1) V_2$$

11.2.4 Effetto della frenatura /avviamento

$$V_4 = F_f \cdot (H_g + h/2) / L$$



11.3 Calcolo delle coppie torcenti

11.3.1 Effetto torcente da eccentricità di carico

Si considera eccentricità di carico di $e=8$ cm:

$$m_{t,6} = Q_{LM71,k} \cdot e$$

11.3.2 Effetto torcente da vento

$$m_{t,8} = F_v \cdot H_g$$

11.3.3 Effetto torcente da azione laterale serpeggio

$$m_{t,9} = F \cdot H_g$$

11.4 Sollecitazioni sulla trave di bordo fascia

Le azioni di tipo 1, 2, 3 e 4 possono essere riportate sulla singola trave dividendo l'azione che agisce su 4 m per il numero di travi presenti in questo campo.

L'incremento di carico verticale prodotto sulla trave di bordo dalle coppie torcenti si valuta, in prima approssimazione, considerando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $b \cdot h = (1m \cdot 4m)$ ed il cui momento d'inerzia vale $J^3 = 1 \cdot 4^3 / 12 = 5.33m^3$.

$$\Delta p = (m_t / J^3) \cdot d \cdot i$$

essendo:

- i = interasse delle travi;
- d = distanza fra l'asse della trave di bordo e l'asse dell'impalcato.

11.4.1 Incremento effetto da eccentricità di carico LM71

$$M_6 = \frac{m_{t,6} \frac{\Delta p}{m_t} L^2}{8}; V_6 = \frac{m_{t,6} \frac{\Delta p}{m_t} L}{2}$$

11.4.2 Incremento effetto da carico da vento

$$M_8 = \frac{m_{t,8} \frac{\Delta p}{m_t} L^2}{8}; V_8 = \frac{m_{t,8} \frac{\Delta p}{m_t} L}{2}$$

11.4.3 Incremento effetto da azione laterale di serpeggio

$$M_9 = \frac{m_{t,9} \frac{\Delta p}{m_t} L}{4}; V_9 = m_{t,9} \frac{\Delta p}{m_t}$$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	27 di 57

11.4.4 Azione assiale da frenatura/avviamento

$$N_{Ed,4} = 0.5(F_f/N_{ps})$$

11.5 Calcolo della resistenza delle travi incorporate

La resistenza flessionale $M_{y,Rd}$, tagliante $V_{z,Rd}$ e assiale N_{Rd} delle travi incorporate si calcola in accordo al cap. 4.2.4.1 delle NTC08. La verifica è soddisfatta se i valori resistenti risultano superiori ai valori sollecitanti.

11.6 Calcolo della resistenza dello sbalzo

La resistenza dello sbalzo in c.a. viene eseguita con i criteri di verifica a flessione e taglio degli elementi sprovvisti di specifica armatura a taglio in accordo al 4.1.2.1 delle NTC08. Si controlla che i valori resistenti risultano superiori ai valori sollecitanti.

Inoltre lo stato limite di esercizio risulta soddisfatto se vengono rispettati i controlli del cap. 4.1.2.2 delle NTC08.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	28 di 57

12 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: $L_{sf} = 94.76 \cdot L^{-0.748}$

Il limite inferiore del fuso è: $L_{if} = 80/L$ per $L \leq 20m$;

$$L_{if} = 23.58 L^{-0.592} \text{ per } L > 20 \text{ m}$$

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

$$J_f = [B \cdot H^3 / 12 + (n-1) \cdot N \cdot J] / n$$

La frequenza propria è data da:

$$n_0 = 17.75 / \delta_0^{0.5}$$

dove δ_0 è la freccia dell'impalcato da carichi permanenti.

Si ha:

$$\delta_0 = 5/384 \cdot (G_1 + G_2) \cdot L^4 / (E_p \cdot J_f)$$

13 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Le verifiche di deformabilità sono condotte agli stati limite di esercizio in combinazione rara.

Assumendo come azione di base l'azione da traffico ferroviario, le azioni dovute al vento e alla termica vanno moltiplicate per $\psi_0 = 0.6$. Si fa riferimento 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: $J'' = [B_{rd} \cdot H^3 / 12 + (n-1) \cdot N_{pd} \cdot J] / n$

La freccia si calcola considerando il sovraccarico dinamizzato del treno LM71:

$$Q_d = \Phi_3 \cdot Q_{LM71}$$

$\delta = 5/384 \cdot Q_d \cdot L^4 / (E \cdot J'')$, dove E =modulo elastico dell'acciaio (materiale omogeneizzato tutto in acciaio).

La verifica è soddisfatta se la freccia calcolata è inferiore al limite ammesso.

13.1 Rotazione agli appoggi

Il valore limite per ponti con n. 2 binari, 1 campata e $V \leq 200$ km/h vale:

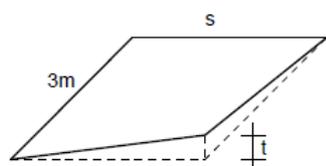
$$\vartheta_{\text{r}} = 0.002 \text{ rad, all'estremità dell'impalcato.}$$

Effetto del treno LM71 dinamizzato:

$$\vartheta = 16/5 \cdot \delta/L$$

13.2 Sghembo

Il limite dello sghembo in base alla velocità di percorrenza e in accordo al cap. 5.2.3.3.2.1 delle NTC08 vale t:



Sghembo ammissibile

per $V \leq 120$ km/h;	$t \leq 4,5$ mm/3m
per $120 < V \leq 200$ km/h;	$t \leq 3,0$ mm/3m
per $V > 200$ km/h;	$t \leq 1,5$ mm/3m

Per velocità $V > 200$ km/h si deve inoltre verificare che per convogli reali, moltiplicati per il relativo incremento dinamico, risulti $t \leq 1,2$ mm/3m.

In mancanza di ulteriori specifiche, lo sghembo complessivo dovuto alla geometria del binario (curve di transizione) e quello dovuto alla deformazione dell'impalcato, non deve comunque eccedere i 6 mm/3 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 della sezione posta a 3.0 m dall'appoggio, ipotizzando una distribuzione trasversale degli abbassamenti di tipo lineare.

Gli effetti prodotti dal treno LM71 sono:

- eccentricità del carico: $\Phi_3 \cdot M_2$
- vento: $0.6 \cdot M_4$
- serpeggio: M_5/L

L'incremento/decremento di carico Δp prodotti sulle due travi considerate da tali effetti si valuta considerando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $4\text{m} \cdot 1\text{m}$:

$$J' = 1.0 \cdot 4.0^3 / 12 = 5.33 \text{ m}^4$$

$$\Delta p = \sum m_t / J' \cdot s / 2 \cdot i$$

$$J^* = J'' / N_{pd}$$

La freccia verticale a 3.0 metri dall'appoggio vale:

$$f^* = 1/24 \cdot \Delta p \cdot L^4 \cdot (k_3 - 2 \cdot k_3^3 + k_3^4) / (E \cdot J^*), \text{ con: } k_3 = 3.0/L.$$

Se:

$$2f^* < t_{amm} \Rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$$

14 RISULTATI DEL CALCOLO

Si riportano di seguito i risultati del calcolo strutturale eseguiti in accordo all'Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2.

14.1 Impalcato centrale

Caratteristiche geometriche

Tipo di impalcato		Con ballast	
Luce	L	9.80	m
Spessore impalcato	H	0.73	m
Distanza P.F. - estradosso imp.	d_PF	0.80	m
Altezza barr. fonoassorbenti	H _{barr}	4.00	m
Velocità di progetto	V	200	km/h
Raggio di curvatura	R	0	m
Sopraelevazione rotaia	s	0.00	m
Larghezza impalcato	B	10.60	m
Tipo profilo		HE 600 B	
Materiale		S355 (Fe 510)	
Tensione di calcolo	f _{yd}	338.0	N/mm ²
Area profilo	A	270	cm ²
Momento di inerzia	J	171000	cm ⁴
Modulo di resistenza	W	5701	cm ³
Momento statico baricentrico	S	3130	cm ³
Altezza	h	60	cm
Larghezza ala	b	30	cm
Spessore ala	t _w	3	cm
Spessore anima	t _f	1.55	cm
Interasse profilo	i	42	cm
Controllo limiti interasse		Ok	
Numero travi	N	23	
Larghezza ballast	B _b	9.20	m
Spessore ballast e arm.	S _b	0.65	m

Analisi dei carichi

Carichi permanenti

Peso proprio travi	48.7	kN/m
Peso cls in opera	177.9	kN/m
Peso ballast e arm.	107.6	kN/m
Peso barriere	8.0	kN/m
Peso canalette	5.0	kN/m
Totale	347.3	kN/m

Carichi mobili

Treno LM71

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	31 di 57

Carico equivalente flettente				161.8	kN/m
Carico equivalente tagliante				185.7	kN/m
Treno SW2					
Carico equivalente flettente				150.0	kN/m
Carico equivalente tagliante				150.0	kN/m
Accidentale marciapiedi				10.00	kN/m ²
Coefficiente di incremento dinamico Φ_3				1.47	
Vento					
Pressione del vento				2.50	kN/m ²
Superficie investita				5.53	m
Quota di applicazione forza da bar. travi				2.465	m
Forza trasversale				13.8	kN/m
Forza centrifuga					
Treno LM71					
Per effetti flettenti				0.0	kN/m
Per effetti taglianti				0.0	kN/m
Treno SW2					
Per effetti flettenti				0.0	kN/m
Per effetti taglianti				0.0	kN/m
Quota di applicazione forza da bar. travi				0.00	m
Frenatura/avviamento					
Treno LM71				323.4	kN
Treno SW2				343.0	kN
Quota di applicazione forza da bar. travi				1.23	m
Serpeggio				100	kN
Quota di applicazione forza da bar. travi				1.23	m
Calcolo delle sollecitazioni su 4 m					
Larghezza di ripartizione				4.00	m
Numero di travi comprese nella fascia				10	
<u>Momento flettente in mezzeria</u>					
Permanenti strutturali		M _{1'}		1183	kNm
Permanenti non strutturali		M _{1''}		630	kNm
Accidentali					
Treno LM71		M ₂		1942	kNm
Treno SW2		M ₂		1801	kNm
Incremento dinamico					
Treno LM71		M ₃		907	kNm
Treno SW2		M ₃		841	kNm

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	32 di 57

Frenatura/avviamento

Treno LM71	M ₄	49	kNm
Treno SW2	M ₄	51	kNm

Taglio agli appoggi

Permanenti strutturali	V _{1'}	483	kN
Permanenti non strutturali	V _{1''}	257	kN
Accidentali			
Treno LM71	V ₂	910	kN
Treno SW2	V ₂	735	kN
Incremento dinamico			
Treno LM71	V ₃	425	kN
Treno SW2	V ₃	343	kN
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	V ₄	50	kN
Treno SW2	V ₄	54	kN

Coppie torcenti a metro di impalcato

Forza centrifuga			
Treno LM71			
Effetti flettenti	mt ₅	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₅	0.0	kNm/m
Treno SW2			
Effetti flettenti	mt ₅	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₅	0.0	kNm/m
Eccentricità di carico LM71			
Effetti flettenti	mt ₆	12.9	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₆	14.9	kNm/m
Effetto della sopraelevazione			
Eccentricità dovuta a sopraelevazione		0.000	m
Treno LM71			
Effetti flettenti	mt ₇	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₇	0.0	kNm/m
Treno SW2			
Effetti flettenti	mt ₇	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₇	0.0	kNm/m
Vento	mt ₈	34.1	kNm/m
Serpeggio	mt ₉	123.0	kNm

Sollecitazioni sulla trave di bordo fascia

$\Delta p = (m_t / J') \cdot d \cdot i$

J	5.333	m ⁴ /m
d	1.89	m

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	33 di 57

$\Delta p/mt$ 0.149 m

Momento flettente in mezzeria

Permanenti strutturali	$M_{1'}$	118	kNm
Permanenti non strutturali	$M_{1''}$	63	kNm
Accidentali			
Treno LM71	M_2	194	kNm
Treno SW2	M_2	180	kNm
Incremento dinamico			
Treno LM71	M_3	91	kNm
Treno SW2	M_3	84	kNm
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	M_4	5	kNm
Treno SW2	M_4	5	kNm
Forza centrifuga			
Treno LM71	M_5	0	kNm
Treno SW2	M_5	0	kNm
Eccentricità di carico LM71	M_6	23	kNm
Effetto sopraelevazione			
Treno LM71	M_7	0	kNm
Treno SW2	M_7	0	kNm
Vento	M_8	61	kNm
Serpeggio	M_9	45	kNm
$M_{tot} (gr1) = M_1 + (M_2 + M_3 + 0.5 \cdot M_4 + M_5 + M_6 - M_7 + M_9) + 0.6 \cdot M_8$			
Treno LM71	M_{tot}	573	kNm
Treno SW2	M_{tot}	529	kNm
$M_{tot} (gr3) = M_1 + (M_2 + M_3 + M_4 + 0.5 \cdot M_5 + M_6 - M_7 + 0.5 \cdot M_9) + 0.6 \cdot M_8$			
Treno LM71	M_{tot}	553	kNm
Treno SW2	M_{tot}	510	kNm

Taglio agli appoggi

Permanenti strutturali	$V_{1'}$	48	kN
Permanenti non strutturali	$V_{1''}$	26	kN
Accidentali			
Treno LM71	V_2	91	kN
Treno SW2	V_2	74	kN
Incremento dinamico			
Treno LM71	V_3	42	kN
Treno SW2	V_3	34	kN
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	V_4	5	kN
Treno SW2	V_4	5	kN

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	34 di 57

Forza centrifuga

Treno LM71	V ₅	0	kN
Treno SW2	V ₅	0	kN

Eccentricità di carico LM71

Effetto sopraelevazione

Treno LM71	V ₆	11	kN
Treno SW2	V ₇	0	kN
Treno SW2	V ₇	0	kN

Vento

V ₈	25	kN
----------------	----	----

Serpeggio

V ₉	18	kN
----------------	----	----

$$V_{tot} (gr1) = V_1 + (V_2 + V_3 + 0.5 \cdot V_4 + V_5 + V_6 - V_7 + V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

Treno LM71	V _{tot}	254	kNm
Treno SW2	V _{tot}	218	kNm

$$V_{tot} (gr3) = V_1 + (V_2 + V_3 + V_4 + 0.5 \cdot V_5 + V_6 - V_7 + 0.5 \cdot V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

Treno LM71	V _{tot}	247	kNm
Treno SW2	V _{tot}	211	kNm

Sforzo normale

Frenatura/avviamento

Treno LM71	N ₄	32	kN
Treno SW2	N ₄	34	kN

Verifiche di resistenza

Coeff. amplificativo azioni perm. strutt.	γ_{g1}	1.35
Coeff. amplificativo azioni perm. non strutt.	γ_{g2}	1.50
Coeff. amplificativo carichi accidentali	γ_q	1.50
Coeff. amplificativo carichi accidentali da traffico	γ_{qt}	1.45

Momento massimo (SLU)

M _{Ed,max}	824	kNm
M _{tot} (gr1) = Treno LM71	824	kNm
M _{tot} (gr1) = Treno SW2	761	kNm
M _{tot} (gr3) = Treno LM71	795	kNm
M _{tot} (gr3) = Treno SW2	732	kNm

Taglio massimo (SLU)

V _{Ed,max}	366	kN
V _{tot} (gr1) = Treno LM71	366	kN
V _{tot} (gr1) = Treno SW2	313	kN
V _{tot} (gr3) = Treno LM71	356	kN
V _{tot} (gr3) = Treno SW2	304	kN

Sforzo normale (SLU)

N _{Ed,max}	23	kN
N _{tot} = Treno LM71	47	kN

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	35 di 57

Ntot = Treno SW2

50 kN

14.2 Impalcato a sinistra

Caratteristiche geometriche

Tipo di impalcato	Con ballast		
Luce	L	9.80	m
Spessore impalcato	H	0.73	m
Distanza P.F. - estradosso imp.	d _{PF}	0.80	m
Altezza barr. fonoassorbenti	H _{barr}	4.00	m
Velocità di progetto	V	200	km/h
Raggio di curvatura	R	0	m
Sopraelevazione rotaia	s	0.00	m
Larghezza impalcato	B	6.70	m
Tipo profilo	HE 600 B		
Materiale	S355 (Fe 510)		
Tensione di calcolo	f _{yd}	338.0	N/mm ²
Area profilo	A	270	cm ²
Momento di inerzia	J	171000	cm ⁴
Modulo di resistenza	W	5701	cm ³
Momento statico baricentrico	S	3130	cm ³
Altezza	h	60	cm
Larghezza ala	b	30	cm
Spessore ala	t _w	3	cm
Spessore anima	t _r	1.55	cm
Interasse profilo	i	42	cm
Controllo limiti interasse	Ok		
Numero travi	N	14	
Larghezza ballast	B _b	5.50	m
Spessore ballast e arm.	S _b	0.65	m

Analisi dei carichi

Carichi permanenti

Peso proprio travi	29.7	kN/m
Peso cls in opera	112.8	kN/m
Peso ballast e arm.	64.4	kN/m
Peso barriere	8.0	kN/m
Peso canalette	5.0	kN/m
Totale	219.8	kN/m

Carichi mobili

Treno LM71		
Carico equivalente flettente	161.8	kN/m
Carico equivalente tagliante	185.7	kN/m
Treno SW2		

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	36 di 57

Carico equivalente flettente	150.0	kN/m
Carico equivalente tagliante	150.0	kN/m
Accidentale marciapiedi	10.00	kN/m ²

Coefficiente di incremento dinamico Φ_3 1.47

Vento

Pressione del vento	2.50	kN/m ²
Superficie investita	5.53	m
Quota di applicazione forza da bar. travi	2.465	m
Forza trasversale	13.8	kN/m

Forza centrifuga

Treno LM71		
Per effetti flettenti	0.0	kN/m
Per effetti taglianti	0.0	kN/m
Treno SW2		
Per effetti flettenti	0.0	kN/m
Per effetti taglianti	0.0	kN/m
Quota di applicazione forza da bar. travi	0.00	m

Frenatura/avviamento

Treno LM71	323.4	kN
Treno SW2	343.0	kN
Quota di applicazione forza da bar. travi	1.23	m

Serpeggio

Quota di applicazione forza da bar. travi	100	kN
	1.23	m

Calcolo delle sollecitazioni su 4 m

Larghezza di ripartizione	4.00	m
Numero di travi comprese nella fascia	10	

Momento flettente in mezzeria

Permanenti strutturali	M _{1'}	1222	kNm
Permanenti non strutturali	M _{1''}	663	kNm
Accidentali			
Treno LM71	M ₂	1942	kNm
Treno SW2	M ₂	1801	kNm
Incremento dinamico			
Treno LM71	M ₃	907	kNm
Treno SW2	M ₃	841	kNm
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	M ₄	49	kNm
Treno SW2	M ₄	51	kNm

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	37 di 57

Taglio agli appoggi

Permanenti strutturali	V _{1'}	499	kN
Permanenti non strutturali	V _{1''}	271	kN
Accidentali			
Treno LM71	V ₂	910	kN
Treno SW2	V ₂	735	kN
Incremento dinamico			
Treno LM71	V ₃	425	kN
Treno SW2	V ₃	343	kN
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	V ₄	50	kN
Treno SW2	V ₄	54	kN

Coppie torcenti a metro di impalcato

Forza centrifuga			
Treno LM71			
Effetti flettenti	mt ₅	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₅	0.0	kNm/m
Treno SW2			
Effetti flettenti	mt ₅	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₅	0.0	kNm/m
Eccentricità di carico LM71			
Effetti flettenti	mt ₆	12.9	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₆	14.9	kNm/m
Effetto della sopraelevazione			
Eccentricità dovuta a sopraelevazione		0.000	m
Treno LM71			
Effetti flettenti	mt ₇	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₇	0.0	kNm/m
Treno SW2			
Effetti flettenti	mt ₇	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₇	0.0	kNm/m
Vento	mt ₈	34.1	kNm/m
Serpeggio	mt ₉	123.0	kNm

Sollecitazioni sulla trave di bordo fascia

$$\Delta p = (mt / J) \cdot d \cdot i$$

J	5.333	m ⁴ /m
d	1.89	m
$\Delta p/mt$	0.149	m

Momento flettente in mezzeria

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	38 di 57

Permanenti strutturali	M _{1'}	122	kNm
Permanenti non strutturali	M _{1''}	66	kNm
Accidentali			
Treno LM71	M ₂	194	kNm
Treno SW2	M ₂	180	kNm
Incremento dinamico			
Treno LM71	M ₃	91	kNm
Treno SW2	M ₃	84	kNm
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	M ₄	5	kNm
Treno SW2	M ₄	5	kNm
Forza centrifuga			
Treno LM71	M ₅	0	kNm
Treno SW2	M ₅	0	kNm
Eccentricità di carico LM71	M ₆	23	kNm
Effetto sopraelevazione			
Treno LM71	M ₇	0	kNm
Treno SW2	M ₇	0	kNm
Vento	M ₈	61	kNm
Serpeggio	M ₉	45	kNm
$M_{tot} (gr1) = M_1 + (M_2 + M_3 + 0.5 \cdot M_4 + M_5 + M_6 - M_7 + M_9) + 0.6 \cdot M_8$			
Treno LM71	M _{tot}	580	kNm
Treno SW2	M _{tot}	537	kNm
$M_{tot} (gr3) = M_1 + (M_2 + M_3 + M_4 + 0.5 \cdot M_5 + M_6 - M_7 + 0.5 \cdot M_9) + 0.6 \cdot M_8$			
Treno LM71	M _{tot}	560	kNm
Treno SW2	M _{tot}	517	kNm

Taglio agli appoggi

Permanenti strutturali	V _{1'}	50	kN
Permanenti non strutturali	V _{1''}	27	kN
Accidentali			
Treno LM71	V ₂	91	kN
Treno SW2	V ₂	74	kN
Incremento dinamico			
Treno LM71	V ₃	42	kN
Treno SW2	V ₃	34	kN
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	V ₄	5	kN
Treno SW2	V ₄	5	kN
Forza centrifuga			
Treno LM71	V ₅	0	kN

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	39 di 57

Treno SW2 V_5 0 kN

Eccentricità di carico LM71 V_6 11 kN
Effetto sopraelevazione

Treno LM71 V_7 0 kN

Treno SW2 V_7 0 kN

Vento V_8 25 kN

Serpeggio V_9 18 kN

$$V_{tot} (gr1) = V_1 + (V_2 + V_3 + 0.5 \cdot V_4 + V_5 + V_6 - V_7 + V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

Treno LM71 V_{tot} 257 kNm

Treno SW2 V_{tot} 221 kNm

$$V_{tot} (gr3) = V_1 + (V_2 + V_3 + V_4 + 0.5 \cdot V_5 + V_6 - V_7 + 0.5 \cdot V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

Treno LM71 V_{tot} 250 kNm

Treno SW2 V_{tot} 214 kNm

Sforzo normale

Frenatura/avviamento

Treno LM71 N_4 32 kN

Treno SW2 N_4 34 kN

Verifiche di resistenza

Coeff. amplificativo azioni perm. strutt. γ_{g1} 1.35

Coeff. amplificativo azioni perm. non strutt. γ_{g2} 1.50

Coeff. amplificativo carichi accidentali γ_q 1.50

Coeff. amplificativo carichi accidentali da traffico γ_{qt} 1.45

Momento massimo (SLU) $M_{Ed,max}$ **834 kNm**

Mtot (gr1) = Treno LM71 834 kNm

Mtot (gr1) = Treno SW2 771 kNm

Mtot (gr3) = Treno LM71 805 kNm

Mtot (gr3) = Treno SW2 742 kNm

Taglio massimo (SLU) $V_{Ed,max}$ **370 kN**

Vtot (gr1) = Treno LM71 370 kN

Vtot (gr1) = Treno SW2 317 kN

Vtot (gr3) = Treno LM71 360 kN

Vtot (gr3) = Treno SW2 308 kN

Sforzo normale (SLU) $N_{Ed,max}$ **23 kN**

Ntot = Treno LM71 47 kN

Ntot = Treno SW2 50 kN

14.3 Impalcato a destra

Caratteristiche geometriche

Tipo di impalcato	Con ballast		
Luce	L	9.80	m
Spessore impalcato	H	0.73	m
Distanza P.F. - estradosso imp.	d _{PF}	0.80	m
Altezza barr. fonoassorbenti	H _{barr}	4.00	m
Velocità di progetto	V	200	km/h
Raggio di curvatura	R	0	m
Sopraelevazione rotaia	s	0.00	m
Larghezza impalcato	B	6.10	m
Tipo profilo	HE 600 B		
Materiale	S355 (Fe 510)		
Tensione di calcolo	f _{yd}	338.0	N/mm ²
Area profilo	A	270	cm ²
Momento di inerzia	J	171000	cm ⁴
Modulo di resistenza	W	5701	cm ³
Momento statico baricentrico	S	3130	cm ³
Altezza	h	60	cm
Larghezza ala	b	30	cm
Spessore ala	t _w	3	cm
Spessore anima	t _r	1.55	cm
Interasse profilo	i	42	cm
Controllo limiti interasse	Ok		
Numero travi	N	14	
Larghezza ballast	B _b	4.30	m
Spessore ballast e arm.	S _b	0.65	m

Analisi dei carichi

Carichi permanenti

Peso proprio travi	29.7	kN/m
Peso cls in opera	101.9	kN/m
Peso ballast e arm.	50.3	kN/m
Peso barriere	8.0	kN/m
Peso canalette	5.0	kN/m
Totale	194.9	kN/m

Carichi mobili

Treno LM71		
Carico equivalente flettente	161.8	kN/m
Carico equivalente tagliante	185.7	kN/m
Treno SW2		

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	41 di 57

Carico equivalente flettente	150.0	kN/m
Carico equivalente tagliante	150.0	kN/m
Accidentale marciapiedi	10.00	kN/m ²

Coefficiente di incremento dinamico Φ_3 1.47

Vento

Pressione del vento	2.50	kN/m ²
Superficie investita	5.53	m
Quota di applicazione forza da bar. travi	2.465	m
Forza trasversale	13.8	kN/m

Forza centrifuga

Treno LM71		
Per effetti flettenti	0.0	kN/m
Per effetti taglianti	0.0	kN/m
Treno SW2		
Per effetti flettenti	0.0	kN/m
Per effetti taglianti	0.0	kN/m
Quota di applicazione forza da bar. travi	0.00	m

Frenatura/avviamento

Treno LM71	323.4	kN
Treno SW2	343.0	kN
Quota di applicazione forza da bar. travi	1.23	m

Serpeggio

Quota di applicazione forza da bar. travi	100	kN
	1.23	m

Calcolo delle sollecitazioni su 4 m

Larghezza di ripartizione	4.00	m
Numero di travi comprese nella fascia	10	

Momento flettente in mezzeria

Permanenti strutturali	M _{1'}	1128	kNm
Permanenti non strutturali	M _{1''}	543	kNm
Accidentali			
Treno LM71	M ₂	1942	kNm
Treno SW2	M ₂	1801	kNm
Incremento dinamico			
Treno LM71	M ₃	907	kNm
Treno SW2	M ₃	841	kNm
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	M ₄	49	kNm
Treno SW2	M ₄	51	kNm

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	42 di 57

Taglio agli appoggi

Permanenti strutturali	V _{1'}	460	kN
Permanenti non strutturali	V _{1''}	222	kN
Accidentali			
Treno LM71	V ₂	910	kN
Treno SW2	V ₂	735	kN
Incremento dinamico			
Treno LM71	V ₃	425	kN
Treno SW2	V ₃	343	kN
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	V ₄	50	kN
Treno SW2	V ₄	54	kN

Coppie torcenti a metro di impalcato

Forza centrifuga			
Treno LM71			
Effetti flettenti	mt ₅	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₅	0.0	kNm/m
Treno SW2			
Effetti flettenti	mt ₅	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₅	0.0	kNm/m
Eccentricità di carico LM71			
Effetti flettenti	mt ₆	12.9	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₆	14.9	kNm/m
Effetto della sopraelevazione			
Eccentricità dovuta a sopraelevazione		0.000	m
Treno LM71			
Effetti flettenti	mt ₇	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₇	0.0	kNm/m
Treno SW2			
Effetti flettenti	mt ₇	0.0	kNm/m
Effetti taglianti	mt ₇	0.0	kNm/m
Vento	mt ₈	34.1	kNm/m
Serpeggio	mt ₉	123.0	kNm

Sollecitazioni sulla trave di bordo fascia

$$\Delta p = (mt / J) \cdot d \cdot i$$

J	5.333	m ⁴ /m
d	1.89	m
$\Delta p/mt$	0.149	m

Momento flettente in mezzeria

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	43 di 57

Permanenti strutturali	M _{1'}	113	kNm
Permanenti non strutturali	M _{1''}	54	kNm
Accidentali			
Treno LM71	M ₂	194	kNm
Treno SW2	M ₂	180	kNm
Incremento dinamico			
Treno LM71	M ₃	91	kNm
Treno SW2	M ₃	84	kNm
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	M ₄	5	kNm
Treno SW2	M ₄	5	kNm
Forza centrifuga			
Treno LM71	M ₅	0	kNm
Treno SW2	M ₅	0	kNm
Eccentricità di carico LM71	M ₆	23	kNm
Effetto sopraelevazione			
Treno LM71	M ₇	0	kNm
Treno SW2	M ₇	0	kNm
Vento	M ₈	61	kNm
Serpeggio	M ₉	45	kNm
$M_{tot} (gr1) = M_1 + (M_2 + M_3 + 0.5 \cdot M_4 + M_5 + M_6 - M_7 + M_9) + 0.6 \cdot M_8$			
Treno LM71	M _{tot}	559	kNm
Treno SW2	M _{tot}	515	kNm
$M_{tot} (gr3) = M_1 + (M_2 + M_3 + M_4 + 0.5 \cdot M_5 + M_6 - M_7 + 0.5 \cdot M_9) + 0.6 \cdot M_8$			
Treno LM71	M _{tot}	539	kNm
Treno SW2	M _{tot}	495	kNm

Taglio agli appoggi

Permanenti strutturali	V _{1'}	46	kN
Permanenti non strutturali	V _{1''}	22	kN
Accidentali			
Treno LM71	V ₂	91	kN
Treno SW2	V ₂	74	kN
Incremento dinamico			
Treno LM71	V ₃	42	kN
Treno SW2	V ₃	34	kN
Frenatura/avviamento			
Treno LM71	V ₄	5	kN
Treno SW2	V ₄	5	kN
Forza centrifuga			
Treno LM71	V ₅	0	kN
Treno SW2	V ₅	0	kN

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	44 di 57

Eccentricità di carico LM71	V ₆	11	kN
Effetto sopraelevazione			
Treno LM71	V ₇	0	kN
Treno SW2	V ₇	0	kN
Vento	V ₈	25	kN
Serpeggio	V ₉	18	kN

$$V_{tot} (gr1) = V_1 + (V_2 + V_3 + 0.5 \cdot V_4 + V_5 + V_6 - V_7 + V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

Treno LM71	V _{tot}	248	kNm
Treno SW2	V _{tot}	212	kNm

$$V_{tot} (gr3) = V_1 + (V_2 + V_3 + V_4 + 0.5 \cdot V_5 + V_6 - V_7 + 0.5 \cdot V_9) + 0.6 \cdot V_8$$

Treno LM71	V _{tot}	242	kNm
Treno SW2	V _{tot}	205	kNm

Sforzo normale

Frenatura/avviamento			
Treno LM71	N ₄	32	kN
Treno SW2	N ₄	34	kN

Verifiche di resistenza

Coeff. amplificativo azioni perm. strutt.	γ_{g1}	1.35
Coeff. amplificativo azioni perm. non strutt.	γ_{g2}	1.50
Coeff. amplificativo carichi accidentali	γ_q	1.50
Coeff. amplificativo carichi accidentali da traffico	γ_{qt}	1.45

Momento massimo (SLU)	M_{Ed,max}	804	kNm
M _{tot} (gr1) = Treno LM71		804	kNm
M _{tot} (gr1) = Treno SW2		740	kNm
M _{tot} (gr3) = Treno LM71		775	kNm
M _{tot} (gr3) = Treno SW2		712	kNm

Taglio massimo (SLU)	V_{Ed,max}	357	kN
V _{tot} (gr1) = Treno LM71		357	kN
V _{tot} (gr1) = Treno SW2		305	kN
V _{tot} (gr3) = Treno LM71		348	kN
V _{tot} (gr3) = Treno SW2		295	kN

Sforzo normale (SLU)	N_{Ed,max}	23	kN
N _{tot} = Treno LM71		47	kN
N _{tot} = Treno SW2		50	kN

14.4 Verifica di resistenza dell'impalcato

In accordo al calcolo plastico il momento resistente $M_{cy,Rd}$, il taglio resistente $V_{plz,Rd}$ e lo sforzo assiale resistente $N_{b,Rd}$ delle travi incorporate sono sintetizzati sotto:

HE 600 B	$N_{by,Rd}$ [kN]	9 129	$M_{cy,Rd}$ [kNm]	2 172	<p>Classe Sezione</p> <p>Compressione 3</p> <p>Flessione My 1</p> <p>Flessione Mz 1</p> <p>Presso-Flessione 1</p>	
	$N_{bz,Rd}$ [kN]	9 129	$M_{cz,Rd}$ [kNm]	470.3		
	$V_{ply,Rd}$ [kN]	2 164	$V_{plz,Rd}$ [kN]	3 514		
g (Kg/m):	212	r2 (mm):	0		<p>Verifiche</p> <p>Presso Flessione</p> <p>Svergolamento</p>	
h (mm):	600	A (cm ²):	270	i_y (cm):		25.17
b (mm):	300	i_z (cm):	7.08	IT (cm ⁴):		667.2
tw (mm):	15.5	i_y (cm ⁴):	171 000	i_z (cm ⁴):		13 530
tf (mm):	30	Wy (cm ³):	5 701	Wz (cm ³):		902
r1 (mm):	27	lw (cm ⁶):	10 970 000	Wpl,y (cm ³):		6 425
		Wpl,z (cm ³):	1 391			

La resistenza del profilo d'acciaio è superiore al corrispondente valore sollecitante, la verifica è soddisfatta.

Calcolo della prima frequenza propria				
Momento di inerzia travi + cls (n=6)		8 496 811	cm ⁴	
Freccia in mezzeria dovuta a carichi permanenti	δ_o	2.3	mm	
Prima frequenza flessionale	n_o	11.6	Hz	$n_{oinf} < n_o < n_{osup}$
Limite superiore fuso	n_{osup}	17.2	Hz	
Limite inferiore fuso	n_{oinf}	8.2	Hz	
Verifiche di deformabilità				
Numero campate		1		
Larghezza di ripartizione		5.00	m	
Numero di travi comprese nella fascia		12		
Momento di inerzia travi + cls (n=6)		4 411 507	cm ⁴	
Freccia				
Freccia dovuta a LM71 dinamizzato	δ	3.1	mm	Ok
Freccia ammissibile	δ_{amm}	8.2	mm	=1.5 · L/1800
Rotazione agli appoggi				
Rotazione agli appoggi dovuta a LM71 dinamizzato	θ_1	0.0010	rad	
Rotazione agli appoggi dovuta a $\Delta T=10^\circ$ a farfalla	θ_2	0.0007	rad	
Rotazione agli appoggi totale	θ	0.0014	rad	Ok
Rotazione ammissibile	θ_{amm}	0.0065		
Sghembo				
Momento torcente	mt	52.0	kNm/m	
Incremento di carico su trave di bordo	Δp	3.1	kN/m	
Momento di inerzia singola trave + cls	J*	367 626	cm ⁴	
Abbassamento a x= 3 m da appoggio	f*	0.4	mm	
Sghembo su 3 m di lunghezza	t	0.8	mm	Ok
Sghembo ammissibile	tamm	3.0	mm	

14.5 Verifica dello sbalzo

Viene effettuato il calcolo dello sbalzo della soletta, con riferimento ai seguenti carichi:

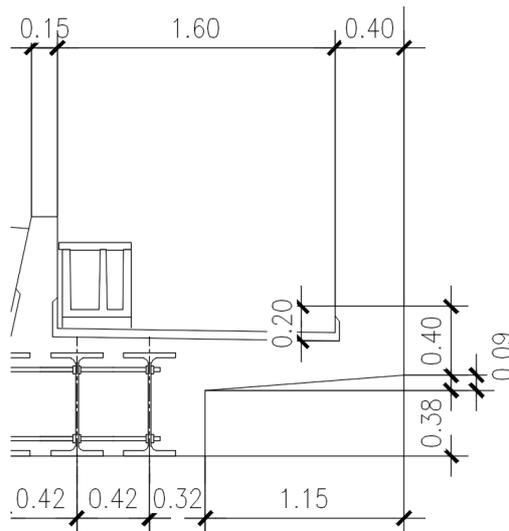


Figura 5. Sbalzo impalcato.

Tabella 1. Analisi dei carichi dello sbalzo dell'impalcato.

Descrizione	d_1 [m, m ² , m ³]	d_2 [m]	d_3 [m]	$\frac{[kN/m^3]}{[kN/m^2]}$	e [m]	V_k [kN/m]	M_k [kNm/m]
Peso soletta	1.15	0.30	1.00	25.00	0.58 =	8.60	5.00
Impermeabilizzazione	0.40	0.02	1.00	25.00	0.20 =	0.20	0.04
Barriera antirumore	-	1.00	4.00	2.00	1.15 =	8.00	9.20
Vento	-	4.00	1.00	2.50	2.60 =	0.00	26.00
Accidentale	1.15	1.00	-	5.00	0.58 =	5.75	3.34
					Σ	22.6	43.6

Momento di calcolo

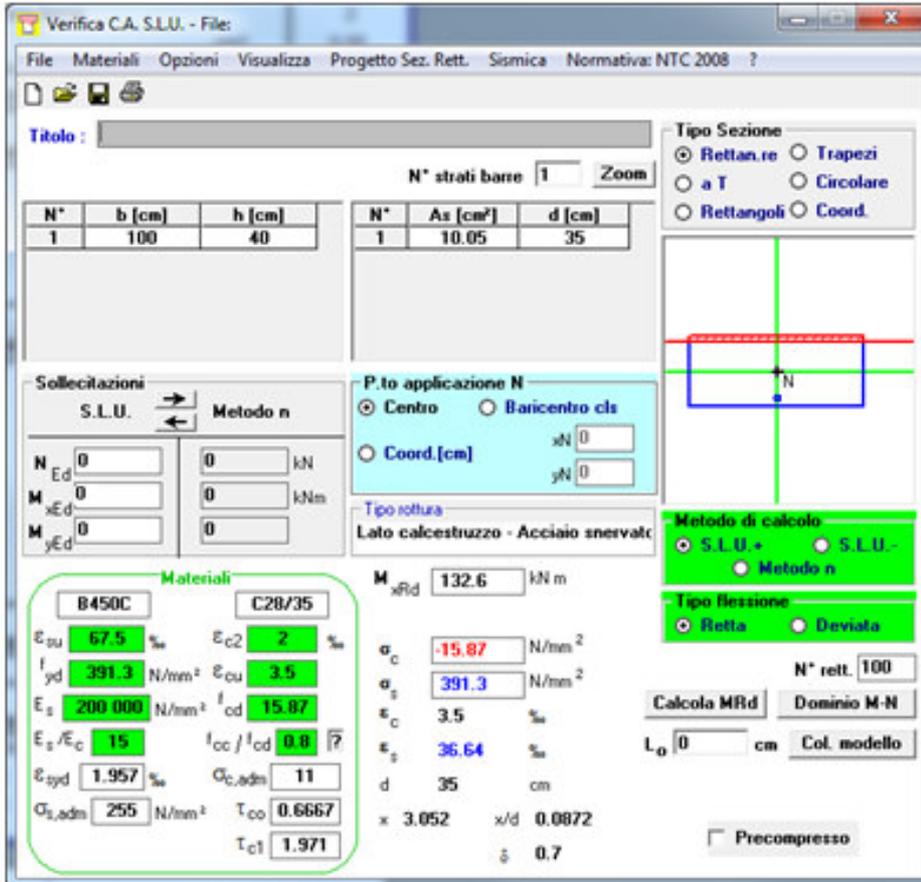
$M_{Ed,max} = 64.4$ kNm per metro

Verifica SLU a flessione

Armando lo sbalzo con $5\Phi 16/m$, si ha:

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	47 di 57



Verifica C.A. S.L.U. - File:

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre: 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	10.05	35

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo Messione
 Retta Deviato

Materiali
 B450C C28/35
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 15.07 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.0 [?]
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{ct} 1.971

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
 M_{xRd} 132.6 kNm
 σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 36.64 ‰
 d 35 cm
 x 3.052 x/d 0.0872
 δ 0.7

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

$M_{Rd} > M_{Ed}$, la verifica di resistenza è soddisfatta.

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	48 di 57

Taglio di calcolo

$V_{Ed,max}=32.1$ kN per metro

Verifica SLU a taglio

Sezione senza armatura a taglio:

Calcestruzzo

Tipo	C28/35	
R_{ck}	35	N/mm ²
f_{dk}	29.1	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	16.5	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

		V_{Ed}
V_{Ed}	kN	
N_{Ed}	kN	

Armatura a taglio

Diametro	mm	0
Numero barre		2
A_{sw}	cm ²	0.00
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		5
\varnothing_1	mm	16
n_2		-
\varnothing_2	mm	-
A_{cl}	cm ²	10.05

Sezione

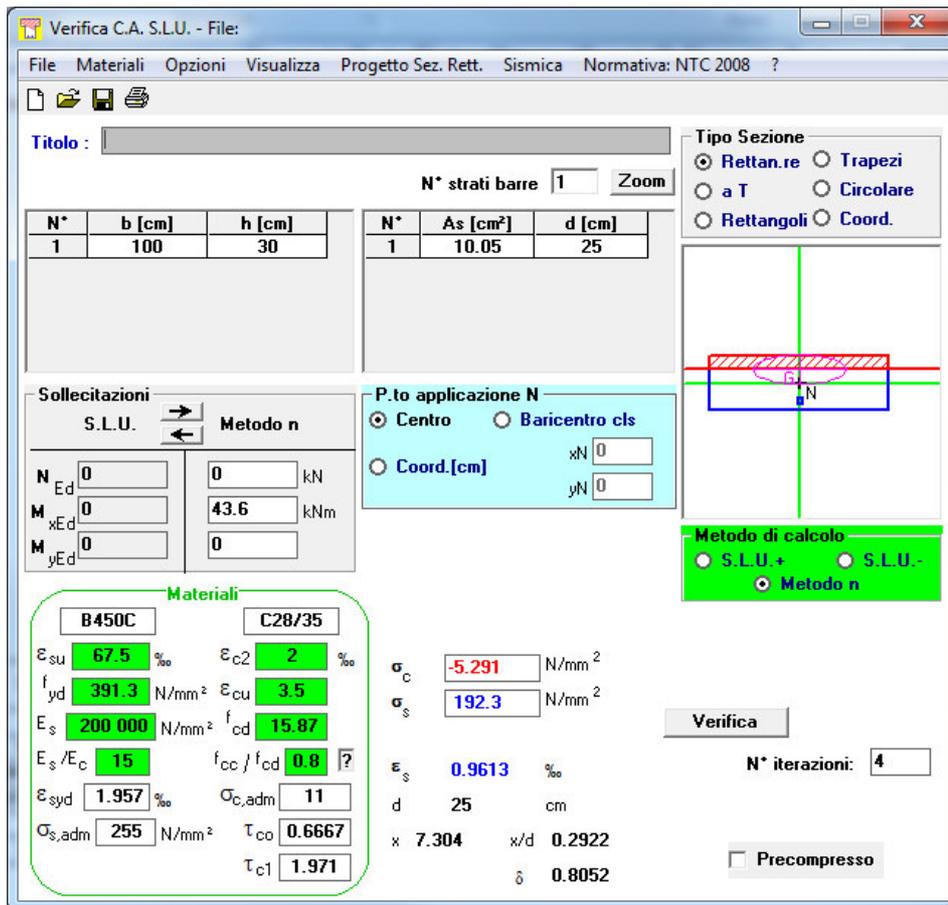
b_w	cm	100
H	cm	40
c	cm	5
d	cm	35
k	N/mm ²	1.76
v_{min}	N/mm ²	0.44
ρ		0.0029
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	154
----------	----	-----

$V_{Rd} > V_{Ed}$, la verifica di resistenza è soddisfatta.

Verifica SLE



Verifica C.A. S.L.U. - File:

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° strati barre: 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	10.05	25

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 43.6 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Materiali
 B450C C28/35
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 15.87
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{cl} 1.971

σ_c -5.291 N/mm²
 σ_s 192.3 N/mm²
 ε_s 0.9613 ‰
 d 25 cm
 x 7.304 x/d 0.2922
 δ 0.8052

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Resistenza a trazione per flessione (frattile al 5%)	$f_{ctm(5\%)}=f_{ctm}/1.2$	[MPa]	2.77
Resistenza a compressione limite comb. SLE rara	$\sigma_{c,max}=0.6f_{ck}$	[MPa]	16.80
Resistenza a compressione limite comb. SLE quasi perm.	$\sigma_{c,max}=0.45f_{ck}$	[MPa]	12.60
Resistenza a trazione limite comb. SLE	$\sigma_{s,max}=0.8f_{yk}$	[MPa]	360.00

Risultati:

- $\sigma_t < f_{ctm}$ la sezione non si fessura;
- $\sigma_c < 0.45f_{ck}$ la compressione massima non supera il limite tensionale in esercizio;
- $\sigma_s < 0.8f_{yk}$ la trazione massima delle barre non supera il limite tensionale in esercizio.

Le tensioni limite di esercizio non vengono superate, la verifica SLE è soddisfatta.

15 APPOGGI

Gli appoggi sono del tipo ELASTOFIP e gli scarichi corrispondenti sono stati calcolati considerando le seguenti ipotesi:

- le forze longitudinali ripartite esclusivamente dagli appoggi fissi in quantità pari al 50% del numero totale degli appoggi su un unico allineamento in una spalla, disposti in posizione centrale;
- le forze trasversali ripartite in misura pari al 50% del numero totale di appoggi, ovvero il 25% per ciascun allineamento di appoggi su ciascuna spalla;
- il carico verticale è ripartito dal 100% del numero totale degli appoggi.

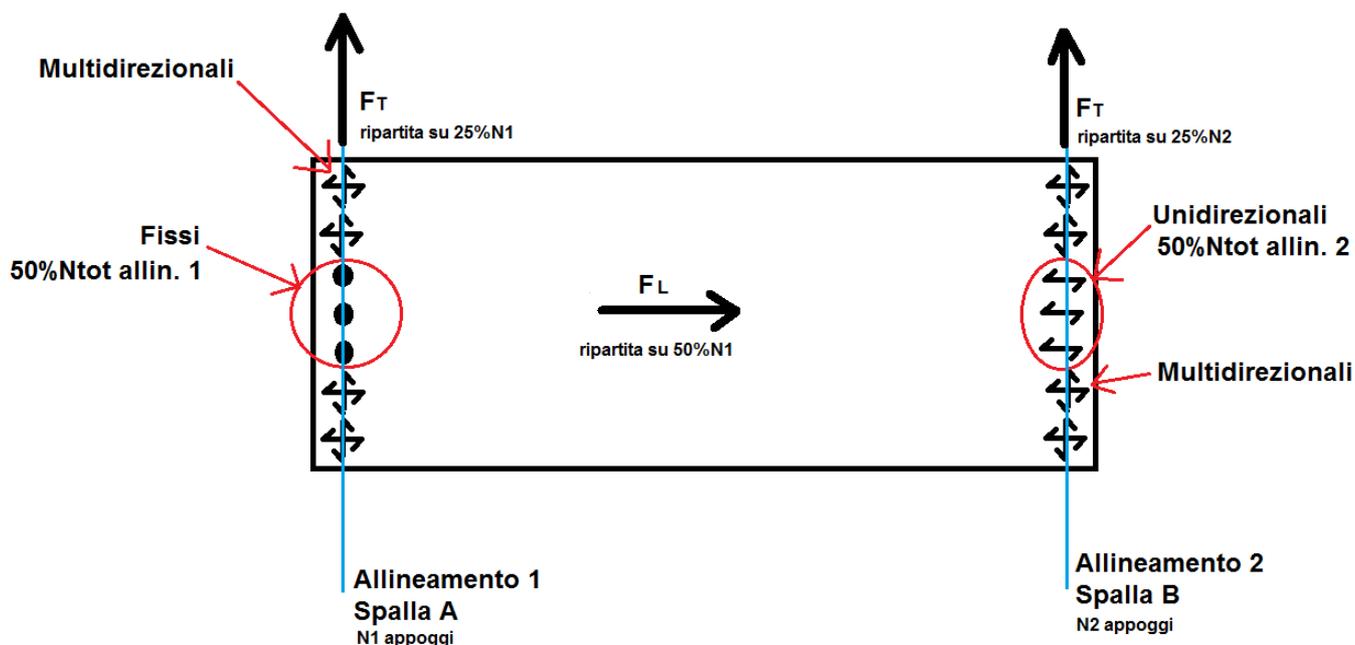
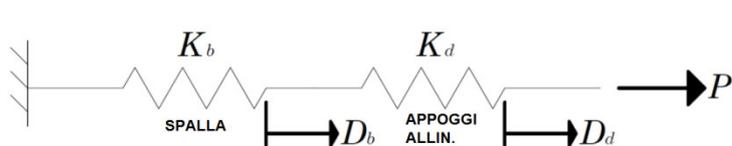


Figura 6. Esempio schema di disposizione degli appoggi.

Poiché gli appoggi sono chiamati *fissi* per la presenza di un perno sulla piastra superiore senza la guida, mentre in quelli *unidirezionali* e *multidirezionali* il perno può scorrere sulla guida che ne vincola il movimento nella direzione libera, il sistema globale può essere visto su entrambi gli allineamenti costituito dalla rigidità spalla-appoggi in serie:



Il diagramma mostra un sistema meccanico a molla in serie. A sinistra, una spalla è rappresentata da una molla con rigidità K_b e lunghezza D_b . A destra, gli appoggi allineati sono rappresentati da una molla con rigidità K_d e lunghezza D_d . Una forza P agisce a destra. La formula per la rigidità equivalente K_{bd} è:

$$K_{bd} = \frac{1}{\frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_d}} = \frac{K_d}{1 + \frac{K_d}{K_b}}$$

Poiché la rigidità della spalla è molto superiore a quella degli appoggi allineati, nel calcolo degli spostamenti la rigidità è stata considerata equivalente alla rigidità degli appoggi.

15.1 Impalcato centrale

Azioni sugli appoggi

Carichi permanenti

Carico verticale perm. strutturali	V _{1'}	48	kN
Carico verticale perm. non strutturali	V _{1''}	26	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 1}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 1}	-	kN

Accidentali

Carico verticale	V ₂	91	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 2}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 2}	-	kN

Incremento dinamico

Carico verticale	V ₃	42	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 3}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 3}	-	kN

Frenatura/avviamento

Carico verticale	V ₄	5	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 4}	31	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 4}	-	kN

Forza centrifuga

Carico verticale	V ₅	0	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 5}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 5}	0	kN

Eccentricità di carico LM71

Carico verticale	V ₆	11	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 6}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 6}	-	kN

Effetto sopraelevazione

Carico verticale	V ₇	0	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 7}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 7}	-	kN

Vento

Carico verticale	V ₈	25	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 8}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 8}	6	kN

Serpeggio

Carico verticale	V ₉	18	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 9}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 9}	9	kN

Massimo carico verticale SLU	V _{SLU}	353	kN
Massima forza orizzontale longitudinale SLU	H _{L SLU}	45	kN
Massima forza orizzontale trasversale SLU	H _{T SLU}	19	kN
Carico verticale SLE (QP)	V _{SLE QP}	92.2	kN
Accelerazione max	ag/g·S	0.12	

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	52 di 57

Peso impalcato	W	3611.43	kN
Sisma longitudinale SLC per appoggio	H _{L SLC}	39	kN
Sisma trasversale SLC per appoggio	H _{T SLC}	20	kN
Spostamento orizzontale massimo	v/2	± 1	mm

Schema appoggi

Numero totale appoggi impalcato	46
Numero appoggi per spalla	23
Numero appoggi fissi (Spalla A) - unidirezionali long. (Spalla B)	11
Numero appoggi multidirezionali (Spalla A - Spalla B)	12

15.2 Impalcato a sinistra

Azioni sugli appoggi

Carichi permanenti

Carico verticale perm. strutturali	V _{1'}	50	kN
Carico verticale perm. non strutturali	V _{1''}	27	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 1}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 1}	-	kN

Accidentali

Carico verticale	V ₂	91	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 2}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 2}	-	kN

Incremento dinamico

Carico verticale	V ₃	42	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 3}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 3}	-	kN

Frenatura/avviamento

Carico verticale	V ₄	5	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 4}	57	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 4}	-	kN

Forza centrifuga

Carico verticale	V ₅	0	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 5}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 5}	0	kN

Eccentricità di carico LM71

Carico verticale	V ₆	11	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 6}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 6}	-	kN

Effetto sopraelevazione

Carico verticale	V ₇	0	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 7}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 7}	-	kN

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	53 di 57

Vento

Carico verticale	V ₈	25	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 8}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 8}	11	kN

Serpeggio

Carico verticale	V ₉	18	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 9}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 9}	17	kN

Massimo carico verticale SLU	V _{max}	357	kN
Massima forza orizzontale longitudinale SLU	H _{L max}	83	kN
Massima forza orizzontale trasversale SLU	H _{T max}	34	kN
Carico verticale SLE (QP)	V _{SLE QP}	95.1	kN
Accelerazione max	ag/g·S	0.12	
Peso impalcato	W	2285.83	kN
Sisma longitudinale SLC per appoggio	H _{L SLC}	46	kN
Sisma trasversale SLC per appoggio	H _{T SLC}	23	kN
Spostamento orizzontale massimo	v/2	± 1	mm

Schema appoggi

Numero totale appoggi impalcato	28
Numero appoggi per spalla	14
Numero appoggi fissi (Spalla A) - unidirezionali long. (Spalla B)	6
Numero appoggi multidirezionali (Spalla A - Spalla B)	8

15.3 Impalcato a destra

Azioni sugli appoggi

Carichi permanenti

Carico verticale perm. strutturali	V _{1'}	46	kN
Carico verticale perm. non strutturali	V _{1''}	22	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 1}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 1}	-	kN

Accidentali

Carico verticale	V ₂	91	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 2}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 2}	-	kN

Incremento dinamico

Carico verticale	V ₃	42	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 3}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 3}	-	kN

Frenatura/avviamento

Carico verticale	V ₄	5	kN
------------------	----------------	---	----

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	54 di 57

Forza orizzontale longitudinale	H _{L 4}	17	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 4}	-	kN
Forza centrifuga			
Carico verticale	V ₅	0	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 5}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 5}	0	kN
Eccentricità di carico LM71			
Carico verticale	V ₆	11	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 6}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 6}	-	kN
Effetto sopraelevazione			
Carico verticale	V ₇	0	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 7}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 7}	-	kN
Vento			
Carico verticale	V ₈	25	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 8}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 8}	7	kN
Serpeggio			
Carico verticale	V ₉	18	kN
Forza orizzontale longitudinale	H _{L 9}	-	kN
Forza orizzontale trasversale	H _{T 9}	10	kN
Massimo carico verticale SLU	V _{max}	344	kN
Massima forza orizzontale longitudinale SLU	H _{L max}	25	kN
Massima forza orizzontale trasversale SLU	H _{T max}	21	kN
Carico verticale SLE (QP)	V _{SLE QP}	86.4	kN
Accelerazione max	ag/g·S	0.12	
Peso impalcato	W	2029.17	kN
Sisma longitudinale SLC per appoggio	H _{L SLC}	41	kN
Sisma trasversale SLC per appoggio	H _{T SLC}	20	kN
Spostamento orizzontale massimo	v/2	± 1	mm

Schema appoggi

Numero totale appoggi impalcato	28
Numero appoggi per spalla	14
Numero appoggi fissi (Spalla A) - unidirezionali long. (Spalla B)	6
Numero appoggi multidirezionali (Spalla A - Spalla B)	8

15.4 Dimensionamento appoggi

Il tipo di appoggio è stato scelto in base allo scarico verticale allo SLU che proviene dall'impalcato. Dati:

- Fzd, carico verticale massimo SLU;
 - Fx, forza orizzontale massima longitudinale tra quella valutata allo SLU e quella allo SLC;
 - v, spostamento orizzontale non dovuto a forze orizzontali (termica, ritiro);
1. si sceglie la tipologia del dispositivo:
 - Normal, se $F_x/F_{zd} < 5\%$;
 - High, se $F_x/F_{zd} > 5\%$;
 2. si ipotizza l'appoggio in modo tale che: $F_{zd} < F_{zd,max}$ dell'appoggio;
 3. si calcola la reazione elastica associata allo spostamento v: $F_{EL} = K_0 \cdot v$;
 4. si calcola la resistenza orizzontale complessiva: $F_{x\ tot} = F_x + F_{EL}$;
 5. se:
 - $F_{x\ tot} > F_{xy,max}$, carico orizz. max dell'appoggio => appoggio non verificato => scegliere il dispositivo successivo;
 - $F_{x\ tot} < F_{xy,max}$, carico orizz. max dell'appoggio => verifica dell'appoggio soddisfatta.

Una volta dimensionato il dispositivo di appoggio è stato verificato allo spostamento massimo longitudinale valutato in accordo al 2.1.5.1 Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 A:

$$E_L = k_1(E_1 + E_2 + E_3) = k_1(2D_t + 4d_{Ed}k_2 + 2d_{eg})$$

Dove:

- E_1 = spostamento dovuto all'azione termica uniforme;
- E_2 = spostamento dovuto all'azione sismica;
- E_3 = spostamento relativo dovuto a sisma per fondazioni non collegate;
- k_1 = 0.45 coefficiente di non contemporaneità dei valori massimi delle singole azioni;
- k_2 = 0.55 coefficiente di controfase per pile adiacenti;
- d_{Ed} = spostamento relativo totale tra le parti dovuto all'azione sismica in accordo al 7.3.3.3 DM14/01/08;

Si riporta di seguito il calcolo di progetto e verifica degli appoggi:

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	56 di 57

Dimensionamento appoggi ELASTOFIP

Carico vert. SLU	Fzd	357	kN
Carico orizz. max	Fx	83	kN
	Fx/Fzd	23	%
Spost. da azione termica sull'appoggio	v/2	1	mm
Dispositivo d'appoggio	Tipo	serie HIGH	EF 100-10
Rigidezza elastica appoggio	K ₀	2.3	kN/mm
Reazione dovuta all'azione termica	K ₀ ·v/2	2	kN
Carico vert. max appoggio	Fzd,max	1000	kN
Carico orizz. max appoggio	Fxy,max	100	kN
Spost. max appoggio	veq	44.4	mm
Reazione elastica (da Δt)	F _{EL}	2	kN
Resistenza orizz. tot.	Fx tot	85	kN
Verifica forza orizz. max Fx tot < Fxy,max		OK	
Verifica spostamento max E _L < veq		OK	

Calcolo spostamento longitudinale (2.1.5.1, RFI DTC INC PO SP IFS 001 A)

Coeff. non contemporaneità	k1	0.45	
Spost. da azione termica	E ₁	2	mm
Duttilità	μd	1.00	
Massa impalcato / 2	M/2	404.00	kNs ² /m
Periodo fondamentale	T1	0.01	s
Acc. spettr. SLV	Sd(T1)	0.07	g
Amplificazione da suolo	S _S ·S _T	1.50	
Forza sismica orizz.	F _{XSLV}	416	kN
Rigidezza appoggi allin.	K	114750	kN/mm
Spost. relativo SLV	dEd	0	mm
Spost. sismico SLV	E ₂	0	mm
Acc. sismica	a _g	0.046	g
Acc. max infrastrutture	a _{max}	0.069	g
Periodo spettr.	T _C	0.460	s
Periodo spettr.	T _D	1.790	s
Spost. assoluto orizz.	deg	13.93	mm
Spost. relativo max	dij _{max}	24.63	mm
Velocità propagazione onde	Vs	325	m/s
Distanza di calcolo spost.	x	9.80	m
Cat. sottosuolo		C	
Spost. relativo dist. < 20m	dij0(x)	2.23	mm
Spost. relativo x=L	dij(x=L)	4.52	mm
Spost. sismico relativo	E ₃	9.03	mm
Spostamento tot. appoggio	E _L	5	mm
Minimo normativo giunto	E _{Lmin}	100	mm



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO
QUADRUPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y

VI05 – NUOVO PONTE SU CANALE RIVESTITO KM
0+810.87 - PREGNANA MILANESE - RELAZIONE DI
CALCOLO IMPALCATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 001	B	57 di 57

16 INCIDENZA ARMATURE

In seguito ai calcoli effettuati, sono risultati i seguenti valori delle incidenze:

Soletta impalcato 50 kg/m³

Muri parballast 110 kg/m³