

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**

SLV1-TIPOLOGICO PASSERELLA PER CAMMINAMENTO PEDONALE E BARRIERA ANTIRUMORE

RELAZIONE DI CALCOLO

SCALA:

-

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

MDL1 12 D 26 CL SLV100 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A.Ingletti	Gen. 2011			S. Borelli		

File: MDL112D26CLSLV100001A.doc

n.



## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	10
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	10
4	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	11
5	MATERIALI.....	13
6	CARATTERISTICHE DEL TERRENO .....	15
7	ANALISI DEI CARICHI UNITARI .....	18
7.1	CARICHI PERMANENTI PASSERELLA METALLICA .....	18
7.2	REAZIONI DOVUTE ALLA PRESENZA DELLE BARRIERE ANTIRUMORE.....	18
7.3	CARICHI PER LA VERIFICA DELLE TRAVI PRINCIPALI .....	19
7.3.1	<i>Carichi accidentali</i> .....	20
7.3.2	<i>Pressione del vento</i> .....	20
7.3.3	<i>Peso proprio barriere</i> .....	20
8	SCHEMA DI CALCOLO .....	21
9	VERIFICA DELLE TRAVI.....	22
9.1	AZIONI SULLE TRAVI .....	22
9.2	SOLLECITAZIONI E VERIFICHE.....	23
10	VERIFICA DEI CONTROVENTI .....	24
10.1	AZIONI SUI CONTROVENTI .....	25
10.2	VERIFICA DI RESISTENZA E STABILITÀ .....	27
11	VERIFICA FONDAZIONI .....	28
11.1	VERIFICA PLINTO.....	28



**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA**

**TRATTA RHO-GALLARATE**

**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	3 di 31

11.2	VERIFICA TIRAFONDI.....	29
11.3	VERIFICA DI PORTANZA MICROPALI PASSERELLA PORTA BA KM 8+700 .....	29
11.4	VERIFICA DI PORTANZA MICROPALI PASSERELLA PORTA BA AL KM 1+468 (RISP. BINARIO BRETTELLA NORD) .....	30



## 1 PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i calcoli di verifica di una passerella metallica tipologica per il sostegno delle barriere antirumore e del camminamento pedonale, nell'ambito del progetto del potenziamento della linea Rho - Arona, tratta Rho – Gallarate.

Tale opera tipologica è valida per le due situazioni nelle quali si richiede la presenza della passerella porta barriera:

- in corrispondenza del sottopasso SL11, sul lato opposto al prolungamento del sottovia di via Minghetti. La geometria della struttura esistente non permette il sostegno della barriera antirumore alla distanza prevista dal progetto (4.90 m il limite della piattaforma), di conseguenza verrà inserita una passerella metallica, parallelamente all'asse del binario di progetto, che sarà destinata ad accogliere sia il sentiero pedonale che la barriera antirumore. La luce dell'opera da scavalcare è di circa 14.80 m.
- in corrispondenza del canale idraulico nelle vicinanze della stazione di Rho. La passerella in acciaio dovrà scavalcare la struttura in c.a. del canale (perpendicolarmente all'asse del canale) e dovrà essere posizionata in prossimità del ciglio della trincea (come da indicazioni presente nel progetto delle barriere antirumore). La luce netta del canale da scavalcare è di circa 8.00 m.

In questa fase di progettazione si analizzerà la struttura della passerella con luce maggiore (in corrispondenza del sottopasso SL11), però verrà effettuata la verifica di portanza dei micropali di fondazione per tutte e due le situazioni.

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	5 di 31

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

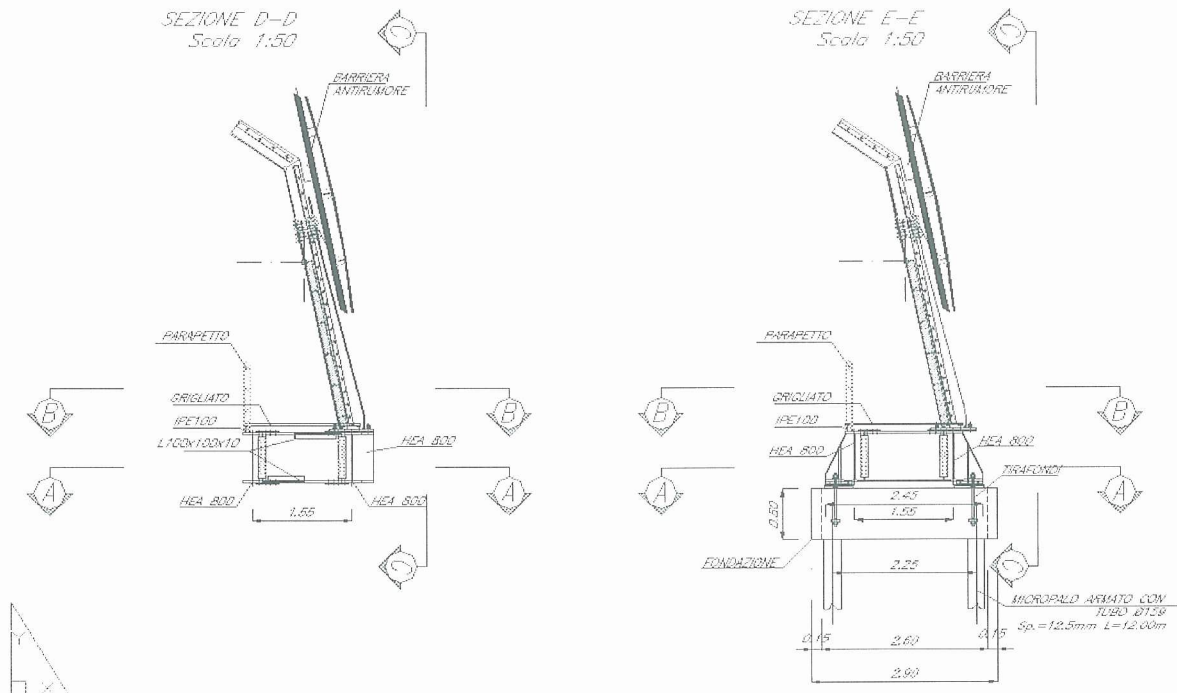
La passerella metallica è composta da due travi HEA 800 di luce pari a 17.30m, con traversi dello stesso tipo posti ad interasse 3m (1.15 in corrispondenza degli appoggi), controventate con profilati ad L100x100x10 posti ad interasse di 1m.

Il camminamento è realizzato con un grigliato metallico. Sul lato esterno la barriera antirumore delimita il percorso, sul lato interno viene posizionato invece un parapetto metallico costituito da elementi tubolari.

Le passerella metallica sarà ancorata con dei tirafondi a due blocchi in c.a. fondati su micropali di lunghezza 12 m.

Per il posizionamento dell'impalcato si prevede di montare in officina due conci di impalcato lunghezza L/2 (8.65 m) completi di travi, traversi e controventi. I conci verranno giuntati a piè d'opera e successivamente l'impalcato verrà calato con autogrù sui plinti di fondazione precedentemente realizzati.

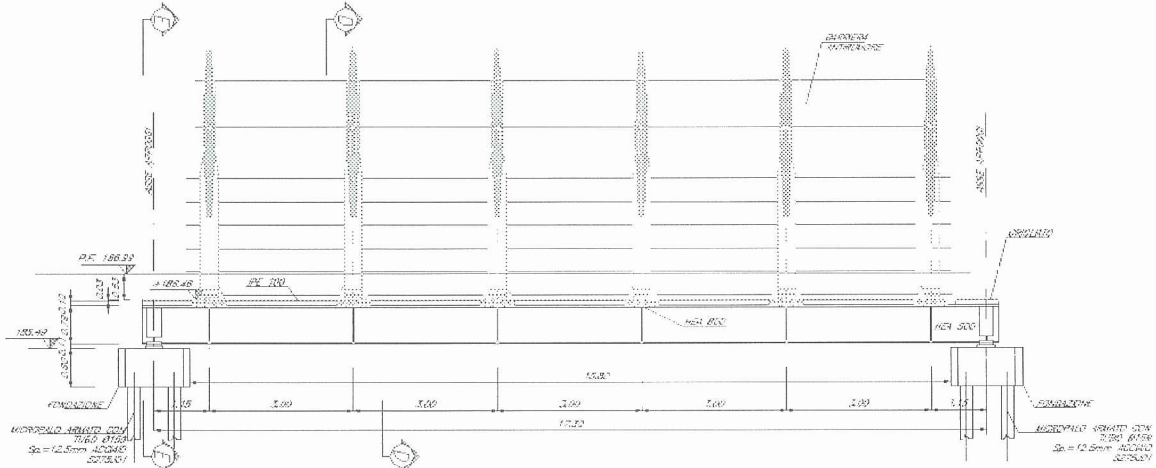
Si riportano, di seguito, delle immagini rappresentative dell'opera analizzata.



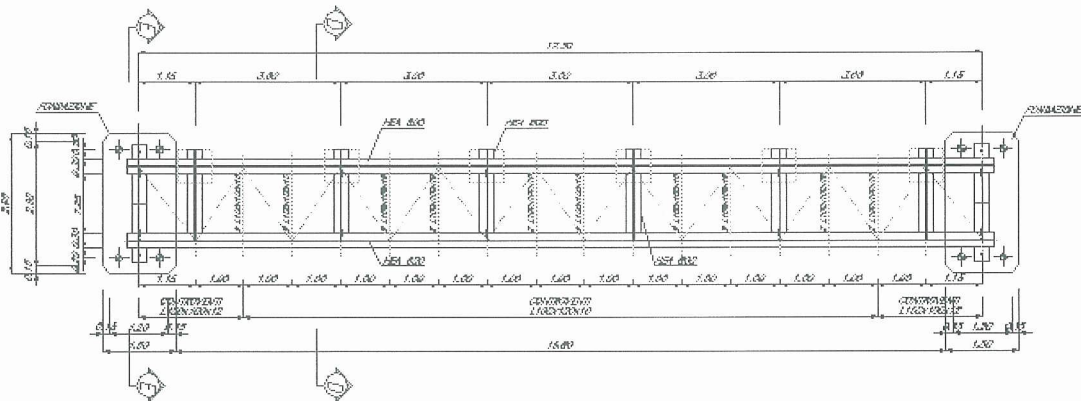
**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	6 di 31

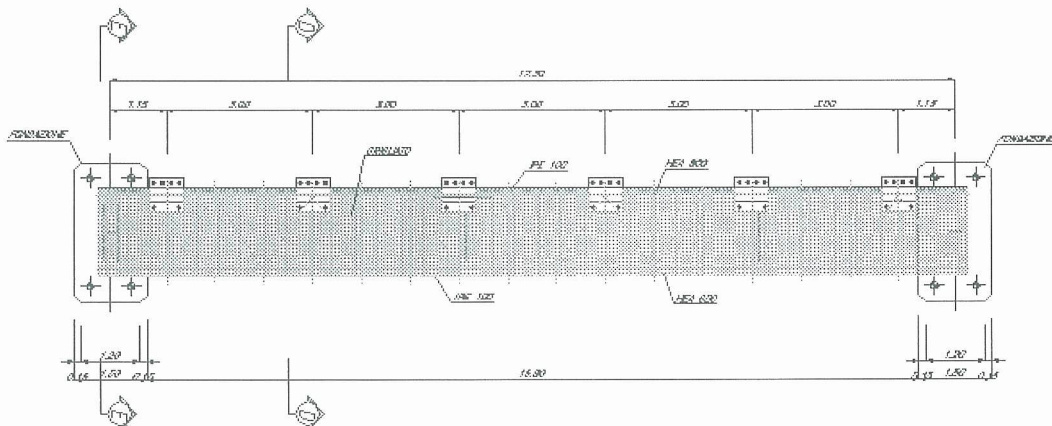
PROSPETTIVO C-C  
Scala 1:50



SEZIONE A-A  
Scala 1:50



SEZIONE B-B  
Scala 1:50





Come già detto nella premessa, in corrispondenza del canale Rho, sarà prevista una passerella simile a quella verificata per il sottopasso SL11, adeguando opportunamente sia la luce tra gli appoggi (circa 11.30 m) che la distanza tra le travi longitudinali (circa 1.00 m). La passerella dovrà sostenere solo la barriera antirumore e dovrà garantire una larghezza minima per la manutenzione dell'impalcato e, di conseguenza, la distanza tra le travi trasversali potrà essere ridotta. Dovranno essere previsti dei tamponi di chiusura della barriera antirumore che collegheranno i tratti di barriera di linea a quelli previsti sull'opera di scavalco. Le fondazioni saranno realizzate sempre con plinti su micropali. Si riportano due foto del canale e un'immagine con un'indicazione schematica della passerella sul canale Rho.





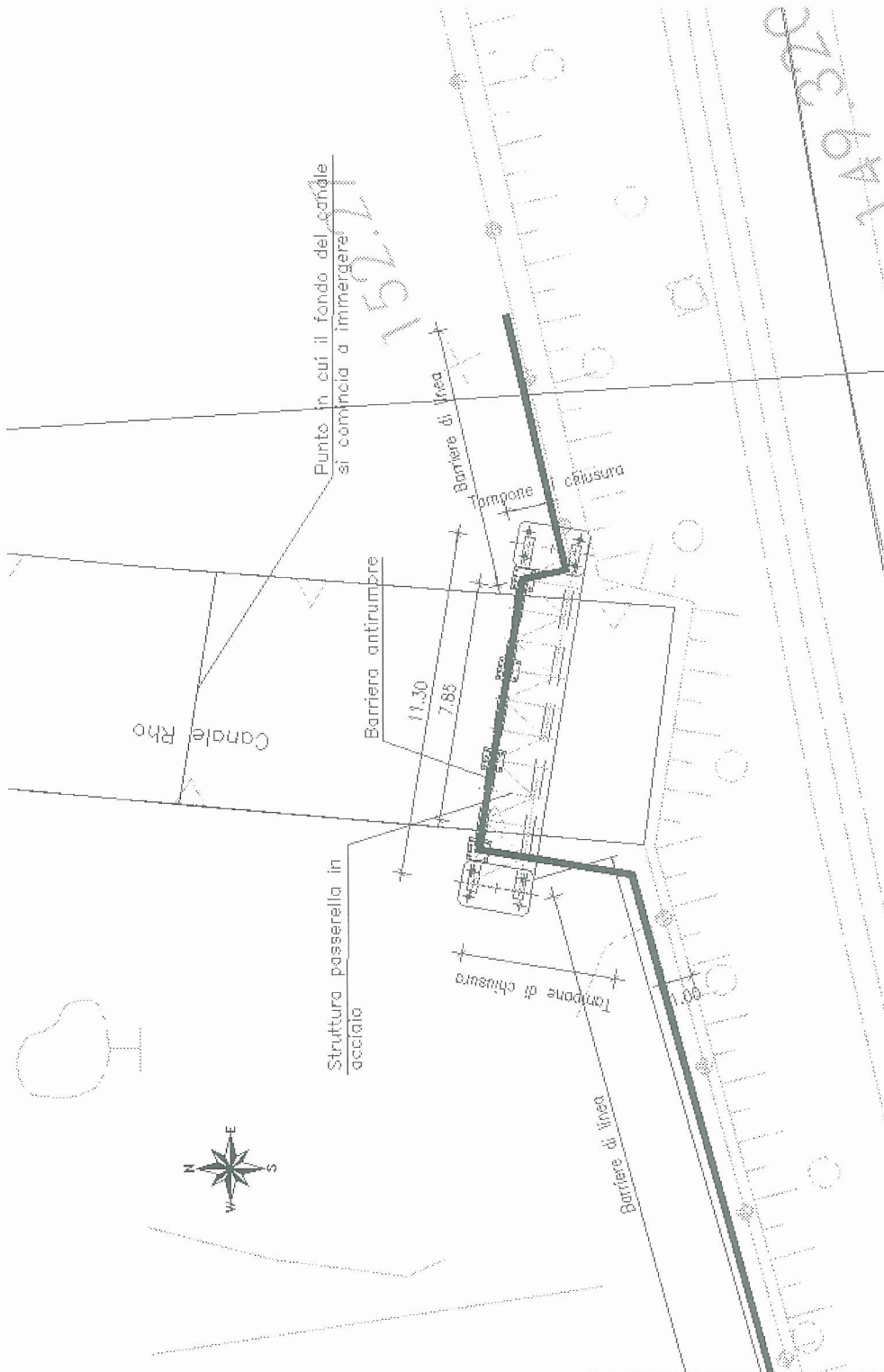
**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	8 di 31



**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	9 di 31





### **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. 1/2.
- [E\_3] MDL1 12 D26 F5 GE0005 002 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 2/2.
- [E\_4] 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).*

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	13 di 31

## 5 MATERIALI

I calcoli statici sono stati eseguiti prevedendo l'impiego dei seguenti materiali.

### CALCESTRUZZO

I materiali impiegati presentano le seguenti caratteristiche:

Calcestruzzo per magrone:  $R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{c,amm} = 6.00 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{c0} = 0.40 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{c1} = 1.40 \quad \text{N/mm}^2$$

Calcestruzzo per opere di fondazione:  $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ .

$$\sigma_{c,amm} = 9.80 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{c0} = 0.60 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{c1} = 1.83 \quad \text{N/mm}^2$$

Calcestruzzo per opere in elevazione:  $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ .

$$\sigma_{c,amm} = 11.00 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{c0} = 0.66 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{c1} = 1.97 \quad \text{N/mm}^2$$

### ACCIAIO

per tondi di diametro  $\leq 26 \text{ mm}$                       FeB 44k

per tondi di diametro  $\geq 28 \text{ mm}$                       FeB 38k

In conformità alla normativa vigente e delle citate Istruzioni, i massimi valori unitari di tensione da prendere in conto nelle verifiche con il metodo delle tensioni ammissibili sono:

Acciaio tipo FeB 44k                       $\sigma_s = 260 \text{ N/mm}^2$

Acciaio tipo FeB 38k                       $\sigma_s = 215 \text{ N/mm}^2$

In accordo alla Tab. 2.2.2.4 delle istruzioni F.S., la tensione dell'acciaio (per le combinazioni TA1 e TA2), i diametri e le distanze tra le barre di acciaio, per limitare gli effetti della fessurazione, risultano:

$\sigma_s \leq 220 \text{ N/mm}^2$                       diametro  $\leq 20 \text{ mm}$  (massimo interasse barre 200mm)

$\sigma_s \leq 190 \text{ N/mm}^2$                       diametro  $\leq 24 \text{ mm}$  (massimo interasse barre 250mm)






## 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] 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		LEGENDA	
UNITA'	DESCRIZIONE	UNITA'	DESCRIZIONE
GS'	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)	GS'	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)
GS"	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)	GS"	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)
SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.	SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.

PARAMETRI GEOTECNICI															
	$\gamma$	$c_u$	$c'$	$\phi'$	$v$	$V_s$	$G_s^{(1)}$	$E_p^{(2)}$	$E_{op}^{(3)}$	$E_r^{(4)}$	$E_s^{(5)}$	$k_h^{(6)}$	$N_{sp1}$	$c_v$	$c_d$
	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(m/s)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m <sup>3</sup> )	cp/30cm	(cm <sup>2</sup> /s)	(%)
GS'	19÷20.5	-	-	35÷37	-	200÷350	70÷250	-	15÷40	-	-	-	-	-	-
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	-	-

Note	
(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

SONDAGGI DI RIFERIMENTO: S14
------------------------------

I simboli rappresentati nella scheda geotecnica hanno il seguente significato:



**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	16 di 31

$\gamma =$	peso di volume naturale
$c_u =$	coesione non drenata
$c' =$	coesione efficace
$\phi' =$	angolo d'attrito
$\nu$	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
$c_\alpha =$	coefficiente di consolidazione secondaria
Note:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- il valore di <math>\phi'</math> adottato per i terreni tipo GS'' è stato considerato pari a quello dello strato GS' (<math>\varphi = 35^\circ</math>) a favore di sicurezza.</li> <li>- il valore del modulo di Young <math>E_{op}</math> adottato per i terreni tipo S è stato stimato cautelativamente a favore di sicurezza.</li> </ul>

Per i dettagli circa le prove in sito ed in laboratorio si rimanda alla relazione geotecnica generale, elaborato [E\_1].

Per quanto concerne la falda, nella zona in esame il livello di falda è posto a 25 m dal p.c., come si evince dal profilo geotecnico di riferimento (si veda l'elaborato [E\_3], in particolare in corrispondenza del sondaggio S14).

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.



**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA**

**TRATTA RHO-GALLARATE**

**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	17 di 31

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.

Per quanto riguarda la stratigrafia del terreno in corrispondenza della passerella nelle vicinanze della stazione di Rho (al km 1+468 rispetto al Binario Bretella Nord) risulta una stratigrafia alternata tra strati di sabbia e limo per i primi circa 10 m e con la presenza di falda posta a circa 5 m dal piano campagna.

## 7 ANALISI DEI CARICHI UNITARI

### 7.1 Carichi permanenti passerella metallica

Peso proprio travi HEA 800: 2.24 kN/m

Peso proprio traversi, controventi e grigliato: 6.00 kN/m

### 7.2 Reazioni dovute alla presenza delle barriere antirumore

Si riportano, di seguito, le reazioni vincolari risultate dalla "Relazione di calcolo per barriera su impalcato – Barriera H4" (progetto esecutivo – barriera antirumore standard tipo "HS").

Queste reazioni saranno utilizzate nelle verifiche di resistenza di tutti gli elementi, tranne per le travi principali, per le quali sarà effettuata la verifica per la combinazione TA1.

Sollecitazioni complessive									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	N	N	N	N-m	N-m	N-m
23	PPPBVPSP_V200	Combination	Max	-35929	0	13370	0	-77623	0
23	PPPBVPSP_V200	Combination	Min	-48063	0	9243	0	-111017	0
23	PPPAVNSN_V200	Combination	Max	19126	0	-8680	0	75046	0
23	PPPAVNSN_V200	Combination	Min	6992	0	-12807	0	41652	0
23	PPPASP_V200	Combination	Max	-5719	0	2737	0	4061	0
23	PPPASP_V200	Combination	Min	-17852	0	-1390	0	-29333	0

Le sollecitazioni hanno un'eccentricità rispetto al baricentro del cordolo, verso l'interno dell'impalcato pari a : 0.105 m

Le combinazioni più gravose per la passerella in acciaio risultano:

PPPBVPSP\_V200  
PPPAVNSN\_V200.

Le sollecitazioni hanno il seguente significato:

#### Combinazione PPBVSP

PP = Peso proprio

PB = peso bagnato della basamento in cls della barriera

VP = vento positivo (diretto verso il corpo ferroviario)

SP = sovrappressione dovuta al transito del treno Positiva (diretta verso il corpo ferroviario)

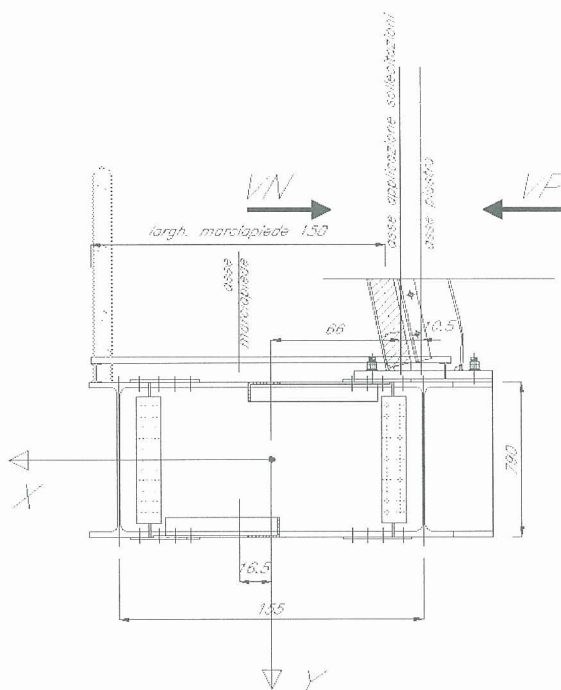
### Combinazione PPPAVNSN

PP = Peso proprio

PB = peso asciutto della basamento in cls della barriera

VN = vento Negativo (diretto dal corpo ferroviario verso l'esterno dello stesso)

SN = sovrappressione dovuta al transito del treno Negativa (diretta dal corpo ferroviario verso l'esterno)



### 7.3 Carichi per la verifica delle travi principali

Le sollecitazioni trasmesse dalla pensilina metallica sono dimensionanti per la verifica di tutti gli elementi tranne per le travi principali (HEA800) della passerella metallica, per le quali la combinazione dimensionante è la TA1 che prevede a pieno carico il sovracarico accidentale ( $10 \text{ kN/m}^2$ ) e una riduzione della pressione del vento (in questa combinazione non si tiene conto del transito dei treni).



### 7.3.1 Carichi accidentali

Si considera un carico accidentale di **10.00 kN/m<sup>2</sup>**, agente su una superficie di larghezza 1.50 m.

### 7.3.2 Pressione del vento

Per la sola verifica flessionale delle travi principali della passerella metallica si considera l'effetto del vento calcolato nella "Relazione di calcolo per barriera su impalcati – Barriera H4" (progetto esecutivo – barriera antirumore standard tipo "HS").

La pressione del vento è pari a  $F_{wvk} = 1.89 \text{ kN/m}^2$  e agisce su tutta l'altezza della barriera antirumore (4.67 m su P.F.).

### 7.3.3 Peso proprio barriere

Le pannellature fonoassorbenti che si prevede di utilizzare sono di due tipi:

- Pannellature fonoassorbenti in acciaio inox sopra i 2.00 m su p.f.
- Pannellature fonoassorbenti in calcestruzzo sotto i 2.00 m su p.f.

I pannelli fonoassorbenti in acciaio inox contengono al loro interno materiale fonoassorbente. Per la verifica delle travi principali si considera che tali pannelli siano imbevuti di acqua e che il peso valga  $1.50 \text{ kN/m}^2$ .

I pannelli fonoassorbenti in calcestruzzo che si prevede di utilizzare nella parte inferiore della barriera hanno peso pari a  $3.0 \text{ kN/m}^2$  e sono alloggiati nella base metallica inferiore.

Per l'altezza massima della barriera (4.67 m sul PF) si ottiene un peso distribuito sulla trave principale della pensilina metallica:

$$1.50 \times 3.50 + 3.00 \times (2+0.66) = 13.23 \text{ kN/m}^2$$

## **8 SCHEMA DI CALCOLO**

La struttura portante è costituita, in sostanza, da uno pseudocassone in acciaio. Le facce verticali del cassone sono costituite dalle anime delle travi principali; quelle orizzontali sono costituite dai controventi orizzontali inferiori e superiori.

La torsione indotta dal vento e dai carichi verticali viene assorbita, pertanto, interamente dal cassone, producendo sforzo assiale di trazione/compressione nei controventi. I carichi verticali, in virtù della rigidità torsionale del cassone, vengono assorbiti quindi in parti uguali tra le 2 travi principali. Cautelativamente, si considera anche un incremento di carico verticale sulle travi pari allo 0.1 del Mt diviso l'interasse delle travi.



**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	22 di 31

## 9 VERIFICA DELLE TRAVI

### 9.1 Azioni sulle travi

Si riporta di seguito la determinazione delle azioni (carichi verticali, orizzontali e momento torcente) agenti sull'impalcato, per il calcolo delle sollecitazioni nella combinazione TA1.

Luce travi		17.30	m
Interasse travi		1.55	m
Tipo profilo		HE 800 A	
Altezza trave		0.79	m
Peso trave		2.24	kN/m
	W =	7 682	cm <sup>3</sup>
	J =	303 400	cm <sup>4</sup>

Altezza barriere da PF		4.67	m
Distanza estradosso travi - PF		-0.66	m
Altezza totale barriere		5.33	m
Pressione del vento		-1.89	kN/m <sup>2</sup>
Peso delle barriere		13.23	kN/m
Eccentricità barriere rispetto a asse imp.		-0.66	m
Carico accidentale		10.00	kN/m <sup>2</sup>
Larghezza carico accidentale		1.50	m
Eccentricità carico acc. rispetto a asse imp.		0.165	m

#### Azioni sull'impalcato

Peso proprio	$P_{vert1}$	$= 2 \cdot 2.24$	4.48	kN/m
Peso trasversi e controventi, grigliato	$P_{vert2}$		6.00	kN/m
Peso barriere	$P_{vert3}$		13.23	kN/m
	$m_{t3}$	$= 13.23 \cdot (-0.66)$	-8.73	kNm/m
Pressione del vento	$P_{trasv4}$	$= -1.89 \cdot (5.33 + 0.79)$	-11.6	kN/m
	$m_{t4}$	$= -11.6 \cdot [(5.33 + 0.79) / 2 - 0.79 / 2]$	-30.8	kNm/m
Carico accidentale	$P_{vert5}$	$= 10 \cdot 1.50$	15.0	kN/m
	$m_{t5}$	$= P_{vert5} \cdot ecc = 15.0 \cdot 0.165$	2.5	kNm/m

Si riporta di seguito la determinazione delle azioni agenti sulla trave più sollecitata. Il carico verticale si ripartisce tra le 2 travi. Il momento torcente si affida allo pseudocassone formato dai controventi. Cautelativamente, si considera anche un incremento di carico verticale sulle travi pari allo 0.1 del Mt diviso l'interasse delle travi.

<u>Combinazione TA1 (PP + PERM + ACC + 0.6 x VENTO)</u>	$p_{tot}$	$= p_{vert1} + p_{vert2} + p_{vert3} + p_{vert5}$	38.7	kN/m
	$m_{tot}$	$= m_{t3} + 0.6 \cdot m_{t4} + m_{t5}$	-24.8	kNm/m
	$N_{vert}$	$= p_{tot}/2 + 0.1 \cdot m_{tot}/1.55$	21.0	kN/m

## 9.2 Sollecitazioni e verifiche

Il momento flettente massimo agente sulla singola trave risulta:

$$M = 1/8 \times N_{vert} \times L^2 = 1/8 \times 21.0 \times 17.3^2 = 784 \text{ kNm}$$

La tensione massima risulta:

$$\sigma = M/W = 784 \times 10^6 / 7682 \times 10^3 = 102 \text{ N/mm}^2.$$

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	24 di 31

**10 VERIFICA DEI CONTROVENTI**

Si riporta di seguito la determinazione delle azioni (carichi verticali, orizzontali e momento torcente) agenti sull'impalcato, per il calcolo delle sollecitazioni nelle combinazioni PPPBVSP\_V200 e PPPAVNSN\_V200.

Luce travi			17.30	m
Interasse travi			1.55	m
Tipo profilo			HE 800 A	
Altezza trave			0.79	m
Peso trave			2.24	kN/m
	W		7 682	cm <sup>3</sup>
	J		303 400	cm <sup>4</sup>
Scarichi montante barriera PPPBVSP_V200 (vento positivo)	M1		111.02	kNm
	T1		48.06	kN
	N1		9.24	kN
Scarichi montante barriera PPPAVNSN_V200 (vento negativo)	M2		-75.05	kNm
	T2		-19.13	kN
	N2		-8.68	kN
Eccentricità scarichi barriere rispetto a asse imp.			-0.66	m
Interasse longitudinale montanti	d		3.00	m
Carico accidentale			10.00	kN/m <sup>2</sup>
Larghezza carico accidentale			1.50	m
Eccentricità carico acc. rispetto a asse imp.			0.165	m
<b>Azioni sull'impalcato PPPBVSP V200 (vento positivo)</b>				
Peso proprio	$p_{vert1}$	$= 2 \cdot 2.24$	4.48	kN/m
Peso traversi e controventi, grigliato	$p_{vert2}$		6.00	kN/m
Sollecitazioni barriere	$p_{vert3}$	$= N1/d = 9.24/3.0$	3.08	kN/m
	$m_{t3}$	$= p_{vert3} \cdot (-0.66)$	-2.03	kNm/m
	$p_{trasv4}$	$= T1/d = 48.06/3.0$	16.0	kN/m
	$m_{t4}$	$= p_{trasv4} \cdot 0.79/2$	6.33	kNm/m
	$m_t$	$= M1/d = 111.02/3.0$	37.01	kNm/m
<b>Azioni sull'impalcato PPPAVNSN V200 (vento negativo)</b>				
Peso proprio	$p_{vert1}$	$= 2 \cdot 2.24$	4.48	kN/m
Peso traversi e controventi, grigliato	$p_{vert2}$		6.00	kN/m
Sollecitazioni barriere	$p_{vert3}$	$= N2/d = -8.68/3.0$	-2.89	kN/m
	$m_{t3}$	$= p_{vert3} \cdot (-0.66)$	1.91	kNm/m
	$p_{trasv4}$	$= T2/d = 19.13/3.0$	-6.4	kN/m
	$m_{t4}$	$= p_{trasv4} \cdot 0.79/2$	-2.52	kNm/m
	$m_t$	$= M2/d = -75.05/3.0$	-25.02	kNm/m

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	25 di 31

Come già fatto per la verifica delle travi (combinazione TA1), anche per la determinazione delle sollecitazioni maggiori dovute alle combinazioni PPPBVPSP\_V200 e PPPAVNSN\_V200, il carico verticale si ripartisce tra le 2 travi. Il momento torcente si affida allo pseudocassone formato dai controventi. Cautelativamente, si considera anche un incremento di carico verticale sulle travi pari allo 0.1 del Mt diviso l'interasse delle travi.

PPPBVPSP V200 (vento positivo)	$p_{tot}$	$= p_{vert1} + p_{vert2} + p_{vert3}$	13.6	kN/m
	$m_{tot}$	$= m_{t3} + m_{t4} + m_t$	41.3	kNm/m
	$N_{vert}$	$= p_{tot}/2 + 0.1 \cdot m_{tot}/1.55$	9.4	kN/m
PPPAVNSN V200 (vento negativo)	$p_{tot}$	$= p_{vert1} + p_{vert2} + p_{vert3}$	7.6	kN/m
	$m_{tot}$	$= m_{t3} + m_{t4} + m_t$	-25.6	kNm/m
	$N_{vert}$	$= p_{tot}/2 + 0.1 \cdot m_{tot}/1.55$	2.1	kNm/m

### 10.1 Azioni sui controventi

I diagonali vengono chiamati in gioco sia come elementi resistenti nei confronti dello pseudocassone torsionale sia in termini di sistema di controvento nel piano orizzontale.

Il momento torcente ingenera nei diagonali uno stato di trazione o di compressione in funzione del verso dello stesso.

Dalla formulazione della teoria della torsione alla Bredt è possibile ricavare la quota di torsione che deve essere assorbita dal sistema reticolare superiore e inferiore.

$$\tau_b = T/2\Omega$$

ove:

b è lo spessore del tratto di parete considerato

$\Omega$  = area del cassone

Integrando tale valore sulla larghezza trasversale del tratto di cassone in oggetto (B=larghezza del sistema di controvento) si ottiene lo sforzo che deve essere assorbito dal sistema reticolare resistente:

$$F = \tau_b B$$

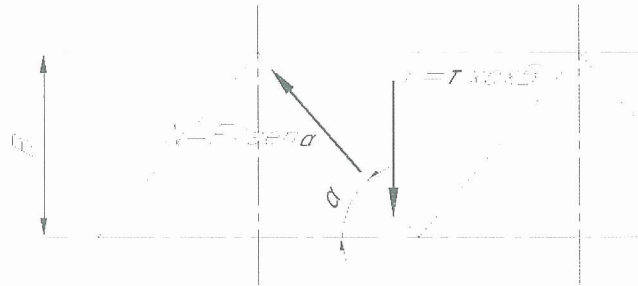
Tale azione viene assorbita dal sistema reticolare come una forza nel diagonale pari a:

$$N = F / \sin \alpha \quad \text{ove } \alpha \text{ è l'angolo formato tra il corrente ed il diagonale (vedi schema seguente).}$$



**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100.001	A	26 di 31



Si riporta di seguito la determinazione delle azioni agenti sul controvento più sollecitato.

Sollecitazioni sui controventi

	$i_{ionq}$		1.00	m
	$\alpha$		57.2	°
<u>PPPBPVSP V200 (vento positivo)</u>	$M_{tot}$	$= m_{tot} \cdot L_{imp}/2 = 41.3 \cdot 17.30/2$	357	kNm
<u>PPPAVNSN V200 (vento negativo)</u>	$M_{tot}$	$= m_{tot} \cdot L_{imp}/2 = -25.6 \cdot 17.30/2$	-222	kNm
	<b><math>M_{max}</math></b>		<b>357</b>	<b>kNm</b>
	$\Omega$	$= i_{travi} \times h_{trave} = 1.55 \cdot 0.79$	1.22	m <sup>2</sup>
	$\tau b$	$= M_{max} / 2 \Omega = 357 / 2 \cdot 1.22$	146	kN/m <sup>2</sup> *m
	F	$= \tau b \times i_{travi} = 146 \cdot 1.55$	226	kN
	$N(Mt)$	$= F / \sin \alpha = 226 / 0.84$	269	kN
	$Th_{max}$	$= p_{trasv4} \cdot L_{imp}/2 = 46.3 \cdot 17.30/2$	139	kN
	$N(Th)$	$= Th_{max} / 2 / \sin \alpha = 139 / 2 / 0.84$	82	kN
	<b>Ntot</b>	$= N(Mt) + N(Th) = 269 + 82$	<b>352</b>	<b>kN</b>



**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA**

**TRATTA RHO-GALLARATE**

**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	27 di 31

## 10.2 Verifica di resistenza e stabilità

Si riporta la verifica di resistenza dei controventi più sollecitati, ovvero quelli alle estremità. Alle estremità si prevedono coppie di L150x100x12.

La snellezza risulta:

$$\lambda = L / i_{\min} = 193 / 2.84 = 68 \quad \omega = 1.51$$

$$\sigma = 35200 \times 1.51 / (2 \times 28.74) = 924 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{amm}}$$



**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	28 di 31

**11 VERIFICA FONDAZIONI**

Si riportano di seguito le sollecitazioni agenti sui plinti di fondazione su micropali (combinazioni PPPBVSP\_V200 e PPPAVNSN\_V200).

Sollecitazioni in fondazione

Peso proprio plinto	PP	$= 1.5 \cdot 2.9 \cdot 0.8 \cdot 25$	87	kN
<u>COMB 1 (vento positivo)</u>	Ntot	$= (p_{vert1} + p_{vert2} + p_{vert3}) \cdot i_{travi}/2 + PP$	<b>153</b>	<b>kN</b>
	Mt	$= (m_{t3} + m_{t4} + m_t) \cdot i_{travi}/2$	<b>357</b>	<b>kNm</b>
<u>COMB 2 (vento negativo)</u>	Ntot	$= (p_{vert1} + p_{vert2} + p_{vert3}) \cdot i_{travi}/2 + PP$	204	kN
	Mt	$= (m_{t3} + m_{t4} + m_t) \cdot i_{travi}/2$	-222	kNm
<u>Carichi sui micropali</u>				
Interasse trasversale micropali	i		2.25	m
<u>COMB 1 (vento positivo)</u>	Nmax	$= N_{tot} / 4 + M_t / i / 2$	<b>118</b>	<b>kN</b>
	Nmin	$= N_{tot} / 4 - M_t / i / 2$	-41	kNm
<u>COMB 2 (vento negativo)</u>	Nmin	$= N_{tot} / 4 + M_t / i / 2$	2	kN
	Nmax	$= N_{tot} / 4 - M_t / i / 2$	100	kNm

**11.1 Verifica plinto**

Lo sforzo normale si trasferisce dall'appoggio ai micropali attraverso il plinto mediante un funzionamento a tirante-puntone.

La trazione nell'armatura si valuta pari a:

$$T = N_{max} / \tan 62^\circ = 118 / \tan 62^\circ = 63 \text{ kN}$$

Disponendo un'armatura inferiore  $\varnothing 20/20$  e considerando una larghezza collaborante di 60 cm, la tensione nell'acciaio risulta:

$$\sigma_a = 63000 / 942 = 67 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{amm}$$

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	29 di 31

### 11.2 Verifica tirafondi

#### Verifica tirafondo

La trazione massima nel tirafondo risulta pari a:

$$N_{min} = (N_{tot} - PP) / 2 - M_t / i_{tirafondi} = (153 - 87) / 2 - 357 / 2.15 = 33 - 166 = -133 \text{ kN}$$

Il taglio massimo nel tirafondo risulta:

$$T_{max} = [(p_{trasv4} \times L_{impalcato}) / 2] / 2 = [(16 \times 17.3) / 2] / 2 = 69.2 \text{ kN}$$

Tirafondo Ø40 cl.8.8

$$\sigma_a = 133000 / 1005 = 132.3 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = 69200 / 1005 = 68.9 \text{ MPa}$$

$$\text{La verifica risulta } (\sigma_a / \sigma_{adm})^2 + (\tau_a / \tau_{adm})^2 = (132.3 / 373)^2 + (68.9 / 264)^2 = 0.13 + 0.07 = 0.20 < 1$$

### 11.3 Verifica di portanza micropali passerella porta BA km 8+700

Si prevedono micropali di lunghezza 12 m.

Il calcolo di portanza viene effettuato con riferimento agli abachi di Bustamente e Doix.

$$Q_s = \pi \times \alpha \times D \times L_p \times q_s \times \eta ;$$

Dove:

$\alpha$  = 1.20, coefficiente maggiorativo che dipende dalla metodologia realizzativa del micropalo e dal tipo di terreno.

$D$  = Diametro di perforazione del micropalo pari a 280 mm

$L$  = lunghezza dell'area iniettata;

$q_s$  = 0.05 MPa, portata laterale unitaria, ricavabile in funzione del tipo di terreno e del numero di  $N_{spt}$  (il valore 0.05 MPa proviene dagli abachi di Bustamente e Doix per sabbie e ghiaie moderatamente addensate);

$\eta$  = coefficiente di gruppo pari a 0.8.

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	30 di 31

$$Q_s = \pi \times \alpha \times D \times L_p \times q_s \times \eta = \pi \times 1.2 \times 280 \times 12000 \times 0.05 \times 0.8 / 1000 = 506.42 \text{ kN}$$

$$Q_{pl} = 0.15 \times 506.42 = 75.96 \text{ kN}$$

$$Q_{lim} = Q_s + Q_{pl} = 582.38 \text{ kN}$$

Il peso del palo vale:

$$W_p = 25 \times \pi \times 0.28^2 / 4 \times 12 = 18.5 \text{ kN}$$

Assumendo un fattore di sicurezza pari a 2.5 si ottiene un valore di carico ammissibile:

$$Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 - W_p = 582.38 / 2.5 - 18.5 = 214.5 \text{ kN} > 118 \text{ kN}.$$

#### **11.4 Verifica di portanza micropali passerella porta BA al km 1+468 (risp. Binario Bretella Nord)**

Si riporta di seguito, anche la verifica di portanza dei micropali di fondazione della passerella porta barriera antirumore presente in corrispondenza del canale Rho. La verifica è stata effettuata in quanto questa passerella risulta fondata su una stratigrafia alternata tra strati di sabbia e limo per i primi circa 10 m e con la presenza di falda posta a circa 5 m dal piano campagna.

Per ogni strato la capacità portante laterale del micropalo viene calcolata nel seguente modo:

$$Q_s = \pi \times \alpha \times D \times L_p \times q_s \times \eta ;$$

Dove:

$\alpha$  = valore che dipende dalla metodologia realizzativa del micropalo e dal tipo di terreno.

**D** = Diametro di perforazione del micropalo pari a 170 mm

**L** = lunghezza micropalo

**qs** = portata laterale unitaria, ricavabile in funzione del tipo di terreno e del numero di Nspt.

$\eta$  = coefficiente di gruppo pari a 0.8.

Vengono riportati per tutti gli strati dei parametri assunti in fase di progettazione per ogni strato:

- Strato 1:  $\alpha = 1.1$  ;  $q_s = 0.05 \text{ MPa}$  ;  $D_s = 170 \text{ mm}$ ;  $L_s = 2330 \text{ mm}$
- Strato 2 :  $\alpha = 1.1$  ;  $q_s = 0.05 \text{ MPa}$  ;  $D_s = 170 \text{ mm}$ ;  $L_s = 2660 \text{ mm}$
- Strato 3 :  $\alpha = 1.6$  ;  $q_s = 0.05 \text{ MPa}$  ;  $D_s = 170 \text{ mm}$ ;  $L_s = 1530 \text{ mm}$

**SLV1 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SLV100 001	A	31 di 31

- Strato 4 :  $\alpha = 1.4$  ;  $q_s = 0.12$  MPa ;  $D_s = 170$  mm;  $L_s = 3180$  mm
- Strato 5 :  $\alpha = 1.6$  ;  $q_s = 0.14$  MPa ;  $D_s = 170$  mm;  $L_s = 6280$  mm;

Si ottiene:

$$\text{Strato 1 : } 3.14 \times 1.1 \times 170 \times 2330 \times 0.05 \times 0.8 = 54725.17 \text{ N;}$$

$$\text{Strato 2 : } 3.14 \times 1.1 \times 170 \times 2660 \times 0.05 \times 0.8 = 62475.95 \text{ N;}$$

$$\text{strato 3 : } 3.14 \times 1.6 \times 170 \times 1530 \times 0.05 \times 0.8 = 52269.69 \text{ N;}$$

$$\text{strato 4 : } 3.14 \times 1.4 \times 170 \times 3180 \times 0.12 \times 0.8 = 228141.85 \text{ N;}$$

$$\text{strato 5 : } 3.14 \times 1.6 \times 170 \times 6280 \times 0.14 \times 0.8 = 600725.71 \text{ N;}$$

Il cui totale vale :  $Q_s = 998.315$  kN.

$$Q_{pl} = 998.315 \times 0.15 = 149.74 \text{ kN;}$$

Il peso del palo vale :

$$W_p = 25 \times \pi \times 0.170^2 / 4 \times 18 = 10.21 \text{ kN}$$

Mentre la sottospinta idraulica vale:

$$U = 10 \times \pi \times 0.170^2 / 4 \times 11 = 2.50 \text{ kN;}$$

Pertanto assumendo un fattore di sicurezza pari a 2.5 si ha:

$$Q_{lim} = Q_s + Q_b = 998.315 + 149.74 = 1148.05 \text{ kN}$$

mentre il valore di carico ammissibile vale:

$$Q_{amm} = Q_{lim} / 2.5 - W_p + U = 1148.05 / 2.5 - 10.21 + 2.50 = 451.51 \text{ kN} > 118 \text{ kN.}$$

La verifica risulta soddisfatta.

I micropali sono di diametro 159 spessore 12.5 mm valvolati. Dimensione foro 170 mm.

Sono stati eliminati nel calcolo i primi due metri di terreno per tener conto del detensionamento del terreno realizzatosi nella realizzazione dello scavo necessario per costruire i plinti.