

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

DIREZIONE TECNICA - CENTRO DI PRODUZIONE MILANO

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

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

OPERE PRINCIPALI – SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL11 – SOTTOVIA VIA MINGHETTI AL KM 8+700.81 - PARABIAGO  
RELAZIONE DI CALCOLO SPALLE FONDAZIONI

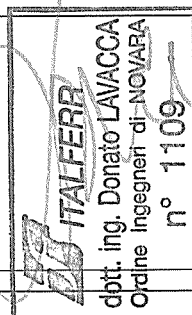
1

SCALA:

-

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

MDL1 12 D 26 CL SL1100 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A.INGLETTI	Dic. 2010	<i>U</i>		S.Borelli		

File: MDL1\_12\_D\_26\_CL\_SL1100\_002\_A.doc

n.



## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	6
4	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	7
5	MATERIALI.....	9
6	CARATTERISTICHE DEL TERRENO .....	11
7	PONTE .....	14
7.1	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA.....	14
7.2	MODELLAZIONE ADOTTATA .....	17
7.3	ANALISI DEI CARICHI.....	25
7.3.1	<i>Azioni trasmesse dall'impalcato.....</i>	25
7.3.2	<i>Pesi propri e sovraccarichi permanenti.....</i>	25
7.3.3	<i>Sovraccarichi verticali da traffico.....</i>	25
7.3.4	<i>Avviamento e frenatura.....</i>	26
7.3.5	<i>Azione centrifuga.....</i>	27
7.3.6	<i>Serpeggio.....</i>	27
7.3.7	<i>Azione del vento.....</i>	27
7.3.8	<i>Resistenze parassite dei vincoli .....</i>	27
7.3.9	<i>Azioni sismiche .....</i>	28
7.3.10	<i>AZIONI TRASMESSE DAL RILEVATO .....</i>	35
7.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	44
7.4.1	<i>Condizioni di esercizio.....</i>	44

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	3 di 75

7.5	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	52
7.5.1	<i>Sollecitazioni e verifiche nel muretto paraghiaia .....</i>	52
7.5.2	<i>Sollecitazioni e verifiche nel muro frontale .....</i>	54
7.5.3	<i>Sollecitazioni e verifiche nel plinto di fondazione .....</i>	55
7.5.4	<i>Sollecitazioni e verifiche nei pali fondazione .....</i>	57
7.6	DIMENSIONAMENTO DELLA LUNGHEZZA DEI PALI .....	60
7.6.1	<i>Capacità portante pali.....</i>	61
7.6.2	<i>Capacità portante palo D=1000 mm.....</i>	64

## **1 PREMESSA**

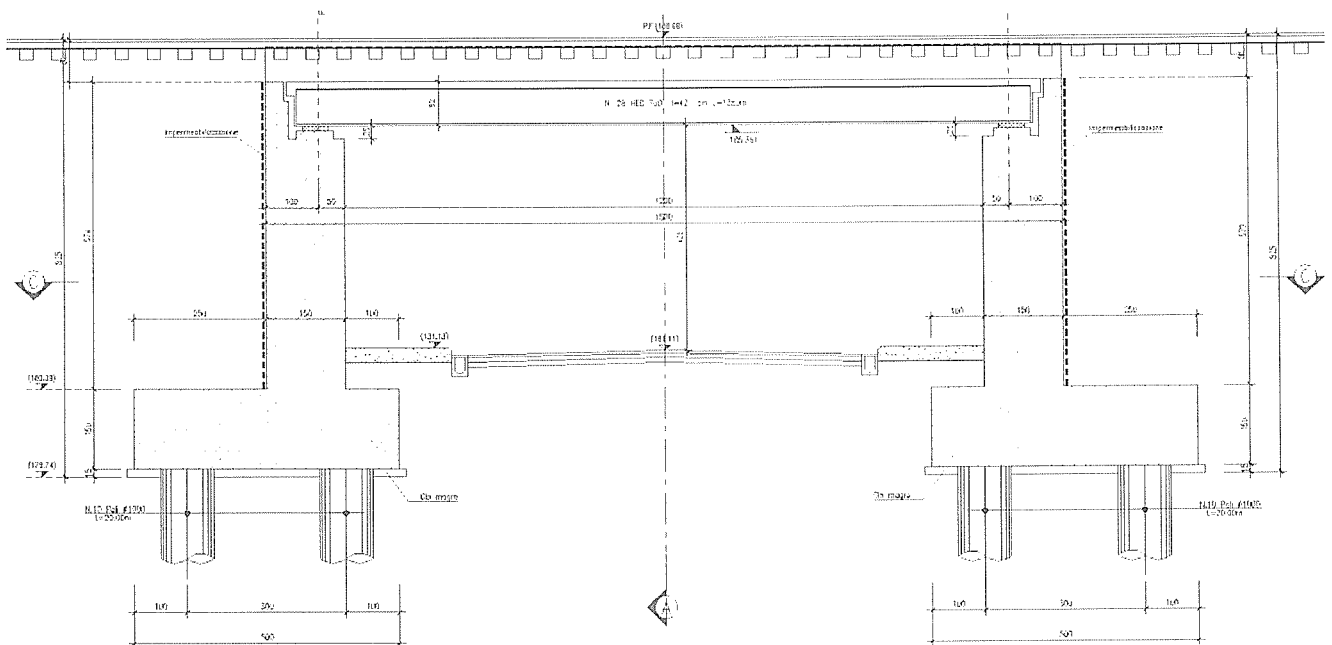
Il Progetto Definitivo di Potenziamento della Linea Rho-Arona – tratta Gallarate-Rho, riguarda il quadruplicamento dell'attuale linea a due binari attraverso l'ampliamento della sede ferroviaria attuale.

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

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

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

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



### **3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

#### **3.1 Documenti Referenziati**

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

- [E\_1] MDL1 12 D26 RB GE0005 001 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Relazione geotecnica generale.
- [E\_2] MDL1 12 D26 F5 GE0005 001 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 1/4.
- [E\_3] MDL1 12 D26 F5 GE0005 002 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 2/4.
- [E\_4] MDL1 12 D26 F5 GE0005 003 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 3/4.
- [E\_5] MDL1 12 D26 F5 GE0005 004 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 4/4.
- [E\_6] MDL1 12 D26 WA RI0000 001 A. – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Rilevati - Sezioni tipo degli interventi.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	7 di 75

#### 4 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche";*

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

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

- **Norme CNR 10011/85:**

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 5 MATERIALI

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)



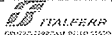
## 6 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

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] e [E\_4]÷[E\_5], ovvero profilo geotecnico della tratta, sono rappresentate le indagini eseguite durante la campagna geognostica del 2008: in particolare, nelle immediate vicinanze dell'opera in esame (prg. km 8+700.81) è stato eseguito il sondaggio S14, spinto fino alla profondità di 20.0 m dal p.c.

Sulla base di quanto sopra e dalla caratterizzazione stratigrafica e dei parametri geotecnici di progetto riportati nella relazione geotecnica generale (elaborato [E\_1]), per l'opera in oggetto è stata individuata la caratterizzazione stratigrafico-geotecnica di progetto riportata nella seguente scheda geotecnica, caratterizzante il sito di ubicazione dell'opera.

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

		PROGETTO: POTENZIAMENTO LINEA RHO-ARONA - TRATTA RHO-GALLARATE		Pk rif. KM 8+700.81	
		OPERA: SL11			

STRATIGRAFIE - VOLUMI		LEGENDA																																																																																																						
<p>P.C.</p> <p>0</p> <p>2</p> <p>4</p> <p>6</p> <p>8</p> <p>10</p> <p>12</p> <p>14</p> <p>16</p> <p>18</p> <p>20</p> <p>22</p> <p>24</p> <p>26</p> <p>28</p> <p>30</p> <p>32</p>	<p>GS'</p> <p>SG</p> <p>GS''</p> <p>SG</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>UNITA'</th> <th>DESCRIZIONE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GS'</td> <td>Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)</td> </tr> <tr> <td>GS''</td> <td>Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)</td> </tr> <tr> <td>SG</td> <td>Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.</td> </tr> </tbody> </table>	UNITA'	DESCRIZIONE	GS'	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)	GS''	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)	SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="13">PARAMETRI GEOTECNICI</th> </tr> <tr> <th></th> <th><math>\gamma</math></th> <th><math>c_u</math></th> <th><math>c'</math></th> <th><math>\phi'</math></th> <th><math>\nu</math></th> <th><math>V_s</math></th> <th><math>G_0^{(1)}</math></th> <th><math>E_0^{(2)}</math></th> <th><math>E_{op}^{(3)}</math></th> <th><math>E_v^{(4)}</math></th> <th><math>E_r^{(5)}</math></th> <th><math>k_h^{(6)}</math></th> <th><math>N_{SPF}</math></th> <th><math>c_v</math></th> <th><math>c_a</math></th> </tr> <tr> <th></th> <th>(kN/m<sup>3</sup>)</th> <th>(kN/m<sup>2</sup>)</th> <th>(kN/m<sup>2</sup>)</th> <th>(kN/m<sup>2</sup>)</th> <th>(-)</th> <th>(m/s)</th> <th>(MPa)</th> <th>(MPa)</th> <th>(MPa)</th> <th>(MPa)</th> <th>(MPa)</th> <th>(kN/m<sup>2</sup>)</th> <th>cp/30cm</th> <th>(cm<sup>2</sup>/s)</th> <th>(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GS'</td> <td>19±20.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>35±37</td> <td>-</td> <td>200±350</td> <td>70±250</td> <td>-</td> <td>15±40</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>4±35</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>GS''</td> <td>19±20.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>36±36</td> <td>-</td> <td>250±450</td> <td>150±400</td> <td>-</td> <td>30±50</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>25±60</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SG</td> <td>20±21.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>32±35</td> <td>-</td> <td>300±400</td> <td>200±350</td> <td>-</td> <td>20±40</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>30±60</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Note</b></p> <p><sup>(1)</sup> modulo di taglio iniziale associato a piccole deformazioni</p> <p><sup>(2)</sup> modulo di Young associato a piccole deformazioni</p> <p><sup>(3)</sup> modulo di Young operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno</p> <p><sup>(4)</sup> modulo di Young operativo in condizioni non drenate</p> <p><sup>(5)</sup> modulo di reazione orizzontale</p> <p><sup>(6)</sup> gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale</p>	PARAMETRI GEOTECNICI														$\gamma$	$c_u$	$c'$	$\phi'$	$\nu$	$V_s$	$G_0^{(1)}$	$E_0^{(2)}$	$E_{op}^{(3)}$	$E_v^{(4)}$	$E_r^{(5)}$	$k_h^{(6)}$	$N_{SPF}$	$c_v$	$c_a$		(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>2</sup> )	cp/30cm	(cm <sup>2</sup> /s)	(%)	GS'	19±20.5	-	-	35±37	-	200±350	70±250	-	15±40	-	-	-	4±35	-	-	GS''	19±20.5	-	-	36±36	-	250±450	150±400	-	30±50	-	-	-	25±60	-	-	SG	20±21.5	-	-	32±35	-	300±400	200±350	-	20±40	-	-	-	30±60	-	-
UNITA'	DESCRIZIONE																																																																																																							
GS'	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli superficiali)																																																																																																							
GS''	Ghiaia sabbiosa di colore marrone (livelli profondi)																																																																																																							
SG	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore marrone.																																																																																																							
PARAMETRI GEOTECNICI																																																																																																								
	$\gamma$	$c_u$	$c'$	$\phi'$	$\nu$	$V_s$	$G_0^{(1)}$	$E_0^{(2)}$	$E_{op}^{(3)}$	$E_v^{(4)}$	$E_r^{(5)}$	$k_h^{(6)}$	$N_{SPF}$	$c_v$	$c_a$																																																																																									
	(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>2</sup> )	cp/30cm	(cm <sup>2</sup> /s)	(%)																																																																																									
GS'	19±20.5	-	-	35±37	-	200±350	70±250	-	15±40	-	-	-	4±35	-	-																																																																																									
GS''	19±20.5	-	-	36±36	-	250±450	150±400	-	30±50	-	-	-	25±60	-	-																																																																																									
SG	20±21.5	-	-	32±35	-	300±400	200±350	-	20±40	-	-	-	30±60	-	-																																																																																									
		SONDAGGI DI RIFERIMENTO: S14																																																																																																						

I simboli rappresentati nella scheda geotecnica hanno il seguente significato:

$\gamma$  = 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

$G_0$  = modulo di taglio iniziale associato a piccole deformazioni

$E_0$  = 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: - il valore di  $\phi'$  adottato per i terreni tipo GS'' è stato considerato pari a quello dello strato GS' ( $\phi = 35^\circ$ ) a favore di sicurezza.

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



**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA**

**TRATTA RHO-GALLARATE**

**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	13 di 75

Per i dettagli circa le prove in sito ed in laboratorio si rimanda alla relazione geotecnica generale, elaborato [E\_5].

Per quanto concerne la falda, nella zona in esame il livello di falda è posto a 7.5 ÷8.0 m dal p.c., come si evince dal profilo geotecnica di riferimento (si veda l'elaborato [E\_11], in particolare in corrispondenza del sondaggio S23).

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

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

## **7 PONTE**

### **7.1 Geometria della struttura**

Il manufatto, interamente in cemento armato ordinario, è costituito dal muro frontale di appoggio dell'impalcato; l'ingombro trasversale delle spalle è pari a 12.54 m, mentre il suo sviluppo longitudinale è pari a 5.00 m.

Le quote altimetriche assolute del piano di posa della fondazione, dello spiccatto dei muri e della sommità della trave paraghiaia sono rispettivamente 178.90, 180.40 e 186.18 (=185.36+0.82), talché si deduce che la massima altezza della spalla dal piano di posa della fondazione è pari a 7.28 m.

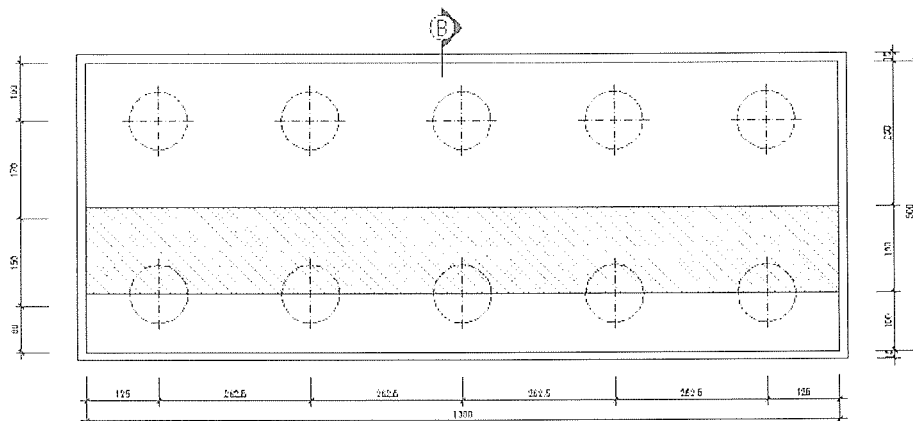
Il muro frontale ha spessore costante pari a 1.50 m fino al piano di appoggio delle travi, e altezza 4.84 m.

Le fondazioni sono costituite da un plinto rettangolare di 5.00x12.54 di spessore pari a 1.50 m con 10 pali di diametro 1000 mm.

La spalla si trova in una zona con tracciato planimetrico rettilineo.

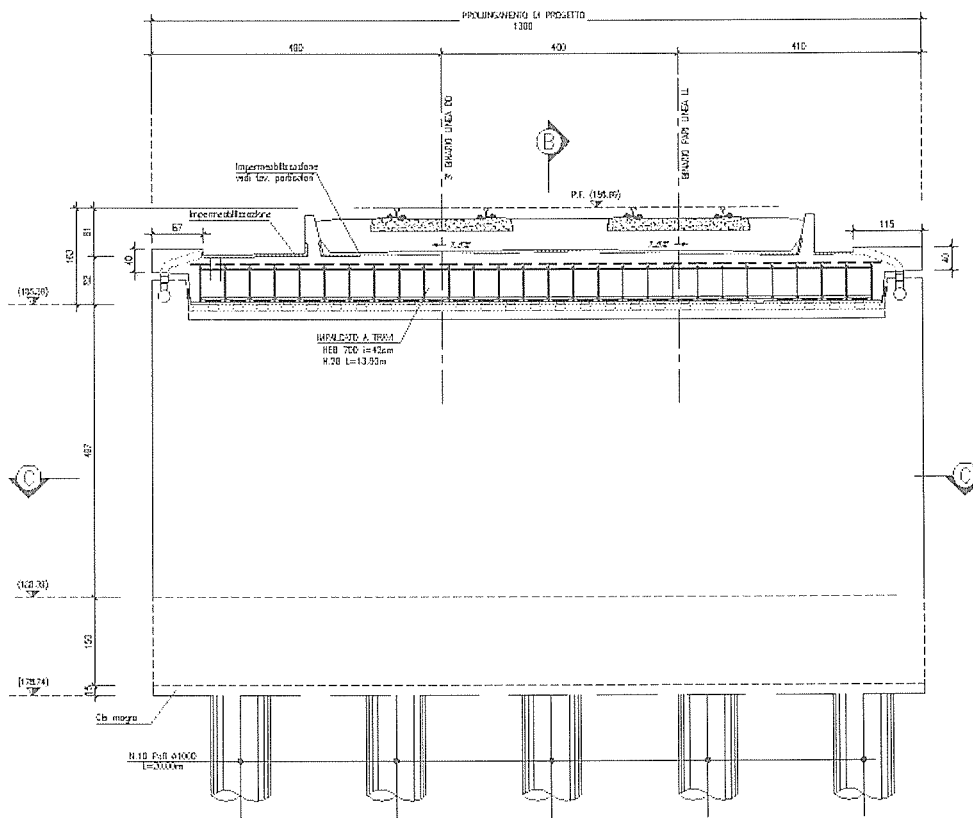
Nelle figure che seguono si riportano alcuni disegni di carpenteria della spalla in oggetto.

SEZIONE C-C -Scala 1:50

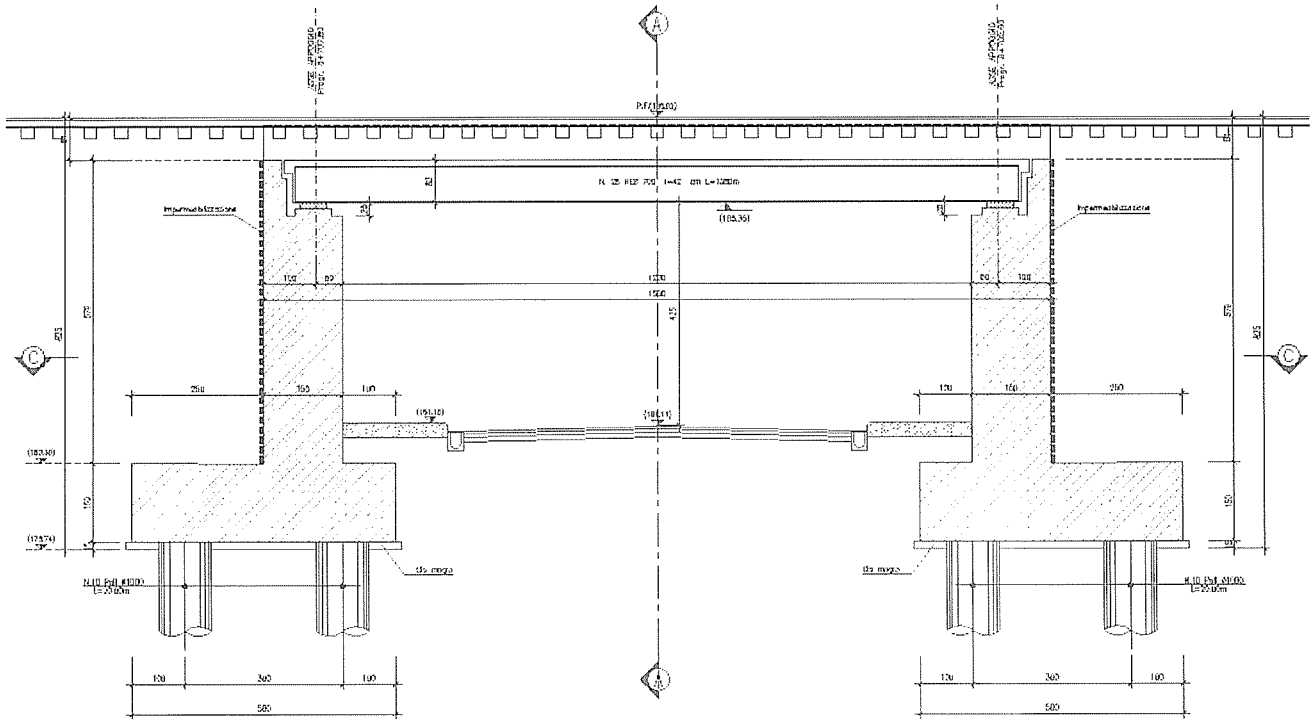


SL11 - AMPLIAMENTO SOTTOVIA VIA MINGHETTI  
Progr. B+700.8u

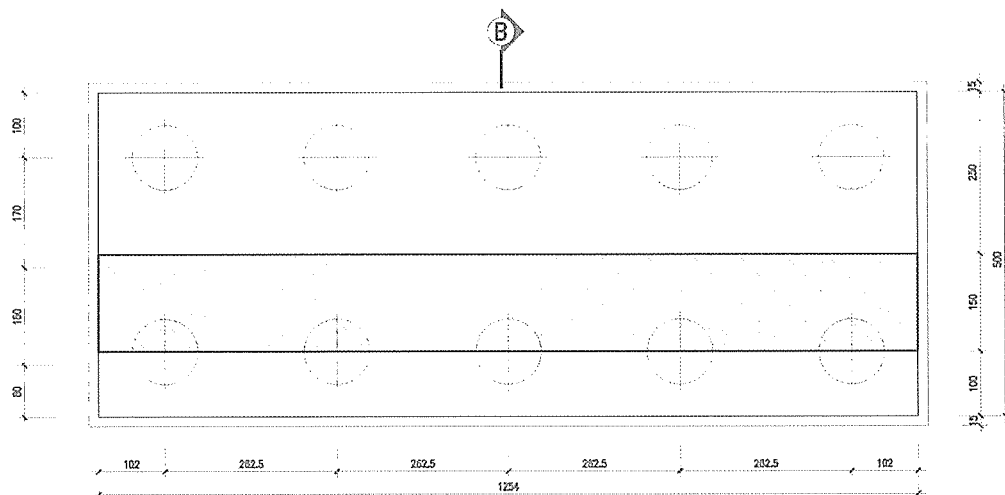
ASSE  
IMPALCATO







SEZIONE C-C



## 7.2 Modellazione adottata

L'analisi delle sollecitazioni indotte dal transito dei treni, sulle spalle del ponte ferroviario a due binari, è stata effettuata utilizzando una opzione del programma di calcolo agli elementi finiti Sap2000, che consente il calcolo delle massime sollecitazioni in qualsiasi elemento della struttura sottoposta a carichi viaggianti.

Il modello prevede la schematizzazione con elementi frame della campata da 14.20 m. Per il calcolo delle sollecitazioni dovute alle azioni orizzontali (avviamento, frenatura, centrifuga e serpeggio) sono state calcolate dapprima le singole azioni elementari rispetto all'asse dell'impalcato, e applicate poi all'elemento frame che schematizza l'impalcato.

Le eccentricità delle linee di carico risultano dalla somma con segno degli scostamenti rispetto alla linea d'asse dell'impalcato dovuti al tracciato, alla sopraelevazione e, nel solo caso del treno LM71, anche all'eccentricità aggiuntiva di +8 cm.

Considerando l'asse  $y$  diretto verso l'esterno della curva si ha:

Distanza asse impalcato asse binari  $d = 200\text{cm}$

Sovralzo dei binari  $u = 0\text{cm}$

Eccentricità dovuta allo scostamento tra asse interbinario ed asse impalcato  $e_1 = 0\text{cm}$

Eccentricità dovuta al sovrалzo dei binari di verso opposto alla forza centrifuga  $e_2 = 0\text{cm}$

Eccentricità aggiuntiva valida per LM71  $e_3 = \pm 8\text{cm}$

**Interno curva**

**Esterno curva**

LM71  $e_{\min} = -192\text{ cm}$

$e_{\max} = 208\text{ cm}$

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL.1100 002	A	18 di 75

SW/0  $e_{\max} = -200$  cm  $e_{\max} = 200$  cm

SW/2  $e_{\max} = -200$  cm  $e_{\max} = 200$  cm

Si considerano due condizioni di carico:

**Condizione 1-** al fine di massimizzare lo sforzo normale, il taglio trasversale e quello longitudinale sulla spalla si considera la presenza contemporanea dei treni LM71 e SW/2, con eccentricità tali da fornire in concomitanza con la forza centrifuga il massimo valore del momento trasversale, per tale motivo si considera un treno di carico LM71 (più leggero nel caso in esame del SW/2) disposto con la minima eccentricità all'interno della curva (in maniera da opporsi il meno possibile al momento generato dall'azione centrifuga) e un treno di carico SW/2 disposto con la massima eccentricità all'esterno della curva (in maniera da dare il massimo momento trasversale da accoppiare alla centrifuga). Questo spiega il motivo per cui non è stata considerata la massima eccentricità interno ed esterno curva per LM71;

**Condizione 2-** al fine di massimizzare il momento trasversale sulla spalla si dispone un treno di carico SW/2, con la massima eccentricità all'esterno della curva per dare un momento concorde con l'azione centrifuga.

**PESI PROPRI E SOVRACCARICHI PERMANENTI**

Peso proprio carpenteria metallica	-994kN
Peso proprio cls in opera	-3394kN
Peso permanenti portati	-2102kN
Peso totale impalcato	-6489kN
Peso totale sulla spalla	-3245kN

**SOVRACCARICHI VERTICALI DA TRAFFICO**

Sono esaminate le seguenti condizioni di carico:

1. Un treno SW/2 disposto con la massima eccentricità  $e= 2.45$  m all'esterno della curva e un treno LM71 disposto con la minima eccentricità  $e= -1.47$  m all'interno della curva

2. Un solo treno SW/2 disposto con la massima eccentricità  $e= 2.45$  m all'esterno della curva

**AZIONE CENTRIFUGA**

Velocità di progetto LM71  $V_{b1}=200$  km/h

Velocità di progetto SW  $V_{b2}=0$  km/h

Raggio di curvatura  $R=1E+10$  m

Fattore di riduzione  $f_{LM71}=1$

$f_{SW}=1$

Per LM71  $Q_{tk}= 0.00kN$  0

$q_{tk}= 0.00kN/m$

Per SW/0  $q_{tk}= 0.00kN/m$  0

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	20 di 75

Per SW/2  $q_{tk} = 0.00 \text{ kN/m}$

0

Carico orizzontale distribuito equivalente

Momento torcente rispetto

all'asse dell'impalcato

	Condizione 1	Condizione 2
Carico orizzontale distribuito equivalente	$q_y = 0.00 \text{ kN/m}$	$q_y = 0.00 \text{ kN/m}$
Momento torcente rispetto all'asse dell'impalcato	$m_x = 0.00 \text{ kNm/m}$	$m_x = 0.00 \text{ kNm/m}$

**SERPEGGIO**

Carico orizzontale distribuito equivalente

Momento torcente rispetto

all'asse dell'impalcato

	Condizione 1	Condizione 2
Carico orizzontale distribuito equivalente	$q_y = 14.09 \text{ kN/m}$	$q_y = 7.04 \text{ kN/m}$
Momento torcente rispetto all'asse dell'impalcato	$m_x = -18.03 \text{ kNm/m}$	$m_x = -9.01 \text{ kNm/m}$

**AVVIAMENTO E FRENATURA**

LM71 | Avviamento  $Q_{la,k} = 468.6 \text{ kN}$

SW/0 | Frenatura  $Q_{lb,k} = 284 \text{ kN}$

SW/2 | Avviamento  $Q_{la,k} = 468.6 \text{ kN}$

SW/2 | Frenatura  $Q_{lb,k} = 497 \text{ kN}$

Avviamento e Frenatura



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	21 di 75

Condizione 1

$q_x = -68 \text{ kN}$

$m_y = -87.04 \text{ kNm/m}$

Condizione 2

$q_x = -35.00 \text{ kN/m}$

$m_y = -44.80 \text{ kNm/m}$

**VENTO TRASVERALE (momento rispetto all'asse impalcato da applicare al modello SAP)**

Condizione 1-2

$q_y = 15.33 \text{ kN/m}$

Vento sull'impalcato

$m_x = -41.61 \text{ kNm/m}$

**RESISTENZE PARASSITE DEI VINCOLI**

Spalla SX

Condizione 1

$F_x = 34 \text{ kN}$

Condizione 2

$F_x = 114 \text{ kN}$

Spalla DX

Condizione 1

$F_x = -34 \text{ kN}$

Condizione 2

$F_x = -114 \text{ kN}$

**Ponte scarico**

$$F_x = 194.7 \text{ kN}$$

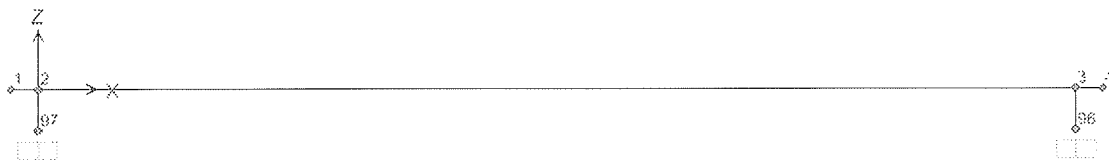
Avendo previsto degli appoggi in neoprene armato le azioni orizzontali si ripartiscono tra i vari apparecchi di appoggio, tuttavia a vantaggio di sicurezza si adotta uno schema di calcolo in cui le azioni orizzontali si scaricano al 100% sull'una o sull'altra spalla.

Lo schema di calcolo adoperato prevede pertanto che l'impalcato è vincolato ad una estremità con un appoggio scorrevole e all'altra estremità con un appoggio fisso (avendo le due spalle la stessa geometria il calcolo sarà eseguito per una sola di esse), in corrispondenza delle spalle è collegato a due elementi rigidi verticali i quali riportano i carichi sul piano appoggi; su quest'ultimi elementi può essere letta la massima sollecitazione verticale, longitudinale, trasversale, il massimo momento trasversale e longitudinale che l'impalcato trasmette in testa al muro frontale delle spalle per effetto dei carichi mobili.

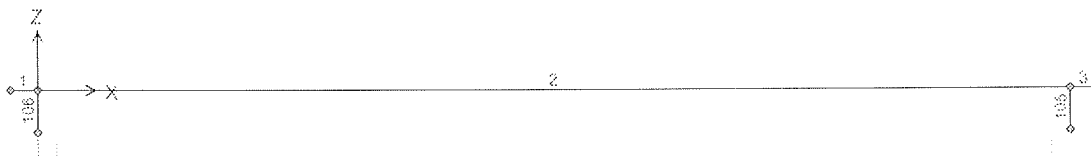
Sono stati considerati presenti, nel caso di due binari caricati, un treno di progetto LM71 affetto dal coefficiente  $\alpha=1.1$  e un treno SW/2.

Di seguito si riporta il modello di calcolo adottato con la numerazione dei nodi e degli elementi.

*Numerazione dei nodi*



*Numerazione degli elementi*



*Particolare del modello sulla spalla*



Gli effetti dei carichi verticali e orizzontali derivanti dal traffico ferroviario, ottenuti con il modello di calcolo appena descritto, sono stati combinati utilizzando i coefficienti indicati in tabella desunti dalla vigente norma ferroviaria; con tali gruppi di carico si definiscono i valori caratteristici delle azioni associate al transito dei convogli di progetto.

**Tabella dei coefficienti per la valutazione dei carichi da traffico**

Tipo di carico		Azioni verticali		Azioni orizzontali		
Gruppo di carico		Carico Verticale	Treno scarico	Frenatura avviamento	Centrifuga	Serpeggio
Gruppi di carico	gr.1	1.0	-	0.5	1.0	1.0
	gr.2	-	1.0	0.0	1.0	0.5
	gr.3	1.0	-	1.0	0.5	0.5



gr.4	0.8	-	0.5	1.0	1.0
gr.5	0.5	-	0.5	0.5	1.0
gr.6	0.8	-	0.8	0.8	0.8

I valori caratteristici delle sollecitazioni da traffico sono state combinate con i valori caratteristici delle sollecitazioni dovute alle altre azioni al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto al piede pila e al piano di imposta della fondazione, per effettuare poi le verifiche di resistenza e a fessurazione.

Le combinazioni di carico considerate sono definite dalla seguente tabella:

**Tabella dei coefficienti per le combinazioni di carico**

Comb.	Azione					
	$G_K$	$I_K$	$Q_K$	$T_K$	$W_K$	$A_K$
TA1	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6	0.0
TA2	1.0	1.0	0.8	1.0	0.6	0.0
TA3	1.0	1.0	0.0	0.6	1.0	0.0
TA4	0.75	1.0	0.7	0.4	0.4	1.0
TA5	1.0	1.0	1.0	0.6	0.5	0.0

Nella quale:

$G_K$ : valore caratteristico delle azioni permanenti (pesi propri e permanenti portati);

$I_K$ : valore caratteristico delle resistenze parassite offerte dai vincoli;

$Q_K$ : valore caratteristico delle azioni legate al transito dei treni (gruppi di carico);

$W_K$ : valore caratteristico delle azioni del vento;

$T_K$ : valore caratteristico delle azioni termiche;

$A_K$ : valore caratteristico delle azioni eccezionali (spinta idraulica) ad eccezione delle azioni sismiche

### 7.3 Analisi dei carichi

Come già accennato nel paragrafo precedente il calcolo delle spalle è stato eseguito a vantaggio di sicurezza, considerando che il 100% delle azioni orizzontali vada ad agire sulla spalla A o sulla spalla B, inoltre avendo le due spalle la stessa geometria il calcolo è stato eseguito per una sola di essa.

#### 7.3.1 Azioni trasmesse dall'impalcato

#### 7.3.2 Pesì propri e sovraccarichi permanenti

La determinazione analitica dei pesi propri e dei carichi permanenti dell'impalcato, è stata fatta sulla base dei grafici di progetto della campata tipo a travi incorporate.

Di seguito si riportano sinteticamente i dati rilevanti ai fini della progettazione della spalla.

Peso proprio carpenteria metallica	-994	kN
Peso proprio cls in opera	-3394	kN
Peso permanenti portati	-2102	kN
Peso totale impalcato L=12.20 m	-6489	kN
Peso totale sulla spalla.	-3245	kN

#### 7.3.3 Sovraccarichi verticali da traffico

Così come descritto nel paragrafo 4 attraverso l'utilizzo del programma agli elementi finiti Sap2000, è stato possibile risalire alle disposizioni dei carichi mobili che generano le massime sollecitazioni sulle spalle.

Per la spalla A (spalla mobile) le disposizioni dei carichi sono:

**Condizione 1-** un treno di carico LM71 disposto con la minima eccentricità all'interno della curva, e un treno SW/2 disposto con la massima eccentricità all'esterno della curva ( $N_{max}$ ,  $T_{tmax}$ ).

**Condizione 2-** un solo treno SW/2 disposto con la massima eccentricità all'esterno della curva ( $M_{Tmax}$ );

Per la spalla B (spalla fissa) le disposizioni dei carichi sono:

**Condizione 1-** un treno di carico LM71 disposto con la minima eccentricità all'interno della curva, e un treno SW/2 disposto con la massima eccentricità all'esterno della curva ( $N_{max}$ ,  $T_{Tmax}$ ,  $T_{Lmax}$ ).

**Condizione 2-** un solo treno SW/2 disposto con la massima eccentricità all'esterno della curva ( $M_{Tmax}$ );

Per il solo modello di carico LM71 è stato considerato il coefficiente di adattamento dei carichi verticali  $\alpha=1.1$  e una eccentricità aggiuntiva di 8 cm.

Si fa notare che il coefficiente dinamico  $\phi_3$  per le spalle è stato assunto pari ad 1, così come specificato al p.to 1.4.2.3. della istruzione Italferr n°I/SC/PS-OM/2298 del 2 giugno 1995.

#### 7.3.4 Avviamento e frenatura

Si considera a vantaggio di sicurezza che il 100% delle azioni di frenatura e avviamento agiscano su una o sull'altra spalla.

A seconda della condizione di carico esaminata, si considera o il singolo treno di carico con la massima azione di frenatura o avviamento, oppure nel caso di due treni, un treno in frenata ed uno in avviamento. Tali azioni longitudinali sono state considerate con verso concorde a quello della spinta del rilevato ed hanno i seguenti valori:

Treno LM71

Avviamento:  $Q_{la,k}=33 \times 14.20 = \pm 468.6$  KN

Frenatura:  $Q_{lb,k}=20 \times 14.20 = \pm 284$  KN

Treno SW/2

Avviamento:  $Q_{la,k}=33 \times 14.20 = \pm 468.6$  KN

Frenatura:  $Q_{lb,k}=35 \times 14.20 = \pm 497$  KN



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	27 di 75

### 7.3.5 Azione centrifuga

Come detto, le spalle si trovano in tracciato rettilineo pertanto l'azione centrifuga risulta nulla.

### 7.3.6 Serpeggio

Valore caratteristico azione di serpeggio  $Q_{s,k} = 100$  KN

Eccentricità rispetto al centro di rotazione appoggi  $e = 1,53$  m

Le azioni agenti in asse all'impalcato sono:

Condizione di carico 1:  $q_y = 14.08$  kN/m  $m_x = -18.03$  kNm/m

Condizione di carico 2:  $q_y = 7.07$  kN/m  $m_x = -9.01$  kNm/m

### 7.3.7 Azione del vento

Essendo la superficie dell'impalcato carico pari a 7.63 (6.0+1.63) mq/m e considerando una pressione del vento pari a 2.50 kN/mq, le azioni agenti in asse all'impalcato essendo il braccio pari a 4.20 sono:

Condizione di carico 1-2:  $q_y = 20.44$  kN/m  $m_x = -85.8$  kNm/m

### 7.3.8 Resistenze parassite dei vincoli

Considerando un coefficiente di attrito dei vincoli pari a 0.06, si ottiene:

resistenze parassite a ponte scarico:  $H = \pm 0.06 \times 3245 = \pm 194.7$  kN

resistenze parassite a ponte carico: condizione di carico 1-  $H=34$  kN

condizione di carico 2-  $H=114$  kN

### 7.3.9 Azioni sismiche

Si esegue il calcolo delle azioni sismiche agenti sulla spalla in osservanza della procedura di cui al p.to B.4 (analisi statica) dell'istruzione FS 44/b.

Grado di similitudine	$S=$	6
Coefficiente di intensità sismica	$C=$	0.04
Coefficiente di risposta	$R=$	1
Coefficiente di importanza	$I=$	1
Coefficiente di fondazione	$\varepsilon=$	1
Coefficiente di struttura appoggi	$\beta_{app}=$	2.5
Coefficiente di struttura spalle $0.8*\beta$	$\beta_{sp}=$	2
Coefficiente sismico verticale	$m=$	2

#### Masse strutturali impalcato

<b>Peso proprio impalcato</b>	$P_1=$	4387kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v=$	0m
Eccentricità vert. rispetto sottotrave	$e'_v=$	0.35m

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	29 di 75

Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_0 =$	0m
<b>Sovraccarichi permanenti</b>	$P_2 =$	2102kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_{v2} =$	1.14m
Eccentricità vert. rispetto sottotrave	$e'_{v2} =$	1.49m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_{02} =$	0m
<b>Peso treno sismico</b>	$q_t =$	80kN/m
Coefficiente di contemporaneità	$s =$	1.5
Peso treni sismici	$q = s * q_t =$	120kN/m
Peso totale convenzionale treni sismici	$Q =$	1704kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v =$	3.28m
Eccentricità vert. rispetto al sottotrave	$e'_{v} =$	3.63m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_0 =$	1.08m
Totale pesi sismici impalcato	$W = P_1 + P_2 + Q =$	8193kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v =$	0.97m
Eccentricità vert. rispetto al sottotrave	$e'_{v} =$	1.32m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_0 =$	0m

**Forze orizzontali longitudinali sismiche**

Impalcato	$F_h = C * R * I * \epsilon * \beta_{sp} * W =$	0.080W
-----------	---	--------

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	30 di 75

Forza orizzontale longitudinale sismica  $f_h = 46.2 \text{ kN/m}$

Momento flettente rispetto al baricentro impalcato  $m_{Fh} = 44.99 \text{ kNm/m}$

Momento flettente rispetto al sottotrave  $M_{Fh} = 868 \text{ kNm}$

**Forze orizzontali longitudinali sismiche- Azioni trasmesse dagli appoggi**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	655	0	67	0	0	147
Spalla mobile	0	0	67	0	0	0

**Forze orizzontali trasversali sismiche**

Impalcato  $F_h = C * R * I * \epsilon * \beta_{sp} * W = 0,080 W$

Forza orizzontale longitudinale sismica  $f_h = 46,2 \text{ kN/m}$

Momento torcente rispetto al baricentro impalcato  $m_{Fh} = 44,99 \text{ kNm/m}$

Momento torcente rispetto al sottotrave  $M_{Fh} = 868 \text{ kNm}$

**Forze orizzontali trasversali sismiche- Azioni trasmesse dagli appoggi**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	31 di 75

Spalla fissa	0	328	0	434	0	0
Spalla mobile	0	328	0	434	0	0

**Forze verticali sismiche**

Impalcato

$$F_h = m \cdot C \cdot I \cdot W =$$

0,080 W

Forza orizzontale longitudinale sismica

$$f_h = 46,2 \text{ kN/m}$$

**Forze verticali sismiche sisma verso il basso- Azioni trasmesse dagli appoggi**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	0	-328	0	0	0
Spalla mobile	0	0	-328	0	0	0

**AZIONI SISMICHE SULLE SPALLE**

**Sisma longitudinale verso l'impalcato + verticale**

TESTA MURO	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	-655	0	-261	0	0	147
Spalla mobile	0	0	-261	0	0	0

**Sisma trasversale verso l'esterno curva + verticale**



TESTA MURO	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	328	-328	434	0	0
Spalla mobile	0	328	-328	434	0	0

**AZIONI CONTEMPORANEE AL SISMA**

**Pesi propri e sovraccarichi permanenti**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	0	-3245	0	0	0
Spalla mobile	0	0	-3245	0	0	0

**Sovraccarico verticale sismico**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	0	-552	842	0	0
Spalla mobile	0	0	-552	842	0	0

**Forza di frenatura sismica**

Peso totale convenzionale treni sismici

$Q = 1704 \text{ kN}$

Forza di frenatura totale

$= 170,4 \text{ kN}$

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL.1100 002	A	33 di 75

Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione  $e_v = 1,28$  m

Eccentricità vert. rispetto al sottotrave  $e'_v = 1,63$  m

Momento flettente rispetto al sottotrave  $M(q_l, k) = 277,75$  kNm

<b>Forza di frenatura sismica</b>						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	170	0	21	0	0	184
Spalla mobile	0	0	21	0	0	0

**Forza centrifuga sismica (50%)**

Lunghezza del binario caricata  $L = 14,2$  m

Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione  $e_v = 3,08$  m

Eccentricità vert. rispetto al sottotrave  $e'_v = 3,43$  m

Velocità  $V = 200$  km/h

Fattore di riduzione  $f = 1$

Valore caratteristico forza centrifuga  $= 0,00$  kN/m

Momento torcente equivalente distribuito  $m = 0,00$

<b>Forza centrifuga sismica</b>						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	34 di 75

Spalla fissa	0	0	0	0	0	0
Spalla mobile	0	0	0	0	0	0

**CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE PER LE SPALLE**

<b>SPALLA FISSA</b>						
<b>Sisma longitudinale verso l'impalcato + verticale</b>						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	826	0	4335	842	0	331
Base muro	2823	0	6791	842	9505	331
Testa pali	3952	0	10396	842	17437	331
<b>Sisma longitudinale verso l'impalcato - verticale</b>						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	826	0	3681	842	0	331
Base muro	2823	0	6136	842	9341	331
Testa pali	3952	0	9741	842	16782	331

**Sisma trasversale verso l'esterno della curva + verticale**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	170	328	4403	1277	0	429
Base muro	2167	328	6858	2928	6218	429
Testa pali	3296	328	10463	3420	13217	675

**Sisma trasversale verso l'esterno della curva - verticale**

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	170	328	3748	1277	0	429
Base muro	2167	328	6202	2928	6055	429
Testa pali	3296	328	9808	3420	12562	675

**7.3.10 AZIONI TRASMESSE DAL RILEVATO**

Per il calcolo della spalla si utilizzerà un valore del sovraccarico sul rilevato pari a  $40 \text{ kN/m}^2$  per le condizioni di esercizio e  $20 \text{ kN/m}^2$  per le condizioni sismiche; circa i parametri geotecnici attribuiti al terreno a tergo della spalla, si assumerà un peso di volume pari a  $18 \text{ kN/m}^3$  e un angolo di attrito interno pari a  $35^\circ$ .

In considerazione della mole del manufatto che, di fatto, tende ad annullare le deformazioni orizzontali, le spinte geostatiche sono calcolate utilizzando il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ .

**PARAMETRI SISMICI**

Grado di sismicità		S=	6
Coefficiente di intensità sismica		C=	0,04
Parametri geometrici muro		$\beta=$	0 °
		$\varepsilon=$	0 °
Coefficiente di risposta			
Coefficiente di importanza			
Coefficiente di fondazione			
Coefficiente di struttura appoggi		$\beta_{app}=$	2,5
Coefficiente di struttura spalle	=0.8*2.5	$\beta_{sp}=$	2

**PARAMETRI DI CALCOLO SPALLA B (spalla fissa)**

Distanza asse giunto spalla-asse pila	14,2 m
Interasse appoggi campata	13 m
Peso impalcato	3245 kN
Distanza filo esterno muro-asse appoggi	0,5 m
Ecc. orizz. Asse appoggi baricentro fondazione	1 m
Ecc. orizz. Asse appoggi centro muro	0,25 m
Ecc. verticale asse appoggi-imposta fondazione	6,54 m
Ecc. verticale asse appoggi-spiccato muri	5,04 m

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	37 di 75

Distanza estradosso pulvino-intradosso trave	0,2 m	
Distanza intradosso trave-p.f.	1,63 m	
Distanza intradosso trave-asse impalcato	0,35 m	
Distanza intradosso trave-centro di rotazione appoggi	0,1 m	
Altezza struttura impalcato	0,82 m	
Larghezza spalla	12,54 m	
Altezza spalla	5,79 m	
Altezza muro frontale	4,84 m	
Spessore muro frontale	1,5 m	
Eccentricità muro frontale rispetto al baricentro fondazione	0,75 m	
Altezza muretto paraghiaia	0,95 m	
Spessore paraghiaia	0,6 m	
Spessore pulvino	0,9 m	
Eccentricità muro paraghiaia rispetto al baricentro fondazione	0,3 m	
Lunghezza muro di risvolto	2,5 m	
Altezza muro di risvolto 1° tratto	0 m	
Spessore muro di risvolto 1° tratto	0,00 m	
Altezza muro di risvolto 2° tratto	0 m	
Spessore muro di risvolto 2° tratto	0,00	0
Altezza muro di risvolto 3° tratto	0 m	

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100.002	A	38 di 75

Spessore muro di risvolto 3° tratto	0 m
Eccentricità long. muri di risvolto rispetto al baricentro fondazione	-1,25 m
Dimensione longitudinale fondazione	5 m
Dimensione trasversale fondazione	12,54 m
Altezza fondazione	1,50 m
Volume rinterro	0 m <sup>3</sup>
Ecc. rinterro rispetto baricentro fondazione	-1,25 m
Peso di volume terreno di rinterro	18 kN/mc
Peso fondazione	2351,25 kN
Peso muro frontale	2276 kN
Peso muro paraghiaia	179 kN
Peso muri di risvolto	0 kN
Peso terreno di rinterro	0 kN
Peso sovraccarico sul rilevato a tergo della spalla	1254 kN
Peso impalcato	3245 kN
<i>Peso totale all'imposta fondazione (escluso impalcato)</i>	6060 kN
<i>Momento flettente totale all'imposta fondazione (escluso impalcato)</i>	193 kNm

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	39 di 75

<i>Peso totale all'imposta fondazione (incluso impalcato)</i>			9305	kN
<i>Momento flettente totale all'imposta fondazione (incluso impalcato)</i>			3438	kNm
<i>Peso totale allo spiccato muro (escluso impalcato)</i>			2455	kN
<i>Momento flettente totale allo spiccato muro (escluso impalcato)</i>			-80	kNm
<i>Peso totale allo spiccato muro (incluso impalcato)</i>			5699	kN
<i>Momento flettente totale allo spiccato muro (incluso impalcato)</i>			731	kNm
Angolo di attrito terreno di rinterro			35	°
Coefficiente di spinta attiva	$K_a$		0,271	
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0$		0,426	
Sovraccarico sul rilevato in condizioni statiche			40	kN/mq
Sovraccarico sul rilevato in condizioni sismiche			20	kN/mq
Spinta geostatica all'imposta fondazione ( $K_a$ )			1625	kN
Spinta geostatica all'imposta fondazione ( $K_0$ )			2558	kN
Ecc. spinta geostatica rispetto all'imposta fondazione			2,43	m
Spinta sovraccarico statico all'imposta fondazione ( $K_0$ )			746	kN



**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	40 di 75

Ecc. spinta sovraccarico statico rispetto all'imposta fondazione	3,65	m
Spinta sovraccarico sismico all'imposta fondazione (Ka)	237	kN
Ecc. spinta sovraccarico sismico rispetto all'imposta fondazione	3,65	m
Spinta geostatica allo spiccato muri (K <sub>0</sub> )	1613	kN
Ecc. spinta geostatica rispetto allo spiccato muri	1,93	m
Spinta sovraccarico statico allo spiccato muri (K <sub>0</sub> )	593	kN
Ecc. spinta sovraccarico statico rispetto allo spiccato muri	2,90	m
Spinta sovraccarico sismico allo spiccato muri (Ka)	188	kN
Ecc. spinta sovraccarico sismico rispetto allo spiccato muri	2,90	m
$\theta = \arctan C =$	1,15	°
$\varepsilon' = \varepsilon + \theta =$	1,15	°
$\beta' = \beta + \theta =$	1,15	°
A =	1,000	
Ka' =	0,29	
Spinta F' (e', β') all'imposta della fondazione	1739	kN
Spinta sismica F <sub>s</sub> all'imposta fondazioni A*F' =	1739	kN
Incremento di spinta sismica all'imposta della fondazione ΔF = F <sub>s</sub> - F =	114	kN
Eccentricità incremento di spinta sismica all'imposta fondazione	4,86	m
Spinta geostatica allo spiccato muro F(Ka)	1025	kN

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	41 di 75

Spinta $F'$ ( $e', \beta'$ ) allo spiccato muri	1097	kN
Spinta sismica $F_s$ allo spiccato muro $A \cdot F' =$	1097	kN
Incremento di spinta sismica allo spiccato muro $\Delta F = F_s - F =$	72	kN
Eccentricità incremento di spinta sismica allo spiccato muri	3,86	m
<b>Spinta statica totale all'imposta fondazione</b>	<b>3304</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente statico totale all'imposta fondazione</b>	<b>7367</b>	<b>kNm</b>
<b>Spinta statica totale allo spiccato muri</b>	<b>2206</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente statico totale allo spiccato muri</b>	<b>4829</b>	<b>kNm</b>
<b>Spinta sismica totale all'imposta fondazione</b>	<b>2908</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente sismico totale all'imposta fondazione</b>	<b>6848</b>	<b>kNm</b>
<b>Spinta sismica totale allo spiccato muri</b>	<b>1873</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente sismico totale allo spiccato muri</b>	<b>3936</b>	<b>kNm</b>
Forza d'inerzia muro frontale	91	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	3,92	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	2,42	m

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	42 di 75

Forza d'inerzia muro paraghiaia	7	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	6,82	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	5,32	m
Forza d'inerzia muri di risvolto	0	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	0,00	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	0,00	m
Forza d'inerzia terreno di rinterro	0	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	4,40	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	2,90	m
Forza d'inerzia zattera di fondazione	94	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	0,75	m
Forza d'inerzia sovraccarico sismico	25	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	7,29	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	5,79	m
<b>Forza d'inerzia totale all'imposta fondazione</b>	<b>217</b>	<b>kN</b>



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	43 di 75

**Momento flettente forza d'inerzia rispetto all'imposta fondazione** 659 kNm

**Forza d'inerzia totale allo spiccato muri** 123 kN

**Momento flettente forza d'inerzia rispetto allo spiccato muri** 404 kNm

## 7.4 calcolo delle SOLLECITAZIONI

Di seguito si riporta il calcolo completo delle azioni agenti sulla spalla ai fini del calcolo delle massime sollecitazioni trasmesse alla fondazione.

### 7.4.1 Condizioni di esercizio

Simultaneità delle azioni da traffico					
Tipo di carico	Azioni verticali		Azioni orizzontali		
	Carico	Treno	Frenatura	Centrifuga	Serpeggio
	Verticale	scarico	Avviamento		
gr.1	1		0,5	1	1
gr.2		1	0	1	0,5
gr.3	1		1	0,5	0,5
gr.4	0,8		0,5	1	1
gr.5	0,5		0,5	0,5	1
gr.6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Disposizione 1 ( $N_{max}$ ),  $T_{L,max}$ ,  $T_{T,max}$  SW/2 massima ecc. esterno curva, LM71 minima ecc. interno curva

SPALLA FISSA CONDIZIONE 1

Azione	N [kN]	$T_L$ [kN]	$T_T$ [kN]	$M_T$ [kNm]	$M_L$ [kNm]
Verticali mobili	-2674	0	0	121	0
Azione centrifuga	0	0	0	0	0
Serpeggio	0	0	100	189	0
Avviamento e Frenatura	137	-1210	0	0	0

F  
P

FCENT1

FSERP1

FAVV/FRE1

FVENTO

SPALLA FISSA CONDIZIONE 1

Gruppi	N [kN]	$T_L$ [kN]	$T_T$ [kN]	$M_T$ [kNm]	$M_L$ [kNm]
gr.1	-2605	-605	100	310	0
gr.2	0	0	50	94	0
gr.3	-2537	-1210	50	216	0
gr.4	-2070	-605	100	286	0
gr.5	-1268	-605	100	249	0
gr.6	-2029	-968	80	248	0

**Disposizione 2 ( $M_{Tmax}$ ) SW/2 massima ecc. esterno curva**

**SPALLA FISSA CONDIZIONE 2**

Azione	N [kN]	$T_L$ [kN]	$T_T$ [kN]	$M_T$ [kNm]	$M_L$ [kNm]
Verticali mobili	-1337	0	0	2670	0
Azione centrifuga	0	0	0	0	0
Serpeggio	0	0	50	94	0
Avviamento e Frenatura	71	-623	0	0	0

FM  
2

FCENT2

FSERP2

FAVV/FRE2

FVENTO

**SPALLA FISSA CONDIZIONE 2**

Gruppi	N [kN]	$T_L$ [kN]	$T_T$ [kN]	$M_T$ [kNm]	$M_L$ [kNm]
gr.1	-1301	-312	50	2764	0
gr.2	0	0	25	47	0
gr.3	-1266	-623	25	2717	0
gr.4	-1034	-312	50	2230	0
gr.5	-633	-312	50	1429	0
gr.6	-1013	-498	40	2211	0

**Combinazioni delle azioni per il metodo delle Tensioni Ammissibili**

COMBINAZIONE	AZIONE					
	Gk	Ik	Qk	Tk	Wk	Ak
TA1	1	1	1	0,6	0,6	0
TA2	1	1	0,8	1	0,6	0
TA3	1	1	0	0,6	1	0
TA4	0,75	1	0,7	0,4	0,4	1
TA5	1	1	1	0,6	0,5	0

**AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

SPALLA FISSA CONDIZIONE 1					
TA1	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
gr.1	-5850	-639	184	574	0
gr.2	-3245	-34	134	358	0
gr.3	-5781	-1245	134	480	0
gr.4	-5315	-639	184	550	0
gr.5	-4513	-639	184	513	0



**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	48 di 75

TA2	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
gr.1	-5329	-518	164	512	0
gr.2	-3245	-34	124	340	0
gr.3	-5274	-1003	124	437	0
gr.4	-4901	-518	164	493	0
gr.5	-4259	-518	164	463	0
TA3	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
	-3245	-34	140	440	0
TA4	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
gr.1	-4257	-458	126	393	0
gr.2	-2434	-34	91	242	0
gr.3	-4209	-882	91	327	0
gr.4	-3883	-458	126	376	0
gr.5	-3321	-458	126	351	0
TA5	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
gr.6	-5274	-1003	150	468	0

**SPALLA FISSA CONDIZIONE 2**

TA1	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
-----	--------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	49 di 75

gr.1	-4546	-346	134	3028	0
gr.2	-3245	-34	109	311	0
gr.3	-4511	-657	109	2981	0
gr.4	-4279	-346	134	2494	0
gr.5	-3878	-346	134	1693	0
<b>TA2</b>	<b>N [kN]</b>	<b>T<sub>L</sub> [kN]</b>	<b>T<sub>T</sub> [kN]</b>	<b>M<sub>T</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>L</sub> [kNm]</b>
gr.1	-4286	-283	124	2476	0
gr.2	-3245	-34	104	302	0
gr.3	-4257	-533	104	2438	0
gr.4	-4072	-283	124	2048	0
gr.5	-3751	-283	124	1408	0
<b>TA3</b>	<b>N [kN]</b>	<b>T<sub>L</sub> [kN]</b>	<b>T<sub>T</sub> [kN]</b>	<b>M<sub>T</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>L</sub> [kNm]</b>
	-3245	-34	140	440	0
<b>TA4</b>	<b>N [kN]</b>	<b>T<sub>L</sub> [kN]</b>	<b>T<sub>T</sub> [kN]</b>	<b>M<sub>T</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>L</sub> [kNm]</b>
gr.1	-3344	-252	91	2111	0
gr.2	-2434	-34	73	209	0
gr.3	-3320	-470	73	2078	0
gr.4	-3157	-252	91	1737	0
gr.5	-2877	-252	91	1177	0

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	50 di 75

TA5	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
gr.6	-4257	-533	110	2431	0

**SPALLA FISSA combinazioni di carico più gravose**

comb.	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
N <sub>max</sub>	-5850	-639	184	574	0
M <sub>Tmax</sub>	-4546	-346	134	3028	0
T <sub>Lmax</sub>	-5781	-1245	134	480	0
T <sub>Tmax</sub>	-4513	-639	184	513	0
e <sub>max</sub>	-4546	-346	134	3028	0
Ver. Fess.	-5274	-1003	150	468	0
	-4257	-533	110	2431	0

**Sollecitazioni a ponte scarico e in presenza di vento**

comb.	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
N <sub>min</sub>	-3245	14	140	440	0

**Sollecitazioni testa pali spalla FISSA**

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	51 di 75

comb.	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]	M <sub>t</sub> [kNm]
N <sub>max</sub>	11910	3943	184	574	17592	46
M <sub>Tmax</sub>	10606	3649	134	3028	14367	926
T <sub>Lmax</sub>	11841	4548	134	480	21481	33
T <sub>Tmax</sub>	10573	3943	184	513	16255	46
e <sub>max</sub>	10606	3649	134	3028	14367	33
N <sub>min</sub>	9305	3318	140	440	10898	35
Sisma Long.+Vert	10396	3952	0	842	17437	331
Sisma Long.-Vert	9741	3952	0	842	16782	331
Sisma Trasv.+Vert	10463	3296	328	3420	13217	675
Sisma Trasv.- Vert	9808	3296	328	3420	12562	675
Ver. Fess.	11334	4306	150	468	19391	38
	10317	3836	110	2431	15301	27

## 7.5 VERIFICHE DI RESISTENZA

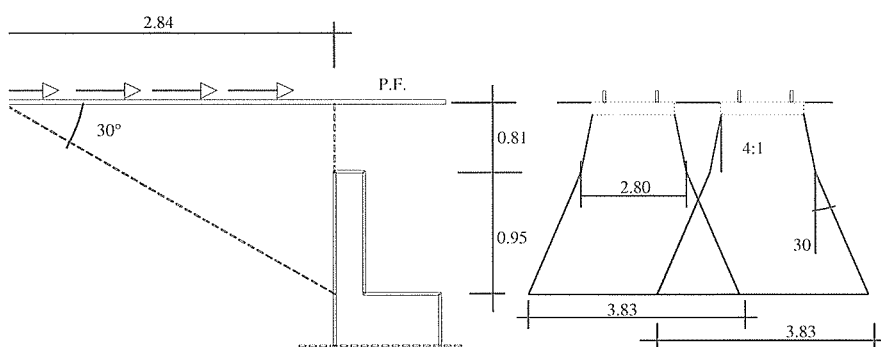
Le sollecitazioni nei vari elementi strutturali che compongono la spalla sono determinate utilizzando modelli di calcolo parziali semplificati muniti di opportuni sistemi di vincolo alle strutture adiacenti, in modo da coglierne il comportamento statico reale.

Le sottostrutture considerate sono il muro frontale, la zattera di fondazione, il muretto paraghiaia.

Le azioni agenti sono, oltre ai pesi propri, le spinte orizzontali (geostatiche o dovute ai sovraccarichi sul rilevato), gli incrementi di spinta sismici, le forze d'inerzia e le azioni trasmesse dalle strutture adiacenti.

### 7.5.1 Sollecitazioni e verifiche nel muretto paraghiaia

#### *Frenatura e avviamento*



Assumendo che l'azione di frenatura e/o avviamento si ripartisca nel terreno a 30°, la lunghezza di binario che genera azione orizzontale sulla trave paraghiaia risulta:  $L = (0.81 + 0.95) / \text{tg}(30) = 2.51$  m.

Ipotizzando la contemporanea presenza di due treni LM71 e SW/2 sul rilevato in frenata e/o avviamento, l'azione orizzontale totale sulla paraghiaia vale  $F = (35 + 33) * 2.51 = 171$  kN/m.

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	53 di 75

Le zone di paraghiaia interessate dalle singole azioni orizzontali sono determinate diffondendo i carichi trasmessi dalla traversa (2.40m) nel ballast nel rapporto 4:1, le sollecitazioni alla base del paraghiaia sono:

frenatura:  $T=25.35 \text{ kN/m}$ ;  $M=12.04 \text{ kNm/m}$

avviamento:  $T=23.90 \text{ kN/m}$ ;  $M=11.35 \text{ kNm/m}$

Essendo l'interasse tra i binari circa 4 m vi è sovrapposizione, le sollecitazioni risultano dunque:

$T=49.25 \text{ kN/m}$ ;  $M=23.40 \text{ kNm/m}$

*Peso del terreno e sovraccarico sul rilevato*

Spinta a riposo del terreno sul muretto paraghiaia	3.46	kN/m
Distanza rispetto alla base del paraghiaia	0.32	m
Momento rispetto alla base del paraghiaia	1.10	kNm/m
Spinta del sovraccarico sul rilevato	16.20	kN/m
Distanza rispetto alla base del paraghiaia	0.475	m
Momento rispetto alla base del paraghiaia	7.70	kNm/m
Sforzo normale alla base del muretto paraghiaia	23.97	kN/m

Le sollecitazioni di verifica nella sezione di base del muretto paraghiaia sono:

**$N=23.97 \text{ kN/m}$ ;  $T=68.92 \text{ kN/m}$ ;  $M=32.19 \text{ kNm/m}$**

Disponendo posteriormente  $\phi 16/10$  con  $c=6.6 \text{ cm}$  e anteriormente  $\phi 16/20$  con  $c=6.5 \text{ cm}$ , si ottiene:

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	54 di 75

B=100 cm

H=60 cm

$\sigma_c=0.72$  MPa ;       $\sigma_f=24.8$  MPa;  $\tau=0.13$  MPa

*Verifica a fessurazione*

Per la verifica fessurazione si riducono i carichi secondo i coefficienti indicati dalla normativa: in particolare si riducono del 40% le azioni dovute a traffico ferroviario.

Le per la verifica a fessurazione nella sezione di base del muretto paraghiaia sono:

**N=23.97 kN/m;**                      **T=59.07 kN/m;**                      **M=27.51 kNm/m**

Dalla verifica a fessurazione la sezione risulta non fessurata ( $W_k = 0$  mm).

**7.5.2 Sollecitazioni e verifiche nel muro frontale**

Per il muro frontale si è utilizzato un modello resistente a mensola semplice incastrata alla base, che per il dimensionamento delle armature verticali è sicuramente a vantaggio di sicurezza, andando a trascurare l'effetto piastra dovuto alla presenza dei muri di risvolto.

Per entrambi le spalle si dispongono in zona tesa  $1\phi22/10+1\phi22/20$  con copriferro  $c=6$ cm e 11 cm, e in zona compressa  $1\phi18/20$  con copriferro  $c=6$ cm.

Le verifiche nella sezione di spiccato per le varie combinazioni di carico forniscono i seguenti risultati:

<b>Sollecitazioni base muro</b>
---------------------------------

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	55 di 75

comb.	N [kN]	T [kN]	M [kNm]	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_f$ (MPa)	$\tau$ (MPa)
$N_{max}$	662	227	752			
$M_{Tmax}$	558	203	608			
$T_{Lmax}$	657	275	994	3.9	128	0.21
$T_{Tmax}$	556	227	726			
$e_{max}$	558	203	608			
$N_{min}$	454	177	449			
<b>Sisma Long.+Vert</b>	542	225	758			
<b>Sisma Long.-Vert</b>	489	225	745			
<b>Sisma Trasv.+Vert</b>	547	173	496			
<b>Sisma Trasv.-Vert</b>	495	173	483			
	0	0	0	$S_m$ (mm)	$W_m$ (mm)	$W_k$ (mm)
<b>Ver. Fess.</b>	616	256	887	<b>Le verifiche a a fessurazione sono soddisfatte</b>		
	535	218	678			

### 7.5.3 Sollecitazioni e verifiche nel plinto di fondazione

Le sollecitazioni sulla zattera di fondazione sono state determinate utilizzando un modello di calcolo di piastra rigida appoggiata in corrispondenza del muro frontale, e caricata dalle ragioni dei pali di fondazione, dal peso proprio e dal peso del terreno.





POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	56 di 75

A vantaggio di sicurezza si considera per i pali la massima reazione pari a 3251 kN

Le sollecitazioni massime si hanno in direzione longitudinale, si dispongono in zona tesa  $1\phi 22/10$ , e in zona compressa  $1\phi 18/20$  con  $c=6\text{cm}$ , nelle zone maggiormente sollecitate si dispongono in 2<sup>a</sup> fila  $1\phi 20/20$  aggiuntivi.

*Verifica di resistenza nella sezione maggiormente sollecitata*

$B=1.00\text{ m}$ ;  $H=1.50\text{ m}$

$M= 1500\text{ kN m/m}$

$\sigma_c = 5.5\text{ MPa}$

$\sigma_f = 219\text{ MPa}$

*Verifica a fessurazione*

$M= 1500\text{ kN m/m}$

$S_m=142.3\text{ mm}$

$W_m=0.0516\text{ mm}$

$W_k=0.0877\text{ mm}$

#### 7.5.4 Sollecitazioni e verifiche nei pali fondazione

Dalla tabella che riporta le sollecitazioni a quota intradosso plinto (par.7.4.1) sono state ricavate le sollecitazioni massime agenti nei pali di fondazione attraverso una ripartizione rigida.

Di seguito si riporta per la combinazione di carico TA1, che genera il minimo ed il massimo sforzo normale oltre che la massima sollecitazione flettente a testa palo le azioni nei 10 pali che costituiscono la sottofondazione.

Analogamente sono riportate le sollecitazioni nei singoli pali per la combinazione di carico a fessurazione:

Comb. TA1 gr.2 ( $N_{max}$ , $N_{min}$ , $M_{max}$ )			
Palo	N [kN]	T[kN]	M [kNm]
1	-883	455	751
2	-869	455	751
3	-854	455	751
4	-840	455	751
5	-826	455	751
6	3194	455	751
7	3208	455	751
8	3223	455	751
9	3237	455	751
10	3251	455	751

Comb.Fessurazione			
Palo	N [kN]	T[kN]	M [kNm]
1	-763	431	713
2	-748	432	715
3	-733	433	716
4	-719	434	718
5	-704	435	719
6	2971	436	721
7	2985	437	723
8	3000	438	724
9	3015	439	726
10	3030	440	728

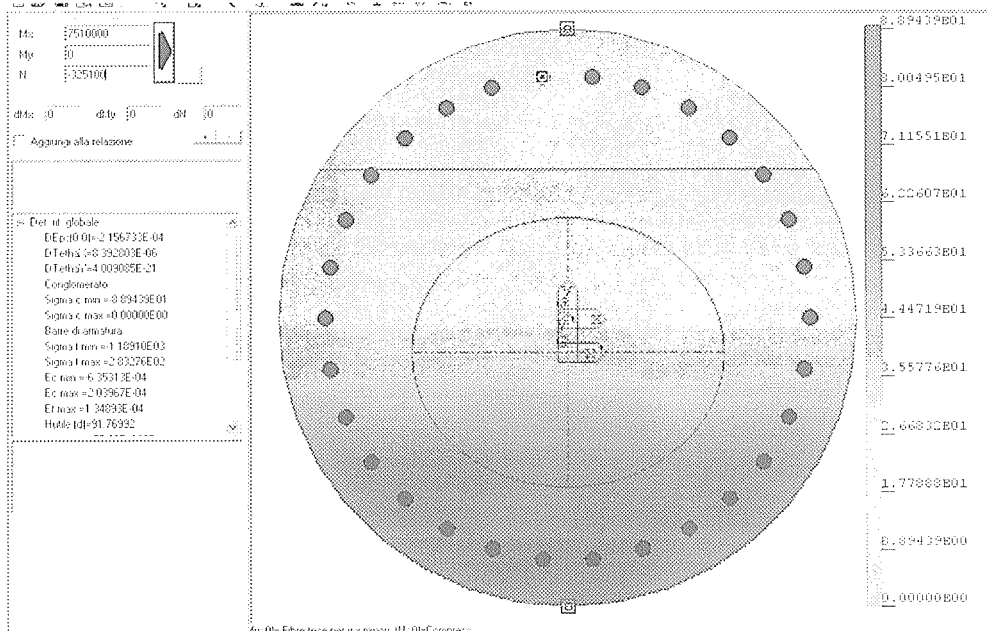
Pertanto le verifiche forniscono i seguenti risultati:

Palo  $\Phi 1000$  armato con  $30\Phi 26$

$N_{max}=3251$  kN ;  $M=751$  kNm ( $\alpha = 1.65$ )

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	58 di 75



$\sigma_c = -8.9 \text{ MPa}$

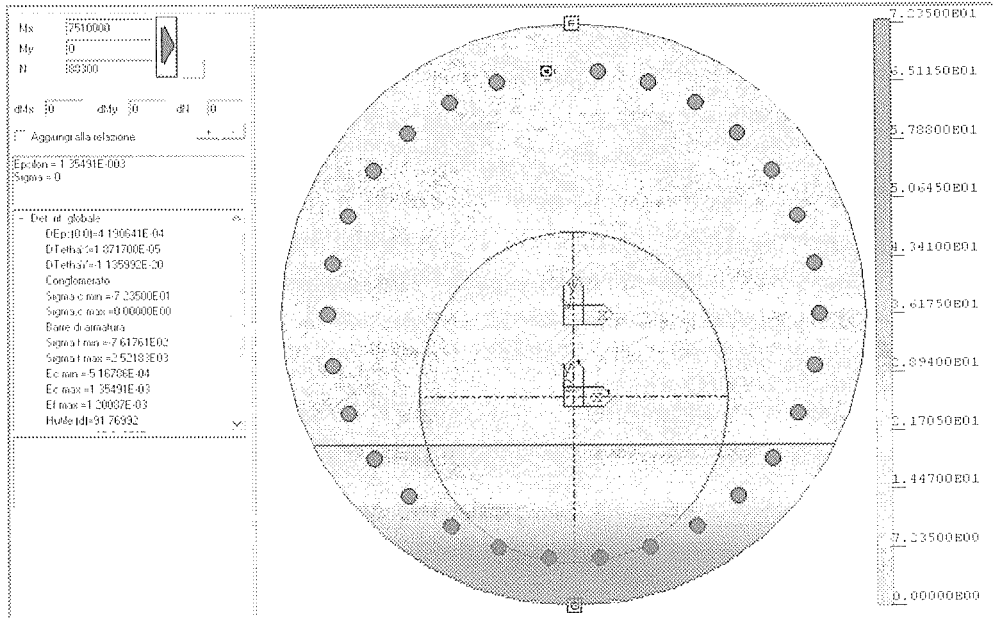
$\sigma_f = -119 \text{ MPa (compressione)}$

Palo  $\Phi 1000$  armato con  $30\Phi 26$

$N_{min} = (-883 + 353) - 530 \text{ kN}$  ;  $M = 751 \text{ kNm}$

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	59 di 75



$$\sigma_c = -7.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 252 \text{ MPa}$$

*Verifica a fessurazione*

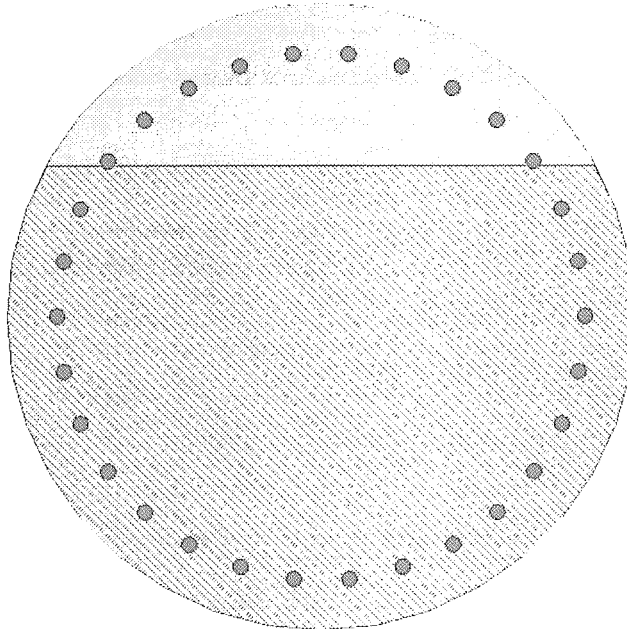
Palo  $\Phi 1000$  armato con  $30\Phi 26$

$N=3030 \text{ kN}$  ;  $M=728 \text{ kNm}$

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	60 di 75

Mx	7280000
My	0
N	-303000
E <sub>r</sub> /E <sub>c</sub>	15
Moli diametro	7.5
Passo [cm]	0.1
Rid. zona testa	0.5
Beta 1	1
Beta 2	0.5
K 1	0.4
K 2	0.125
let	30
let.r	39
<input checked="" type="checkbox"/> DM 96 <input checked="" type="checkbox"/> EC2	
<input type="checkbox"/> Aggiungi alla relazione	
W <sub>kn</sub> = 0.0103 mm	
W <sub>fl</sub> = 1.7 * W <sub>kn</sub> = 0.0183 mm	
S <sub>m</sub> = 134.2 mm	
E <sub>ps</sub> = 0.0000565	
Copulento = 6.5	
Indolteno = 8.8	
Sollecitazioni di taratura	
M <sub>x</sub> = 5360206.1 daNcm	
M <sub>y</sub> = 0.0 daNcm	
N = 289584.2 daNcm	



La sezione risulta verificata ( $W_k = 0.0183$  mm).

## 7.6 Dimensionamento della lunghezza dei pali

Le curve di capacità portante per i pali dell'opera in oggetto sono state definite nella relazione geotecnica generale, a cui si rimanda.

Nella tabella seguente viene indicata:

- o la massima sollecitazione assiale agente sul palo ( $N_{max}$ ), determinata dal calcolo eseguito al paragrafo precedente;
- o la portata ammissibile ( $Q_{amm}$ ) per la lunghezza di palo definitiva di progetto (vedasi relazione geotecnica generale);

da cui si evince che la lunghezza utile di palo definita ( $L_{utile}$ ), soddisfa la verifica di capacità portante.

*Tabella 6.4.a*

	$N_{max}$	$Q_{amm}$	$L_{utile}$
<b>Palo D=1000 mm</b>	[kN]	[kN]	[m]
	3251	3498	<b>18.0</b>

### 7.6.1 Capacita' portante pali

#### Metodologia di calcolo

La valutazione della capacita' portante per un palo e' data dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{LL} / F_{S,L} + Q_{BL} / F_{S,B} - W'_p$$

dove:

$Q_d$  = valore della portate di progetto;

$Q_{LL}$  = portata limite offerta dal contributo laterale;

$Q_{BL}$  = portata limite offerta dal contributo di base;

$W'_p$  = peso efficace del palo;

$F_{S,L}$  = 2.5 fattore di sicurezza relativo al contributo laterale;

$F_{S,B}$  = 2.5 fattore di sicurezza relativo al contributo di base;

La **portata laterale limite** viene valutata attraverso la seguente relazione:

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	62 di 75

$$Q_{LL} = \pi \cdot D \cdot (\tau_{Lim\ i} \cdot H_i)$$

dove:

D = diametro del palo:

$\tau_{Lim\ i}$  = tensione tangenziale limite palo-terreno dello strato i-esimo;

H<sub>i</sub> = spessore dello strato i-esimo

Il valore dell'adesione laterale limite palo-terreno può essere valutata attraverso la seguente relazione:

$$\tau_{lim\ i} = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{i,max} \quad \text{nei terreni coesivi (unità SL)}$$

$$\tau_{Lim\ i} = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{i,max} \quad \text{nei terreni incoerenti (unità GS, SG, G)}$$

dove:

$\alpha$  = coefficiente riduttivo: = 0.9 per  $c_u \leq 25$  kPa; 0.8 per  $25 < c_u \leq 50$  kPa; 0.6 per  $50 < c_u \leq 75$  kPa; 0.4 per  $c_u > 75$  kPa; AGI [1984]).

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata (kPa).

$\sigma'_v$  = pressione verticale efficace geostatica calcolata a partire dal p.c. originario;

$\beta$  = coefficiente empirico, valutato nei terreni incoerenti ghiaioso sabbiosi (unità GS, SG e cautelativamente anche per G) con la metodologia di Reese e o'Neill (1988):  $\beta = 1.5 - 0.245 \cdot z^{0.50}$ , con  $0.25 < \beta < 1.20$  e z = profondità da p.c. (m);

$\tau_{i,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno.  $\tau_{i,max} = 100$  kPa nei terreni coesivi (AGI [1984]); nei terreni incoerenti per pali trivellati:  $\tau_{i,max} = 3 \cdot N_{SPT}$  per  $N_{SPT} < 53$  colpi/30 cm e  $\tau_{i,max} = 142 + 0.32 \cdot N_{SPT} < 150$  kPa per  $N_{SPT} > 53$  colpi/30 cm (Reese & Wright, 1977). I valori di  $N_{SPT}$  considerati sono quelli delle indagini più vicine all'opera.

La **portata di base limite** viene valutata attraverso la seguente relazione:

$$Q_{BL} = A_b \cdot q_b$$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	63 di 75

dove:

$A_b$  = area di base del palo;

$q_b$  = portata specifica di base limite

il valore della portata specifica mobilitabile per un determinato livello di cedimento è fortemente influenzata dalla tecnologia esecutiva, a parità di condizioni geotecniche.

La portata di base limite nei terreni coesivi viene valutata con la seguente relazione:

$$q_b = 9 \cdot c_u \quad [\text{kPa}]$$

dove:

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata [kPa].

La valutazione della capacità limite di base per i terreni granulari è condotta facendo riferimento non più alle condizioni di rottura, bensì riferendosi ad una "portata critica" corrispondente ad una "condizione di servizio limite" basata su considerazioni di cedimenti ammissibili, ed in genere riferita all'insorgere di deformazioni plastiche nei terreni di fondazione. Pertanto, si porrà  $q_b = q_{cr}$ , dove:

$q_{cr}$  = portata critica unitaria di base.

La portata di base critica specifica nei terreni incoerenti viene valutata con la seguente relazione in accordo con le indicazioni di Reese-Wright et al. [1978]:

$$q_{cr} = 67 \cdot N_{SPT} \leq 4000 \quad [\text{kPa}]$$

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite rimangono analoghi a quelli descritti precedentemente. In accordo a quanto discusso in Meyerhof (1976) la portata di base negli strati sabbioso-ghiaiosi andrà abbattuta rispetto a quella caratteristica dello strato supposto omogeneo secondo lo schema indicato in figura seguente.



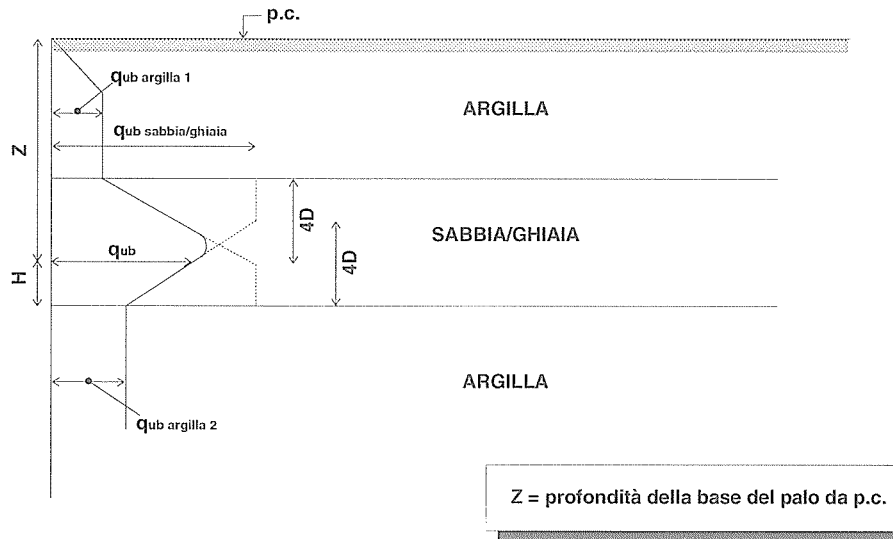


Figura 1: Criterio di valutazione della portata ultima di base in terreni stratificati (Meyerhof, 1976)

### 7.6.2 Capacità portante palo D=1000 mm

Nel seguito si riportano i valori di capacità portante per un palo di diametro  $D=1000$  mm. Nel calcolo è stata assunta la quota testa palo a 2 m dal p.c. locale.

La lunghezza definitiva di palo dovrà essere almeno pari a  $10 D$ .

Si ritiene opportuno definire le geometrie delle palificate in modo da contenere le pressioni massime sul palo per soli carichi verticali a 4.5 MPa.

#### Tabella: portanza palo D=1000mm – SL11

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacità portante palo D=1000 mm

STAMPA capacità portante e relativi contributi

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	65 di 75

Ip	Ql1	Qb1	Wp	Qu	Qd
m	kN	kN	kN	kN	kN
10.00	3382.	1806.	47.	5141.	2028.
10.50	3617.	1806.	49.	5374.	2120.
11.00	3852.	1806.	52.	5607.	2212.
11.50	4088.	1806.	54.	5840.	2304.
12.00	4324.	1806.	57.	6074.	2395.
12.50	4559.	1806.	59.	6307.	2487.
13.00	4795.	1806.	61.	6540.	2579.
13.50	5031.	1806.	64.	6773.	2671.
14.00	5266.	1806.	66.	7007.	2763.
14.50	5502.	1806.	68.	7240.	2855.
15.00	5737.	1806.	71.	7473.	2947.
15.50	5973.	1806.	73.	7706.	3039.
16.00	6209.	1806.	75.	7940.	3131.
16.50	6444.	1806.	78.	8173.	3223.
17.00	6680.	1806.	80.	8406.	3314.
17.50	6916.	1806.	82.	8639.	3406.
18.00	7151.	1806.	85.	8873.	3498.
18.50	7387.	1806.	87.	9106.	3590.
19.00	7622.	1806.	90.	9339.	3682.
19.50	7857.	1806.	92.	9572.	3774.
20.00	8089.	1806.	94.	9801.	3864.
20.50	8318.	1806.	97.	10028.	3953.
21.00	8543.	1806.	99.	10250.	4041.
21.50	8764.	1806.	101.	10469.	4127.
22.00	8981.	1806.	104.	10684.	4211.
22.50	9193.	1806.	106.	10894.	4294.
23.00	9401.	1806.	108.	11099.	4375.
23.50	9603.	1875.	111.	11367.	4480.
24.00	9797.	1944.	113.	11628.	4583.
24.50	9989.	2013.	115.	11886.	4685.
25.00	10182.	2081.	118.	12146.	4788.
25.50	10377.	2150.	120.	12407.	4891.
26.00	10575.	2219.	123.	12671.	4995.
26.50	10774.	2287.	125.	12937.	5100.
27.00	10975.	2356.	127.	13204.	5205.
27.50	11179.	2356.	130.	13405.	5284.
28.00	11384.	2356.	132.	13608.	5364.
28.50	11591.	2356.	134.	13813.	5445.
29.00	11800.	2356.	137.	14020.	5526.
29.50	12011.	2356.	139.	14228.	5608.
30.00	12224.	2356.	141.	14439.	5691.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	66 di 75

-----  
 $I_p$  = Lunghezza utile del palo

$Q_{l1}$  = Portata laterale limite

$Q_{b1}$  = Portata di base limite

$W_p$  = Peso efficace del palo

$Q_u$  = Portata totale limite

$Q_d$  = Portata di progetto =  $Q_{l1}/FS,1 + Q_{b1}/FS,b - W_p$

# **APPENDICE A**

## **TABULATO DI CALCOLO**

### **PORTANZA PALO (*programma PAL*)**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA****TRATTA RHO-GALLARATE****PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO****SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	68 di 75

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit... portante palo D=1000 mm

Quota testa palo da p.c. = 2.00 m

Quota falda da p.c. = 25.00 m

Peso di volume del palo = 6.00 kN/m<sup>3</sup>

Fattore di sicurezza portata laterale = 2.50 (FS,1)

Fattore di sicurezza portata di base = 2.50 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1000. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i" quando la  $Q_{b,i}$  ad esso attribuibile e' superiore a quella degli strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno:  $4.0 * 1.000 = 4.00$  m entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno:  $4.0 * 1.000 = 4.00$  m sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di  $Q_b$  viene assunta lineare dal passaggio di strato

pag./ 3

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit... portante palo D=1000 mm

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato GS' (Incoerente) da .00 a 5.00 m

$G_n = 19.0$  kN/m<sup>3</sup>       $G_e = 9.0$  kN/m<sup>3</sup>

$\tau = \beta * S'v < 90.0$  kPa

$\beta = 1.50 - .245 Z^{.50}$

Z = profondita da piano campagna

$\tau > .25 * S'v$

$\tau < 1.20 * S'v$

$Q_b$  variabile lin. da 1500. a 2000. kPa

Strato GS'' (Incoerente) da 5.00 a 25.00 m

$G_n = 19.0$  kN/m<sup>3</sup>       $G_e = 9.0$  kN/m<sup>3</sup>

$\tau = \beta * S'v < 150.0$  kPa

$\beta = 1.50 - .245 Z^{.50}$

Z = profondita da piano campagna

$\tau > .25 * S'v$

$\tau < 1.20 * S'v$

$Q_b$  variabile lin. da 2300. a 2300. kPa

Strato SG (Incoerente) da 25.00 a 35.00 m

$G_n = 20.0$  kN/m<sup>3</sup>       $G_e = 10.0$  kN/m<sup>3</sup>

$\tau = \beta * S'v < 150.0$  kPa



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
TRATTA RHO-GALLARATE  
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	69 di 75

$$\beta = 1.50 - .245 Z^{.50}$$

Z = profondità da piano campagna

$$\tau > .25 * S'v$$

$$\tau < 1.20 * S'v$$

Q<sub>b</sub> variabile lin. da 3000. a 3000. kPa

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	70 di 75

pag./ 4

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit.. portante palo D=1000 mm

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
GS'	1.00	1.00	-
GS''	1.00	1.00	-
SG	1.00	1.00	-

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni superiori o inferiori dei parametri

pag./ 5

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit.. portante palo D=1000 mm

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
2.00	38.0	38.0	--	1.15	43.8	1700.
2.50	47.5	47.5	--	1.11	52.8	1750.
3.00	57.0	57.0	--	1.08	61.3	1800.
3.50	66.5	66.5	--	1.04	69.3	1850.
4.00	76.0	76.0	--	1.01	76.8	1900.
4.50	85.5	85.5	--	.98	83.8	1950.
5.00	95.0	95.0	--	.95	90.2	2000.
5.50	104.5	104.5	--	.93	96.7	2038.
6.00	114.0	114.0	--	.90	102.6	2075.
6.50	123.5	123.5	--	.88	108.1	2113.
7.00	133.0	133.0	--	.85	113.3	2150.
7.50	142.5	142.5	--	.83	118.1	2188.
8.00	152.0	152.0	--	.81	122.7	2225.
8.50	161.5	161.5	--	.79	126.9	2263.
9.00	171.0	171.0	--	.76	130.8	2300.
9.50	180.5	180.5	--	.74	134.4	2300.
10.00	190.0	190.0	--	.73	137.8	2300.
10.50	199.5	199.5	--	.71	140.9	2300.
11.00	209.0	209.0	--	.69	143.7	2300.
11.50	218.5	218.5	--	.67	146.2	2300.
12.00	228.0	228.0	--	.65	148.5	2300.
12.50	237.5	237.5	--	.63	150.0	2300.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	71 di 75

13.00	247.0	247.0	--	.61	150.0	2300.
13.50	256.5	256.5	--	.58	150.0	2300.
14.00	266.0	266.0	--	.56	150.0	2300.
14.50	275.5	275.5	--	.54	150.0	2300.
15.00	285.0	285.0	--	.53	150.0	2300.
15.50	294.5	294.5	--	.51	150.0	2300.
16.00	304.0	304.0	--	.49	150.0	2300.
16.50	313.5	313.5	--	.48	150.0	2300.

-----



SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	72 di 75

pag./ 6

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit.. portante palo D=1000 mm

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
17.00	323.0	323.0	--	.46	150.0	2300.
17.50	332.5	332.5	--	.45	150.0	2300.
18.00	342.0	342.0	--	.44	150.0	2300.
18.50	351.5	351.5	--	.43	150.0	2300.
19.00	361.0	361.0	--	.42	150.0	2300.
19.50	370.5	370.5	--	.40	150.0	2300.
20.00	380.0	380.0	--	.39	150.0	2300.
20.50	389.5	389.5	--	.39	150.0	2300.
21.00	399.0	399.0	--	.38	150.0	2300.
21.50	408.5	408.5	--	.36	148.7	2300.
22.00	418.0	418.0	--	.35	146.7	2300.
22.50	427.5	427.5	--	.34	144.4	2300.
23.00	437.0	437.0	--	.33	142.0	2300.
23.50	446.5	446.5	--	.31	139.5	2300.
24.00	456.0	456.0	--	.30	136.7	2300.
24.50	465.5	465.5	--	.29	133.7	2300.
25.00	475.0	475.0	--	.27	130.6	2300.
25.50	480.0	485.0	--	.26	126.1	2388.
26.00	485.0	495.0	--	.25	121.6	2475.
26.50	490.0	505.0	--	.25	122.5	2563.
27.00	495.0	515.0	--	.25	123.8	2650.
27.50	500.0	525.0	--	.25	125.0	2738.
28.00	505.0	535.0	--	.25	126.3	2825.
28.50	510.0	545.0	--	.25	127.5	2913.
29.00	515.0	555.0	--	.25	128.8	3000.
29.50	520.0	565.0	--	.25	130.0	3000.
30.00	525.0	575.0	--	.25	131.3	3000.
30.50	530.0	585.0	--	.25	132.5	3000.
31.00	535.0	595.0	--	.25	133.8	3000.
31.50	540.0	605.0	--	.25	135.0	3000.

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	73 di 75

pag. / 7

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit.. portante palo D=1000 mm

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
32.00	545.0	615.0	--	.25	136.3	3000.
32.50	550.0	625.0	--	.25	137.5	3000.
33.00	555.0	635.0	--	.25	138.8	3000.
33.50	560.0	645.0	--	.25	140.0	3000.
34.00	565.0	655.0	--	.25	141.3	3000.
34.50	570.0	665.0	--	.25	142.5	3000.
35.00	575.0	675.0	--	.25	143.8	3000.

zz = Profondita' da piano campagna

S'v = Tensione verticale efficace

Sv = Tensione verticale totale

Cu = Coesione non drenata

Tau = Tensione di adesione laterale limite

qb = Portata di base limite unitaria

**SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	74 di 75

pag./ 8

Linea ferroviaria Rho-Gallarate - SL11

Capacit... portante palo D=1000 mm

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Ip	Ql1	Qb1	Wp	Qu	Qd
m	kN	kN	kN	kN	kN
10.00	3382.	1806.	47.	5141.	2028.
10.50	3617.	1806.	49.	5374.	2120.
11.00	3852.	1806.	52.	5607.	2212.
11.50	4088.	1806.	54.	5840.	2304.
12.00	4324.	1806.	57.	6074.	2395.
12.50	4559.	1806.	59.	6307.	2487.
13.00	4795.	1806.	61.	6540.	2579.
13.50	5031.	1806.	64.	6773.	2671.
14.00	5266.	1806.	66.	7007.	2763.
14.50	5502.	1806.	68.	7240.	2855.
15.00	5737.	1806.	71.	7473.	2947.
15.50	5973.	1806.	73.	7706.	3039.
16.00	6209.	1806.	75.	7940.	3131.
16.50	6444.	1806.	78.	8173.	3223.
17.00	6680.	1806.	80.	8406.	3314.
17.50	6916.	1806.	82.	8639.	3406.
18.00	7151.	1806.	85.	8873.	3498.
18.50	7387.	1806.	87.	9106.	3590.
19.00	7622.	1806.	90.	9339.	3682.
19.50	7857.	1806.	92.	9572.	3774.
20.00	8089.	1806.	94.	9801.	3864.
20.50	8318.	1806.	97.	10028.	3953.
21.00	8543.	1806.	99.	10250.	4041.
21.50	8764.	1806.	101.	10469.	4127.
22.00	8981.	1806.	104.	10684.	4211.
22.50	9193.	1806.	106.	10894.	4294.
23.00	9401.	1806.	108.	11099.	4375.
23.50	9603.	1875.	111.	11367.	4480.
24.00	9797.	1944.	113.	11628.	4583.
24.50	9989.	2013.	115.	11886.	4685.
25.00	10182.	2081.	118.	12146.	4788.
25.50	10377.	2150.	120.	12407.	4891.
26.00	10575.	2219.	123.	12671.	4995.
26.50	10774.	2287.	125.	12937.	5100.
27.00	10975.	2356.	127.	13204.	5205.
27.50	11179.	2356.	130.	13405.	5284.
28.00	11384.	2356.	132.	13608.	5364.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO-GALLARATE

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

SL11 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	SL1100 002	A	75 di 75

28.50	11591.	2356.	134.	13813.	5445.
29.00	11800.	2356.	137.	14020.	5526.
29.50	12011.	2356.	139.	14228.	5608.
30.00	12224.	2356.	141.	14439.	5691.

-----  
Ip = lunghezza utile del palo

Ql1 = Portata laterale limite

Qb1 = Portata di base limite

Wp = Peso efficace del palo

Qu = Portata totale limite

Qd = Portata di progetto =  $Ql1/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$