

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 – INTERFERENZE VIARIE

PROLUNGAMENTO SOTTOVIA AGRICOLO KM 0+771.94-PREGNANA MILANESE  
Relazione di calcolo spalle fondazioni

SCALA:

-

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

MDL1 12 D 26 CL IN0300 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	L. Infante	Nov. 2010			S. Borelli		
B	Recepimento osservazioni Validazione	R. Biasino	Apr. 2011			S. Borelli		



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	2 di 44

## INDICE

1	GENERALITA' .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	NORMATIVE DI CARATTERE GENERALE .....	5
2.2	NORMATIVE SPECIFICHE PER LE STRUTTURE .....	5
2.3	PRINCIPALI NORME ED ISTRUZIONI EMANATE DALLE FERROVIE DELLO STATO .....	6
3	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	7
4	MATERIALI E TASSI DI LAVORO AMMISSIBILI .....	8
5	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA .....	10
6	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	14
7	SOLLECITAZIONI E VERIFICHE NELLE SPALLE .....	20
7.1	PREMESSA .....	20
7.1.1	<i>Descrizione</i> .....	20
7.2	AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO .....	22
7.2.1	<i>Pesi propri e sovraccarichi permanenti</i> .....	22
7.2.2	<i>Sovraccarichi verticali da traffico</i> .....	23
7.2.3	<i>Avviamento e frenatura</i> .....	23
7.2.4	<i>Azione centrifuga</i> .....	24
7.2.5	<i>Serpeggio</i> .....	24
7.2.6	<i>Azione del vento</i> .....	24
7.2.7	<i>Resistenze parassite dei vincoli</i> .....	24
7.2.8	<i>Azioni sismiche</i> .....	25
7.3	AZIONI TRASMESSE DAL RILEVATO .....	29
7.4	SOLLECITAZIONI .....	32

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	3 di 44

7.4.1	Condizioni di esercizio .....	33
7.5	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	36
7.5.1	Sollecitazioni e verifiche nel muretto paraghiaia.....	37
7.5.2	Sollecitazioni e verifiche nei muri di risvolto .....	38
7.5.3	Sollecitazioni e verifiche nel muro frontale.....	40
7.5.4	Sollecitazioni e verifiche nel plinto di fondazione.....	41
7.5.5	Sollecitazioni e verifiche nei pali fondazione .....	41
7.6	DIMENSIONAMENTO DELLA LUNGHEZZA DEI PALI .....	42



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	4 di 44

## 1 GENERALITA'

Oggetto della presente relazione e' il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche di resistenza delle spalle del prolungamento del ponte ferroviario alla progressiva 0+771.94 per il potenziamento della linea Rho-Arona nella tratta Rho – Gallarate.

Trattasi di ponte a doppio binario con luce di 5.33 m e interasse appoggi pari a 6.33 m; la larghezza totale dell'impalcato è pari a 18.14 m in mezzzeria.

L'impalcato sarà realizzato con travi incorporate in un getto di cls, utilizzando 32 profili HEB 400 ad interasse di 51.3 cm; l'altezza massima della sola struttura dell'impalcato è pari a 0.52 m; la distanza tra p.f. e sottotrave è pari a 1,33 m.

Le spalle sono in c.a. ordinario gettato in opera; le fondazioni sono su pali, per i dettagli si rimanda alla relazione descrittiva dell'opera e agli elaborati di progetto.

L'opera ricade in zona sismica con un grado di sismicità S=6.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	5 di 44

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella esecuzione dei calcoli si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi:

### 2.1 Normative di carattere generale

- **Legge 5 Novembre 1971 n° 1086** - "Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- **Legge 2 Febbraio 1974, n°64** – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- **EUROCODICE2 – UNI ENV 1992 -1-1**- Progettazione delle strutture in calcestruzzo.

### 2.2 Normative specifiche per le strutture

- **D.M. Min. LL.PP. 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- **Circolare Min. LL.PP. 24 Settembre 1988 n°30483** – L.2.2.1974, n.64 – art. 1 D.M. 11.3.1988- “Istruzioni 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”;
- **Circolare Min. LL.PP. 14 Febbraio 1974 n°11951** – “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione della Legge 5 novembre 1971 n°1086”;
- **D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996** – “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- **Circolare Min. LL.PP. 4 Luglio 1996 n.156 AA.GG./S.T.C.** – “Istruzioni per l'applicazione delle << Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi >> di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”;
- **Circolare Min. LL.PP. 15 Ottobre 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 e precompresso e per le strutture metalliche >> di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996”;



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO  
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	6 di 44

- **D.M. Min. LL.PP. 16 Gennaio 1996** – “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”;
- **D.M. Min. LL.PP. 16 Gennaio 1996** – “Norme tecniche relative ai <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>>”;
- **Circolare Min. LL.PP. 10 Aprile 1997 n°65** – “Istruzioni per l’applicazione delle <<Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche>> di cui al D.M. 16 gennaio 1996”;

### 2.3 Principali norme ed istruzioni emanate dalle Ferrovie dello Stato

- **Istruzioni F.S 44/b del 14.11.1996** - "Istruzioni tecniche per manufatti sottobinario da costruire in zona sismica";
- **Norma ITALFERR-SIS T.A.V. del 30 gennaio 1992** – “Manuale di progettazione”;
- **Testo aggiornato della Istruzione n°I/SC/PS-OM/2298 del 2 giugno 1995 completo delle relative integrazioni** – “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari, istruzioni per la progettazione e il collaudo”;



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO  
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	7 di 44

### 3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

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

- [E\_1] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Progetto Definitivo – Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica.
- [E\_2] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Progetto Definitivo – Profilo geologico-tecnico binario pari linea storica – tav. 1/3.
- [E\_3] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Progetto Definitivo – Profilo geologico-tecnico binario pari linea storica – tav. 2/3.
- [E\_4] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Progetto Definitivo – Profilo geologico-tecnico binario pari linea storica – tav. 3/3.
- [E\_5] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Relazione geotecnica generale.
- [E\_6] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnica – tav. 1/6.
- [E\_7] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnica – tav. 2/6.
- [E\_8] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnica – tav. 3/6.
- [E\_9] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnica – tav. 4/6.
- [E\_10] Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnica – tav. 5/6.
- [E\_11] Potenziamento della linea Rho - Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnica – tav. 6/6.

#### 4 MATERIALI E TASSI DI LAVORO AMMISSIBILI

Per quanto riguarda la qualità dei materiali e i tassi di lavoro ammissibili nelle strutture costituenti l'impalcato, si rimanda alla relazione di calcolo dell'impalcato, per qualità dei materiali e tassi di lavoro ammissibili nelle strutture costituenti pile e spalle si ha:

##### Calcestruzzo

- Calcestruzzo per magrone di fondazione  $R_{ck}=15 \text{ N/mm}^2$
- Calcestruzzo per pali di fondazione  $R_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$
- Calcestruzzo armato per fondazioni  $R_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$
- Calcestruzzo armato per opere in elevazione  $R_{ck}=35 \text{ N/mm}^2$

##### Tensioni ammissibili

##### Calcestruzzo:

$R_{ck}$	$E_c$	$\sigma_c$	$\tau_{co}$	$\tau_c$
MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
25	28.40	8.5	0.53	1.68
30	31.18	9.8	0.60	1.83
35	33.68	11.0	0.67	1.97

**Tabella 1**

$$E_c = 57000 \sqrt{R_{CK}}$$

##### Armatura:

- Armature ordinarie  $\text{FeB44K c.s.}$

##### Acciaio FeB44 k controllato

per le armature ordinarie di tutti gli elementi gettati in opera con  $\phi \leq 26$ .

- tensione amm. a trazione:  $\sigma_{adm. t} \leq 255 \text{ N/mm}^2$

Al fine di limitare gli effetti della fessurazione, i diametri e le distanze tra le barre di acciaio ad aderenza migliorata devono soddisfare la seguente tabella, con riferimento alle combinazioni di carico TA1 e TA2:



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

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	9 di 44

<b>Tensione <math>\sigma</math> N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Max diametro delle barre mm</b>	<b>Max interasse barre mm</b>
<160	30	300
<190	24	250
<220	20	200

**Tabella 2**

Si adottano copriferri pari a :

35 mm per le elevazioni, 40 mm per le fondazioni e superfici controterra in genere e 60 mm per pali di fondazione.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	10 di 44

## 5 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

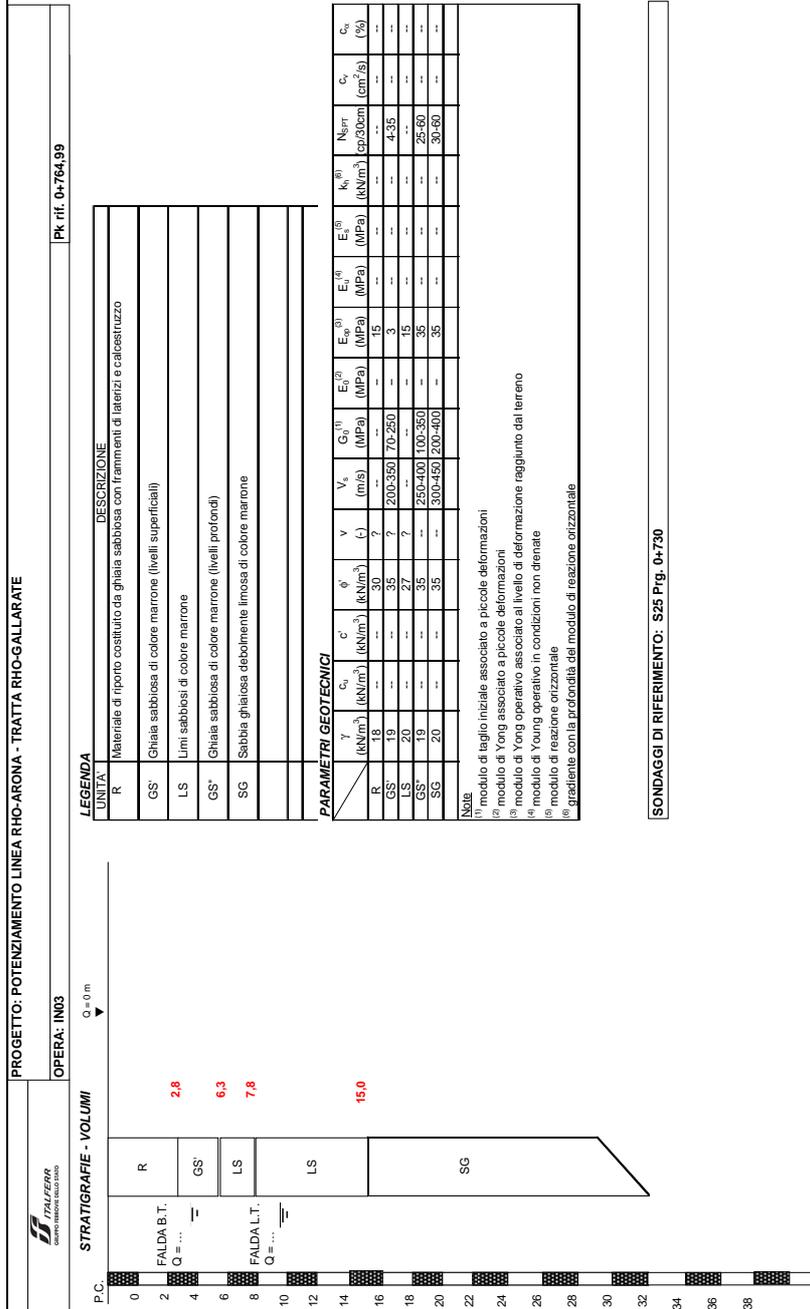
La caratterizzazione stratigrafica della tratta in esame è stata individuata dalle informazioni ottenute dalla campagna d'indagine svolta nell'anno 2008.

Negli elaborati [E\_2] ÷ [E\_4] e [E\_6]÷[E\_11], ovvero profilo geologico-tecnico e profilo geotecnica della tratta, sono rappresentate le indagini eseguite durante la campagna geognostica del 2008: in particolare, nelle immediate vicinanze dell'opera in esame (prg. km 0+771.94) è stato eseguito il sondaggio S25, spinto fino alla profondità di 30.0 m dal p.c.

Sulla base di quanto sopra e dalla caratterizzazione stratigrafica e dei parametri geotecnica di progetto riportati nella relazione geotecnica generale (elaborato [E\_5]), 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.

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**MDL1 12 D 26 CL IN 03 00 002 B 11 di 44**



La quota falda rispetto al piano campagna originario è posta alla quota -3.90.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	12 di 44

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

$G_o$  = 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: - il valore di  $\phi'$  adottato per i terreni tipo GS'' è stato considerato pari a quello dello strato GS' a favore di sicurezza.

- per lo strato LS è stato adottato un valore di coesione  $c'$  nullo a favore di sicurezza.

- Il valore di  $E'$  nello strato R è stato stimato cautelativamente dal lato della sicurezza.

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 3.90 m dal p.c., come si evince dal profilo geotecnica di riferimento (si veda l'elaborato [E\_11]).



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO  
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	13 di 44

Si sottolinea che nel profilo geotecnica di riferimento ad una profondità compresa tra 8 e 10 m dal p.c. è segnalata la presenza di una lente di sabbia ghiaiosa SG: nella stratigrafia di progetto dell'opera in esame la presenza di tale lente è stata implicitamente considerata adottando per lo strato GS", parametri di resistenza e deformabilità tipici anche dell'unità SG.

Si segnala, inoltre, che la base del livello di ghiaie sabbiose superficiali GS' è stata posta a 6.3 m dal p.c. per semplicità, evitando così di indicare la presenza del livello GS" da 5 a 6.3 m dal p.c.; tale scelta è comunque a favore di sicurezza.

Infine, sempre nel profilo geotecnica di riferimento su menzionato, tra 28 e 30 m dal p.c. è indicata la presenza di una lente di ghiaia sabbiosa GS, all'interno dello strato di sabbie ghiaiose SG: nella stratigrafia di progetto tale lente è stata trascurata poiché la sua presenza non è significativa ai fini dell'analisi dell'opera in progetto.



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	14 di 44

## 6 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

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.

Si precisa che ai fini della valutazione delle massime sollecitazioni verticali sulle sottostrutture l'analisi è stata condotta considerando la presenza di due soli treni disposti sui binari pari e dispari della linea Rho – Arona; la presenza del terzo treno sul “Singolo binario sud” comporta una riduzione degli effetti in esame.

Per quanto riguarda invece le azioni orizzontali, concordemente a quanto disposto al paragrafo 1.7.2.3 delle Istruzioni per la progettazione esecuzione e collaudo dei ponti ferroviari, si è considerata l'azione di due soli binari caricati (pari e dispari Rho – Arona).

Il modello prevede la schematizzazione con elementi frame della campata da 6.33 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	m
Sovralzo dei binari	u=	0	cm

Eccentricità dovuta allo scostamento tra asse interbinario ed asse impalcato  $e_1 = 0$  cm

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

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

	Interno curva			Esterno curva		
LM71	$e_{\min} =$	-192	cm	$e_{\max} =$	208	cm
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



Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	16 di 44

### SERPEGGIO

Carico orizzontale distribuito equivalente  
Momento torcente rispetto  
all'asse dell'impalcato

	Condizione 1	Condizione 2
qy=	26.56 kN/m	13.28 kN/m
mx=	-23.90 kNm/m	-11.95 kNm/m

### AVVIAMENTO E FRENATURA

LM71	Avviamento	$Q_{la,k} = 248.49$	kN
SW/0	Frenatura	$Q_{lb,k} = 150.6$	kN
SW/2	Avviamento	$Q_{la,k} = 248.49$	kN
	Frenatura	$Q_{lb,k} = 263.55$	kN

Avviamento e Frenatura

	Condizione 1	Condizione 2
qx=	-68 kN	-35.00 kN/m
my=	-61.20 kNm/m	-31.50 kNm/m

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

	Condizione 1-2
Vento sull'impalcato	qy= 15.00 kN/m
	mx= -39.00 kNm/m

### RESISTENZE PARASSITE DEI VINCOLI

#### Spalla SX

Condizione 1	
Fx=	-10 kN
Condizione 2	
Fx=	54 kN

#### Spalla DX

Condizione 1	
Fx=	10 kN
Condizione 2	
Fx=	-54 kN

#### Ponte scarico

Fx=	109 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

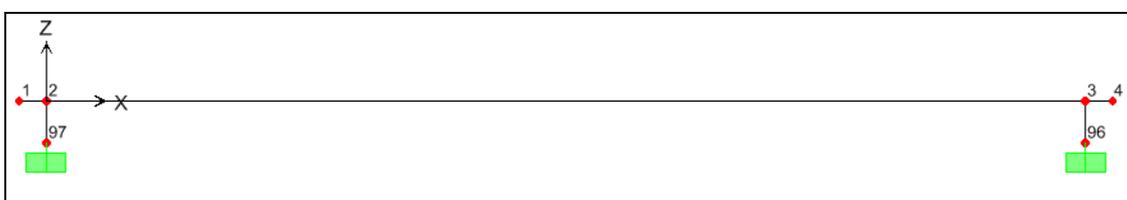
Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	17 di 44

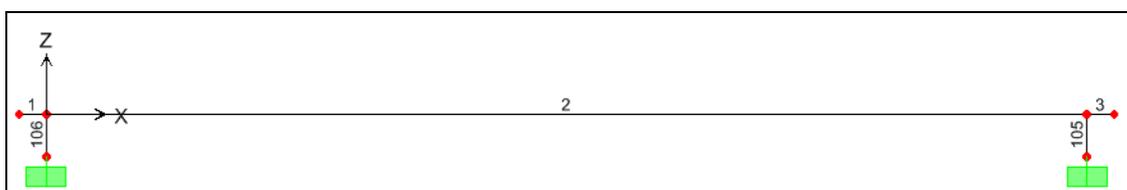
eseguito per una sola di esse), in corrispondenza delle spalle è collegato a due elementi rigidi verticali i quali riportano i carichi sul piano appoggi; su quest'ultimi elementi può essere letta la massima sollecitazione verticale, longitudinale, trasversale, il massimo momento trasversale e longitudinale 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.

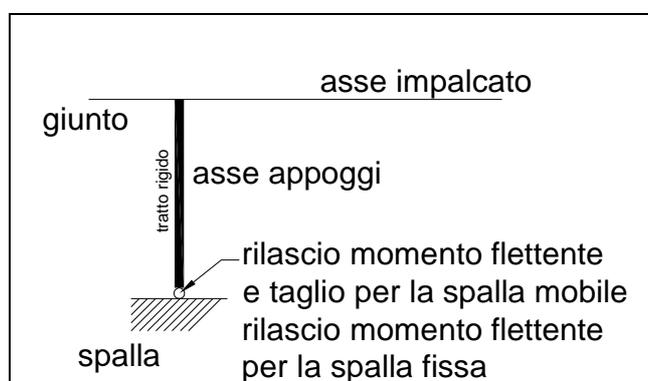
Di seguito si riporta il modello di calcolo adottato con la numerazione dei nodi e degli elementi.



**Figura 1 - Numerazione dei nodi**



**Figura 2 - Numerazione degli elementi**



**Figura 3 - Particolare del modello sulla spalla**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	18 di 44

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.

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

**Tabella 3** - Tabella dei coefficienti per la valutazione dei carichi da traffico

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:

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

**Tabella 4** - Tabella dei coefficienti per le combinazioni di carico

Nella quale:

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

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



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	19 di 44

$Q_K$ : 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



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	20 di 44

## 7 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE NELLE SPALLE

### 7.1 PREMESSA

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.

#### 7.1.1 Descrizione

Il manufatto, interamente in cemento armato ordinario, è costituito dal muro frontale di appoggio dell'impalcato e da due muri andatori di contenimento del rilevato; l'ingombro trasversale delle spalle è pari a 17.60 m (spalla minore, lato Gallarate), 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 147.15, 148.62 e 153.38, talché si deduce che la massima altezza della spalla dal piano di posa della fondazione è pari a 6.20 m.

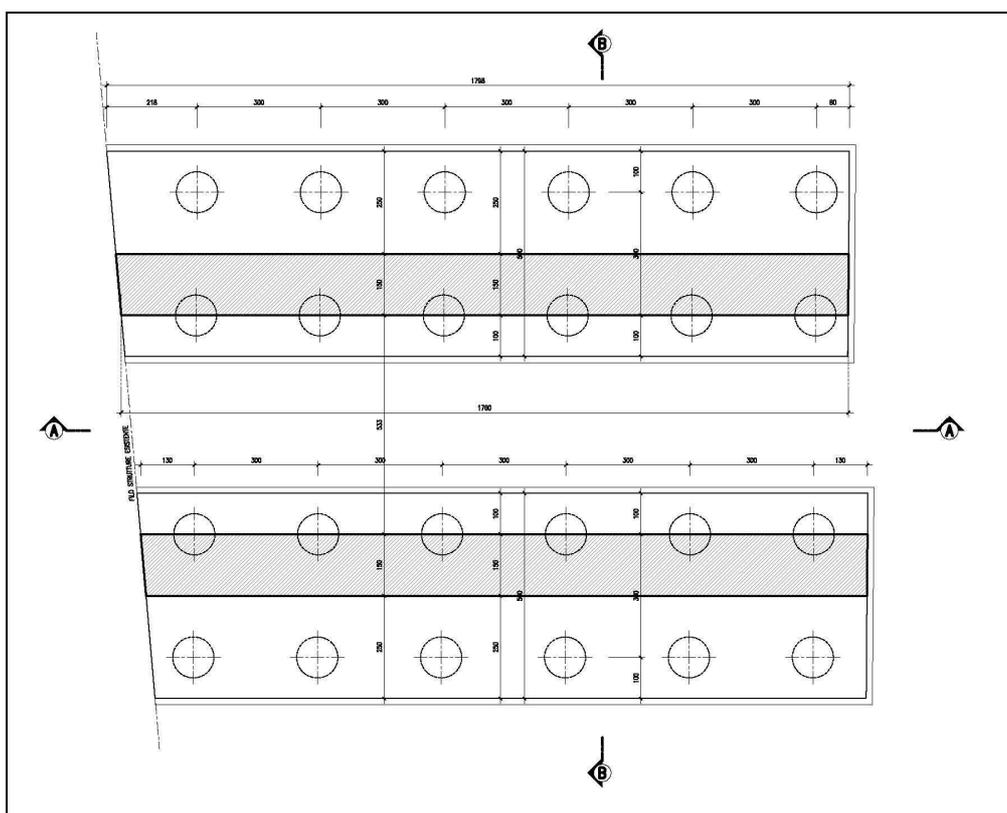
Il muro frontale ha spessore costante pari a 1.50 m fino al piano di appoggio delle travi.

Le fondazioni sono costituite da un plinto quadrilatero di spessore pari a 1.50 m di lati 17.60/17.98 x 5.0 (spalla lato Gallarate) e di lati 17.60/17.35 x 5.0 (spalla lato Rho) con 12 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.





**Figura 6 – Pianta fonazioni**

## 7.2 AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

### 7.2.1 *Pesi 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	373	kN
Peso proprio cls in opera	1483	kN
Peso permanenti portati	1777	kN



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	23 di 44

Peso totale impalcato  $L=7.53$  m                      3634                      kN

Peso totale sulla spalla.                                      1817                      kN

### 7.2.2 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.**

### 7.2.3 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:                       $Q_{la,k}=33 \times 7.53 = \pm 248.5$  KN



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	24 di 44

Frenatura:  $Q_{lb,k}=20 \times 7.53 = \pm 151$  KN

Treno SW/2

Avviamento:  $Q_{la,k}=33 \times 7.53 = \pm 248.5$  KN

Frenatura:  $Q_{lb,k}=35 \times 7.53 = \pm 263.6$  KN

#### 7.2.4 Azione centrifuga

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

#### 7.2.5 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:  $q_y = 26.56$  kN/m  $m_x = -23.30$  kNm/m

Condizione di carico 2:  $q_y = 13.28$  kN/m  $m_x = -11.95$  kNm/m

#### 7.2.6 Azione del vento

Essendo la superficie dell'impalcato carico pari a 6.00 mq/m e considerando una pressione del vento pari a 2.50 kN/mq, le azioni agenti in asse all'impalcato sono:

Condizione di carico 1-2:  $q_y = 15.00$  kN/m  $m_x = -39.00$  kNm/m

#### 7.2.7 Resistenze parassite dei vincoli

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

resistenze parassite a ponte scarico:  $H = \pm 109$  kN

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	25 di 44

 resistenze parassite a ponte carico: condizione di carico 1-  $H=10$  kN

 condizione di carico 2-  $H=54$  kN

### 7.2.8 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	$\epsilon=$	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>	$P_1=$	3447	kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v=$	0	m
Eccentricità vert. rispetto sottotrave	$e'_v=$	0.3	m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_0=$	0	m
<b>Sovraccarichi permanenti</b>	$P_2=$	1907	kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_{v2}=$	0.75	m
Eccentricità vert. rispetto sottotrave	$e'_{v2}=$	$73+65/2=1.05$	m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_{02}=$	0	m
<b>Peso treno sismico</b>	$q_t=$	80	kN/m
Coefficiente di contemporaneità	$s=$	1.5	
Peso treni sismici	$q=s*q_t=$	120	kN/m
Peso totale convenzionale treni sismici	$Q=$	$120 \times 10.9=1308$	kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v=$	3.23	m
Eccentricità vert. rispetto al sottotrave	$e'_v=$	3.53	m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_0=$	1.63	m
Totale pesi sismici impalcato	$W=P_1+P_2+Q=$	6652	kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v=$	0.85	m
Eccentricità vert. rispetto al sottotrave	$e'_v=$	1.15	m
Eccentricità orizz. rispetto baricentro della sezione	$e_0=$	0	m

#### Forze orizzontali longitudinali sismiche

Impalcato	$F_h=C*R*I*\epsilon*\beta_{sp}*W=$	0.080	W
Forza orizzontale longitudinale sismica	$f_h=$	24.4	kN/m

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	26 di 44

Momento flettente rispetto al baricentro impalcato  $m_{Fh} = 20,75$  kNm/m  
Momento flettente rispetto al sottotrave  $M_{Fh} = 306$  kNm

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	266	0	32	0	0	85
Spalla mobile	0	0	32	0	0	0

**Forze orizzontali trasversali sismiche**

Impalcato  $F_h = C * R * I * \epsilon * \beta_{sp} * W = 0,080$  W  
Forza orizzontale longitudinale sismica  $f_h = 24,4$  kN/m  
Momento torcente rispetto al baricentro impalcato  $m_{Fh} = 20,75$  kNm/m  
Momento torcente rispetto al sottotrave  $M_{Fh} = 306$  kNm

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	133	0	153	0	0
Spalla mobile	0	133	0	153	0	0

**Forze verticali sismiche**

Impalcato  $F_h = m * C * I * W = 0,080$  W  
Forza orizzontale longitudinale sismica  $f_h = 24,4$  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	-133	0	0	0
Spalla mobile	0	0	-133	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	-266	0	-102	0	0	85
Spalla mobile	0	0	-102	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	133	-133	153	0	0
Spalla mobile	0	133	-133	153	0	0

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	27 di 44

**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	-2677	0	0	0
Spalla mobile	0	0	-2677	0	0	0
Sovraccarico verticale sismico						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	0	-654	949	0	0
Spalla mobile	0	0	-654	949	0	0

**Forza di frenatura sismica**

Peso totale convenzionale treni sismici	Q=	1308	kN
Forza di frenatura totale	=	130,8	kN
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v$ =	1,23	m
Eccentricità vert. rispetto al sottotrave	$e'_v$ =	1,53	m
	M(ql,k)		kNm
Momento flettente rispetto al sottotrave	=	200,12	

Forza di frenatura sismica						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	131	0	21	0	0	213
Spalla mobile	0	0	21	0	0	0

**Forza centrifuga sismica (50%)**

Lunghezza del binario caricata	L=	10,9	m
Eccentricità vert. rispetto baricentro della sezione	$e_v$ =	3,03	m
Eccentricità vert. rispetto al sottotrave	$e'_v$ =	3,33	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	

Forza centrifuga sismica						
	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Spalla fissa	0	0	0	0	0	0
Spalla mobile	0	0	0	0	0	0

### CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE PER LE SPALLE

#### SPALLA FISSA

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	397	0	3412	949	0	298
Base muro	1785	0	5603	949	4732	298
Testa pali	2747	0	12724	949	5903	298

##### Sisma longitudinale verso l'impalcato - verticale

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	397	0	3146	949	0	298
Base muro	1785	0	5336	949	4665	298
Testa pali	2747	0	12457	949	5637	298

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	131	133	3444	1102	0	313
Base muro	1519	133	5634	1620	3703	313
Testa pali	2481	133	12756	1820	4498	413

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	131	133	3177	1102	0	313
Base muro	1519	133	5368	1620	3636	313
Testa pali	2481	133	12489	1820	4232	413

#### SPALLA mobile

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	0	0	3412	949	0	0
Base muro	1683	0	5574	949	3770	0
Testa pali	2785	0	12695	949	4869	0

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	29 di 44

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	0	0	3146	949	0	0
Base muro	1683	0	5307	949	3703	0
Testa pali	2785	0	12428	949	4602	0

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	0	133	3444	1102	0	0
Base muro	1683	133	5605	1608	3778	33
Testa pali	2785	133	12726	1808	4900	67

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

	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN)	My (kN)	Mz (kN)
Testa muro	0	133	3177	1102	0	0
Base muro	1683	133	5339	1608	3711	33
Testa pali	2785	133	12460	1808	4634	67

### 7.3 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  $K_0$ .

Distanza asse giunto spalla-asse pila	7.53	m
Interasse appoggi campata	6.33	m
Peso impalcato	1817	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	5.60	m
Ecc. verticale asse appoggi-spiccato muri	4.10	m
Distanza estradosso pulvino-intradosso trave	0.1	m
Distanza intradosso trave-p.f.	1.1	m
Distanza intradosso trave-asse impalcato	0.2	m
Distanza intradosso trave-centro di rotazione appoggi	0.05	m
Altezza struttura impalcato	0.52	m

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	30 di 44

Larghezza spalla	17.6	m
Altezza spalla	4.7	m
Altezza muro frontale	4	m
Spessore muro frontale	1.5	m
Eccentricità muro frontale rispetto al baricentro fondazione	0.75	m
Altezza muretto paraghiaia	0.7	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	4.5	m
Spessore muro di risvolto 1° tratto	0.60	m
Altezza muro di risvolto 2° tratto	0	m
Spessore muro di risvolto 2° tratto	0.00	m
Altezza muro di risvolto 3° tratto	0	m
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	17.6	m
Altezza fondazione	1.50	m
Volume rinterro	185	m <sup>3</sup>
Ecc. rinterro rispetto baricentro fondazione	-1.25	m
Peso di volume terreno di rinterro	18	kN/mc
Peso fondazione	3300	kN
Peso muro frontale	2640	kN
Peso muro paraghiaia	185	kN
Peso muri di risvolto	338	kN
Peso terreno di rinterro	3321	kN
Peso sovraccarico sul rilevato a tergo della spalla	1760	kN
Peso impalcato	1817	kN
<b><i>Peso totale all'imposta fondazione (escluso impalcato)</i></b>	11543	kN
<b><i>Momento flettente totale all'imposta fondazione (escluso impalcato)</i></b>	-4738	kNm
<b><i>Peso totale all'imposta fondazione (incluso impalcato)</i></b>	13360	kN
<b><i>Momento flettente totale all'imposta fondazione (incluso impalcato)</i></b>	-2921	kNm
<b><i>Peso totale allo spiccato muro (escluso impalcato)</i></b>	2825	kN
<b><i>Momento flettente totale allo spiccato muro (escluso impalcato)</i></b>	-83	kNm
<b><i>Peso totale allo spiccato muro (incluso impalcato)</i></b>	4642	kN
<b><i>Momento flettente totale allo spiccato muro (incluso impalcato)</i></b>	371	kNm
Angolo di attrito terreno di rinterro	35	°

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	31 di 44

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 ( $K_a$ )		1538	kN
Spinta geostatica all'imposta fondazione ( $K_0$ )		2419	kN
Ecc. spinta geostatica rispetto all'imposta fondazione		2.07	m
Spinta sovraccarico statico all'imposta fondazione ( $K_0$ )		635	kN
Ecc. spinta sovraccarico statico rispetto all'imposta fondazione		3.10	m
Spinta sovraccarico sismico all'imposta fondazione ( $K_a$ )		202	kN
Ecc. spinta sovraccarico sismico rispetto all'imposta fondazione		3.10	m
Spinta geostatica allo spiccato muri ( $K_0$ )		1390	kN
Ecc. spinta geostatica rispetto allo spiccato muri		1.57	m
Spinta sovraccarico statico allo spiccato muri ( $K_0$ )		481	kN
Ecc. spinta sovraccarico statico rispetto allo spiccato muri		2.35	m
Spinta sovraccarico sismico allo spiccato muri ( $K_a$ )		153	kN
Ecc. spinta sovraccarico sismico rispetto allo spiccato muri		2.35	m
$\theta = \arctan C =$		2.29	°
$\varepsilon' = \varepsilon + \theta =$		2.29	°
$\beta' = \beta + \theta =$		2.29	°
A =		0.999	
$K_a' =$		0.29	
Spinta $F'$ ( $\varepsilon', \beta'$ ) all'imposta della fondazione		1645	kN
Spinta sismica $F_s$ all'imposta fondazioni $A * F' =$		1644	kN
Incremento di spinta sismica all'imposta della fondazione $\Delta F = F_s - F' =$		107	kN
Eccentricità incremento di spinta sismica all'imposta fondazione		4.13	m
Spinta geostatica allo spiccato muro $F(K_a)$		884	kN
Spinta $F'$ ( $\varepsilon', \beta'$ ) allo spiccato muri		946	kN
Spinta sismica $F_s$ allo spiccato muro $A * F' =$		945	kN
Incremento di spinta sismica allo spiccato muro $\Delta F = F_s - F' =$		61	kN
Eccentricità incremento di spinta sismica allo spiccato muri		3.13	m
<b>Spinta statica totale all'imposta fondazione</b>		<b>3054</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente statico totale all'imposta fondazione</b>		<b>4767</b>	<b>kNm</b>
<b>Spinta statica totale allo spiccato muri</b>		<b>1871</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente statico totale allo spiccato muri</b>		<b>3309</b>	<b>kNm</b>
<b>Spinta sismica totale all'imposta fondazione</b>		<b>2728</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente sismico totale all'imposta fondazione</b>		<b>4966</b>	<b>kNm</b>
<b>Spinta sismica totale allo spiccato muri</b>		<b>1604</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente sismico totale allo spiccato muri</b>		<b>2729</b>	<b>kNm</b>
Forza d'inerzia muro frontale		211	kN

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	32 di 44

Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	3.5	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	2	m
Forza d'inerzia muro paraghiaia	15	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	5.85	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	4.35	m
Forza d'inerzia muri di risvolto	27	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	3.75	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	2.25	m
Forza d'inerzia terreno di rinterro	266	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	3.85	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	2.35	m
Forza d'inerzia zattera di fondazione	264	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	0.75	m
Forza d'inerzia sovraccarico sismico	70	kN
Eccentricità rispetto all'imposta fondazione	6.20	m
Eccentricità rispetto allo spiccato muri	4.70	m
<b>Forza d'inerzia totale all'imposta fondazione</b>	<b>853</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente forza d'inerzia rispetto all'imposta fondazione</b>	<b>2584</b>	<b>kNm</b>
<b>Forza d'inerzia totale allo spiccato muri</b>	<b>562</b>	<b>kN</b>
<b>Momento flettente forza d'inerzia rispetto allo spiccato muri</b>	<b>1442</b>	<b>kNm</b>

#### 7.4 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

Tabella 5

**Disposizione 1 ( $N_{max}$ ),  $T_{Lmax}$ ,  $T_{Tmax}$  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	-1612	0	0	-310	0
Azione centrifuga	0	0	0	0	0
Serpeggio	0	0	100	154	0
Avviamento e Frenatura	121	-632	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	-1551	-316	100	-157	0
gr.2	0	0	50	77	0
gr.3	-1491	-632	50	-234	0
gr.4	-1229	-316	100	-95	0
gr.5	-745	-316	100	-2	0
gr.6	-1193	-506	80	-125	0

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

**SPALLA FISSA CONDIZIONE 2**

Azione	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
Verticali mobili	-701	0	0	1395	0
Azione centrifuga	0	0	0	0	0
Serpeggio	0	0	50	77	0
Avviamento e Frenatura	62	-326	0	0	0

**FM**  
**2**

FCENT2  
 FSERP2  
 FAVV/FRE2  
 FVENTO

**SPALLA FISSA CONDIZIONE 2**

Gruppi	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
gr.1	-670	-163	50	1472	0
gr.2	0	0	25	38	0
gr.3	-639	-326	25	1433	0
gr.4	-530	-163	50	1193	0
gr.5	-320	-163	50	774	0
gr.6	-511	-260	40	1177	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	-4228	-380	140	-254	0
gr.2	-2677	-64	90	-21	0
gr.3	-4168	-696	90	-331	0
gr.4	-3906	-380	140	-192	0
gr.5	-3422	-380	140	-99	0
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	-3918	-317	120	-223	0
gr.2	-2677	-64	80	-36	0
gr.3	-3870	-570	80	-284	0
gr.4	-3660	-317	120	-173	0
gr.5	-3273	-317	120	-99	0
TA3	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
	-2677	-64	67	-163	0

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	35 di 44

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	-3094	-285	97	-175	0
gr.2	-2008	-64	62	-11	0
gr.3	-3051	-507	62	-229	0
gr.4	-2868	-285	97	-131	0
gr.5	-2529	-285	97	-66	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	-3870	-570	113	-207	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]
gr.1	-3347	-227	90	1374	0
gr.2	-2677	-64	65	-59	0
gr.3	-3316	-389	65	1336	0
gr.4	-3207	-227	90	1095	0
gr.5	-2997	-227	90	677	0
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	-3213	-194	80	1080	0
gr.2	-2677	-64	60	-67	0
gr.3	-3188	-324	60	1049	0
gr.4	-3101	-194	80	857	0
gr.5	-2933	-194	80	522	0
TA3	N [kN]	T <sub>L</sub> [kN]	T <sub>T</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>L</sub> [kNm]
	-2677	-64	67	-163	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	-2477	-178	62	965	0
gr.2	-2008	-64	44	-38	0
gr.3	-2455	-292	44	938	0
gr.4	-2379	-178	62	770	0
gr.5	-2231	-178	62	477	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	-3188	-324	73	1096	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>	-4228	-380	140	-254	0
M <sub>Tmax</sub>	-3347	-227	90	1374	0
T <sub>Lmax</sub>	-4168	-696	90	-331	0
T <sub>Tmax</sub>	-3422	-380	140	-99	0

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	36 di 44

$e_{max}$	-3347	-227	90	1374	0	
Ver. Fess.	-3870	-570	113	-207	0	
	-3188	-324	73	1096	0	
<b>Sollecitazioni a ponte scarico e in presenza di vento</b>						
<b>comb.</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>	
N <sub>min</sub>	-2677	161	67	-163	0	
<b>Sollecitazioni testa pali spalla FISSA</b>						
<b>comb.</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>	<b>Mt [kNm]</b>
N <sub>max</sub>	13540	2810	140	-254	5992	35
M <sub>Tmax</sub>	12659	2656	90	1374	4283	494
T <sub>Lmax</sub>	13480	3126	90	-331	7635	23
T <sub>Tmax</sub>	12734	2810	140	-99	5186	35
$e_{max}$	12659	2656	90	1374	4283	23
N <sub>min</sub>	11989	2590	67	-163	3257	17
Sisma Long.+Vert	12724	2747	0	949	5903	298
Sisma Long.- Vert	12457	2747	0	949	5637	298
Sisma Trasv.+Vert	12756	2481	133	1820	4498	413
Sisma Trasv.- Vert	12489	2481	133	1820	4232	413
Ver. Fess.	13181	2999	113	-207	6655	28
	12500	2754	73	1096	4651	18

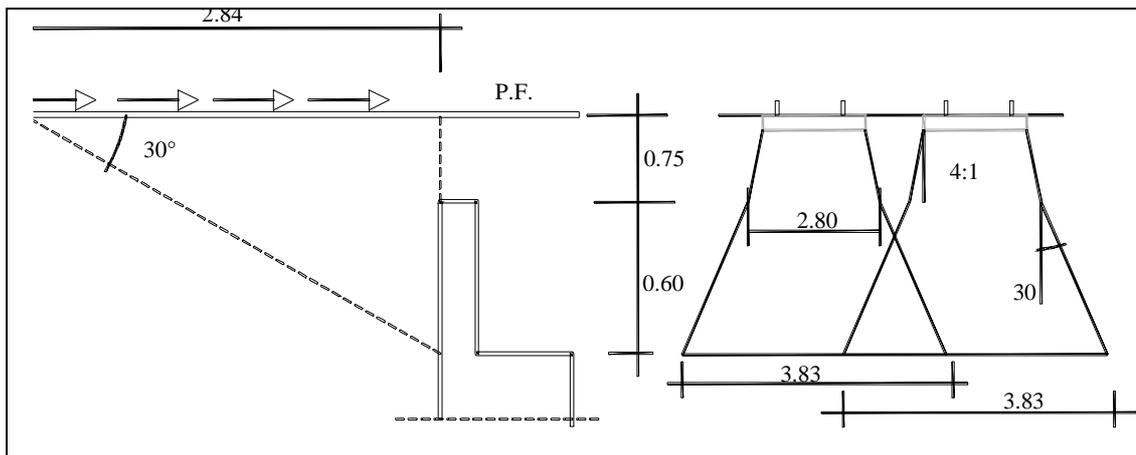
## 7.5 VERIFICHE DI RESISTENZA

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 i muri di risvolto, 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



**Figura 7 - 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:  $L = (0.60 + 0.75) / \tan(30^\circ) = 2.34$  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  $F = (35 + 33) * 2.34 = 159$  kN/m.

Le zone di paraghiaia interessate dalle singole azioni orizzontali sono determinate diffondendo i carichi trasmessi dalla traversa (2.60m) nel ballast nel rapporto 4:1, le sollecitazioni alla base del paraghiaia sono:

frenatura:  $T = 26.01$  kN/m;  $M = 7.80$  kNm/m

avviamento:  $T = 24.52$  kN/m;  $M = 7.36$  kNm/m

Essendo l'interasse tra i binari circa 8 m e tale che non vi è sovrapposizione, le sollecitazioni risultano dunque:

$T = 50.53$  kN/m;  $M = 15.16$  kNm/m

#### Peso del terreno e sovraccarico sul rilevato

Spinta a riposo del terreno sul muretto paraghiaia	1.88	kN/m
Distanza rispetto alla base del paraghiaia	0.20	m
Momento rispetto alla base del paraghiaia	0.38	kNm/m
Spinta del sovraccarico sul rilevato	11.94	kN/m
Distanza rispetto alla base del paraghiaia	0.3	m
Momento rispetto alla base del paraghiaia	3.58	kNm/m

Sforzo normale alla base del muretto paraghiaia 18kN/m



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	38 di 44

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

$$N=18.00 \text{ kN/m}; \quad T=64.35 \text{ kN/m}; \quad M=19.12 \text{ kNm/m}$$

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

$$B=100 \text{ cm}$$

$$H=50 \text{ cm}$$

$$\sigma_c=1.3 \text{ MPa}; \quad \sigma_f=44.7 \text{ MPa}; \quad \tau=0.2 \text{ MPa}$$

#### *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:

$$N=18.00 \text{ kN/m}; \quad T=54.25 \text{ kN/m}; \quad M=16.09 \text{ kNm/m}$$

Dalla verifica a fessurazione la sezione risulta non fessurata.

#### **7.5.2 Sollecitazioni e verifiche nei muri di risvolto**

Le sollecitazioni nei muri di risvolto sono state determinate utilizzando a vantaggio di sicurezza un modello di calcolo di mensola incastrata alla base di altezza pari all'altezza del muro di risvolto, tale modello conduce a delle sollecitazioni maggiori a quelle reali, avendo trascurato il grado di incastro prodotto dal muro frontale.

Le caratteristiche geometriche del muro di risvolto sono:

Altezza muro	4.5	m
Dimensione longitudinale muro	2.5	m
Spessore muro di risvolto – alla base	0.6	m
Spessore muro di risvolto - sommità	0.6	m

Le azioni considerate per tale modello sono, oltre al peso proprio, le spinte del terreno e del sovraccarico (da traffico e/o sismico).

Sono state considerate tre condizioni di carico: quella statica, nella quale si è applicato il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$ , quella sismica nella quale si è applicato un coefficiente di spinta attiva  $k_a$  debitamente incrementato per



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	39 di 44

effetto del sisma, e quella per la verifica a fessurazione dove le azioni dovute al traffico ferroviario sono state ridotte del 40%.

Peso di volume terreno di rinterro	18	kN/mc
Sovraccarico sul rilevato in condizioni statiche	40	kN/mq
Sovraccarico sul rilevato in condizioni sismiche	20	kN/mq
Peso del muro	68	kN/m
Angolo di attrito interno	35	°
Coefficiente di spinta a riposo $K_0$	0.426	
Coefficiente di spinta attiva $K_a$	0.271	
Coefficiente di intensità sismica $C$	0.04	
Spinta geostatica all'imposta fondazione	77.7	kN/m
Spinta sovraccarico statico all'imposta fondazione	76.8	kN/m
$\theta = \arctan C =$	1.15	°
$\epsilon' = \epsilon + \theta =$	1.15	
$\beta' = \beta + \theta =$	1.15	
$A =$	1	
$K_a' =$	0.27	
Spinta $F'$ ( $\epsilon', \beta'$ ) all'imposta della fondazione	49.21	kN/m
Spinta sismica $F_s$ all'imposta fondazioni $A * F' =$	49.20	kN/m
Incremento di spinta sismica all'imposta della fondazione $\Delta F = F_s - F =$	0.19	kN/m
Eccentricità incremento di spinta sismica all'imposta fondazione	3.00	m
Forza d'inerzia muro di risvolto	14	kN
Spinta sovraccarico sismico all'imposta fondazione	24.39	kN/m

La condizione di carico più gravosa è quella statica che conduce alla base del muro alle seguenti sollecitazioni:

$$M = 289 \text{ kNm/m} \quad N = 87 \text{ kN/m}$$

Si dispongono in zona tesa  $1\phi 26/10$  con  $c = 6 \text{ cm}$  e  $1\phi 20/20$  in zona compressa con copriferro  $c = 6 \text{ cm}$ .

*Verifica di resistenza nella sezione maggiormente sollecitata*

$$B = 1.00 \text{ m}; H = 1.15 \text{ m}$$

$$M_{vmax} = 289 \text{ kN m/m}$$

$$N = 87 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_c = 1.65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 48 \text{ MPa}$$

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	40 di 44

### Verifica a fessurazione

a vantaggio di sicurezza si considera lo stesso momento flettente che si ha con il 100% del sovraccarico

$$M_{vmax} = 289 \text{ kN m/m}$$

$$N = 87 \text{ kN/m}$$

$$S_m = 187.9 \text{ mm}$$

$$W_m = 0.0711 \text{ mm}$$

$$W_k = 0.1209 \text{ mm}$$

### 7.5.3 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  $1\phi 22/10 + 1\phi 22/20$  con copriferro  $c=6\text{cm}$  e  $11\text{ cm}$ , e in zona compressa  $1\phi 18/20$  con copriferro  $c=6\text{cm}$ .

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

Sollecitazioni base muro						
comb.	N [kN]	T [kN]	M [kNm]	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_f$ (MPa)	$\tau$ (MPa)
$N_{max}$	372	129	331	6.0	135	
$M_{Tmax}$	314	118	269			
$T_{Lmax}$	369	153	426	8.2	175	
$T_{Tmax}$	316	129	317			
$e_{max}$	314	118	269			
$N_{min}$	264	113	234			
<b>Sisma Long.+Vert</b>	295	149	371			
<b>Sisma Long.-Vert</b>	274	149	366			
<b>Sisma Trasv.+Vert</b>	299	128	288			
<b>Sisma Trasv.-Vert</b>	278	128	283			
				$S_m$ (mm)	$W_m$ (mm)	$W_k$ (mm)
<b>Ver. Fess.</b>	423	143	396	<b>Le verifiche a a fessurazione sono soddisfatte <math>W_k=0</math></b>		
	375	126	318			

Tabella 6



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	41 di 44

#### 7.5.4 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 dei muri risvolto, e caricata dalle ragioni dei pali di fondazione, dal peso proprio e dal peso del terreno.

A vantaggio di sicurezza si considera per i pali la massima reazione pari a 2086 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*

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

$M= 700\text{ kN m/m}$

$\sigma_c = 2.1\text{ MPa}$

$\sigma_f = 80\text{ MPa}$

*Verifica a fessurazione*

$M= 700\text{ kN m/m}$

$S_m=177\text{ mm}$

$W_m=0.058\text{ mm}$

$W_k=1.7 \times 0.058=0.0986\text{ mm}$

#### 7.5.5 Sollecitazioni e verifiche nei pali fondazione

Dal calcolo riportato nel paragrafo sulle fondazioni sono state estrapolate le combinazioni di carico più gravose, che forniscono le seguenti verifiche:

Palo  $\Phi 1000$  armato con  $24\Phi 20$

$N_{\max}=2086\text{ kN}$  ;  $M=555\text{ kNm}$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	42 di 44

$$\sigma_c = 7.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 46.2 \text{ MPa (trazione)}$$

$$N_{\min} = 355 \text{ kN} ; M = 555 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = 8.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 226 \text{ MPa}$$

*Verifica a fessurazione*

$$N = 1970 \text{ kN} ; M = 510 \text{ kNm}$$

$$W_k = 0.0272 \text{ mm}$$

## 7.6 Dimensionamento della lunghezza dei pali

Nella tabella seguente viene indicata:

- la lunghezza utile di progetto del palo ( $L_{\text{utile}}$ ) necessaria allo sviluppo della portata ammissibile ( $Q_{\text{amm}}$ ) che soddisfa la verifica di capacità portante, rispetto alla sollecitazione assiale agente sul palo ( $N_{\text{max}}$ ), viene determinata dal calcolo eseguito al seguente paragrafo:

da cui si evince che:

Palo D=1000 mm	$N_{\text{max}}$	$Q_{\text{amm}}$	$L_{\text{utile}}$
	[kN]	[kN]	[m]
	2086	2360	<b>15.0</b>

**Tabella 7 - Didascalia tabella**



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

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
 Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
 fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	43 di 44

DATI DI INGRESSO

D	di diametro del palo	1,00	[m]	FS	coeff. sicurezza	2,50	[-]
L	lunghezza massima di calcolo	15,00	[m]				
z <sub>w</sub>	profondità della falda dal p.c.	8,00	[m]				
f <sub>cd</sub>	resistenza di calcolo del c.l.s.	13,20	[Mpa]				

NOTA  
 Devono essere compilati tutti i campi in azzurro

NOTA: è sempre necessario inserire uno strato avente profondità uguale alla falda

n° strato	tipo terreno	ΔH <sub>i</sub> [m]	H <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	N <sub>SPT</sub> [-]	φ [°]	K [-]	c <sub>u</sub> [kPa]	α [-]	c <sub>a</sub> [kPa]
1	R	2,60	2,60	18,00	18,00		30,00	0,70		0,00	0,00
2	GS	3,70	6,30	19,00	19,00		35,00	0,70		0,00	0,00
3	LS	8,70	15,00	20,00	10,00		27,00	0,70		0,00	0,00
					0,00					0,00	0,00
					0,00					0,00	0,00

LEGENDA	
ΔH <sub>i</sub>	spessore dello strato
H <sub>i</sub>	profondità dello strato dal p.c.
γ <sub>n</sub>	peso specifico del terreno naturale
γ'	peso specifico efficace
N <sub>SPT</sub>	Numero colpi al piede (solo granulari)
φ	angolo di attrito (solo granulari)
K	rapporto tra σ <sub>v</sub> /σ <sub>h</sub>
c <sub>u</sub>	coesione non drenata (solo coesivi)
c <sub>a</sub>	adesione (solo coesivi)

Congruenza dei dati

Congruenza sulla lunghezza: OK  
 Congruenza sulla stratigrafia: OK

PORTATA ALLA BASE - protocollo di Berenzanizev

n° strato	tipo terreno	ΔH <sub>i</sub> [m]	H <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	N <sub>SPT</sub> [-]	φ [°]	K [-]	c <sub>u</sub> [kPa]	α [-]	c <sub>a</sub> [kPa]
3	terreno	8,70	15,00	20,00	10,00	0,00	27,00	0,70	0,00	0,00	0,00

A <sub>b</sub>	Area della base del palo	0,79	[m <sup>2</sup> ]	φ	26	30	34	37	40
σ <sub>vL</sub>	Pressione geostatica di base	204,1	[kPa]	B <sub>k</sub>	20,00	33,00	63,00	104,00	186,00
N <sub>a</sub> =uB <sub>k</sub>	Coef. di pressione geostatica	25,53							
c	Coazione alla base	0,00	[kPa]	H/D	26	30	34	37	40
N <sub>c</sub>	Coef. di coazione	9		5,00	0,75	0,77	0,81	0,83	0,85
				10,00	0,62	0,67	0,73	0,76	0,79
Q <sub>b,lim</sub>	Portata limite di base	4087,64	[kN]	15,00	0,55	0,61	0,68	0,73	0,77
Q <sub>b,amm</sub>	Portata amm. di base	1635,05	[kN]	20,00	0,49	0,57	0,65	0,71	0,75
				25,00	0,44	0,53	0,63	0,70	0,74

Tabella per il calcolo di B<sub>k</sub>

Tabella per il calcolo di u

PORTATA LATERALE - protocollo di Viggiani

σ <sub>h,i</sub>	σ <sub>v,i</sub>	σ <sub>v,i+1</sub>	σ <sub>v,med</sub>	σ <sub>v,med</sub>	c <sub>a</sub>	s
σ <sub>h,1</sub>	0	46,8	23,4	16,38	0,00	9,46
σ <sub>h,2</sub>	46,8	117,1	81,95	57,365	0,00	40,17
σ <sub>h,3</sub>	117,1	204,1	160,6	112,42	0,00	57,28
σ <sub>h,4</sub>	0	0	0	0	0,00	0,00
σ <sub>h,5</sub>	0	0	0	0	0,00	0,00
σ <sub>h,6</sub>	0	0	0	0	0,00	0,00
σ <sub>h,7</sub>	0	0	0	0	0,00	0,00
σ <sub>h,8</sub>	0	0	0	0	0,00	0,00
σ <sub>h,9</sub>	0	0	0	0	0,00	0,00

$$s = c_{a1} + \sigma_{h,med} \tan \phi$$

Q <sub>l,lim</sub>	Portata limite laterale	2109,74	[kN]	Peso proprio palo	294,52	[kN]	<input checked="" type="radio"/>	tenere in conto nel calcolo della portata
Q <sub>l,amm</sub>	Portata amm. laterale	843,90	[kN]				<input type="radio"/>	non tenere in conto nel calcolo della portata

PORTATA TOTALE LIMITE	5903	[kN]
PORTATA TOTALE AMMISSIBILE	2361	[kN]

EFFETTO DI GRUPPO SULLE PORTATE - protocollo di Converse Labare

m	numero di file di pali	2	
n	numero di pali per fila	6	
i	interasse fra i pali	3	[m]
E	fattore di efficienza	0,73	
N	numero pali totali	12	

PORTATA TOTALE LIMITE DI GRUPPO	51469	[kN]
PORTATA TOTALE AMM. DI GRUPPO	20595	[kN]



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA  
**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**  
**QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

Prolungamento sottovia Agricolo km 0+771.94-  
Pregnana Milanese: Relazione di calcolo spalle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>MDL1</b>	12	D 26 CL	IN 03 00 002	B	44 di 44