

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**DIREZIONE TECNICA - CENTRO DI PRODUZIONE DI MILANO
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA. TRATTA RHO-GALLARATE
PRG DI RHO**

Opere di sostegno sede ferroviaria e stradale

Relazione di calcolo opere di sostegno Singolo binario Nord

SCALA :

-

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

MDL1 11 D 26 CL RI0005 001 A

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Rev. tracciato singolo binario Nord	G. Grimaldi	24/11/2011	<i>Rolo</i>	30/11/11	S. Borelli		

ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Centro Produzione
Dott. Ing. *Grimaldi* / Fabrizio
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Roma - 1955, sez. 4

ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Produzione - Centro Nord
Dott. Ing. *Roberto Borghi*
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Monza e B.za n. 466/1

File: CARTIGLI

n. Elab.:

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	2 di 18

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA.....	4
2.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	4
2.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	4
3	CARETTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
4	MURI DI SOSTEGNO IN C.A.....	6
4.1	ANALISI DEI CARICHI	6
4.1.1	<i>Pesi propri strutturali</i>	6
4.1.2	<i>Sovraccarichi permanenti portati</i>	6
4.1.3	<i>Azioni da traffico ferroviario</i>	6
4.2	AZIONI SISMICHE	6
4.3	AZIONI PROVENIENTI DALLA SPINTA DEL TERRENO.....	6
5	MURO FRA LE PROG KM. -0+328.67 E KM. -0+128.66.....	7
5.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE	7
5.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	15
5.2.1	<i>Muro frontale</i>	15
5.2.2	<i>Plinto</i>	17

	<p>POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA PROGETTO DEFINITIVO - TRATTA RHO-GALLARATE</p>					
Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord	COMMESSA MDL1	LOTTO 01	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI 00 05 001	REV. A	ALLEGATO 1 3 di 18

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è il progetto e la verifica strutturale delle opere di sostegno rigide necessarie alla realizzazione del singolo binario Nord nell'ambito della variante al progetto di potenziamento della linea Rho-Arona, nella tratta inerente la sistemazione a PRG della stazione di Rho.

Trattasi di muri di sostegno diretti a mensola fra le progressive del Singolo binario Nord km. -0+328.66 e km -0+128.66 della lunghezza complessiva di 200.00m adibiti al contenimento del rilevato in lato destro soprattutto nella zona di affiancamento con il muro divisorio della proprietà Arkema.

	POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA PROGETTO DEFINITIVO - TRATTA RHO-GALLARATE					
Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord	COMMESSA MDL1	LOTTO 01	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI 00 05 001	REV. A	ALLEGATO 1 4 di 18

2 NORMATIVA

2.1 Documenti Referenziati

Nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- L.1086 5/11/71 Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- D.M. 14 febbraio 1992 Norme tecniche l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- DM 09/01/96 Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- DM 16/01/96 Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- DM 16/01/96 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Istruzione FF.SS. 44/b aggiornamento 16 dicembre 1997 - Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica
- Istruzione FF.SS. I/SC/PS-OM/2298 aggiornamento 13 gennaio 1997: Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo.

2.2 Documenti correlati

I documenti correlati risultano:

- Rif. Profilo geotecnico MDL11D26F5GE0005001
- Rif. Relazione geotecnica MDL11D26RBGE0005001

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	5 di 18

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CALCESTRUZZO MURI

TIPO C25/30 per opere in fondazione

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

$E_c = 31220 \text{ MPa}$

$\sigma'_c = 9.75 \text{ MPa}$

TIPO C30/35 per opere in elevazione

$R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

$E_c = 33721 \text{ MPa}$

$\sigma'_c = 11 \text{ MPa}$

ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

FeB44 k

$f_{yk} = 430 \text{ N/mm}^2$

$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_s = 255 \text{ MPa}$

in aggiunta e in accordo con [7] p.to 2.2.2.g, si adottano le seguenti limitazioni sui tassi di lavoro in funzione del diametro delle barre:

$\phi_{max} 20 \Rightarrow \sigma_{smax} 220 \text{ MPa}$

$\phi_{max} 24 \Rightarrow \sigma_{smax} 190 \text{ MPa}$

$\phi_{max} 30 \Rightarrow \sigma_{smax} 160 \text{ MPa}$

	POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA PROGETTO DEFINITIVO - TRATTA RHO-GALLARATE					
Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord	COMMESSA MDL1	LOTTO 01	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI 00 05 001	REV. A	ALLEGATO 1 6 di 18

4 MURI DI SOSTEGNO IN C.A.

Di seguito si riporta l'analisi dei carichi agenti globalmente sulla struttura. Il calcolo è stato effettuato su una striscia di larghezza unitaria di muro.

4.1 Analisi dei carichi

4.1.1 *Pesi propri strutturali*

I pesi sono stati valutati considerando un peso specifico del cls pari a 25 kN/mc

4.1.2 *Sovraccarichi permanenti portati*

Il peso specifico del terreno è preso pari a 19 kN/mc .

Il peso del ballast e dell'armamento è stato considerato pari a 14.40 kN/m² ottenuto considerando un sovraccarico di 18 kN/m² per un'altezza pari a 0.8 m.

4.1.3 *Azioni da traffico ferroviario*

E' stato applicato il contributo alla spinta sul paramento dovuto al sovraccarico ferroviario posto pari a 40 kN/mq. In fase statica e 20 kN/mq in fase sismica. Si precisa che la verifica sismica per muri che presentano altezze del paramento inferiori a tre metri non viene effettuata in accordo a quanto proposto dal D.M. 1996.

4.2 Azioni sismiche

In accordo con le norme "DM 16/01/96 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" le analisi e verifiche dei muri in oggetto possono omettersi per altezza inferiore ai 3 metri.

4.3 Azioni provenienti dalla spinta del terreno

Per la determinazione delle azioni applicate alle spalle dal rinterro si assumo i seguenti parametri geotecnici :

- Peso di volume del rinterro $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$,
- Angolo di attrito interno $\phi = 35^\circ$
- Coefficiente di spinta attiva $k_a = 0.271$

Tale terreno viene esteso anche come terreno di fondazione. N.B. nelle verifiche a slittamento è stato considerato un attrito tra terreno e fondazione calcolato come $\tan(0.85 \phi)$.

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	7 di 18

5 MURO FRA LE PROG KM. -0+328.67 E KM. -0+128.66

Nelle schede successive si riporta il quadro riepilogativo delle azioni, delle sollecitazioni di verifica nelle sezioni caratteristiche del muro, delle verifiche di stabilità globale e delle pressioni di contatto sul terreno di fondazione.

5.1 Caratteristiche geometriche, analisi e verifiche geotecniche

Dati geometrici

<i>muro</i>	altezza muro	2.30	m
	spessore muro superiore	0.30	m
	spessore muro inferiore	0.30	m
	inclinazione muro - lato monte	0.00	°
	inclinazione muro - lato valle	0.00	°
	spessore muro inferiore - lato monte	0.00	m
	spessore muro inferiore - lato valle	0.00	m
	<i>platea di fondazione</i>	sbalzo platea - lato valle	0.30
spessore sbalzo platea - lato valle		0.30	m
spessore sbalzo platea filo muro - lato valle		0.30	m
sbalzo platea - lato monte		1.70	m
spessore sbalzo platea - lato monte		0.30	m
spessore sbalzo platea filo muro - lato monte		0.30	m
inclinazione magrone sottofondo		0.00	°
lunghezza platea	2.30	m	
<i>terrapieno</i>	inclinazione terrapieno	0.00	°
	lunghezza terrapieno superiore	1.70	m
	lunghezza terrapieno inferiore	1.70	m
	altezza totale terrapieno a monte	2.60	m

Dati geotecnici

<i>terrapieno</i>	angolo di attrito	35.0	°
	angolo di attrito muro-terrapieno	21.0	°
	coefficiente di spinta attiva - formula generale: $ka(\alpha, \delta, \phi, i)$	0.27099	
	coesione	0.0	kN/m ²
	peso di volume	19.0	kN/m ³
<i>terreno di fondazione</i>	angolo di attrito	35.0	°
	coefficiente di attrito $f = \tan(KTF \times AATF)$	0.5715	
	fattore di riduzione angolo di attrito	0.85	
	coesione	0.0	kN/m ²
	peso di volume	19.00	MPa

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	8 di 18

Dati di carico

<i>azione sismica</i>	grado di sismicità (categoria zona sismica: I, II, III)	2	(2-6-9-12)
	coefficiente di intensità sismica	0.00	
	angolo di attrito muro-terrapieno in fase di sisma	0.0	°
	coefficiente di spinta attiva in presenza di sisma = $A \times KAS^*$	-	
	coefficiente di incremento di spinta attiva in presenza di sisma = $KAS-KA$	-	
<i>calcestruzzo</i>	peso di volume	25.00	kN/m ³
<i>sovraccarico uniforme</i>	Sovraccarico a monte in sommità del muro	54.40	kN/m ²
	Percentuale sovraccarico su platea	100.00	(0-100 %)
	Sovraccarico a valle	0.00	kN/m ²
	Percentuale sovraccarico su platea	100.00	(0-100 %)
<i>falda</i>	livello acqua falda da intradosso platea	0.00	m
	peso di volume	10.00	kN/m ³
	pressione idrostatica a monte	0	(1= si; 0= no)
	sottospinta idraulica sotto platea di fondazione	0	(1= si; 0= no)
<i>carichi applicati - uniforme</i>	Sovraccarico aggiuntivo laterale - lato monte	0.00	kN/m ²
	distanza di applicazione da filo posteriore platea di fondazione (+ verso monte)	0.00	m
	distanza di applicazione da intradosso platea di fondazione (+ verso alto)	0.00	m
	angolo di diffusione nel terreno	30.00	°

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	9 di 18

Sollecitazioni su terreno sotto platea di fondazione rigida

	Area [m ²]	X ₀ (m)	Z ₀ (m)	F _x kN/m	F _z kN/m	M _{stab} kNm/m	M _{rib} kNm/m	M _{p,G} kNm/m
Muro + platea di fondazione	1.380	-0.800	0.800	0.00	-34.50	27.60	0.00	12.08
Terrapieno	3.910	-1.450	1.450	0.00	-74.29	107.72	0.00	-22.29
Sovraccarico a monte	-	-1.450	2.600	0.00	-92.48	134.10	0.00	-27.74
Spinta terreno a monte	-	-2.300	0.867	17.40	0.00	0.00	15.08	15.08
Spinta sovraccarico a monte	-	-2.300	1.300	38.33	0.00	0.00	49.83	49.83
Forze applicate in sommità del muro	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta dell'acqua	-	-2.300	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sovraccarico a valle	-	-0.150	0.300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Incremento di spinta terreno a monte in fase di sisma	-	-2.300	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sovraccarico aggiuntivo laterale - lato monte	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sottospinta idraulica sotto platea di fondazione	-	-1.150	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

LEGENDA:

X₀, Z₀= coordinate dei punti di applicazione delle forze applicate sul muro di sostegno (s.d.r.)

F_x, F_z= componenti forze applicate sul muro di sostegno

M_{stab}, M_{rib}= momento stabilizzante, momento ribaltante

M_{p,G}= momento totale riferito al baricentro della platea di fondazione (lato intradosso)

Riepilogo delle sollec. riferite al baricentro della platea di fondaz. - lato intrad. (comb.: 2)

azione orizzontale	F _x =	55.73 kN/m
azione verticale	F _z =	-108.79 kN/m
momento flettente	M _{p,G} =	54.70 kNm/m

Riepilogo delle sollec. riferite al baricentro della platea di fondaz. - lato intrad. (comb.: 3)

azione orizzontale	F _x =	55.73 kN/m
azione verticale	F _z =	-201.27 kN/m
momento flettente	M _{p,G} =	26.95 kNm/m

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	10 di 18

Sollecitazioni su platea di fondazione combo 2

sezione	X (m)	DX (m)	qz,inf kN/m ²	u,inf kN/m ²	qz,sup kN/m ²	V,inf kN/m	V,sup kN/m	M,inf kNm/m	M,sup kNm/m	V,tot kN/m	M,tot kNm/m	spessore (m)
sez 0 - (valle)	0.00	0.00	112.06	0.00	-7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
sez 1 - (valle)	-0.08	0.08	107.73	0.00	-7.50	8.24	-0.56	0.31	-0.02	7.68	0.29	0.30
sez 2 - (valle)	-0.15	0.15	103.40	0.00	-7.50	16.16	-1.13	1.23	-0.08	15.03	1.14	0.30
sez 3 - (valle)	-0.23	0.23	99.07	0.00	-7.50	23.75	-1.69	2.73	-0.19	22.07	2.54	0.30
sez 4 - (valle)	-0.30	0.30	94.75	0.00	-7.50	31.02	-2.25	4.78	-0.34	28.77	4.45	0.30
paramento muro												
sez 5 - (monte)	-0.60	1.70	77.43	0.00	-105.60	60.67	-179.52	36.73	-152.59	-118.85	-115.86	0.30
sez 6 - (monte)	-0.94	1.36	57.81	0.00	-105.60	37.68	-143.62	20.20	-97.66	-105.94	-77.46	0.30
sez 7 - (monte)	-1.28	1.02	38.19	0.00	-105.60	21.36	-107.71	10.36	-54.93	-86.35	-44.58	0.30
sez 8 - (monte)	-1.62	0.68	18.56	0.00	-105.60	11.71	-71.81	4.92	-24.41	-60.10	-19.49	0.30
sez 9 - (monte)	-1.96	0.34	0.00	0.00	-105.60	0.00	-35.90	0.00	-6.10	-35.90	-6.10	0.30
sez 10 - (monte)	-2.30	0.00	0.00	0.00	-105.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

LEGENDA:

- X= ascissa sezione platea
- DX= distanza sezione da lembo estremo
- qz,inf= carico distribuito dovuto alla reazione di sottofondo del terreno
- u,inf= pressione idrostatica sotto platea di fondazione
- qz,sup= carico distribuito verso il basso
- V= sforzo di taglio (+: verso l'alto)
- M= momento flettente (+: tese le fibre di intradosso platea)

Sollecitazioni su platea di fondazione combo 3

sezione	X (m)	DX (m)	qz,inf kN/m ²	u,inf kN/m ²	qz,sup kN/m ²	V,inf kN/m	V,sup kN/m	M,inf kNm/m	M,sup kNm/m	V,tot kN/m	M,tot kNm/m	spessore (m)
sez 0 - (valle)	0.00	0.00	118.08	0.00	-7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
sez 1 - (valle)	-0.08	0.08	116.09	0.00	-7.50	8.78	-0.56	0.33	-0.02	8.22	0.31	0.30
sez 2 - (valle)	-0.15	0.15	114.09	0.00	-7.50	17.41	-1.13	1.31	-0.08	16.29	1.23	0.30
sez 3 - (valle)	-0.23	0.23	112.10	0.00	-7.50	25.90	-1.69	2.94	-0.19	24.21	2.75	0.30
sez 4 - (valle)	-0.30	0.30	110.11	0.00	-7.50	34.23	-2.25	5.19	-0.34	31.98	4.86	0.30
paramento muro												
sez 5 - (monte)	-0.60	1.70	102.13	0.00	-105.60	135.21	-179.52	104.04	-152.59	-44.31	-48.55	0.30
sez 6 - (monte)	-0.94	1.36	93.09	0.00	-105.60	102.02	-143.62	63.80	-97.66	-41.60	-33.86	0.30
sez 7 - (monte)	-1.28	1.02	84.05	0.00	-105.60	71.90	-107.71	34.32	-54.93	-35.81	-20.61	0.30
sez 8 - (monte)	-1.62	0.68	75.01	0.00	-105.60	44.86	-71.81	14.56	-24.41	-26.94	-9.86	0.30
sez 9 - (monte)	-1.96	0.34	65.98	0.00	-105.60	20.90	-35.90	3.47	-6.10	-15.01	-2.64	0.30
sez 10 - (monte)	-2.30	0.00	56.94	0.00	-105.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

LEGENDA:

- X= ascissa sezione platea
- DX= distanza sezione da lembo estremo
- qz,inf= carico distribuito dovuto alla reazione di sottofondo del terreno
- u,inf= pressione idrostatica sotto platea di fondazione
- qz,sup= carico distribuito verso il basso
- V= sforzo di taglio (+: verso l'alto)
- M= momento flettente (+: tese le fibre di intradosso platea)

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D.26 CL	RI 00 05 001	A	11 di 18

Verifica a ribaltamento

Azioni (comb.:1)	Mstab kNm/m	Mrib kNm/m
Muro + platea di fondazione	27.60	0.00
Terrapieno	107.72	0.00
Spinta terreno a monte	0.00	15.08
$\Sigma =$	135.32	15.08

Coefficiente di sicurezza $\eta_r =$ **8.97** ≥ 1.5

Azioni (comb.:2)	Mstab kNm/m	Mrib kNm/m
Muro + platea di fondazione	27.60	0.00
Terrapieno	107.72	0.00
Spinta terreno a monte	0.00	15.08
Spinta sovraccarico a monte	0.00	49.83
Forze applicate in sommità del muro	0.00	0.00
Spinta dell'acqua	0.00	0.00
Sovraccarico a valle	0.00	0.00
Incremento di spinta terreno a monte in fase di sisma	0.00	0.00
Sovraccarico aggiuntivo laterale - lato monte	0.00	0.00
Sottospinta idraulica sotto platea di fondazione	0.00	0.00
$\Sigma =$	135.32	64.91

Coefficiente di sicurezza $\eta_r =$ **2.08** ≥ 1.5

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	12 di 18

Verifica allo scorrimento

(verifica alla traslazione magrone terreno - inclinazione piano di slittamento = 0 °)

Azioni (comb.:1)

	Fx kN/m	Fz kN/m	Ft kN/m	Fn kN/m
<i>Muro + platea di fondazione</i>	0.00	-34.50	0.00	-34.50
<i>Terrapieno</i>	0.00	-74.29	0.00	-74.29
<i>Spinta terreno a monte</i>	17.40	0.00	17.40	0.00
$\Sigma =$	17.40	-108.79	17.40	-108.79

Coefficiente di sicurezza $\eta_t =$ **4.38** ≥ 1.3

Azioni (comb.:2)

	Fx kN/m	Fz kN/m	Ft kN/m	Fn kN/m
<i>Muro + platea di fondazione</i>	0.00	-34.50	0.00	-34.50
<i>Terrapieno</i>	0.00	-74.29	0.00	-74.29
<i>Spinta terreno a monte</i>	17.40	0.00	17.40	0.00
<i>Spinta sovraccarico a monte</i>	38.33	0.00	38.33	0.00
<i>Forze applicate in sommità del muro</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Spinta dell'acqua</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sovraccarico a valle</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Incremento di spinta terreno a monte in fase di sisma</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sovraccarico aggiuntivo laterale - lato monte</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sottospinta idraulica sotto platea di fondazione</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Sigma =$	55.73	-108.79	55.73	-108.79

Coefficiente di sicurezza $\eta_t =$ **1.37** ≥ 1.3

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA MDL1	LOTTO 01	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI 00 05 001	REV. A	ALLEGATO 1 13 di 18
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	------------------------

Riepilogo delle sollecitazioni (comb.: 2 e 3)

	spessore (m)	N kN/m	T kN/m	M kNm/m
Paramento verticale - sezione di spiccato	0.30	-17.25	47.52	49.43

Riepilogo delle sollecitazioni (comb.: 2)

	spessore (m)	N kN/m	T kN/m	M kNm/m
Mensola lato valle - sezione filo paramento verticale	0.30	0.00	28.77	4.45
Mensola lato monte - sezione filo paramento verticale	0.30	0.00	-118.85	-115.86

Riepilogo delle sollecitazioni (comb.: 3)

	spessore (m)	N kN/m	T kN/m	M kNm/m
Mensola lato valle - sezione filo paramento verticale	0.30	0.00	31.98	4.86
Mensola lato monte - sezione filo paramento verticale	0.30	0.00	-44.31	-48.55

N (-) : sforzo normale di compressione

M (+) : momento flettente che tende le fibre lato terreno - paramento verticale

: momento flettente che tende le fibre lato intradosso - platea di fondazione

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	14 di 18

Muri di sostegno con fondazioni superficiali

Verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Meyerhof)

F = 2.00

Parametri geotecnici terreno di fondazione

$\gamma =$	19.00	KN/m ³	peso specifico terreno di fondazione	
$\phi =$	35.00	°	angolo di attrito interno	$\phi = 0.609754$ rad
$c' =$	0.00	KN/m ²	coesione	
$\gamma_r =$	19.00	KN/m ³	peso specifico terreno di riempimento (laterale)	

Caratteristiche geometriche della fondazione

B =	2.30	m	larghezza della fondazione
L =	1.00	m	lunghezza della fondazione
D =	1.00	m	approfondimento della fondazione

Azioni esterne e pressione applicata

comb.	1				
H =	55.73	kN	azione orizzontale	$e = M/V =$	0.46
V =	108.79	kN	azione verticale	$B^* = B - 2e =$	1.38 m < 3 m
M =	54.70	kNm	momento flettente	$D/B^* =$	0.65
				$q^*_{es} = V/(B^*L) =$	84.04 KN/m ²
				$\theta =$	0.31 rad
				$\theta =$	17.70°

eccentricità del carico verticale V (in direzione trasversale --> B)
larghezza ridotta in relazione alla eccentricità del carico verticale
pressione media di esercizio applicata sull'area ridotta
angolo di inclinazione della risultante misurata dalla verticale

Valutazione del carico limite dell'insieme fondazione-terreno e del coefficiente di sicurezza

$$q_{lim} = c' N_c s_c d_c i_c + \gamma_r D N_q s_q d_q i_q + 1/2 B^* \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$$q_{lim} = 0.00 + 354.57 + 26.56 = 381.13 \quad \text{KN/m}^2$$

$$q^*_{es} = 84.04 \quad \text{KN/m}^2$$

$$F = q_{lim} / q^*_{es} = 381.13 / 84.04 = 4.53 > 2.00$$



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
PROGETTO DEFINITIVO - TRATTA RHO-GALLARATE

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	15 di 18

5.2 Verifiche strutturali

5.2.1 Muro frontale

Le massime sollecitazioni agenti nella sezione di spiccato del muro frontale sono:

$$M = 49.43 \text{ kNm}$$

$$T = 82.26 \text{ kN}$$

$$N = -94.13 \text{ kN}$$

La sezione è armata con $\phi 16/10$ lato interno e $\phi 16/20$ lato esterno. Vengono riportate le verifiche tensionali e di fessurazione.

Sollecitazioni		Carpenteria		Armatura			Verifiche tensionali		
N [kN]	M [kNm]	B [cm]	H [cm]	livello	As (cm ²)	hi_sup [cm]	y [cm]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]
-17.25	49.43	100	30	1	5 $\phi 16$ (10.05)	4.8	9.42	-4.30	108.03
				2	10 $\phi 16$ (20.11)	25.2	(dal bordo superiore)		

Verifica delle tensioni tangenziali - sezione solo cis

Sollecitazioni	Verifiche tensionali			
T [kN]	B [cm]	h [cm]	τ_{max} [MPa]	τ_{co} [MPa]
47.52	100.0	25.2	0.21	0.67 (Rck 35)



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
 PROGETTO DEFINITIVO - TRATTA RHO-GALLARATE

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	16 di 18

N = -17.25 [kN] $w_k = 1.7 w_m = 0.051$ [mm]
 M = 49.43 [kNm] $w_m = \epsilon_{sm} S_{im} = 0.030$ [mm]

Sezione di calcestruzzo [R]	Sezione interamente reagente [1° stadio]	Armatura ordinaria		
dim. B [cm] x H [cm] = 100 x 30		armatura - check Asv1		
A tot cls [cm ²] = 3000.00	A, I° [cm ²] = 3452.39	As tot [cm ²] = 30.16		
J tot cls [cm ⁴] = 225000.00	J, I° [cm ⁴] = 271381.32	μ_{rel} [%] = 1.01		
y_inf [cm] = 15.00	y_inf, I° [cm] = 14.55	n° livelli di armatura = 2		
y_sup [cm] = 15.00	y_sup, I° [cm] = 15.45	livello	As [cm ²]	hi_sup [cm]
W_inf [cm ³] = 15000.00	W_inf, I° [cm ³] = 18645.90	1	5 ϕ 16 (10.05)	4.8
W_sup [cm ³] = 15000.00	W_sup, I° [cm ³] = 17570.22	2	10 ϕ 16 (20.11)	25.2
			-	
			-	
			-	
			-	

Calcolo della distanza media tra le fessure

$s_{rm} = 2 (c+s/10) + k_2 k_3 \phi / \rho_r = 14.26$ [cm]
 ϕ = diametro della barra 1.6 [cm]
 c = ricoprimento dell'armatura 4.0 [cm]
 s = distanza tra le barre; se $s > 14 \phi$ si adotterà $s = 14 \phi$ 10.0 [cm]
 k_2 = coefficiente di aderenza del cls alla barra 0.4
 k_3 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni 0.188
 $\rho_r = A_s / A_{c\ eff} = 0.02815963$
 A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c\ eff}$ 20.11 [cm²]
 $A_{c\ eff} = b_{eff} d_{eff} = 714.01$ [cm²]
 $b_{eff} = B = 100.0$ [cm]
 $d_{eff} = 7.1$ [cm]
 $d_{eff} = c + s' + 7.5 \phi = 18.5$ [cm]
 $d_{eff} < (H-x_l)/2 = 7.14$ cm; $x_l = 15.72$ cm
 s' = interasse verticale tra le file di barre = 2.5 cm

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s [1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] (>= 0.4 \sigma_s / E_s) = 0.00020976$ $0.4 \sigma_s / E_s = 0.00020976$
 E_s = modulo di elasticità normale 206000 [MPa]
 σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata 108.03 [MPa]
 σ_{sr} = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata per la sollecitazione di fessurazione (M_{fess} , N_{fess}) 144.23 [MPa]
 $N_{fess} = N = -17.25$ [kN]
 $M_{fess} = [f_{cm} - N/A, I^\circ] W_{inf, I^\circ} = 65.38$ [kNm]
 $f_{cm} = f_{cm}$ = resistenza a trazione media per flessione 3.46 [MPa] cls Rck [MPa] = 35
 f_{ci} = trazione iniziale nel cls 0.00 [MPa]
 β_1 = coefficiente aderenza acciaio cls 1.0
 β_2 = coefficiente di sollecitazione 0.5

N.B. la verifica a fessurazione è stata condotta senza la riduzione di nessun carico applicato sull'opera, tale scelta progettuale va a favore di sicurezza.

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	17 di 18

5.2.2 Plinto

La zattera di fondazione è armata con uno strato di $\phi 16/10$ superiormente e $\phi 16/20$ inferiormente.

I tassi di lavoro risultano:

Sollecitazioni		Carpenteria		Armatura			Verifiche tensionali		
N [kN]	M [kNm]	B [cm]	H [cm]	livello	As (cm ²)	hi_sup [cm]	y [cm]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]
-	-48.55	100	30	1	10 $\phi 16$ (20.11)	4.8	9.15	-4.19	110.19
				2	5 $\phi 16$ (10.05)	25.2	(dal bordo inferiore)		

Verifica delle tensioni tangenziali - sezione solo cls

Sollecitazioni	Verifiche tensionali			
T [kN]	B [cm]	h [cm]	τ_{max} [MPa]	τ_{co} [MPa]
44.31	100.0	25.2	0.20	0.60 (Rck 30)



POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA
 PROGETTO DEFINITIVO - TRATTA RHO-GALLARATE

Relazione di calcolo opere di sostegno singolo binario nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	01	D 26 CL	RI 00 05 001	A	18 di 18

N = 0.00 [kN] $w_k = 1.7 w_m = 0.052$ [mm]
 M = -48.55 [kNm] $w_m = \epsilon_{sm} s_{rm} = 0.031$ [mm]

Sezione di calcestruzzo [R]	Sezione interamente reagente [1° stadio]	Armatura ordinaria		
dim. B [cm] x H [cm] = 100 x 30		armatura - check Asv1		
A tot cls [cm ²] = 3000.00	A, I° [cm ²] = 3452.39	As tot [cm ²] = 30.16		
J tot cls [cm ⁴] = 225000.00	J, I° [cm ⁴] = 271381.32	μ_{rel} [%] = 1.01		
y_inf [cm] = 15.00	y_inf, I° [cm] = 15.45	n° livelli di armatura = 2		
y_sup [cm] = 15.00	y_sup, I° [cm] = 14.55	livello	As [cm ²]	hi_sup [cm]
W_inf [cm ³] = 15000.00	W_inf, I° [cm ³] = 17570.22	1	10 ϕ 16 (20.11)	4.8
W_sup [cm ³] = 15000.00	W_sup, I° [cm ³] = 18645.90	2	5 ϕ 16 (10.05)	25.2

Calcolo della distanza media tra le fessure

$s_{rm} = 2 (c+s/10) + k_2 k_3 \phi / \rho_r = 14.34$ [cm]
 ϕ = diametro della barra 1.6 [cm]
 c = ricoprimento dell'armatura 4.0 [cm]
 s = distanza tra le barre; se $s > 14 \phi$ si adotterà $s = 14 \phi$ 10.0 [cm]
 k_2 = coefficiente di aderenza del cls alla barra 0.4
 k_3 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni 0.188
 $\rho_r = A_s / A_{c\ eff} = 0.02762888$
 A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c\ eff}$ 20.11 [cm²]
 $A_{c\ eff} = b_{eff} d_{eff} = 727.72$ [cm²]
 $b_{eff} = B = 100.0$ [cm]
 $d_{eff} = 7.3$ [cm]
 $d_{eff} = c + s' + 7.5 \phi = 18.5$ [cm]
 $d_{eff} < (H-x)/2 = 7.28$ cm; $x_l = 15.45$ cm
 s' = interasse verticale tra le file di barre = 2.5 cm

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s [1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] (\geq 0.4 \sigma_s / E_s) = 0.00021397$ $0.4 \sigma_s / E_s = 0.00021397$
 E_s = modulo di elasticità normale 206000 [MPa]
 σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata 110.19 [MPa]
 σ_{sr} = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata per la sollecitazione di fessurazione (M_{fess} , N_{fess}) 132.00 [MPa]
 $N_{fess} = N = 0.00$ [kN]
 $M_{fess} = -[fcm]W_{sup, I^\circ} = -58.16$ [kNm]
 $fcm = f_{cm}$ = resistenza a trazione media per flessione 3.12 [MPa] $cls\ R_{ck}$ [MPa] = 30
 f_{ci} = trazione iniziale nel cls 0.00 [MPa]
 β_1 = coefficiente aderenza acciaio cls 1.0
 β_2 = coefficiente di sollecitazione 0.5

Le verifiche risultano soddisfatte.