

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA.

TRATTA RHO-GALLARATE

QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y

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

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

VI05 – Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87

Relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

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

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

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

ITALFERR - U.S. INFRASTRUTTURE NORD
Dot. Luigi Pizzillo Saccchi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
3172/2019

File: MDL132D26CLVI0500003B.doc

n. Elab.:



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	2 di 90

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	6
3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	9
4	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	10
5	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	11
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
7	PARAMETRI GEOTECNICI	14
8	ANALISI DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI.....	16
8.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	16
8.2	METODOLOGIA DI CALCOLO.....	18
8.2.1	<i>Parametri ed ipotesi di calcolo</i>	<i>19</i>
8.2.2	<i>Tiranti.....</i>	<i>21</i>
8.3	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE	24
8.3.1	<i>Schema e fasi di calcolo</i>	<i>28</i>
8.3.2	<i>Risultati delle analisi e verifiche</i>	<i>29</i>
9	ALLEGATO.....	50
	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE.....	50
	DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA E DEGLI STRATI DI TERRENO.....	51
	DESCRIZIONE PARETI.....	52
	FASI DI CALCOLO	53
	FASE 0.....	53
	FASE 0	53
	FASE 1.....	55



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	3 di 90

FASE 1	55
FASE 2	57
FASE 2	57
FASE 3	59
FASE 3	59
FASE 4	61
FASE 4	61
FASE 5	63
FASE 5	63
<i>DESCRIZIONE COEFFICIENTI DESIGN ASSUMPTION</i>	<i>65</i>
<i>DESCRIZIONE SINTETICA DEI RISULTATI DELLE DESIGN ASSUMPTION (INVILUPPI)</i>	<i>66</i>
GRAFICO INVILUPPI MOMENTO	67
GRAFICO INVILUPPI TAGLIO	69
INVILUPPO RISULTATI ELEMENTI STRUTTURALI	71
<i>NORMATIVE ADOTTATE PER LE VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI</i>	<i>73</i>
RIEPILOGO STAGE / DESIGN ASSUMPTION PER INVILUPPO	74
RISULTATI STEELWORLD	75
TABELLA INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A MOMENTO - STEELWORLD : LEFT	75
GRAFICO INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A MOMENTO - STEELWORLD	76
TABELLA INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A TAGLIO - STEELWORLD : LEFT	77
GRAFICO INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A TAGLIO - STEELWORLD	78
VERIFICHE TIRANTI SLE (RARA)	79
VERIFICHE TIRANTI A1+M1+R1	80
VERIFICHE TIRANTI A2+M2+R1	81
VERIFICHE TIRANTI SISMICA STR	82



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	4 di 90

VERIFICHE TIRANTI SISMICA GEO	83
INVILUPPO VERIFICHE TIRANTI (SU TUTTE LE D.A. ATTIVE)	84
VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE NOMINAL	85
VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE SLE (RARA)	86
VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE A1+M1+R1	87
VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE A2+M2+R1	88
VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE SISMICA STR	89
VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE SISMICA GEO	90



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	5 di 90

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di potenziamento dell'attuale tratta a doppio binario Rho-Gallarate sulla linea Rho-Arona, sono stati individuati quale fase minima funzionale gli interventi compresi tra la stazione di Rho e la radice lato Gallarate della stazione di Parabiago, nonché la realizzazione del "Raccordo Y" di collegamento tra la linea F.S. e la linea Ferrovie Nord Milano (F.N.M.) nei pressi della stazione di Busto Arsizio. Tale configurazione rappresenta il Primo Lotto Funzionale dell'intero intervento di potenziamento della linea e dal 2009 è oggetto di un complesso iter autorizzatorio, come meglio descritto nella relazione generale di progetto.

Tale tratta è ubicata a nord-ovest del capoluogo lombardo ed interessa la provincia di Milano corrispondente con la fascia di territorio compresa nei comuni di Rho, Pregnana Milanese, Vanzago, Pogliano Milanese, Nerviano, Parabiago e la provincia di Varese corrispondente con la fascia di territorio compresa nei comuni di Castellana e Busto Arsizio.



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	6 di 90

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del presente documento è quello di eseguire le verifiche geotecniche e strutturale delle berlinesi provvisionali necessarie a sostenere gli scavi durante le fasi realizzative dell'intervento in corrispondenza del prolungamento del ponte al km 0+810.87 relativo al Progetto Definitivo del potenziamento della Linea Rho-Arona, tratta Rho-Gallarate (nodo di Milano).

Si tratta della paratia di micropali $\varnothing 300$ armati con tubi $\varnothing 197.3$ mm e spessore 12.5mm atta alla protezione degli scavi in corrispondenza delle spalle. I micropali hanno profondità variabile per risolvere il problema dell'interferenza con i micropali di fondazione per cui, a scopo cautelativo, è stato considerato l'interasse di calcolo $i = 0.9$ m relativo ai soli micropali di lunghezza maggiore ($L=10$ m).

L'opera è puntonata in testa per mezzo di profilati diagonali ed è presente un ordine di tiranti attivi a 2 trefoli, con inclinazione $=15^\circ$, interasse orizzontale 1.8 m e lunghezza $L=5$ m (libera) +7m (bulbo)=12 m; questi sono ubicati alla profondità di 2.7 m dal cordolo. I vincoli previsti scaturiscono dall'esigenza di contenere gli spostamenti della paratia e i relativi cedimenti indotti sull'esercizio ferroviario.

I tiranti sono pretesati a 100 kN ciascuno. La quota della falda stimata è a 10.0 m (sondaggio SCMDL1R25).

Due HEA180 svolgono il ruolo di travi di ripartizione. L'iniezione della malta dei bulbi è realizzata con il metodo IRS.

Nei paragrafi successivi verranno affrontati i seguenti aspetti:

- descrizione della successione stratigrafica e dei parametri geotecnici di progetto;
- descrizione delle scelte progettuali e delle caratteristiche dell'opera di sostegno provvisoria;
- descrizione delle metodologie di calcolo, analisi della paratia e verifiche strutturali e geotecniche.

In Allegato vengono riportati i tabulati di calcolo completi.

Si riportano, di seguito, planimetrie e sezioni tipiche della struttura.

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	7 di 90

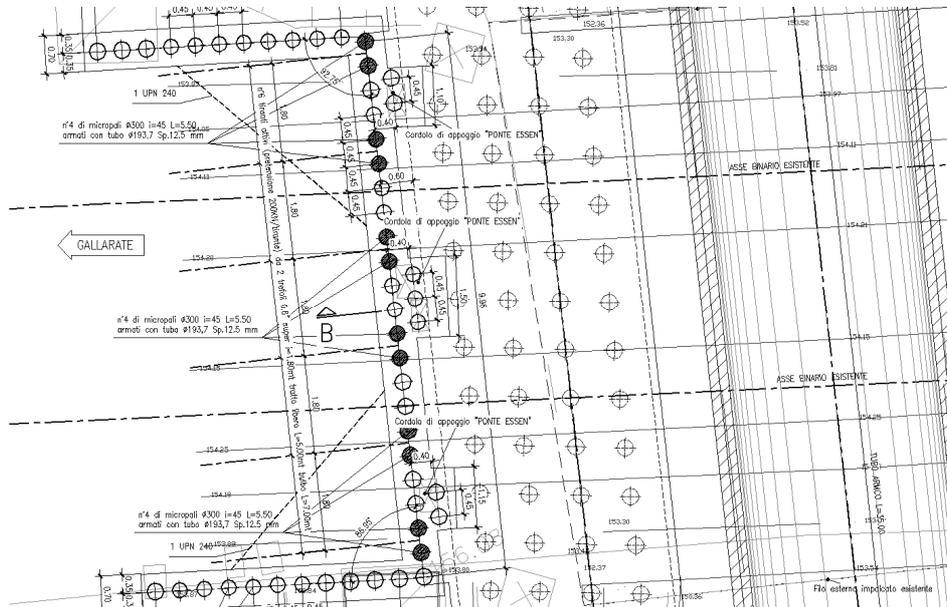


Figura 1 – Stralcio pianta paratia

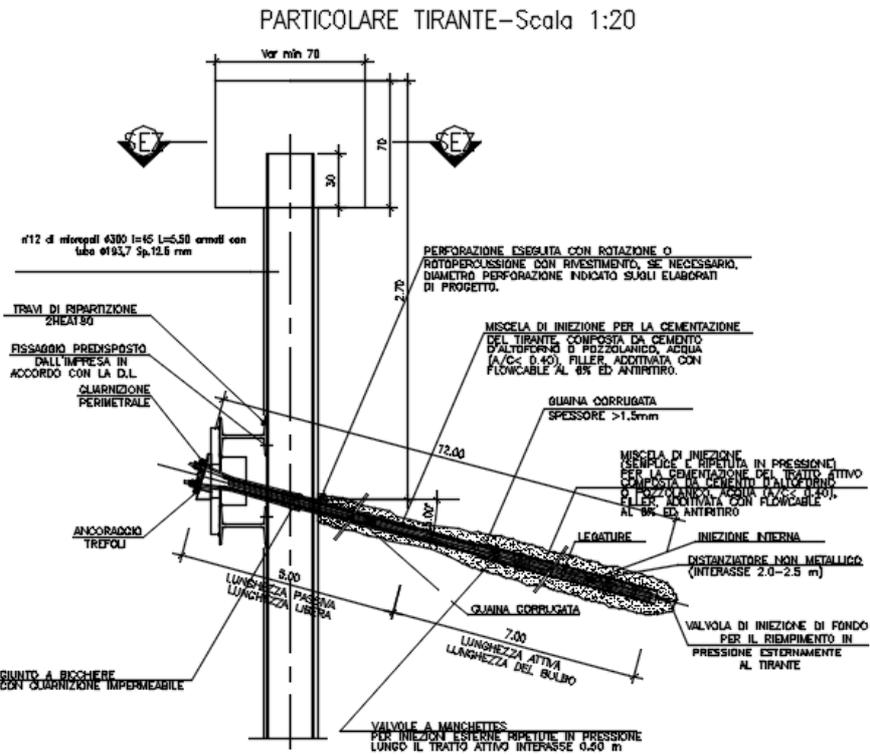


Figura 2 – Sezione trasversale

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	8 di 90

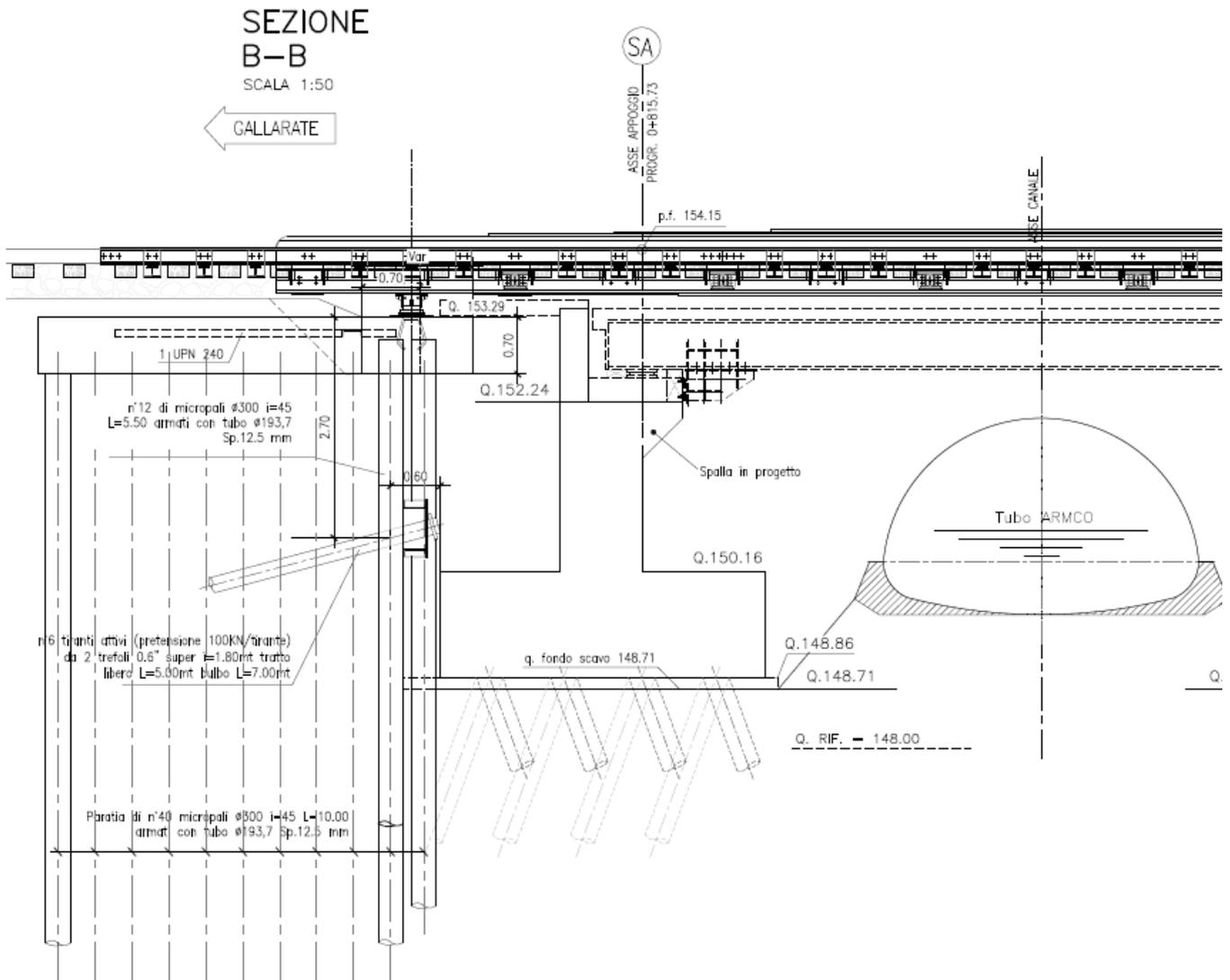


Figura 3 – Sezione longitudinale paratia

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	9 di 90

3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

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

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- UNI EN 1992-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali”.
- UNI EN 1992-2 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1:2014: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.

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

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



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	10 di 90

4 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 geotecnico – tav. 1/6.
- [E_7] – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 2/6.
- [E_8] – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 3/6.
- [E_9] – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 4/6.
- [E_10] – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 5/6.
- [E_11] – Potenziamento della linea Rho-Arona tratta Rho-Gallarate – Profilo geotecnico – tav. 6/6.

5 UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Unità di misura principali

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

Unità di misura derivate

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

Corrispondenze notevoli

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ kN/m}^3 \sim 100 \text{ kgf/m}^3$$

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

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



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	12 di 90

6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel seguito si riportano le principali caratteristiche dei materiali impiegati:

Calcestruzzo classe C25/30

R_{ck}	30.00	Mpa	Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica del calcestruzzo a 28 gg
f_{ck}	24.90	Mpa	Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo a 28 gg
f_{cm}	32.90	Mpa	Valore medio della resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo
f_{ctm}	2.56	Mpa	Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo
f_{ctm}	3.07	Mpa	Valore medio della resistenza a trazione per flessione del calcestruzzo
$f_{ctk,0,05}$	1.79	Mpa	Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo (frattile del 5%)
$f_{ctk,0,95}$	3.33	Mpa	Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo (frattile del 95%)
$E_{cm,t0}$	31447	Mpa	Modulo di elasticità secante del calcestruzzo
$E_{cm,t\infty}$	11073	Mpa	Modulo di elasticità secante del calcestruzzo a tempo infinito
ϵ_{c1}	2.1	%	Deformazione di contrazione del calcestruzzo alla tensione di picco
ϵ_{cu1}	3.5	%	Deformazione ultima di contrazione del calcestruzzo
ϵ_{c2}	2.0	%	Deformazione di contrazione del calcestruzzo alla tensione di picco
ϵ_{cu2}	3.5	%	Deformazione ultima di contrazione del calcestruzzo

Classe di esposizione XC2

Acciaio per strutture in conglomerato cementizio B450C

TIPO	B450 C	Mpa	Tipo di acciaio
f_{yk}	450	Mpa	Tensione Caratteristica di Snervamento
f_{tk}	540	Mpa	Tensione Caratteristica di Rottura
Verifiche agli SLU			
γ_s	1.15		Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio
f_{yd}	391.30	Mpa	Resistenza di calcolo a Trazione dell'Acciaio
Verifiche agli SLE			
σ_s	360	Mpa	Massima tensione nell'acciaio in Esercizio

Acciaio per tiranti

f_{ptk}	1860	Mpa	Tensione Caratteristica di Rottura
f_{p1k}	1674	Mpa	Tensione Caratteristica di Snervamento
σ_{pi}	1395	Mpa	Tensione massima ammissibile nell'armatura al tiro
σ_{pi}	1339	MPa	Tensione massima ammissibile nell'armatura in esercizio



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	13 di 90

Acciaio da carpenteria metallica S355:

TIPO S355 Mpa
 f_{yk} 355 Mpa
 f_{tk} 510 Mpa
 E_s 210000 Mpa
 ν 0.3
G 80769 Mpa

Verifiche agli SLU

γ_{m0} 1.05
 f_{yd} 338.10 Mpa

Tipo di acciaio
Tensione Caratteristica di Snervamento
Tensione Caratteristica di Rottura
Modulo elastico
Coefficiente di poisson
Modulo di elasticità trasversale

Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4
Resistenza di calcolo dell'Acciaio

Acciaio per armatura micropali S275:

TIPO S275 Mpa
 f_{yk} 275 Mpa
 f_{tk} 430 Mpa
 E_s 210000 Mpa
 ν 0.3
G 80769 Mpa

Verifiche agli SLU

γ_{m0} 1.05
 f_{yd} 261.90 Mpa

Tipo di acciaio
Tensione Caratteristica di Snervamento
Tensione Caratteristica di Rottura
Modulo elastico
Coefficiente di poisson
Modulo di elasticità trasversale

Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4
Resistenza di calcolo dell'Acciaio

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	14 di 90

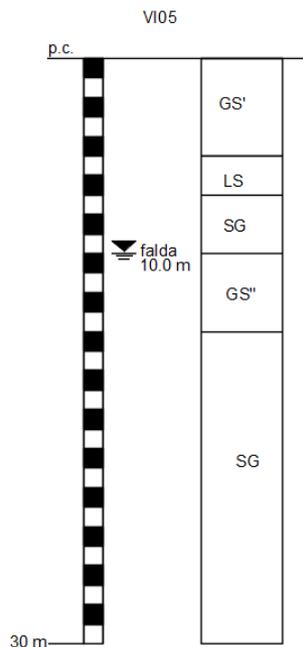
7 PARAMETRI GEOTECNICI

La caratterizzazione stratigrafica della tratta in esame è stata individuata dalle informazioni ottenute dalla campagna d'indagine svolta nell'anno 2017.

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 2017: in particolare, nelle immediate vicinanze dell'opera in esame (prg. km 0+810.87) è stato eseguito il sondaggio SCMDL1R25, spinto fino alla profondità di 30.0 m dal p.c.

Sulla base di quanto sopra e dalla caratterizzazione stratigrafica e dei parametri geotecnici di progetto riportati nella relazione geotecnica generale (elaborato [E_5]), per l'opera in oggetto è stata individuata la caratterizzazione stratigrafica di progetto riportata di seguito, caratterizzante il sito di ubicazione dell'opera.

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



LEGENDA UNITA'

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

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ	c_u	c'	φ	V_s	G_0	E_{op}	k	N_{SPT}	c_v
	(kN/m^3)	(kPa)	(kPa)	($^\circ$)	(m/s)	(MPa)	(MPa)	(cm/s)	(N_2+N_3)	(cm^2/s)
LS	20	30±100	10±30	25±30	-	-	10±20	10 ⁻⁵	-	3710 ⁻³ ±5710 ⁻³
GS'	19±20.5	-	-	35±37	200±350	70±250	20±40	10 ⁻² ±10 ⁻³	4±37	-
GS''	19±20.5	-	-	37±39	250±450	150±400	15±45	10 ⁻² ±10 ⁻³	25±60	-
SG	20±21	-	-	32±35	300±450	200±450	15±30	10 ⁻³	30±60	-
SL	20±21.5	-	-	30±32	-	-	18±20	10 ⁻⁴	-	-

Note

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

Figura 4 – Stratigrafia

I simboli rappresentati nella scheda geotecnica hanno il seguente significato:

□ = peso di volume naturale

c_u = coesione non drenata



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	15 di 90

c' = coesione efficace

φ' = angolo d'attrito

ν = 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_\square = coefficiente di consolidazione secondaria

Note: - il valore di φ' adottato per i terreni tipo G è stato considerato pari a quello dello strato GS'' ($\varphi = 35^\circ$) a favore di 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 10 m dal p.c., come si evince dal profilo geotecnico di riferimento (si veda l'elaborato [E_11]).

Essendo la paratia un'opera provvisoria non è necessaria la verifica sismica. □

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	17 di 90

Il tirante in testa ha le seguenti caratteristiche:

UPN (h) mm	b mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm ²	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
							Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy cm
200	75	8,5	11,5	11,5	25,3	32,2	1.911	148	191	26,9	7,71	2,14
220	80	9,0	12,5	12,5	29,4	37,4	2.691	196	245	33,5	8,48	2,29
240	85	9,5	13,0	13,0	33,2	42,3	3.599	247	300	39,5	9,22	4,42
260	90	10,0	14,0	14,0	37,9	48,3	4.824	317	371	47,8	10,0	2,56
280	95	10,0	15,0	15,0	41,9	53,4	6.276	398	448	57,2	10,8	2,73
300	100	10,0	16,0	16,0	46,1	58,8	8.028	493	535	67,6	11,7	2,90



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	18 di 90

8.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o eventuale inserimento degli elementi di contrasto), è necessario l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Allo scopo si impiega il codice di calcolo "PARATIE PLUS" Versione 17.0 della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatica, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

Con tale metodologia, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

Il metodo sopra esposto è sicuramente valido per il calcolo delle sollecitazioni all'interno della struttura che, come noto (cfr. [Becci & Nova, 1987], [Dhouib, 1995]), sono praticamente indipendenti dalla rigidità delle molle che simulano il terreno. Permangono le limitazioni intrinseche al metodo ed in particolare quella di non permettere la determinazione degli spostamenti del piano campagna.

8.2.1 Parametri ed ipotesi di calcolo

Il metodo di calcolo richiede la definizione di parametri, valutati in funzione delle caratteristiche geotecniche e fisiche dei terreni e delle caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera. In particolare si definiscono i seguenti parametri di spinta:

- pressione a riposo: $P'_0 = K_0 \sigma'_v$

con:

K_0 = coefficiente di spinta a riposo;

σ'_v = tensione verticale efficace;
- pressione attiva: $P'_a = K_a \sigma'_v - c' K_{ac} + q' K_a$

con:

K_a = coefficiente di spinta attiva;

$K_{ac} = 2 K_a^{0.5}$
- pressione passiva: $P'_p = K_p \sigma'_v + c' K_{pc}$

con:

K_p = coefficiente di resistenza passiva;

$K_{pc} = 2 \cdot (K_p)^{0.5}$

La rigidità delle molle che modellano l'azione del terreno è proporzionale al modulo di rigidità in fase elastica del terreno.

Nel seguito si forniscono i parametri per l'interazione delle unità geotecniche con l'opera di sostegno in oggetto dove i coefficiente di spinta attiva e passiva K_a e K_p sono stati calcolati tenendo conto dell'eventuale inclinazione del profilo del terreno e dell'aderenza parete-terreno \square (formulazione di Muellet-Breslav 1924). La successione stratigrafica di riferimento per la sezione di calcolo è mostrata al paragrafo 7.

Strato 1: Terreno tipo GS' da 0 m a -5.0 m da p.c.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| $\square = 19.0 \text{ kN / m}^3$ | peso di volume |
| $c' = 0 \text{ kPa}$ | coesione drenata di progetto; |
| $\varphi' = 35^\circ$ | angolo di resistenza al taglio di progetto; |
| $k_0 = 0.426$ | coefficiente di spinta a riposo ($k_0 = 1 - \sin \varphi'$); |
| $E_{vc} = 20000 \text{ kPa}$ | modulo di rigidità in compressione vergine; |
| $E_{ur} = 2.5 E_{vc}$ | modulo di rigidità per percorsi tensionali di scarico-ricarico. |

Strato 2: Terreno tipo LS da -5.0 m a -7.0 m da p.c.

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	20 di 90

$\gamma = 20.0 \text{ kN / m}^3$ peso di volume
 $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata di progetto;
 $\varphi' = 25^\circ$ angolo di resistenza al taglio di progetto;
 $k_0 = 0.577$ coefficiente di spinta a riposo ($k_0 = 1 - \tan \varphi'$);
 $E_{vc} = 10000 \text{ kPa}$ modulo di rigidezza in compressione vergine;
 $E_{ur} = 2.5 E_{vc}$ modulo di rigidezza per percorsi tensionali di scarico-ricarico.

Strato 3: Terreno tipo SG da -7.0 m a -10.0 m da p.c.

$\gamma = 20.0 \text{ kN / m}^3$ peso di volume
 $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata di progetto;
 $\varphi' = 32^\circ$ angolo di resistenza al taglio di progetto;
 $k_0 = 0.470$ coefficiente di spinta a riposo ($k_0 = 1 - \tan \varphi'$);
 $E_{vc} = 15000 \text{ kPa}$ modulo di rigidezza in compressione vergine;
 $E_{ur} = 2.5 E_{vc}$ modulo di rigidezza per percorsi tensionali di scarico-ricarico.

Strato 4: Terreno tipo GS'' da -10.0 m a -14.0 m da p.c.

$\gamma = 19.0 \text{ kN / m}^3$ peso di volume
 $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata di progetto;
 $\varphi' = 37^\circ$ angolo di resistenza al taglio di progetto;
 $k_0 = 0.398$ coefficiente di spinta a riposo ($k_0 = 1 - \tan \varphi'$);
 $E_{vc} = 15000 \text{ kPa}$ modulo di rigidezza in compressione vergine;
 $E_{ur} = 2.5 E_{vc}$ modulo di rigidezza per percorsi tensionali di scarico-ricarico.

Strato 5: Terreno tipo SG da -14.0 m fino alla profondità di interesse

$\gamma = 20.0 \text{ kN / m}^3$ peso di volume
 $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata di progetto;
 $\varphi' = 32^\circ$ angolo di resistenza al taglio di progetto;
 $k_0 = 0.470$ coefficiente di spinta a riposo ($k_0 = 1 - \tan \varphi'$);
 $E_{vc} = 15000 \text{ kPa}$ modulo di rigidezza in compressione vergine;
 $E_{ur} = 2.5 E_{vc}$ modulo di rigidezza per percorsi tensionali di scarico-ricarico.

Il livello di falda è stato assunto a 10 m dal p.c. locale di definizione della stratigrafia.



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	21 di 90

8.2.2 Tiranti

Lunghezza del tratto libero

La lunghezza libera dei tiranti L_{lib_i} è stata stimata a partire dalla distanza d_i misurata, lungo la direzione dell' i -esimo tirante di inclinazione nota, dalla testa dello stesso ad un piano inclinato rispetto alla verticale di $45^\circ/2$ e passante per il piede della paratia. La lunghezza libera dell' i -esimo tirante è stata posta pari alla distanza d_i incrementata del 20%.

Si ha quindi per l' i -esimo tirante:

$$L_{lib_i} \geq 1.2 \cdot d_i \geq 1.2 \cdot \left(\frac{(H + t - h_i) \cdot \sin(45 - \varphi'/2)}{\sin(45 + \varphi'/2 + \alpha_i)} \right)$$

Dove:

α_i = inclinazione del tirante rispetto l'orizzontale

φ' = angolo d'attrito del terreno

H = altezza fuori terra paratia

t = infissione paratia

h_i = profondità tirante

Lunghezza del bulbo (o fondazione)

La lunghezza di ancoraggio L_{anc} viene stimata sulla base del criterio di scivolamento Mohr-Coulomb.

La tensione limite di aderenza tra il bulbo ed il terreno è determinata in funzione della profondità dell'ancoraggio dal piano campagna e dei parametri geomeccanici che caratterizzano il terreno. La determinazione delle lunghezze d'ancoraggio avviene attraverso le seguenti relazioni:

$$z_i = h_i + (L_{lib_i} + 0.5L_{anc_i}) \cdot \tan(\alpha_i)$$

$$\sigma'_{n_i} = \text{media}[\sigma'_{v_i}, \sigma'_{h_i}] = \gamma \cdot z_i \cdot \text{media}[1, (1 - \sin(\varphi'))]$$

$$\tau_{lim_i} = c' + \sigma'_{n_i} \cdot \tan(\varphi)$$

$$L_{anc_i} \geq \frac{T_{max} \cdot \eta}{(\tau_{lim_i} \cdot \pi \cdot \phi_{perf_i} \cdot \alpha)}$$



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	22 di 90

essendo:

z_i = profondità media del bulbo di ancoraggio dell'i-esimo tirante dal piano campagna

h_i = profondità della testa dell'i-esimo tirante

L_{lib_i} = lunghezza libera tirante dell'i-esimo tirante

L_{anc_i} = lunghezza ancoraggio tirante dell'i-esimo tirante

φ_i = angolo di inclinazione dell'i-esimo tirante

γ = peso di volume del terreno

c = coesione terreno

φ = angolo di attrito terreno

η = coefficiente di sicurezza allo sfilamento

T_{max} = tiro massimo di esercizio previsto, stimato a partire dal pretiro incrementato del 25%

τ_{lim_i} = tensione tangenziale limite bulbo/terreno dell'i-esimo tirante

σ_n = tensione normale alla superficie del bulbo dell'i-esimo tirante

\varnothing_{perf_i} = diametro di perforazione dell'i-esimo tirante

α = coefficiente funzione della modalità esecutiva dei tiranti e della natura dei terreni

In considerazione delle caratteristiche tecnologiche delle iniezioni e della natura dei terreni, si valuta una tensione di adesione laterale limite fondazione-terreno riferita al diametro nominale di perforazione:

$$\alpha\tau_{lim} = 1,1*150 \text{ kPa} \quad \text{per tutte le unità geotecniche;}$$

In particolare, si utilizzano iniezioni multiple e selettive - metodo IRS, attraverso valvole poste ad interasse non superiore a 0.5 m, ed i seguenti valori dei coefficienti su citati.

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	23 di 90

Valori del coefficiente α ($V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$)

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marna	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

Indicazioni per la scelta del valore di s

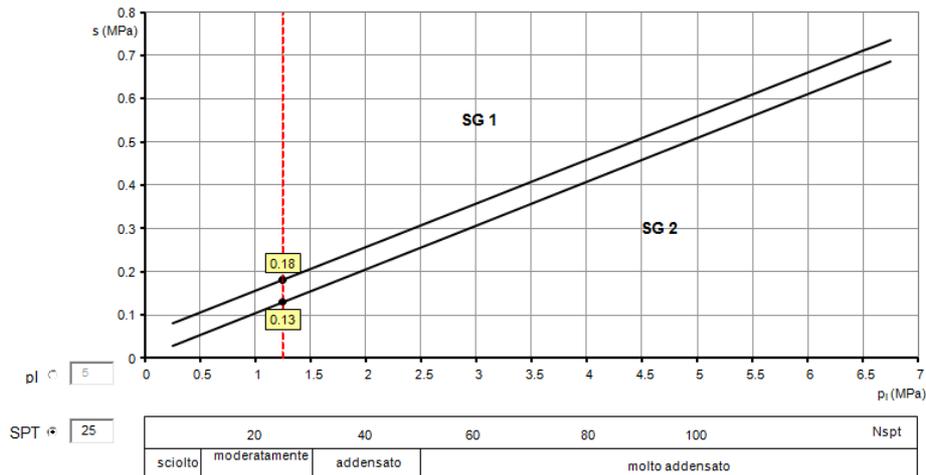
TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	≥ R1	≥ R2

Di seguito si riporta l'abaco di Bustamante e Doix

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	24 di 90

Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie



I parametri calcolati sono quindi i seguenti

- $\alpha=1.6$
- $q_{skin}=180\text{kPa}$

A favore di sicurezza, e coerentemente con la precedente versione della relazione, vengono adottati i seguenti parametri:

- $\alpha=1.1$
- $q_{skin}=150\text{kPa}$.

8.3 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

L'analisi delle paratie è stata condotta con il programma ad elementi finiti PARATIE PLUS 17.0, esaminando le varie fasi realizzative dell'opera, in modo da valutare l'influenza che le modalità costruttive hanno sullo stato di sollecitazione della struttura. La struttura è stata schematizzata mediante elementi tipo BEAM con uno spessore di rigidità flessionale equivalente a quello dello sviluppo unitario della paratia di micropali.

Nel caso dei tiranti il vincolo è stato schematizzato tenendo conto dell'interasse longitudinale dei tiranti, l'area dei trefoli, l'inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale e il tiro iniziale presente del tirante.



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	25 di 90

Seguendo le prescrizioni contenute nelle Norme tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008) per il dimensionamento delle paratie, si è assicurato che sia verificata la condizione:

$$Ed \leq R_d$$

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata considerando lo stato limite di esercizio SLE ed i diversi stati limite ultimi SLU, sia di tipo geotecnico (GEO) che di tipo strutturale (STR).

- SLU – GEO: collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera
- SLU – GEO: sfilamento di uno o più ancoraggi
- SLU – STR: raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi
- SLU – STR: raggiungimento della resistenza strutturale della paratia
- SLE: spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della paratia e la sua efficienza

Le suddette verifiche sono state effettuate impiegando diverse combinazioni di coefficienti parziali, definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Le azioni di progetto E_d sono quindi state ottenute applicando i coefficienti A1 e A2 riportati in Tabella 6.2.I (NTC2008) alle azioni caratteristiche.

La resistenza di progetto R_d è stata ottenuta applicando i coefficienti parziali M1 e M2 di Tabella 6.2.II ai parametri del terreno, ed i coefficienti parziali γ_R riportati nella Tabella 6.5.I alle resistenze.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	26 di 90

Per le verifiche delle membrature in acciaio si è fatto riferimento ai fattori parziali di Tabella 4.2.V.

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Per acciaio da armatura o in trefoli si è adottato un coefficiente $\gamma_M = 1.15$.

Nelle verifiche di tipo strutturale **STR** sono stati considerati gli stati ultimi per raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, e l'analisi è stata svolta utilizzando la combinazione **A1+M1+R1**.

Nelle verifiche di tipo geotecnico **GEO**, è stato considerato lo sviluppo dei meccanismi di collasso determinati dalla resistenza del terreno. Le analisi sono state quindi condotte considerando come coefficienti parziali la combinazione **A2+M2+R1**.

La verifica di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio (GEO) è stata effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (par. 6.6.2 delle NTC2008), tenendo conto dei coefficienti riportati nelle precedenti tabelle e, per quanto riguarda R3, con quelli della Tabella 6.6.I.

Tabella 6.6.I – Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi

	SIMBOLO	COEFFICIENTE PARZIALE
	γ_R	
Temporanei	$\gamma_{Ra,1}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2

In dette verifiche, la massima azione di progetto E_d è stata confrontata con la resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{ak} i fattori parziali γ_R riportati nella precedente tabella. Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento R_{ak} non è stato determinato con prove di progetto su ancoraggi di prova, e pertanto la normativa prescrive di valutare R_{ak} come il minore dei valori ottenuti applicando i coefficienti di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} riportati nella Tabella 6.6.III rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo:

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}} ; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	27 di 90

Tabella 6.6.III: Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine.

numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Nel caso in esame, si è scelto cautelativamente di considerare un numero di verticali indagate pari a 1, e utilizzare di conseguenza i seguenti coefficienti di riduzione:

$$\xi_{a3} = 1.80$$

$$\xi_{a4} = 1.80$$

La resistenza allo sfilamento è stata dunque ridotta dapprima con $\xi_{a3} = 1.80$ e successivamente con il coefficiente $\gamma_{Ra,t} = 1.1$ (ancoraggi temporanei).

Di seguito si effettua il progetto e la verifica delle paratie con 1 ordine di tiranti.

La paratia in oggetto è costituita da pali di 300 mm di diametro, passo 900 mm, e lunghezza 10.0 m.

L'armatura è costituita da un tubo di diametro 197.3 mm e spessore 12.5 mm.

I tiranti sono costituiti da trefoli da 0.6'' in acciaio armonico e passo 1.80 m; nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche adottate.

Travi di ripartizione in doppio profilo HE180A

Profilato diagonale UPN 240.

Ordine di tiranti	Interasse tiranti [m]	Diametro di perforazione [mm]	Numero di trefoli	Lunghezza libera [m]	Lunghezza bulbo [m]	Precarico [kN]	Inclinazione rispetto all'orizzontale [°]
1°	1.80	150	2	5	7	100	15



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	28 di 90

8.3.1 Schema e fasi di calcolo

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione per la sezione esaminata.

Lo schema della sezione di calcolo è riportato in Figura 3. La massima altezza di scavo è di 4.50 m.

La quota 0.0 di calcolo è convenzionalmente posizionata a quota estradosso trave di collegamento micropali.

Nel calcolo si è tenuto conto del carico permanente dovuto al peso di uno spessore di terreno di 0.7 m ($q_p = 0.7 \cdot 20 = 14$ kPa).

Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale ferroviario dei binari in esercizio valutando un carico uniformemente distribuito pari al treno LM71 ($q_{acc} = 52.08$ kPa), considerando:

larghezza impronta di carico = estensione modello;
quota applicazione carico = 0 m (testa paratia);
pressione applicata = 52.08 kPa sul binario.

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

- Fase 0: Esecuzione della paratia di micropali e della trave di collegamento sommitale con estradosso alla quota 0.0 m di calcolo.
- Fase 1: Esecuzione del profilato diagonale che funge da tirante in testa.
- Fase 2: Scavo fino a quota -3.2 m per inserimento del primo ordine di tiranti;
- Fase 3: Applicazione del carico permanente ($q_p = 14$ kPa) uniformemente distribuito a tergo paratia e del sovraccarico accidentale ($q_{acc} = 52.08$ kPa) come “strip foundation”.
- Fase 4: Inserimento dell’ordine di tiranti a quota -2.70 m con le caratteristiche illustrate al paragrafo 8.1.
- Fase 5: Scavo massimo fino a quota -4.5 da testa paratia.

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	29 di 90

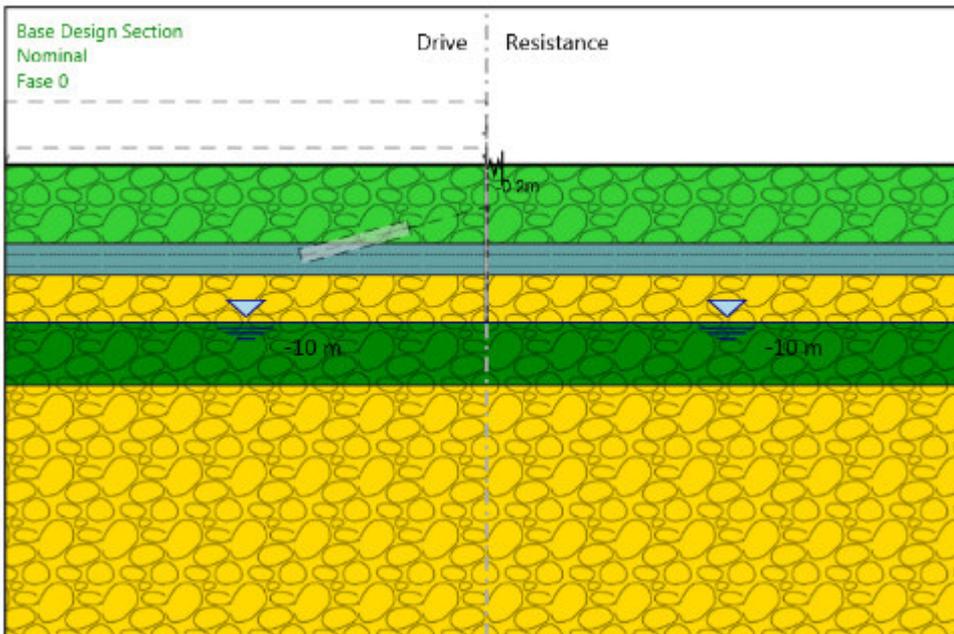
8.3.2 Risultati delle analisi e verifiche

In Allegato sono riportati gli elaborati di calcolo completi del codice “PARATIE PLUS” Versione 17.0 utilizzato per le analisi.

Nel seguito si espongono, in sintesi, i principali risultati di interesse progettuale.

Fasi di Calcolo

Fase 0



Fase 0

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	30 di 90

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

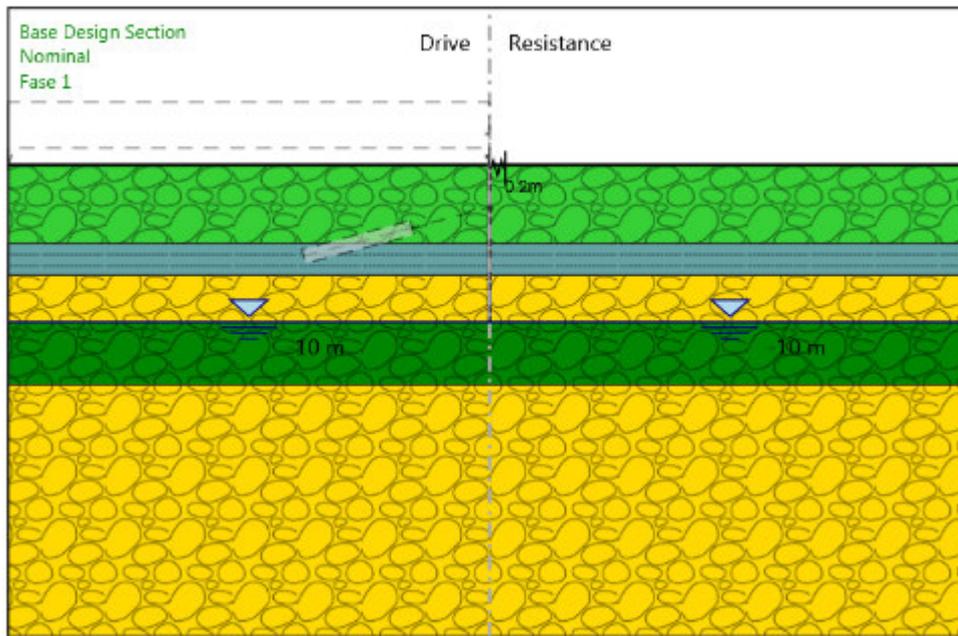
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	31 di 90

Fase 1



Fase 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

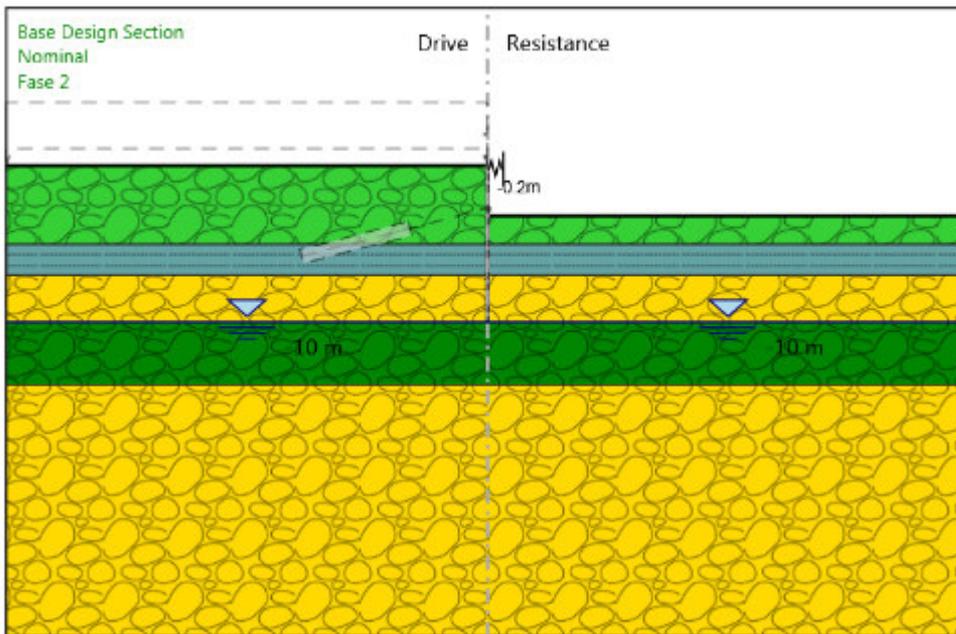
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	32 di 90

Fase 2



Fase 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3.2 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3.2 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

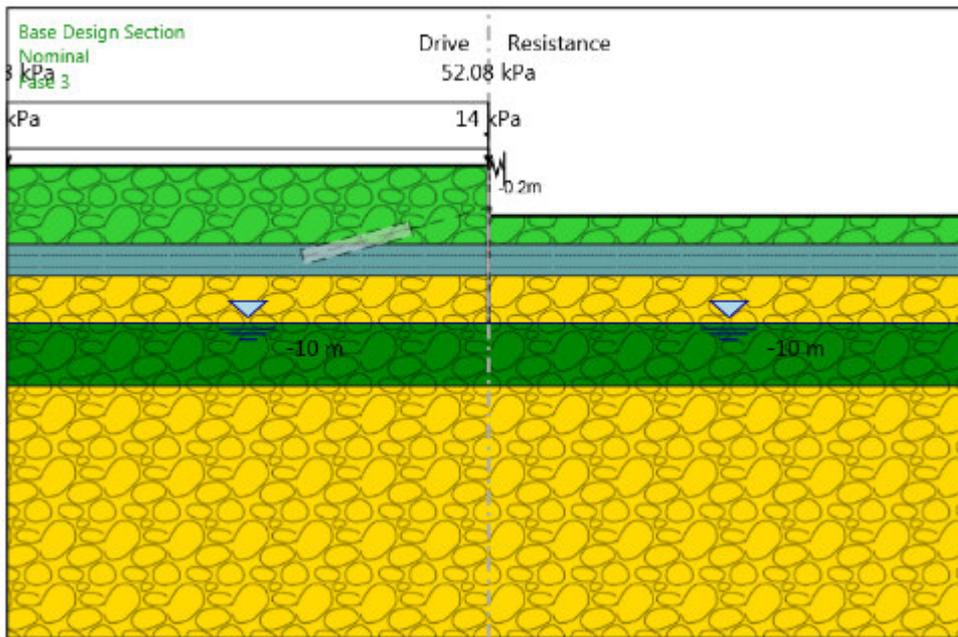
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	33 di 90

Fase 3



Fase 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3.2 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3.2 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Rilevato

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 14 kPa

Pressione finale : 14 kPa

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 52.08 kPa

Pressione finale : 52.08 kPa



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	34 di 90

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

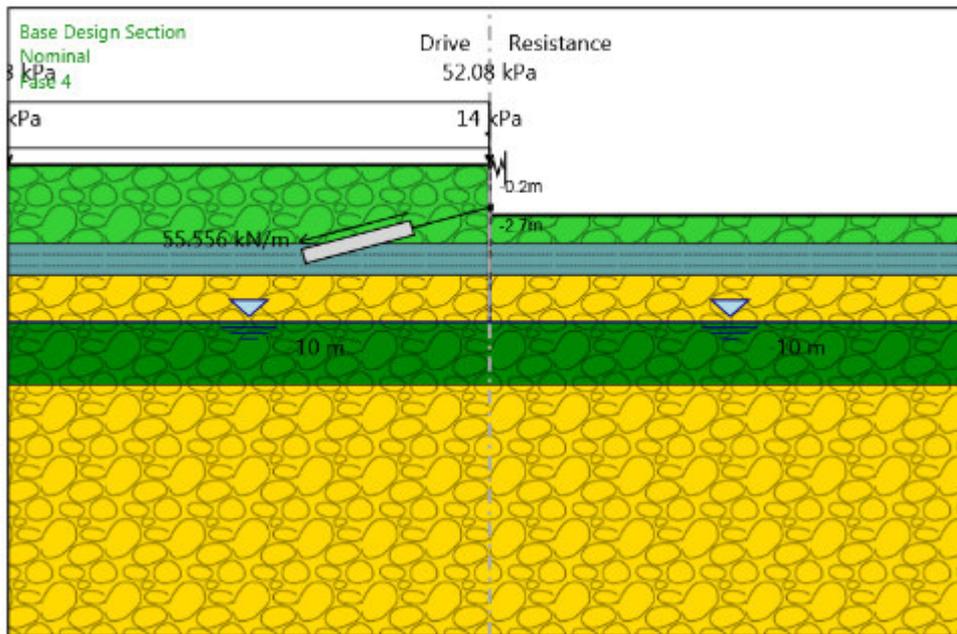
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	35 di 90

Fase 4



Fase 4

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3.2 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3.2 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Rilevato

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 14 kPa

Pressione finale : 14 kPa

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 52.08 kPa

Pressione finale : 52.08 kPa



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	36 di 90

Elementi strutturali

Tirante : Ordine 1

X : 0 m

Z : -2.7 m

Lunghezza bulbo : 7 m

Diametro bulbo : 0.15 m

Lunghezza libera : 5 m

Spaziatura orizzontale : 1.8 m

Precarico : 100 kN

Angolo : 15 °

Sezione : 2 strands

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 2

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000278 m²

Trave di Ripartizione : Trave_Rip1

Sezione : 2xHEA180

HE 180A

Materiale : Fe510 travi

Paratia : Berlese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

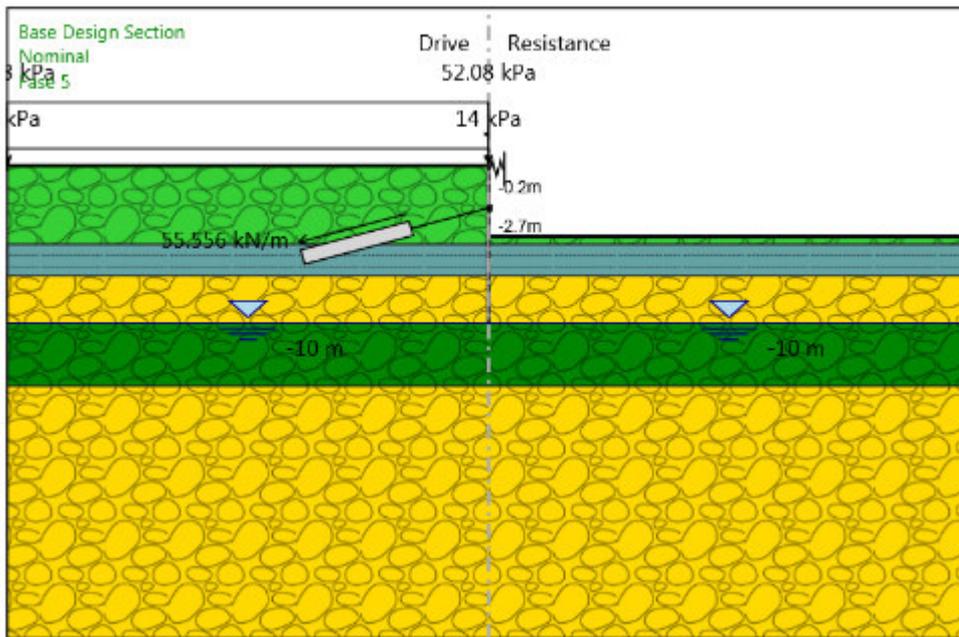
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	37 di 90

Fase 5



Fase 5

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -4.5 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-4.5 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Rilevato

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 14 kPa

Pressione finale : 14 kPa

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 52.08 kPa

Pressione finale : 52.08 kPa



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	38 di 90

Elementi strutturali

Tirante : Ordine 1

X : 0 m

Z : -2.7 m

Lunghezza bulbo : 7 m

Diametro bulbo : 0.15 m

Lunghezza libera : 5 m

Spaziatura orizzontale : 1.8 m

Precarico : 100 kN

Angolo : 15 °

Sezione : 2 strands

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 2

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000278 m²

Trave di Ripartizione : Trave_Rip1

Sezione : 2xHEA180

HE 180A

Materiale : Fe510 travi

Paratia : Berlese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	39 di 90

Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seismic_load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F_Water_DR)	Pressioni Acqua Lato Valle (F_Water_Res)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_G_DStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_G_Stab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UPL_Q_DStab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_HYD_G_DStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_G_Stab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_Q_DStab)
Simbolo	γ_G	γ_G	γ_Q	γ_Q	γ_{QE}	γ_G	γ_G	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A1+M1+R1	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

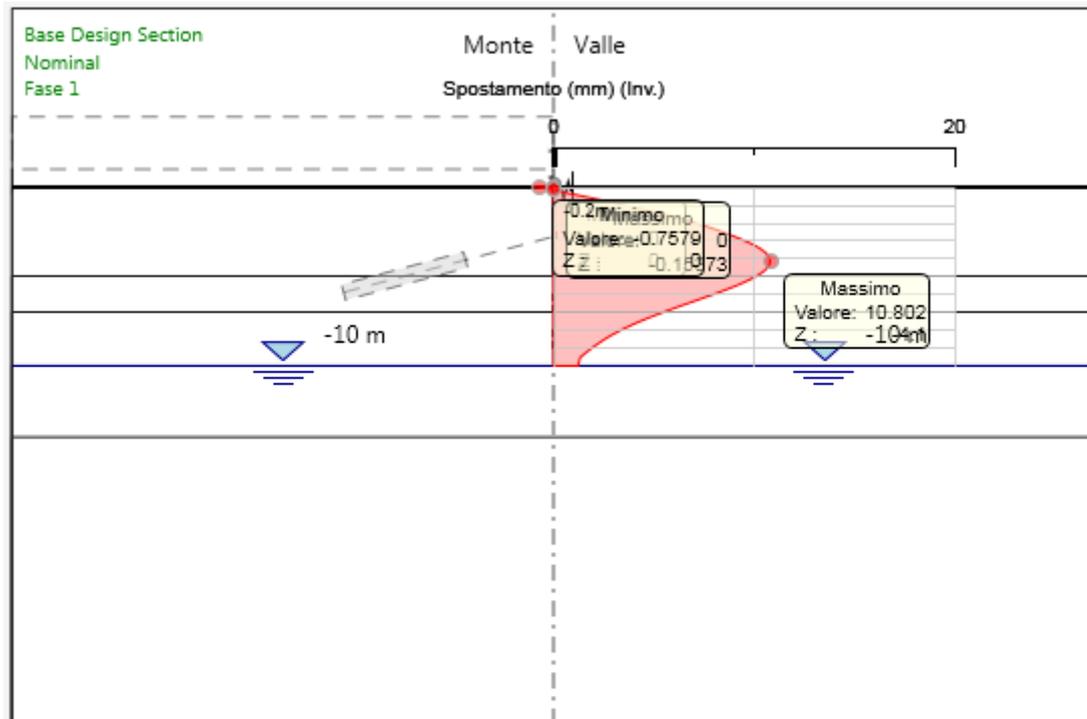
Nome	Parziale su tan(ϕ') (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_γ
Nominal	1	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1	1
A1+M1+R1	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1.25	1.25	1.4	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	γ_{Re}	γ_{ap}	γ_{at}	
Nominal	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1
A1+M1+R1	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
SISMICA STR	1	1.2	1.1	1
SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	40 di 90

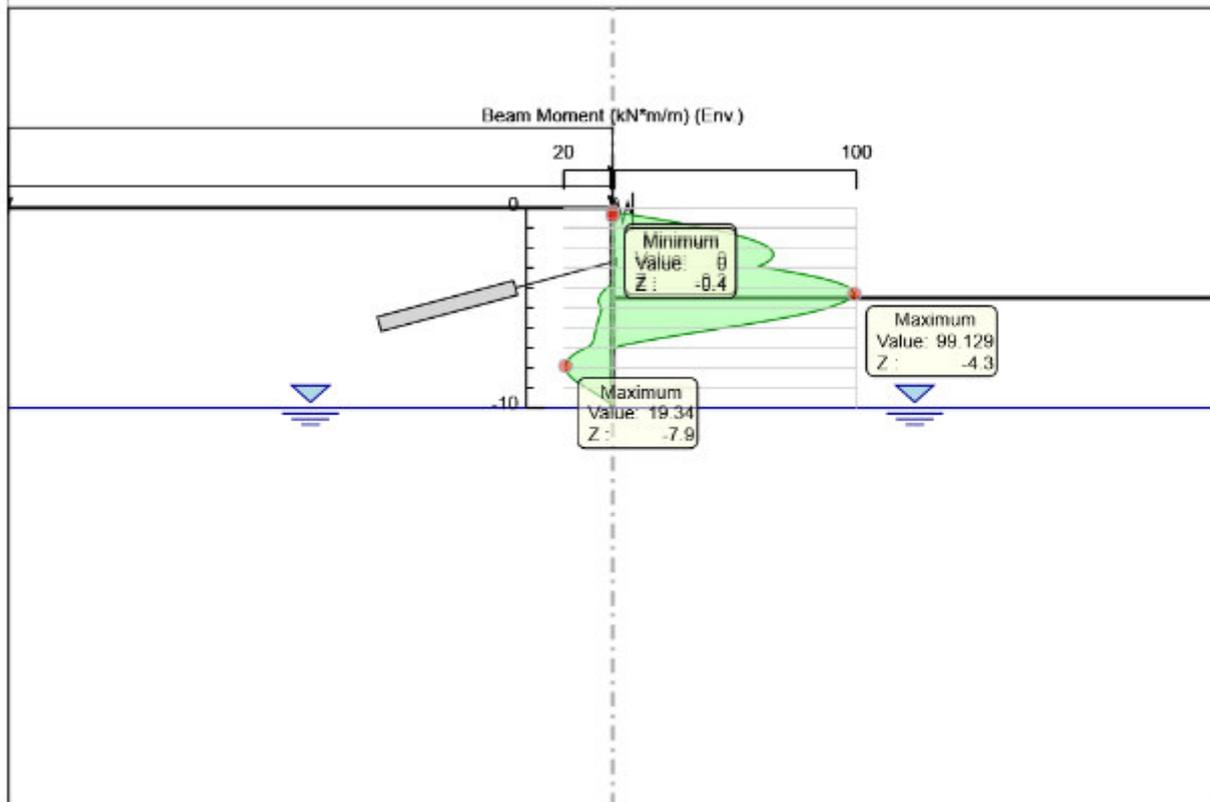
Grafico Involuppi Spostamento



Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	41 di 90

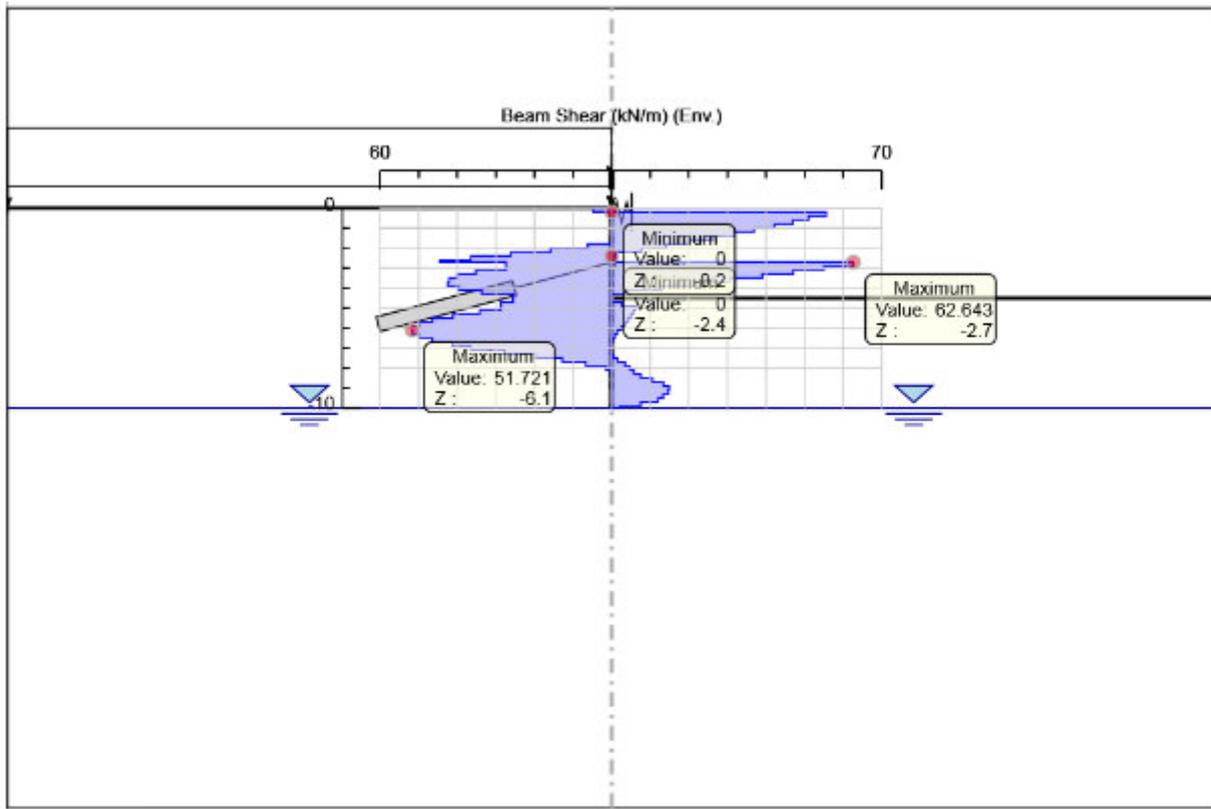
Grafico Involuppi Momento



Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	42 di 90

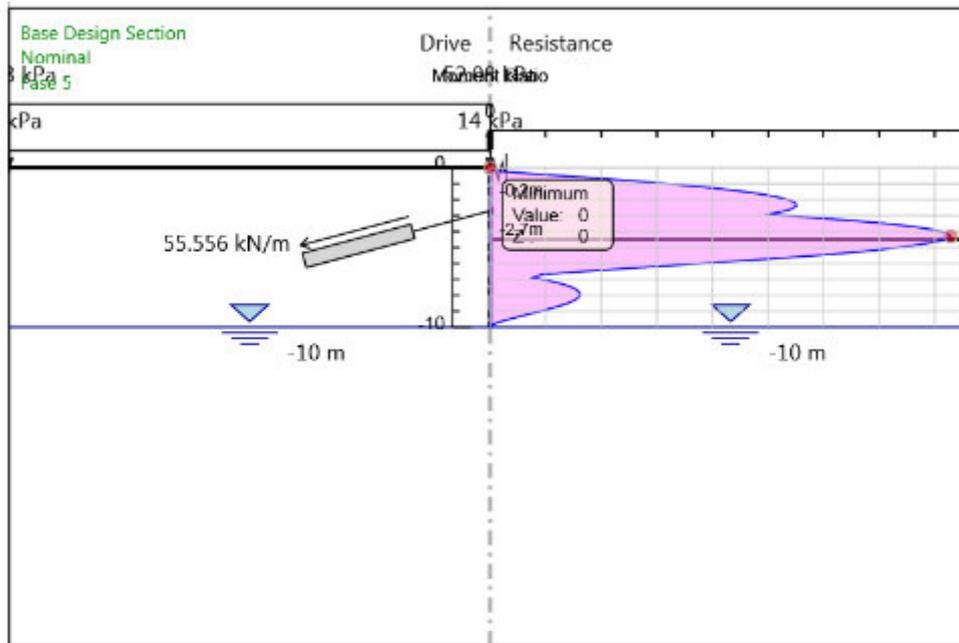
Grafico Involuppi Taglio



Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	43 di 90

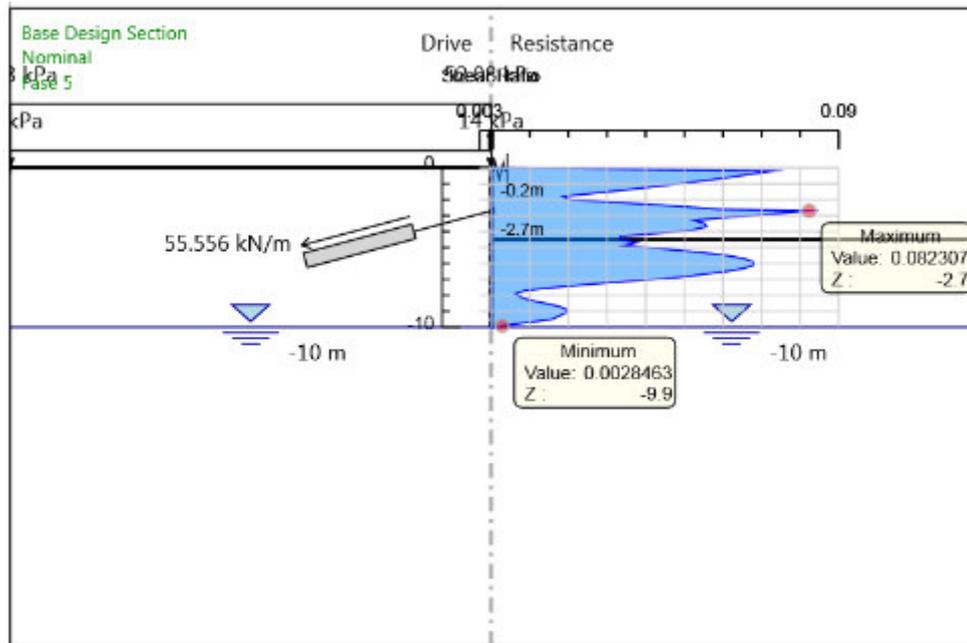
Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento – SteelWorld



Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	44 di 90

Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio – SteelWorld





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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	45 di 90

Verifiche Tiranti A1+M1+R1

Design Assumption: A1+M1+R1

Tiranti **Puntoni** Travi di Ripartizione in Acciaio Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Ordine 1	Fase 4	130.01	263.78	422.05	0.493	0.308	✓	✓
Ordine 1	Fase 5	155.87	263.78	422.05	0.591	0.369	✓	✓

Verifiche Tiranti A2+M2+R1

Design Assumption: A2+M2+R1

Tiranti **Puntoni** Travi di Ripartizione in Acciaio Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Ordine 1	Fase 4	100.01	263.78	422.05	0.379	0.237	✓	✓
Ordine 1	Fase 5	161.67	263.78	422.05	0.613	0.383	✓	✓

Verifiche Travi di ripartizione A1+M1+R1

Design Assumption: A1+M1+R1

Tiranti **Puntoni** Travi di Ripartizione in Acciaio Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	1.8	A1+M1+R1	Fase 4	72.228	0	0.146	0.151	0
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	1.8	A1+M1+R1	Fase 5	86.597	0	0.175	0.181	0

Verifiche Travi di ripartizione A2+M2+R1

Design Assumption: A2+M2+R1

Tiranti **Puntoni** Travi di Ripartizione in Acciaio Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	1.8	A2+M2+R1	Fase 4	55.56	0	0.112	0.116	0
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	1.8	A2+M2+R1	Fase 5	89.816	0	0.182	0.188	0

Verifiche vincolo in testa A1+M1+R1

Il vincolo in testa lavora come un tirante. La reazione massima risulta 59.047 kN/m in combinazione A1+M1+R1. Il tirante è inclinato di 45° ed ha un campo di influenza di 3.20m. La trazione massima sul tirante vale quindi:

$$T = 59.047 \cdot 3.20 / \cos 45 = 267 \text{ kN}$$

Si dispone di un profilato UPN 240

$$\text{Area} = 42.3 \text{ cm}^2$$

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	46 di 90

$$R = f_{yk} \cdot A / 1.1 = 1365 \text{ kN}$$

Dunque $R > T$ e la verifica risulta essere soddisfatta.

Verifica a flessione dei micropali:

Vengono identificate due sezioni di verifica significative:

Sezione	Profondità	Momento (relativo a 1 m)	Taglio (relativo a 1 m)	Momento (relativo a 1 micropalo)	Taglio (relativo a 1 micropalo)	Tasso sfruttamento a flessione (calcolo manuale)	Tasso sfruttamento a flessione (Paratie plus)
-	m	kNm/m	kN/m	kNm	kN	-	-
1	-4.3	99.129	33.671	89.216	30.304	0.829	0.829

La verifica viene condotta secondo NTC2008 4.2.4.1.2. Essendo $V_{Ed} < V_{Rd}$ non è necessaria verifica a taglio. I valori del tasso di sfruttamento calcolati dal software di calcolo sono coerenti con quanto calcolato manualmente. Le verifiche vengono condotte sul singolo elemento strutturale micropalo.

Materiali utilizzati

© Dott. Ing. Simone Caffè - 25/02/2013

Valore di snervamento dell'acciaio del profilo	f_{yk}	275 [N/mm ²]
Valore di rottura dell'acciaio del profilo	f_{tk}	430 [N/mm ²]
Modulo di elasticità dell'acciaio del profilo	E	210000 [N/mm ²]
Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio del profilo	G	80769 [N/mm ²]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	γ_{M0}	1,05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	γ_{M1}	1,05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	γ_{M2}	1,25 [-]

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	47 di 90

Caratteristiche meccaniche del profilo

Diametro esterno del profilo tubolare	d_{ext}	193.70 [mm]
Spessore del profilo tubolare	t	12.50 [mm]
Diametro interno	d_{int}	168.70 [mm]
Raggio esterno	r_{ext}	96.85 [mm]
Raggio interno	r_{int}	84.35 [mm]
Area della sezione trasversale	A	7116 [mm ²]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse forte	I_y	2.9343E+07 [mm ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,y}$	3.0297E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,y}$	4.1107E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	$A_{V,z}$	4530 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	i_y	64.22 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse debole	I_z	2.9343E+07 [mm ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,z}$	3.0297E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,z}$	4.1107E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	$A_{V,y}$	4530 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i_z	64.22 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	I_t	5.869E+07 [mm ⁴]

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	48 di 90

Sezione 1

Caratteristiche di sollecitazione nella sezione di verifica

Forza normale (positiva se di compressione)	N_{Ed}	[kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela all'anima	$V_{z,Ed}$	30.30 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela alle ali	$V_{y,Ed}$	[kN]
Momento flettente attorno all'asse maggiore di inerzia	$M_{y,Ed}$	89.22 [kNm]
Momento flettente attorno all'asse minore di inerzia	$M_{z,Ed}$	[kNm]
Momento torcente primario (alla Saint Venant)	T_{Ed}	[kNm]

Classificazione della sezione trasversale di verifica

Coefficiente ε	ε	0.924 [-]
Rapporto tra diametro esterno e spessore	ρ	15.496 [-]
Rapporto limite per la classe 1	ρ_1	42.727 [-]
Rapporto limite per la classe 2	ρ_2	59.818 [-]
Rapporto limite per la classe 3	ρ_3	76.909 [-]

Classificazione della sezione trasversale

CL 1

Verifiche di resistenza della sezione trasversale

Resistenza a trazione pura

Resistenza plastica a trazione $N_{t,Rd}$ 1863.64 [kN]

Verifica a trazione pura ρ_{Nt} 0.000 [-]

Resistenza a compressione pura

Resistenza a compressione pura $N_{c,Rd}$ 1863.64 [kN]

Verifica a compressione pura ρ_{Nc} 0.000 [-]

Resistenza a torsione e taglio

Diametro medio della sezione trasversale d_{med} 181.20 [mm]

Area della sezione compresa nel diametro medio Ω 25787.32 [mm²]

Tensioni tangenziali dovute al momento torcente $\tau_{t,Ed}$ 0.00 [N/mm²]

Verifica tensionale per pura torsione ρ_T 0.000 [-]

Resistenza plastica a taglio $V_{pl,Rd}$ 684.98 [kN]

Resistenza plastica a taglio ridotta per effetto della torsione $V_{pl,T,Rd}$ 684.98 [kN]

Verifica a taglio in direzione z - z ρ_{Vz} 0.044 [-]

Verifica a taglio in direzione y - y ρ_{Vy} 0.000 [-]

Resistenza a flessione

Modulo di resistenza di calcolo per flessione attorno all'asse y - y W_y 4.11E+05 [mm³]

Resistenza a flessione attorno all'asse y - y $M_{cy,Rd}$ 107.66 [kNm]

Verifica flessionale attorno all'asse y - y ρ_{My} 0.829 [-]

Modulo di resistenza di calcolo per flessione attorno all'asse z - z W_z 4.11E+05 [mm³]

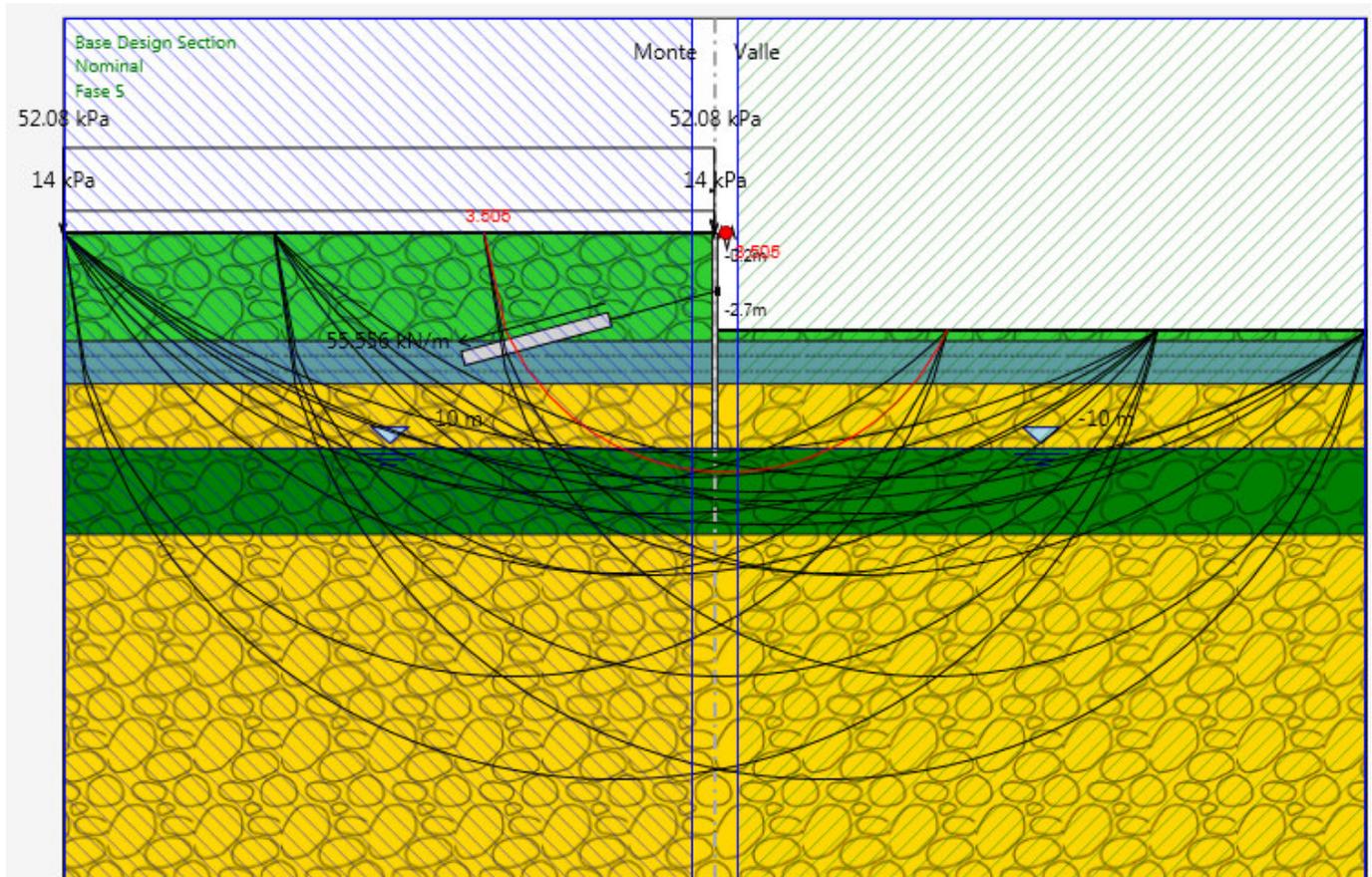
Resistenza a flessione attorno all'asse z - z $M_{cz,Rd}$ 107.66 [kNm]

Verifica flessionale attorno all'asse z - z ρ_{Mz} 0.000 [-]

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	49 di 90

Di seguito si riporta la verifica globale di stabilità del pendio visualizzando le superfici di scorrimento indagate ed il coefficiente minimo di sicurezza associata alla curva critica rossa in figura. Il fattore di sicurezza minimo ottenuto è $FS = 3.505/1.1=3.186$.





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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	50 di 90

9 ALLEGATO

Descrizione del Software

ParatiePlus è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	52 di 90

Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

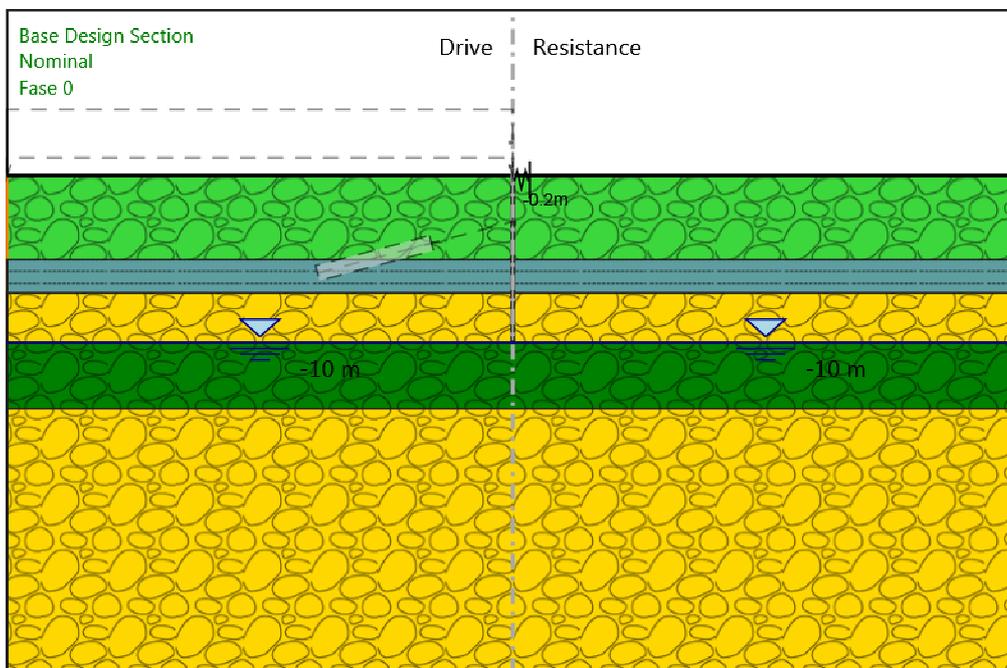
Muro di sinistra

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	53 di 90

Fasi di Calcolo

Fase 0



Fase 0

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	54 di 90

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

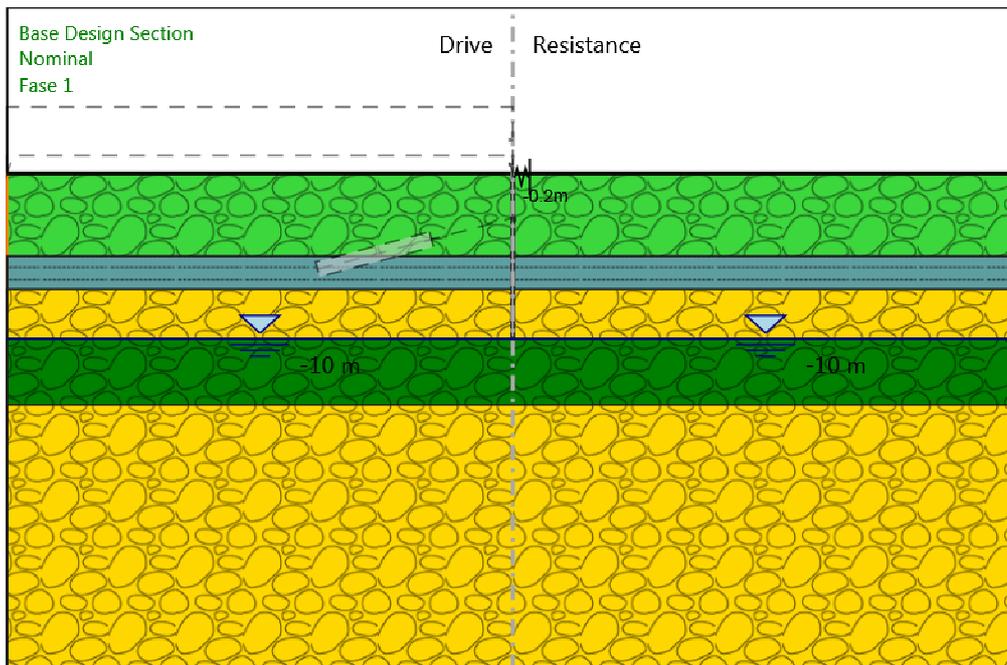
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	55 di 90

Fase 1



Fase 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	56 di 90

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

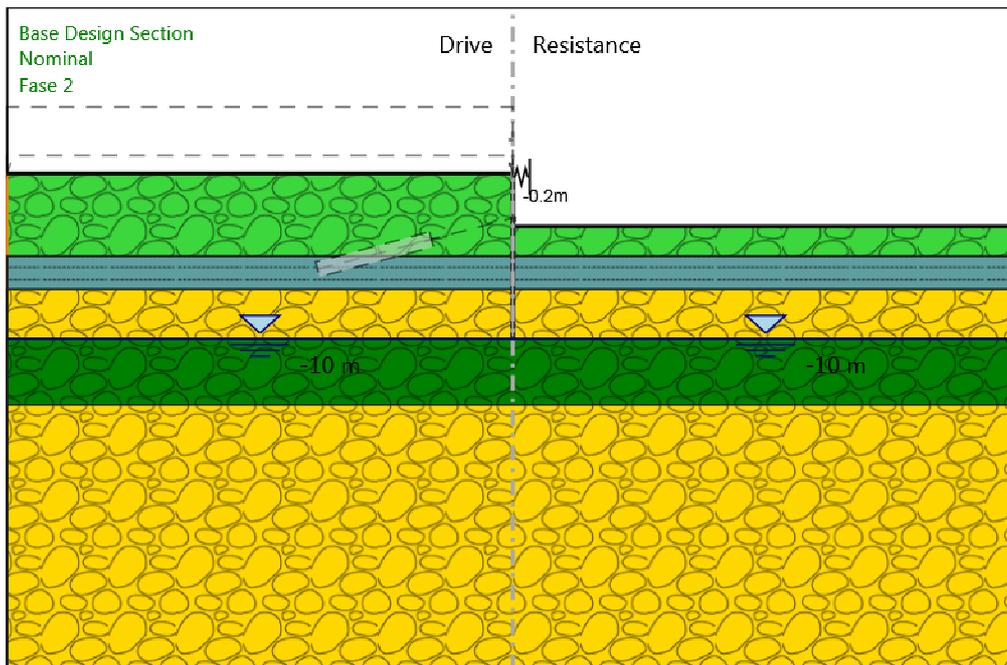
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Fase 2



Fase 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m
Lato valle : -3.2 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)
0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)
-3.2 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m
Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	58 di 90

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

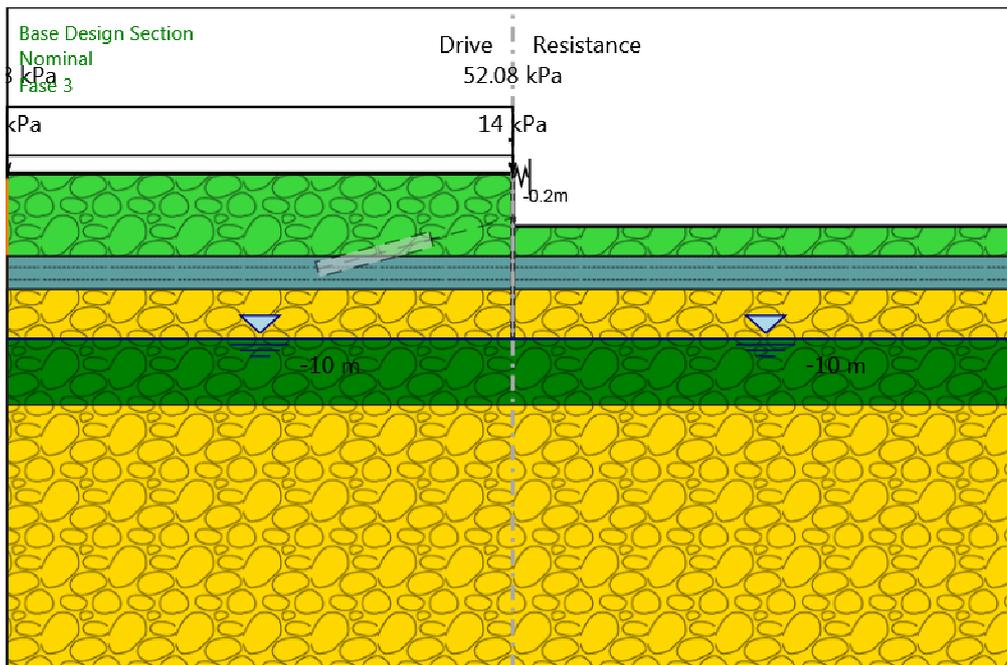
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	59 di 90

Fase 3



Fase 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m
Lato valle : -3.2 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)
0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)
-3.2 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m
Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	60 di 90

Carichi

Carico lineare in superficie : Rilevato

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 14 kPa

Pressione finale : 14 kPa

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 52.08 kPa

Pressione finale : 52.08 kPa

Elementi strutturali

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

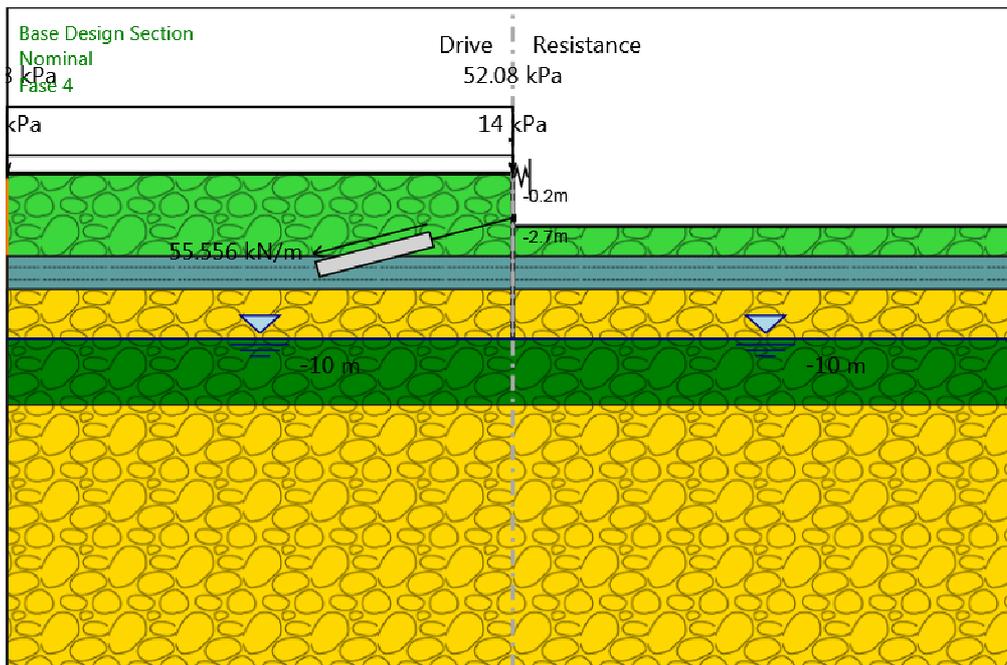
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	61 di 90

Fase 4



Fase 4

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m
Lato valle : -3.2 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)
0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)
-3.2 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m
Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	62 di 90

Carichi

Carico lineare in superficie : Rilevato

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 14 kPa

Pressione finale : 14 kPa

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 52.08 kPa

Pressione finale : 52.08 kPa

Elementi strutturali

Tirante : Ordine 1

X : 0 m

Z : -2.7 m

Lunghezza bulbo : 7 m

Diametro bulbo : 0.15 m

Lunghezza libera : 5 m

Spaziatura orizzontale : 1.8 m

Precarico : 100 kN

Angolo : 15 °

Sezione : 2 strands

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 2

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000278 m²

Trave di Ripartizione : Trave_Rip1

Sezione : 2xHEA180

HE 180A

Materiale : Fe510 travi

Paratia : Berlese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

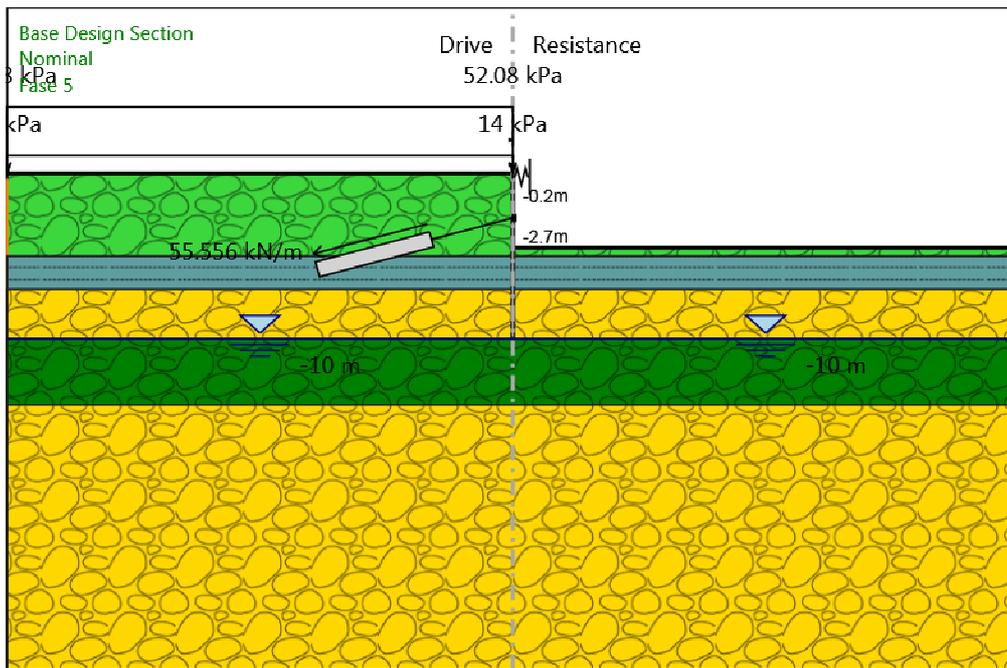
Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	63 di 90

Fase 5



Fase 5

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m
Lato valle : -4.5 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)
0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)
-4.5 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m
Falda di destra : -10 m



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	64 di 90

Carichi

Carico lineare in superficie : Rilevato

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 14 kPa

Pressione finale : 14 kPa

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -30 m

X finale : 0 m

Pressione iniziale : 52.08 kPa

Pressione finale : 52.08 kPa

Elementi strutturali

Tirante : Ordine 1

X : 0 m

Z : -2.7 m

Lunghezza bulbo : 7 m

Diametro bulbo : 0.15 m

Lunghezza libera : 5 m

Spaziatura orizzontale : 1.8 m

Precarico : 100 kN

Angolo : 15 °

Sezione : 2 strands

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 2

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000278 m²

Trave di Ripartizione : Trave_Rip1

Sezione : 2xHEA180

HE 180A

Materiale : Fe510 travi

Paratia : Berlinese

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Sezione : Micropali

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	65 di 90

Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti Sfavoventi (F_dead_load_unfav)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavoventi (F_live_load_unfav)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_scism_load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F_Water_DR)	Pressioni Acqua Lato Valle (F_Water_Res)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UPL_QDStab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_HYD_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_QDStab)
Simbolo	γ_G	γ_G	γ_Q	γ_Q	γ_{QE}	γ_G	γ_G	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A1+M1+R1	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Nome	Parziale su $\tan(\phi)$ (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_γ
Nominal	1	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1	1
A1+M1+R1	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1.25	1.25	1.4	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	γ_{Re}	γ_{ap}	γ_{at}	
Nominal	1	1	1	1
SLE (Rara)	1	1	1	1
A1+M1+R1	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
SISMICA STR	1	1.2	1.1	1
SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

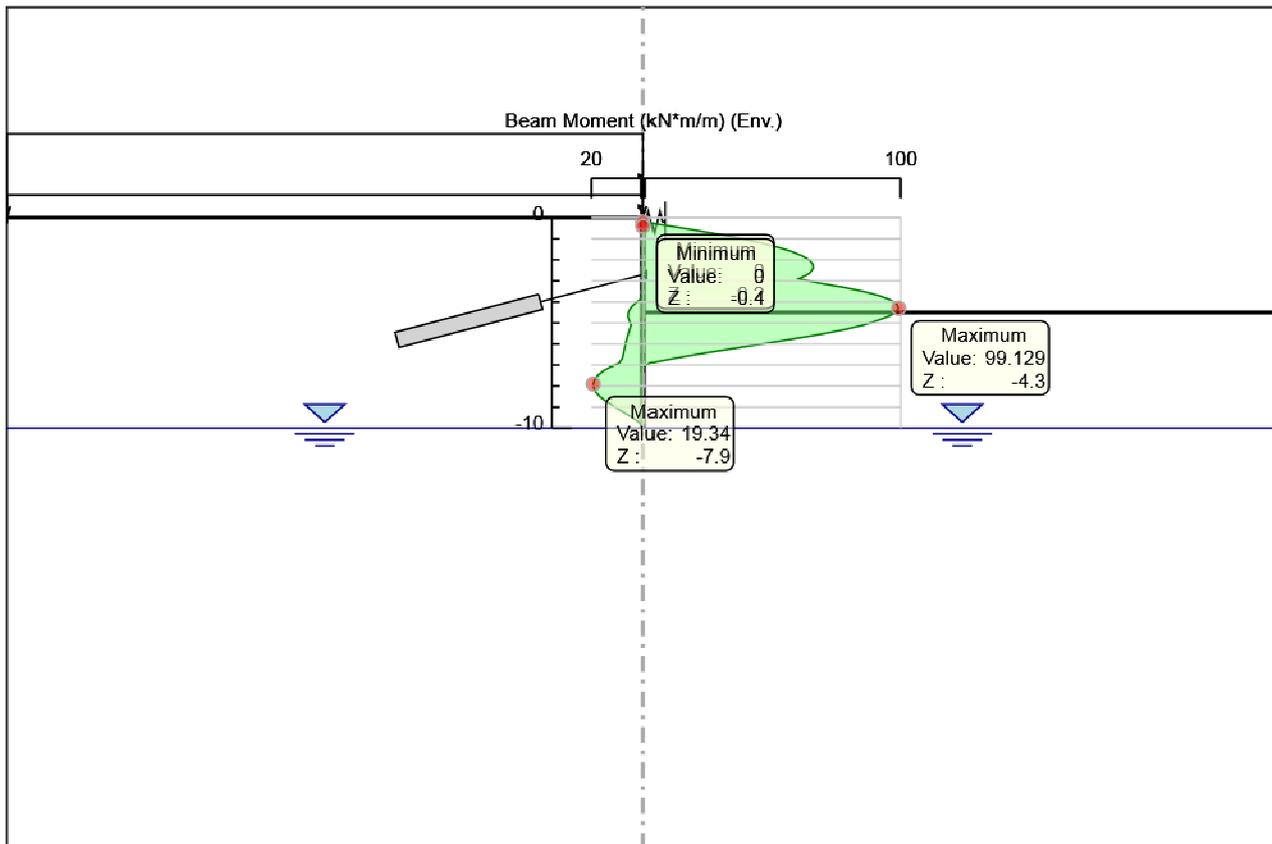
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	66 di 90

Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	67 di 90

Grafico Involuppi Momento





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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

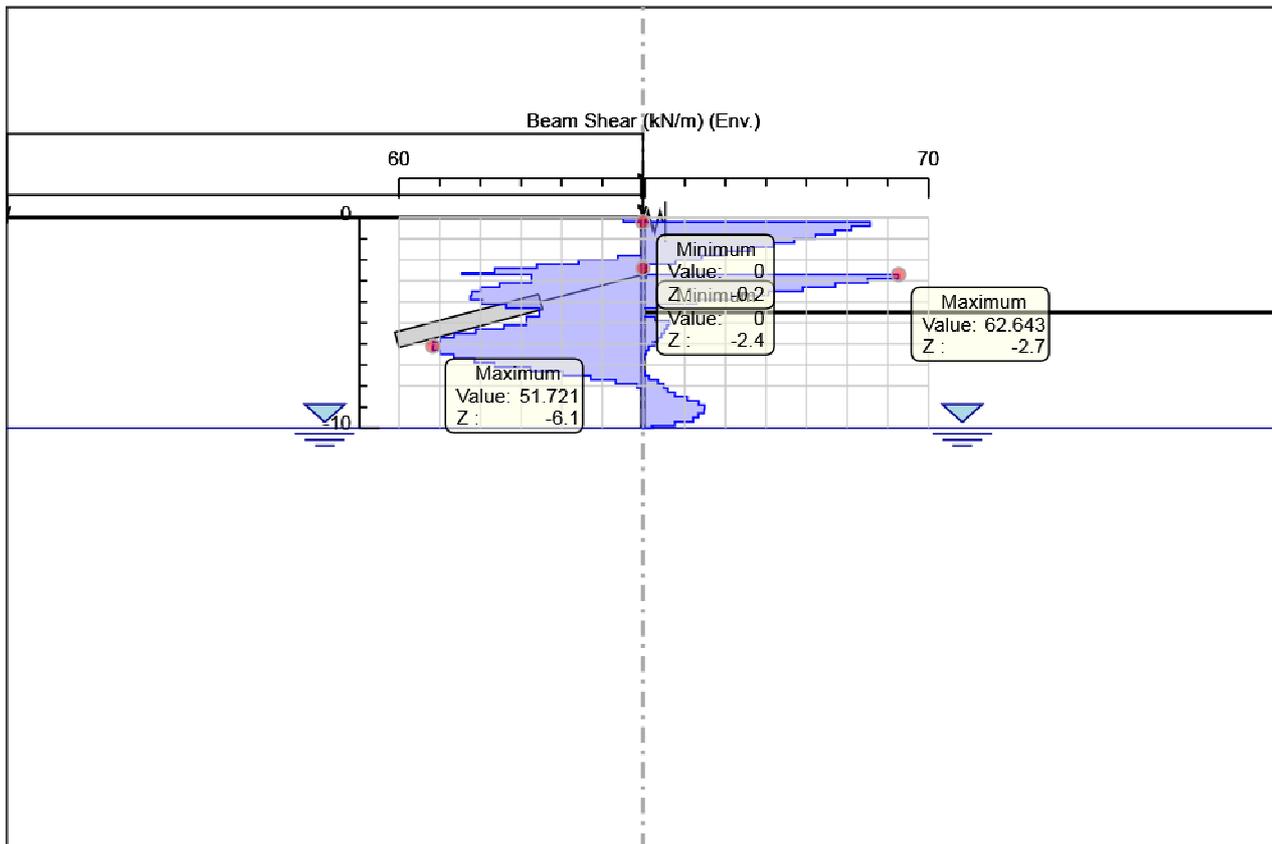
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	68 di 90

Momento

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	69 di 90

Grafico Involuppi Taglio





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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	70 di 90

Taglio



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	71 di 90

Inviluppo Risultati Elementi Strutturali

Elemento strutturale	Design Assumption	Stage	Sollecitazione kN/m
Ordine 1	A2+M2+R1	Fase 5	90.08



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	72 di 90

Elemento strutturale	Design Assumption	Stage	Cela Forza kN/m
Spring	A2+M2+R1	Fase 3	-63.55

Elemento strutturale	Design Assumption	Stage	Cela Momento kN*m/m
Spring	A2+M2+R1	Fase 5	0.01



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	73 di 90

Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali

Normative Verifiche

Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

Coefficienti per Verifica Tiranti

GEO FS	1
ξ_{a3}	1.8
γ_s	1.1



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	74 di 90

Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
SLE (Rara)						
A1+M1+R1	V	V	V	V	V	V
A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V
SISMICA STR						
SISMICA GEO						



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	75 di 90

Risultati SteelWorld

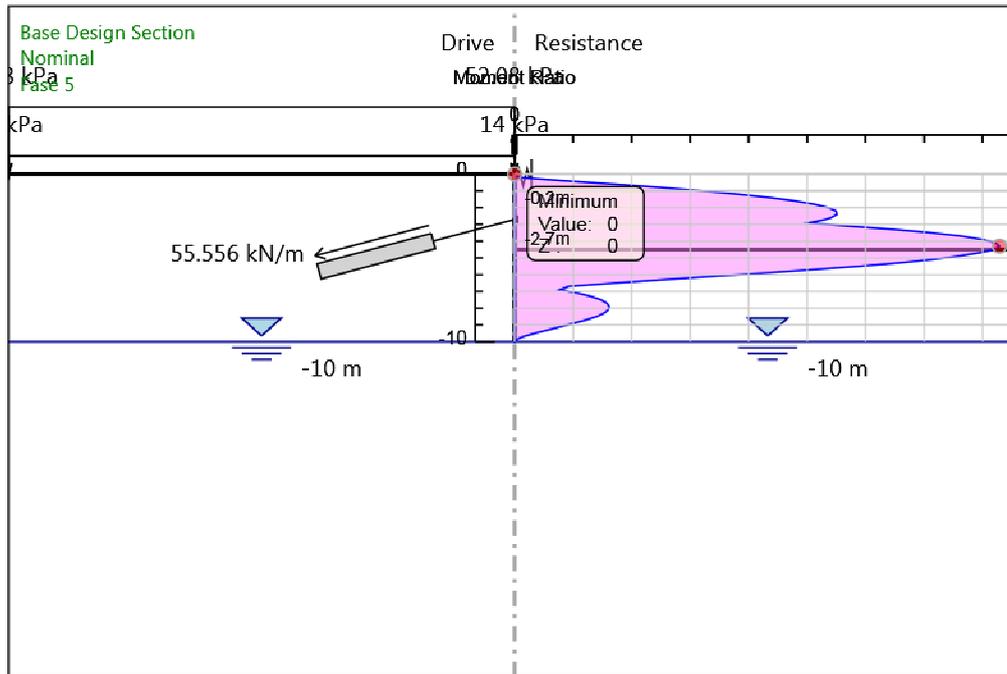
Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld : LEFT

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld
0	0
-0.2	0.008
-0.4	0.086
-0.6	0.171
-0.8	0.25
-1	0.321
-1.2	0.382
-1.4	0.435
-1.6	0.479
-1.8	0.513
-2	0.537
-2.2	0.549
-2.4	0.551
-2.6	0.541
-2.7	0.532
-2.9	0.504
-3.1	0.569
-3.3	0.648
-3.5	0.713
-3.7	0.764
-3.9	0.801
-4.1	0.822
-4.3	0.829
-4.5	0.819
-4.7	0.793
-4.9	0.757
-5.1	0.714
-5.3	0.657
-5.5	0.588
-5.7	0.51
-5.9	0.427
-6.1	0.34
-6.3	0.254
-6.5	0.17
-6.7	0.093
-6.9	0.077
-7.1	0.108
-7.3	0.131
-7.5	0.148
-7.7	0.158
-7.9	0.162
-8.1	0.16
-8.3	0.153
-8.5	0.14
-8.7	0.122
-8.9	0.101
-9.1	0.079
-9.3	0.057
-9.5	0.035
-9.7	0.014
-9.9	0.002
-10	0

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	76 di 90

Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld



Involuppi
Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	77 di 90

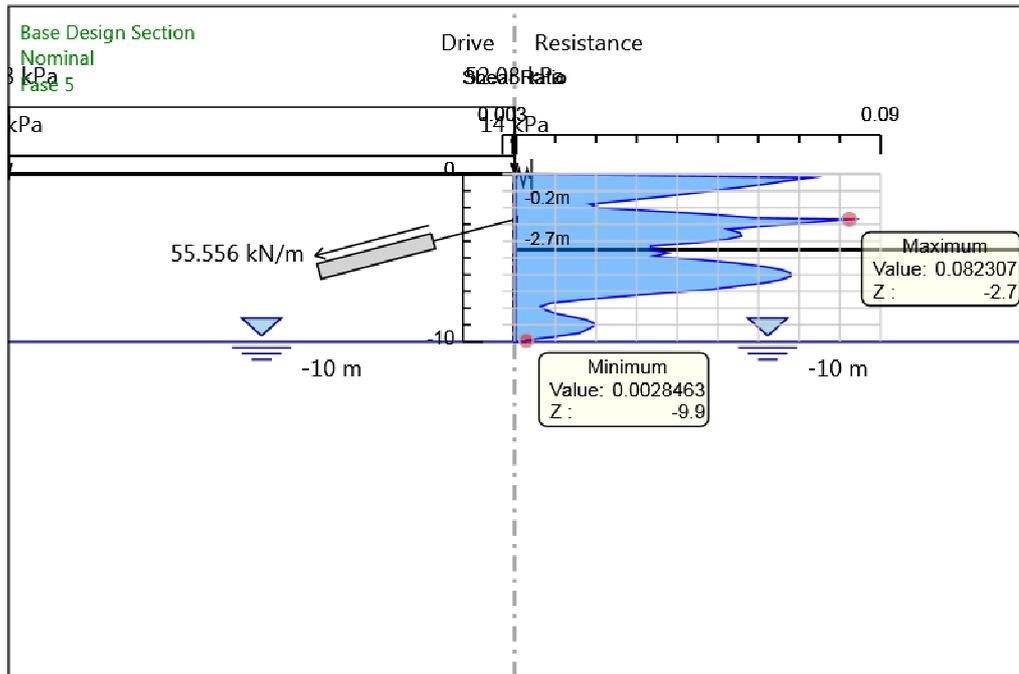
Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld
0	0.006
-0.2	0.073
-0.4	0.067
-0.6	0.062
-0.8	0.055
-1	0.049
-1.2	0.042
-1.4	0.034
-1.6	0.026
-1.8	0.019
-2	0.021
-2.2	0.034
-2.4	0.048
-2.6	0.059
-2.7	0.082
-2.9	0.072
-3.1	0.062
-3.3	0.052
-3.5	0.055
-3.7	0.056
-3.9	0.052
-4.1	0.044
-4.3	0.034
-4.5	0.033
-4.7	0.038
-4.9	0.034
-5.1	0.045
-5.3	0.054
-5.5	0.061
-5.7	0.066
-5.9	0.068
-6.1	0.068
-6.3	0.066
-6.5	0.061
-6.7	0.054
-6.9	0.048
-7.1	0.036
-7.3	0.026
-7.5	0.017
-7.7	0.009
-7.9	0.006
-8.1	0.008
-8.3	0.01
-8.5	0.014
-8.7	0.018
-8.9	0.02
-9.1	0.019
-9.3	0.018
-9.5	0.016
-9.7	0.01
-9.9	0.003
-10	0.003

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	78 di 90

Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld



Involuppi
Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	79 di 90

Verifiche Tiranti SLE (Rara)

Design	Tipo Risultato: NTC2008 (ITA)					
Assumption:	Verifiche Tiranti					
SLE (Rara)						
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Resistenza	
Ordine 1	Fase 4	100.008	522.279	422.055	0.191	0.237
Ordine 1	Fase 5	116.186	522.279	422.055	0.222	0.275



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	80 di 90

Verifiche Tiranti A1+M1+R1

Design	Tipo Risultato: NTC2008 (ITA)					
Assumption:	Verifiche Tiranti					
A1+M1+R1						
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Resistenza	
Ordine 1	Fase 4	130.01	263.777	422.055	0.493	0.308
Ordine 1	Fase 5	156.066	263.777	422.055	0.592	0.37



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	81 di 90

Verifiche Tiranti A2+M2+R1

Design	Tipo Risultato:	NTC2008 (ITA)				
Assumption:	Verifiche Tiranti					
A2+M2+R1						
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Resistenza	
Ordine 1	Fase 4	100.008	263.777	422.055	0.379	0.237
Ordine 1	Fase 5	162.137	263.777	422.055	0.615	0.384



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	82 di 90

Verifiche Tiranti SISMICA STR

Design	Tipo Risultato:		NTC2008 (ITA)			
Assumption:	Verifiche Tiranti					
SISMICA STR						
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Resistenza	
Ordine 1	Fase 4	100.008	263.777	422.055	0.379	0.237
Ordine 1	Fase 5	116.186	263.777	422.055	0.44	0.275



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	83 di 90

Verifiche Tiranti SISMICA GEO

Design	Tipo Risultato:		NTC2008 (ITA)			
Assumption:	Verifiche Tiranti					
SISMICA GEO						
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Resistenza	
Ordine 1	Fase 4	100.008	263.777	422.055	0.379	0.237
Ordine 1	Fase 5	149.994	263.777	422.055	0.569	0.355



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	84 di 90

Inviluppo Verifiche Tiranti (su tutte le D.A. attive)

Tipo Risultato:							
Tirante	Verifiche Tiranti Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)		Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Ordine 1	Fase 5	162.137	263.777	422.055	0.615	0.384	



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	85 di 90

Verifiche Travi di Ripartizione Nominal

Design Assumption: Nominal	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione								
Trave di Ripartizione	Elemento strutturale	Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio momento	Ratio taglio	Instabilità
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 4	55.56	0	0.112	0.116	0
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 5	64.548	0	0.13	0.135	0



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	86 di 90

Verifiche Travi di Ripartizione SLE (Rara)

Design Assumption: SLE (Rara)	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione	NTC2008 (ITA)							
Trave di Ripartizione	Elemento strutturale	Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio momento	Ratio taglio	Instabilità
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 4	55.56	0	0.112	0.116	0
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 5	64.548	0	0.13	0.135	0



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	87 di 90

Verifiche Travi di Ripartizione A1+M1+R1

Design	Tipo	NTC2008							
Assumption:	Risultato:	(ITA)							
A1+M1+R1	Verifiche								
	Travi di								
	Ripartizione								
Trave di	Elemento	Sezione	Materiale	Stage	Carico	Assiale (kN)	Ratio	Ratio taglio	Instabilità
Ripartizione	strutturale				distribuito		momento		
					(kN/m)				
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 4	72.228	0	0.146	0.151	0
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 5	86.703	0	0.175	0.181	0



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	88 di 90

Verifiche Travi di Ripartizione A2+M2+R1

Design	Tipo	NTC2008							
Assumption:	Risultato:	(ITA)							
A2+M2+R1	Verifiche								
	Travi di								
	Ripartizione								
Trave di	Elemento	Sezione	Materiale	Stage	Carico	Assiale (kN)	Ratio	Ratio taglio	Instabilità
Ripartizione	strutturale				distribuito		momento		
					(kN/m)				
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 4	55.56	0	0.112	0.116	0
Trave_Rip1	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 5	90.076	0	0.182	0.189	0



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	89 di 90

Verifiche Travi di Ripartizione SISMICA STR

Design	Tipo	NTC2008							
Assumption:	Risultato:	(ITA)							
SISMICA	Verifiche								
STR	Travi di								
	Ripartizione								
Trave di	Elemento	Sezione	Materiale	Stage	Carico	Assiale (kN)	Ratio	Ratio taglio	Instabilità
Ripartizione	strutturale				distribuito		momento		
					(kN/m)				
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 4	55.56	0	0.112	0.116	0
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 5	64.548	0	0.13	0.135	0



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

Nuovo ponte su canale rivestito km 0+810.87 – VI05:
 Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO 1
MDL1	32	D 26 CL	VI 05 00 003	B	90 di 90

Verifiche Travi di Ripartizione SISMICA GEO

Design Assumption: SISMICA GEO	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione	NTC2008 (ITA)							
Trave di Ripartizione	Elemento strutturale	Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio momento	Ratio taglio	Instabilità
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 4	55.56	0	0.112	0.116	0
Trave_Ripl	Ordine 1	HE 180A	Fe510 travi	Fase 5	83.33	0	0.168	0.174	0