

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA FERROVIA ROMA - VITERBO

RADDOPPIO TRATTA CESANO VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 36+070 a km 36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

SCALA:

-

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

NR1J 01 D 29 CL RI0005 018 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|-------------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------------|---------|---|
| A | Emissione Esecutiva | F. Seirau <i>F. Seirau</i> | 05.2020 | M. Monda <i>M. Monda</i> | 05.2020 | T. Paoletti <i>T. Paoletti</i> | 05.2020 | F. Arduini <i>F. Arduini</i> ITALFERR S.p.A. DIREZIONE TECNICA INFRASTRUTTURE CENTRO DIREZIONE SERVIZIO ARDUINI ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA N. 15392 ROMA |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|---------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 2 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

INDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | PREMESSA | 4 |
| 2. | NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 6 |
| 2.1 | NORMATIVE DI RIFERIMENTO | 6 |
| 2.2 | DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO | 6 |
| 2.3 | SOFTWARE..... | 6 |
| 3. | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 7 |
| 3.1 | CALCESTRUZZO | 7 |
| 3.2 | ACCIAIO DI ARMATURA - BARRE..... | 7 |
| 3.3 | CARPENTERIA METALLICA | 8 |
| 4. | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 9 |
| 5. | ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO..... | 10 |
| 5.1 | AZIONI PERMANENTI..... | 10 |
| | 5.1.1 <i>Peso proprio</i> | 10 |
| | 5.1.2 <i>Spinta delle terre</i> | 10 |
| 5.2 | SOVRACCARICHI ACCIDENTALI..... | 12 |
| 6. | VERIFICHE AGLI STATI LIMITE..... | 13 |
| 7. | METODO DI ANALISI..... | 16 |
| 7.1 | MODELLAZIONE NUMERICA | 16 |
| 7.2 | STABILITÀ GLOBALE..... | 19 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|---------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 3 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

| | | |
|--------|---|----|
| 7.3 | STABILITÀ GLOBALE | 19 |
| 7.4 | MODELLI DI CALCOLO | 20 |
| 7.5 | FASI DI COSTRUZIONE | 20 |
| 8. | CRITERI DI VERIFICA | 26 |
| 8.1 | VERIFICHE GEOTECNICHE | 26 |
| 8.1.1 | <i>Verifica della massima spinta passiva mobilitata</i> | 26 |
| 8.1.2 | <i>Verifica degli spostamenti</i> | 26 |
| 8.1.3 | <i>Verifica di stabilità globale</i> | 27 |
| 8.1.4 | <i>Altre verifiche</i> | 27 |
| 8.2 | VERIFICHE STRUTTURALI | 28 |
| 8.2.1 | <i>Verifica dei tubi di armatura dei micropali</i> | 28 |
| 9. | RISULTATI | 29 |
| 10. | VERIFICHE | 34 |
| 10.1 | VERIFICHE GEOTECNICHE | 34 |
| 10.2 | VERIFICHE STRUTTURALI | 34 |
| 10.2.1 | <i>Paratia</i> | 35 |
| | ALLEGATI | 37 |
| | <i>Allegato 1 – tabulati di PARATIE</i> | 38 |
| | <i>Allegato 2 – tabulati di SLIDE</i> | 56 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|---------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 4 di 67 |

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i calcoli per il dimensionamento della paratia provvisoria da realizzare per consentire la costruzione della paratia di pali definitiva prevista tra le pk 36+070 e 36+180. L'opera ricade nell'ambito degli interventi di raddoppio della linea Cesano-Vigna di Valle.

E' infatti necessario disporre di una banca di larghezza 6 m per la realizzazione dei pali della paratia e a tal fine si prevede una berlinese di sostegno del pendio durante le fasi provvisorie.

E' stata quindi progettata una berlinese provvisoria costituita da micropali $\phi 200$ mm disposti ad interasse 0.25 m, di lunghezza 6 m. I micropali sono armati con tubolari in acciaio di diametro 114.3 mm e spessore 10 mm.

La sezione di riferimento si trova alla pk 36+150.

I micropali sono collegati in testa da un cordolo in c.a. di dimensioni 0.5m x 0.5m.

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|---------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 5 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoriale

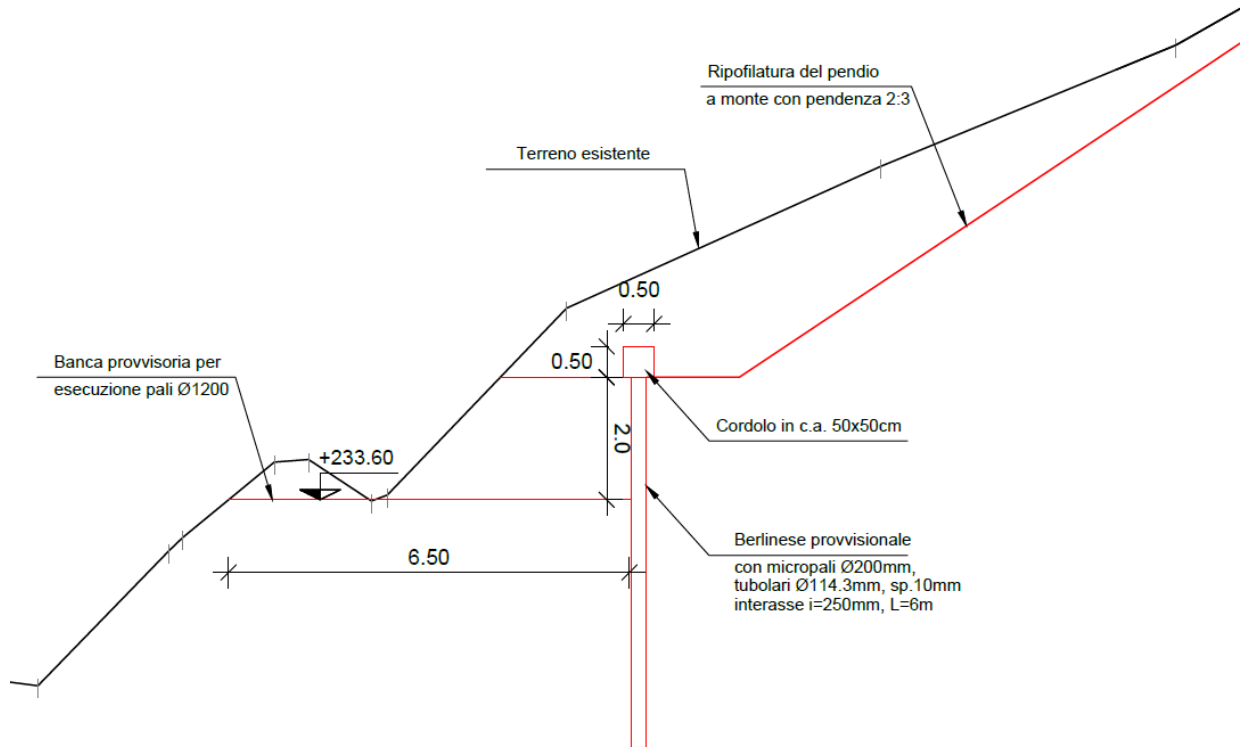


Figura 1 – Sezione berlinese provvisoriale

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|---------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>6 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 6 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 6 di 67 | | | | | | | | |

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Normative di riferimento

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018;
- [2] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [3] Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- [4] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea.
- [5] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B “Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale”.
- [6] RFI DTC SI CS MA IFS 001 A – Manuale di progettazione delle opere civili – parte II Sezione 3 – Corpo Stradale

2.2 Documentazione di progetto

- [7] Relazione geotecnica generale – Progetto Esecutivo NR1J01D29GEGE0005001B
- [8] Profilo geotecnico di linea – Tav1-8 R1J01D29F6GE0005001B

2.3 Software

- [9] ParatiePlus 20.0.2 – Ceas Srl (www.ceas.it)
- [10] Slide 7.038 – Rocscience (<https://www.rocscience.com>)

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|---------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 7 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzo

Elemento strutturale: cordoli di collegamento

| | |
|---|-------------------------|
| Peso specifico, γ_c | 25,00 kN/mc |
| Classe di resistenza | C25/30 |
| Resistenza cubica caratteristica, R_{ck} | 30 N/mm ² |
| Resistenza cilindrica caratteristica, f_{ck} | 25 N/mm ² |
| Resistenza cilindrica media, f_{cm} | 33 N/mm ² |
| Resistenza a trazione media, f_{ctm} | 2.55 N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione media, f_{ctm} | 3.06 N/mm ² |
| Resistenza a trazione per flessione caratteristica, f_{ctk} | 2.14 N/mm ² |
| Modulo elastico, E_{cm} | 31447 N/mm ² |

3.2 Acciaio di Armatura - Barre

| | |
|---|-----------------------|
| Tipo acciaio | B 450 C |
| Peso specifico, γ_a | 78,50 kN/mc |
| Tensione nominale di snervamento, $f_{y\ nom}$ | 450 N/mm ² |
| Tensione nominale di rottura, $f_{t\ nom}$ | 540 N/mm ² |
| Minima tensione caratteristica di snervamento, $f_{yk\ min}$ | 450 N/mm ² |
| Minima tensione caratteristica di rottura, $f_{tk\ min}$ | 540 N/mm ² |
| Minimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_{k\ min}$ | 1,15 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|---------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 8 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

| | |
|---|--------------|
| Massimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_k$ max | 1,35 |
| Massimo rapporto tra i valori nominali, $(f_y/f_y \text{ nom})_k$ | 1,25 |
| Allungamento caratteristico sotto carico massimo, $(A_{gt})_k$ | 7,5 % |
| Modulo di elasticità dell'acciaio, E | 206000 N/mmq |

3.3 Carpenteria metallica

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo saldati

Tipo EN 10025-2 S275 J2+N – per spessori nominali $t \leq 40$ mm

Tipo EN 10025-2 S275 K2+N – per spessori nominali $t > 40$ mm

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati

Tipo EN 10025-2 S275 J0+N

Acciaio in profili a sezione cava

Tipo EN 10210-1 S275 J0H+N

| | |
|---|---|
| modulo elastico | $E_s = 210000$ MPa |
| resistenza caratteristica a rottura | $f_{tk} \geq 430$ MPa |
| resistenza caratteristica a snervamento | $f_{yk} \geq 275$ MPa |
| resistenza di calcolo acciaio | $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 261.9$ MPa |
| coefficiente riduttivo | $\gamma_{M0} = 1.05$ |

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005018 | REV. A |

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica generale (NR1J00D29GEGE0005001B). In base ai dati a disposizione, sono stati scelti dei valori cautelativi per i parametri di calcolo.

Per l'opera in esame si è fatto riferimento al modello geotecnico n.7 individuato per la macro-area che va da pk 36+050 a pk 37+250 e descritto in dettaglio nella Relazione Geotecnica.

Inoltre, per tenere conto del variare del piano campagna (P.C.) lungo il tracciato ferroviario, si è fatto riferimento al Profilo Geotecnico di linea (Doc. rif. [8]).

Nella Tabella 4.1 si riportano la stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto. Le profondità sono riferite alla quota del piano campagna in corrispondenza della sommità della paratia, che si trova alla quota +235.6 m l.m.m..

La sezione di riferimento si trova alla pk 36+150.

Tabella 4.1 - Modello geotecnico di riferimento sezione 36+150

| Unità litologiche | Profondità da p.c. | | γ | ϕ' | c' | $E_{op,2}$ |
|--|--------------------|-----|-----------------|----------|------|------------|
| | 0 | (m) | kN/m^3 | $^\circ$ | KPa | MPa |
| U1a - Limo sabbioso debolmente argilloso | 0 | 9 | 17 | 27 | 10 | 40 |

Per il modulo in compressione vergine (E_{vc}) si fa riferimento al modulo elastico $E_{op,2}$ pari a $1/5 E_0$. Il modulo in scarico-ricarico è $E_{ur} = 2 \times E_{vc}$.

Come rilevato dal profilo geotecnico, per la sezione 36+150 la falda è stata assunta alla quota +210 m l.m.m., a circa 25 m di profondità dalla sommità della paratia.

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>10 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 10 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 10 di 67 | | | | | | | | |

5. ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO

5.1 Azioni permanenti

5.1.1 Peso proprio

Per i pesi di volume del terreno si rimanda alla tabella Tabella 4.1. Per la tipologia di modello di calcolo adottato l'effetto del peso proprio della berlinese non entra in gioco nelle valutazioni dello stato di sforzo agente.

5.1.2 Spinta delle terre

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_A e il coefficiente di spinta passiva K_P .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0NC} (\text{OCR})^m$$

dove

$$K_{0NC} = 1 - \sin \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($\text{OCR}=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7. Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979) forniscono valori di m per argille italiane.

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>11 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 11 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 11 di 67 | | | | | | | | |

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_A = \tan^2(45^\circ - \phi'/2)$$

$$K_P = \tan^2(45^\circ + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_A e K_P si tiene conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo.

In particolare i coefficienti di spinta attiva (k_a) sono calcolati secondo la formulazione di Coulomb; i coefficienti di spinta passiva (k_p) sono calcolati secondo la formulazione di Lancellotta (2007), considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo (δ) pari a $2/3\phi'$. In condizione sismica è stato assunto $\delta = 0$ per la spinta passiva.

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'_h = K_A \sigma'_v - 2c'K_A^{0.5}$$

$$\sigma'_h = K_P \sigma'_v + 2c'K_P^{0.5}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente. c' è la coesione efficace del terreno.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse, k , è data da

$$k = E / L$$

ove E è un modulo di rigidità del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica. Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidità di ogni molla è:

$$K = E \Delta / L$$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma.

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>12 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 12 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 12 di 67 | | | | | | | | |

5.1.2.1 Profondità massima di scavo

Nel caso in cui la funzione di sostegno sia affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, il modello geometrico di riferimento deve tenere conto delle possibili variazioni del profilo del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali. In particolare, secondo le indicazioni delle NTC, la quota di valle deve essere diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:

- 10% dell'altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate;
- 0,5 m.

5.2 Sovraccarichi accidentali

A monte della paratia è stato ipotizzato un sovraccarico accidentale di 10 kPa.

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>13 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 13 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 13 di 67 | | | | | | | | |

6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots;$$

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Trattandosi di un'opera provvisoria sono state omesse le verifiche in condizioni sismiche.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

L'analisi mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE);
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU).

Le verifiche di sicurezza agli SLU sono da effettuarsi applicando il primo approccio progettuale (Approccio 1) che prevede le due seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR);
- Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO);

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle ed R1 pari ad 1.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005018 | REV. A |

In particolare sono stati verificati i seguenti stati limiti ultimi:

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia;
- raggiungimento della resistenza massima allo sfilamento dei tiranti;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Per quest'ultimo meccanismo, la verifica deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 definita come segue, assumendo R2 pari a 1.1 in condizioni statiche:

Combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO).

Trattandosi di un'opera provvisoria vengono omesse le verifiche in condizioni sismiche.

Nelle condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera sono stati valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza delle opere adiacenti.

Tabella 2 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| Coefficiente | | | EQU ⁽¹⁾ | A1 | A2 |
|---|-------------|---------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Ballast ⁽³⁾ | favorevoli | γ_B | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾ | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,45 | 1,45 | 1,25 |
| Azioni variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Precompressione | favorevole | γ_P | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevole | | 1,00 ⁽⁵⁾ | 1,00 ⁽⁶⁾ | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole | γ_{Ce} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevole | d | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 15 di 67 |

Tabella 3 - Coefficienti di combinazione delle azioni

| Azioni | | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole | Carico sul rilevato a tergo delle spalle | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| da traffico | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| | g^r_1 | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Gruppi di | g^r_2 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | - |
| carico | g^r_3 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | g^r_4 | 1,00 | 1,00 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Azioni del vento | F_{wk} | 0,60 | 0,50 | 0,0 |
| Azioni da | in fase di esecuzione | 0,80 | 0,0 | 0,0 |
| neve | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azioni termiche | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 4 - 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 | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>16 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 16 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 16 di 67 | | | | | | | | |

7. METODO DI ANALISI

7.1 Modellazione numerica

Il calcolo agli elementi finiti delle paratie è stato effettuato utilizzando il codice PARATIE (versione 20.0.2) prodotto dalla “CeAs” – Milano – ITA. Gli effetti nelle opere di sostegno flessibile delle spinte del terreno e delle azioni concentrate offerte dalla eventuale tirantatura sono stati esaminati con l’ausilio del programma di calcolo per l’analisi di strutture di sostegno flessibili PARATIE.

PARATIE analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l’accento sull’aspetto dell’interazione “locale” fra parete e terreno.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l’effettivo comportamento dell’opera di sostegno.

La simulazione numerica utilizzata segue due differenti percorsi:

Analisi classica = viene eseguita una analisi all’equilibrio limite della singola o doppia paratia. Il calcolo delle sollecitazioni avviene per mezzo delle teorie classiche. Il calcolo degli spostamenti avviene tramite un’analisi elastica semplificata considerando lo schema di carico e di vincoli imposti dall’Utente.

Analisi non lineare secondo un modello “a molle” elasto plastiche” per la parte terreno. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- Si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- La parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 17 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

- Il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- Si adotta un valore dell'angolo di attrito terreno paratia, (δ), pari a $0.5 \phi'$. In sismica tale valore è nullo;
- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

Lo scopo di PARATIE è lo studio di un problema definito; in altre parole, il programma analizza la risposta, durante le varie fasi realizzative, di una parete caratterizzata in tutte le sue componenti (altezza, infissione e spessore della parete, entità dei tiranti, ecc.). Il problema è ricondotto a uno schema piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura seguente.

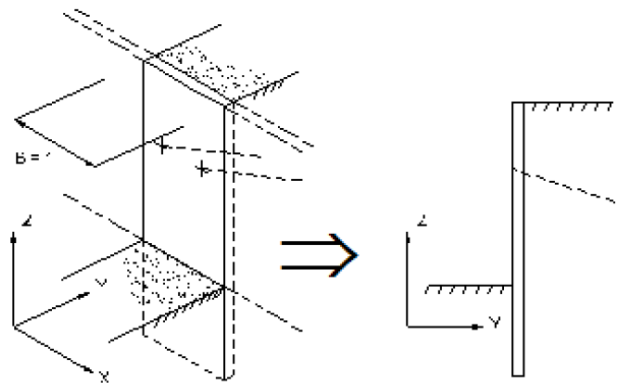


Figura 2 – Schema di modellazione piana effettuata per mezzo del software PARATIE

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "trave su suolo elastico". Le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ , mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie; ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno:

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406
Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 18 di 67 |

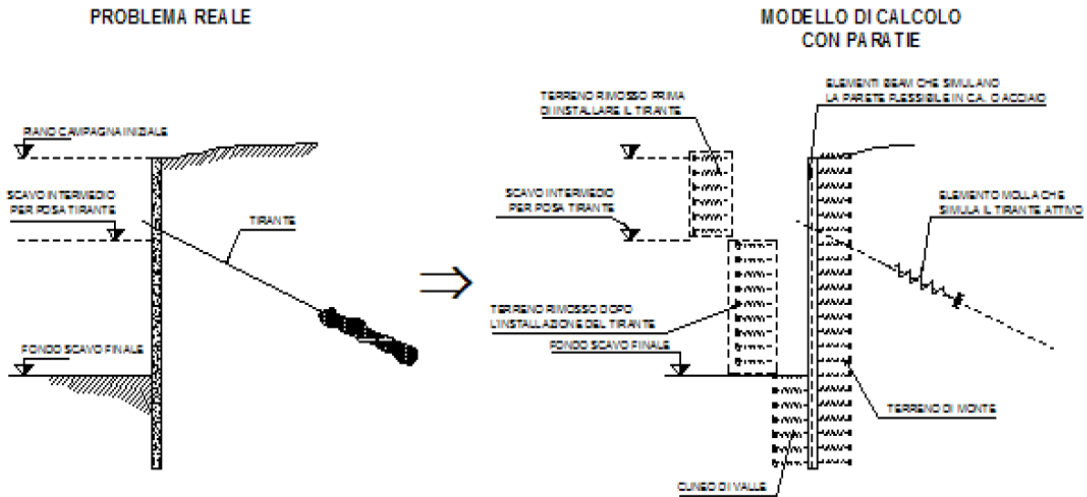


Figura 3 – Trave su suolo elastico: modellazione numerica della paratia e dei vincoli

Il limite di questo schema sta nell’ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l’interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

PARATIE calcola internamente e aggiorna costantemente tale parametro, sulla base del modulo elastico (Young) e la geometria del muro. In altre parole, ad ogni passo, la rigidità K della “molla” viene calcolata dalla seguente equazione:

$$k = a \cdot \frac{E_s \cdot t}{L}$$

dove

a è un fattore di scala posto pari a 1;

E_s è il modulo di Young del terreno;

t è l’interasse della molla;

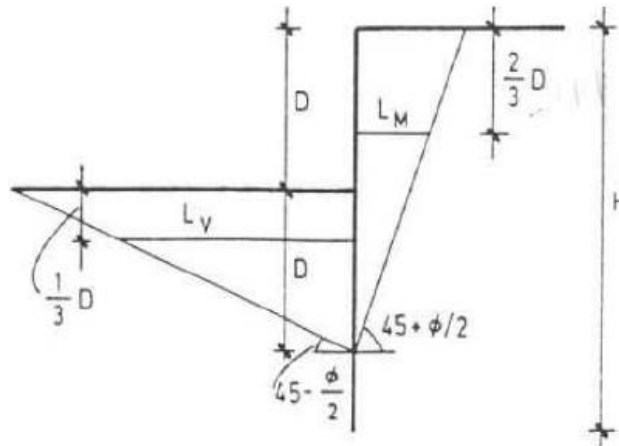
L è un parametro geometrico che tiene conto della geometria del muro (v. capitolo 5.1.2).

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 19 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Nella figura seguente viene riportato in via grafica il criterio per la definizione di L_M e L_V .



La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe, 1996).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

7.2 Stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale dei sono state condotte con il codice calcolo Slide (ver. 7.038).

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>20 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 20 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 20 di 67 | | | | | | | | |

Slide è un software bidimensionale per l'analisi di stabilità globale di pendii, rilevati e fronti di scavo. Viene calcolato il fattore di sicurezza allo scorrimento di superfici di scivolamento circolari e non in pendii di terreno o roccia. I carichi esterni, la superficie piezometrica e i diversi tipi di supporto possono essere modellati in vari modi.

Slide analizza la stabilità delle superfici di scorrimento utilizzando i metodi all'equilibrio limite con conci verticali e non (Bishop, Janbu, Spencer, Sarma, Morgenstern-Price, ..). Possono essere ricercate specifiche superfici di scorrimento oppure è possibile localizzare la superficie di scivolamento critica per un dato pendio. Nel caso in esame è stato utilizzato il metodo di Bishop semplificato.

Il software determina la superficie di scorrimento critica caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di sicurezza, definito come il rapporto tra la resistenza di progetto del sistema R_d (momenti stabilizzanti) e l'azione di progetto E_d (momenti ribaltanti).

Le verifiche sono soddisfatte se il coefficiente di sicurezza F_s è maggiore di γ_R .

7.3 Modelli di calcolo

La sezione di calcolo è caratterizzato da uno scavo di 2 m, che incrementato del 10% per tenere conto delle prescrizioni delle NTC 2018, porta a 2.2 m.

Come detto la berlinese è costituita da micropali $\phi 200$; disposti ad interasse 0.25 m, di lunghezza 6 m. I micropali sono armati con tubolari in acciaio S275 di diametro 114.3 mm e spessore 10 mm.

I micropali sono collegati in testa da un cordolo in c.a. di dimensioni 0.5m x 0.5m.

7.4 Fasi di costruzione

Sulla base di quanto descritto nel capitolo 7.1, il calcolo numerico è effettuato per fasi, al fine di consentire la valutazione delle azioni sulla paratia nelle differenti stadi di costruzione e di consentire la convergenza della soluzione. Nel seguito si riassumono le fasi di calcolo considerate nell'analisi.

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 21 di 67 |

FASE 0 - INIZIALIZZAZIONE

Paratia: -

Quota terreno lato esterno: 0 m

Quota terreno lato interno: 0 m

Sovraccarico: no

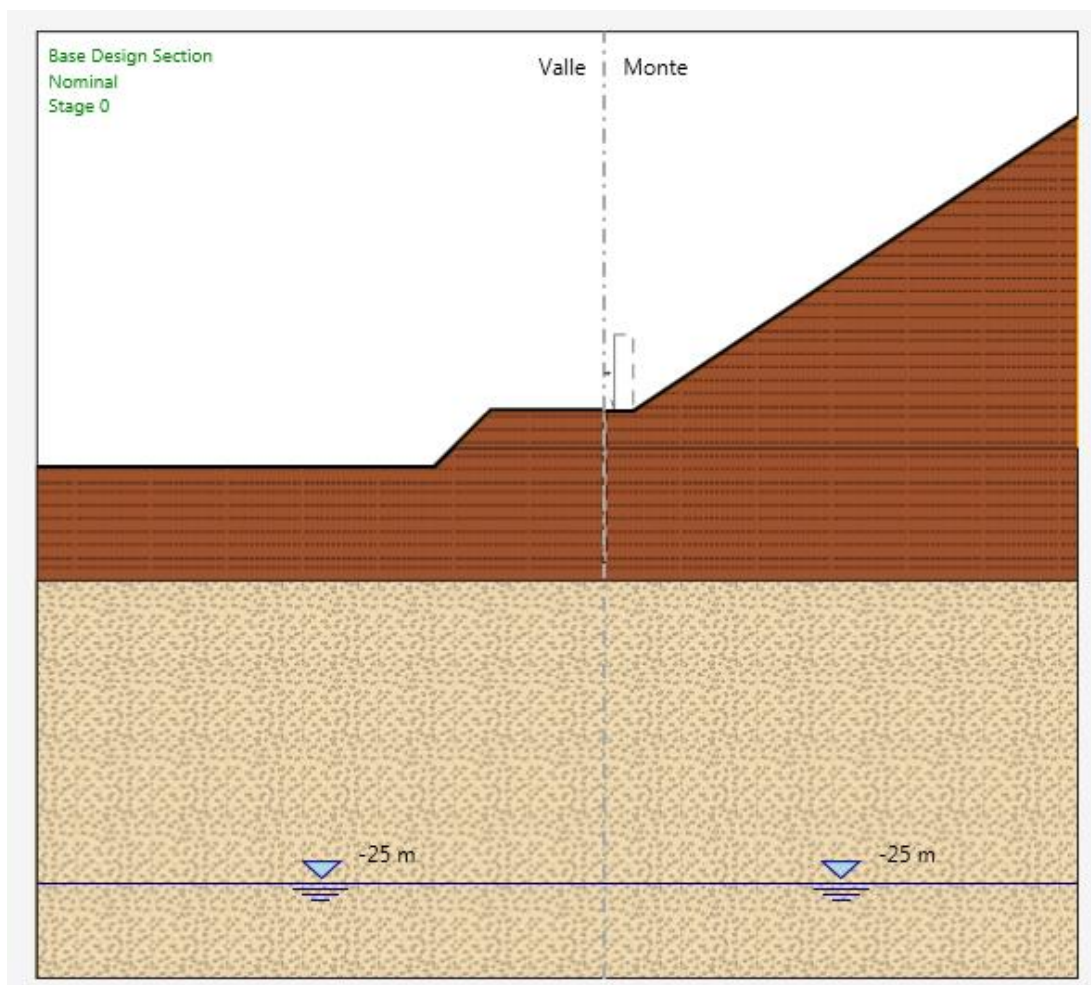


Figura 4 – Stage 0: stato di fatto

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 22 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

FASE 1 - BERLINESE

Paratia: Palo $\Phi 200$ mm, tubolare $\Phi 114.3$, spessore 10 mm, lunghezza 6 m, passo 0.25 m

Quota terreno lato esterno: 0 m

Quota terreno lato interno: 0 m

Sovraccarico: no

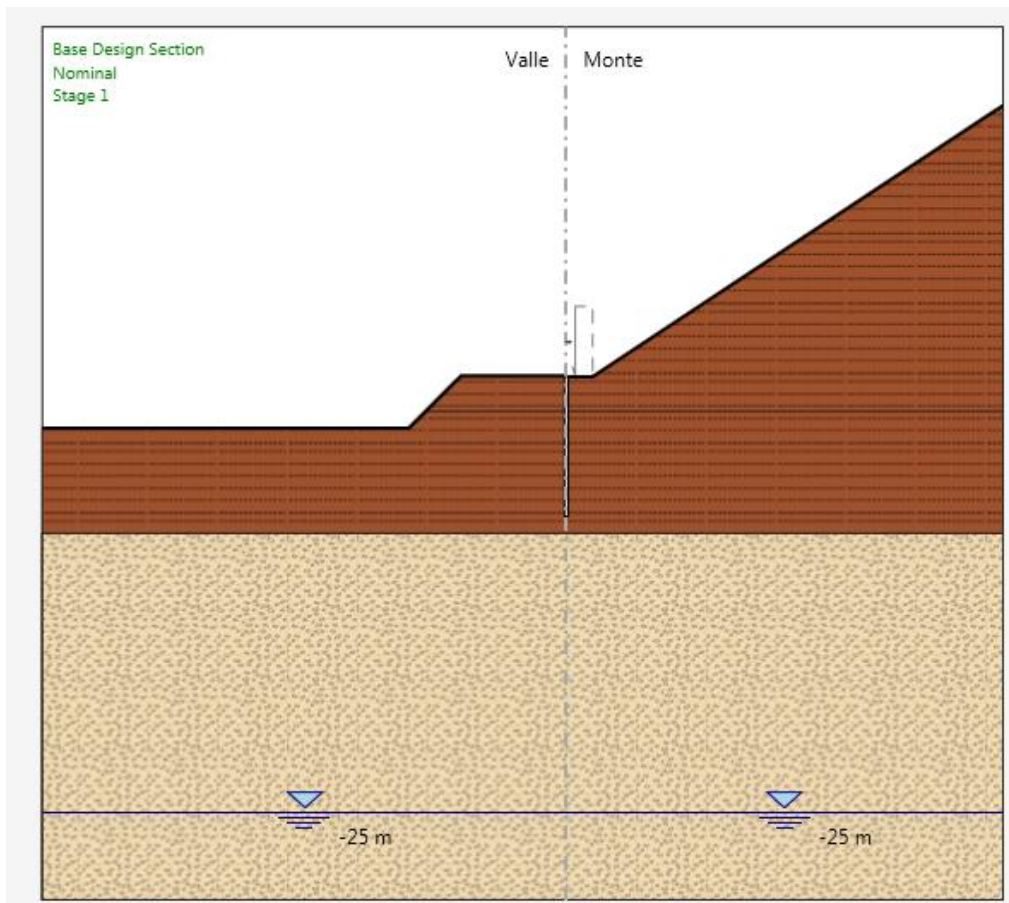


Figura 5 – Stage 1: Realizzazione berlinese

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 23 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

FASE 2 – SOVRACCARICO

Paratia: Palo $\Phi 200$ mm, tubolare $\Phi 114.3$, spessore 10 mm, lunghezza 6 m, passo 0.25 m

Quota terreno lato esterno: 0 m

Quota terreno lato interno: -0 m

Sovraccarico: 10 kPa accidentale

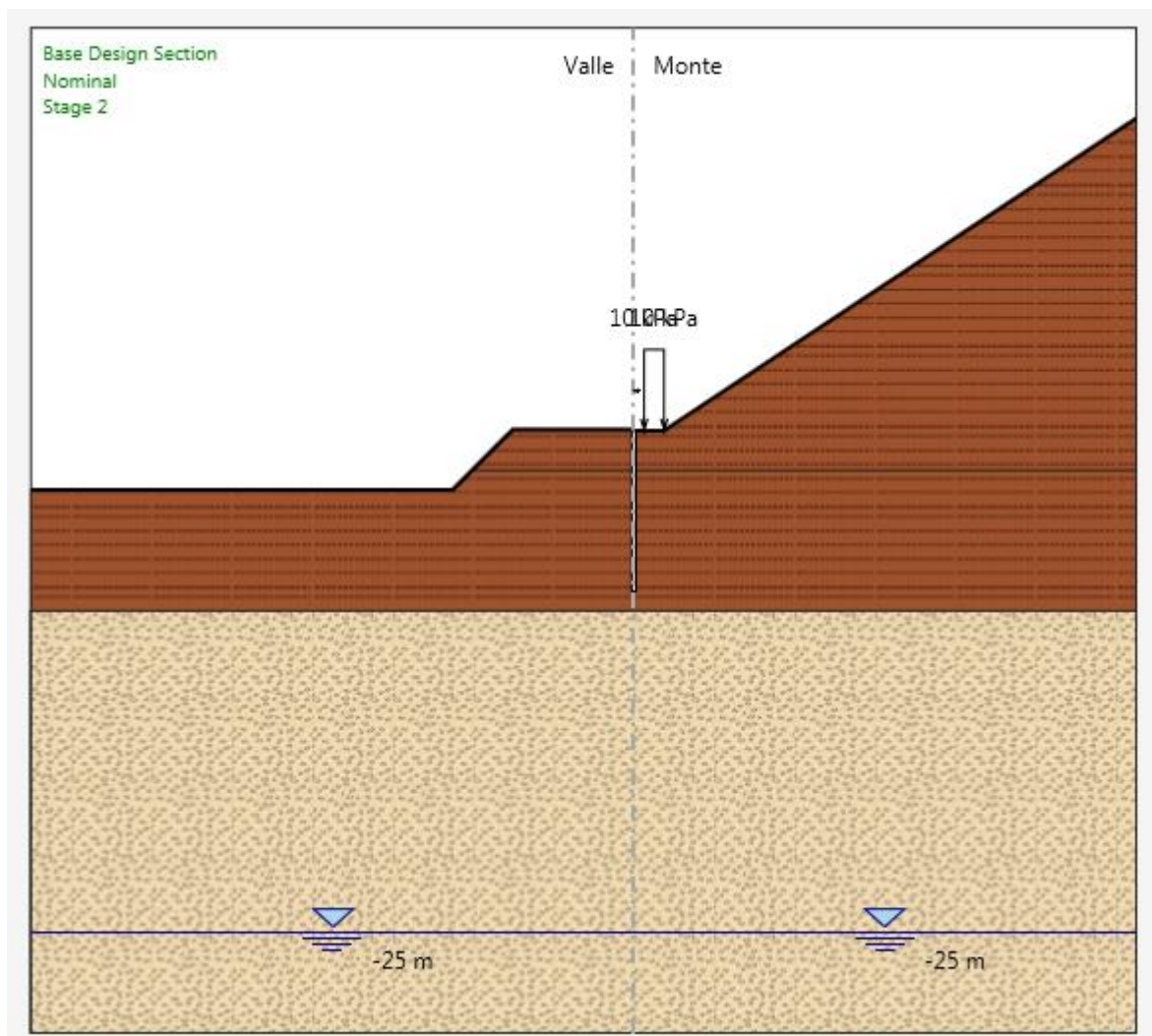


Figura 6 – Stage 2: sovraccarico 10 kPa

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 24 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

FASE 3 – FONDO SCAVO -2 m

Paratia: Palo $\Phi 200$ mm, tubolare $\Phi 114.3$, spessore 10 mm, lunghezza 6 m, passo 0.25 m

Quota terreno lato esterno: 0 m

Quota terreno lato interno: -2 m

Sovraccarico: 10 kPa accidentale

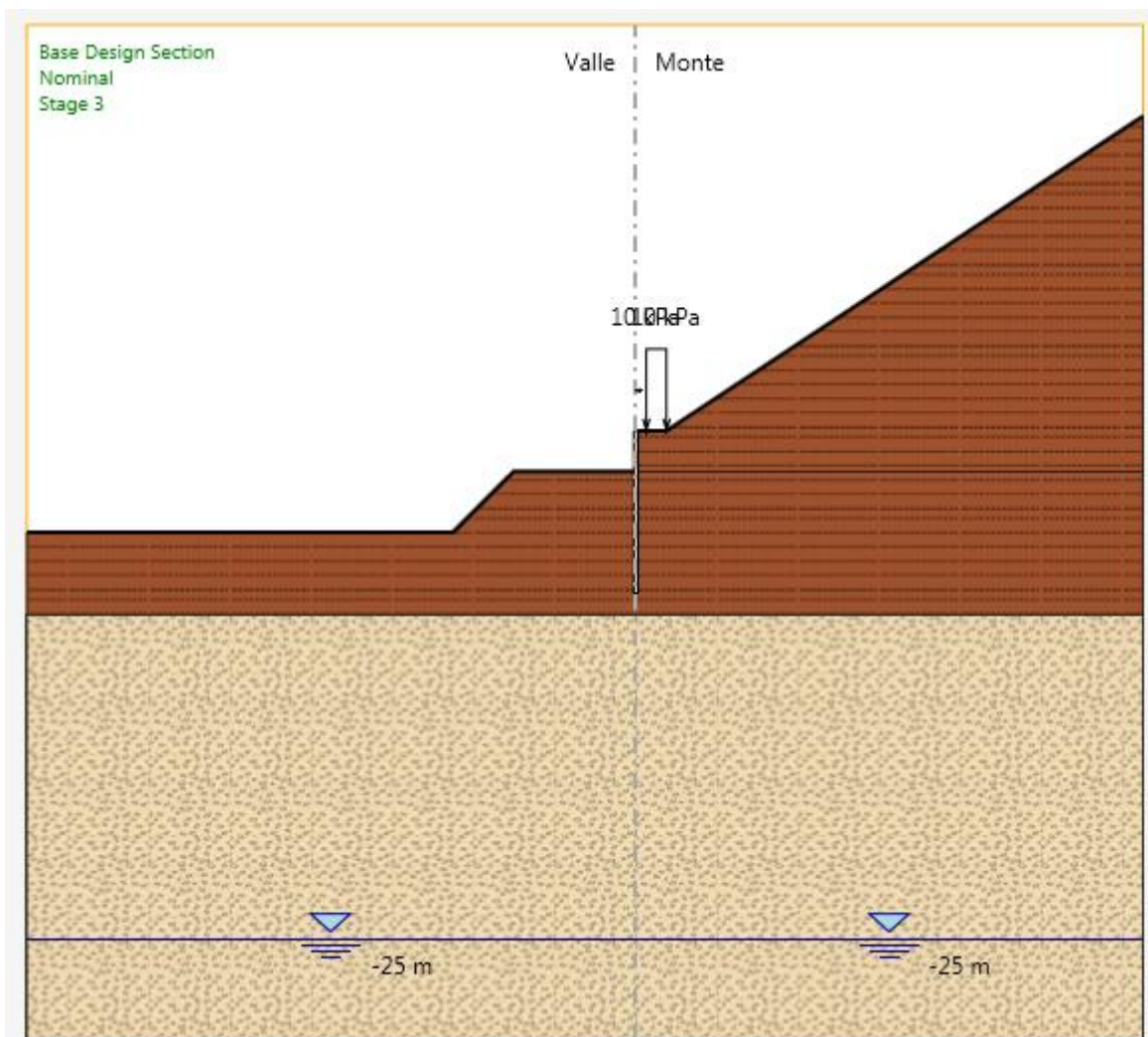


Figura 7 – Stage 3: scavo -2m

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 25 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

FASE 4 – SOVRASCAVO

Paratia: Palo $\Phi 200$ mm, tubolare $\Phi 114.3$, spessore 10 mm, lunghezza 6 m, passo 0.25 m

Quota terreno lato esterno: 0 m

Quota terreno lato interno: -2.2 m

Sovraccarico: 10 kPa accidentale

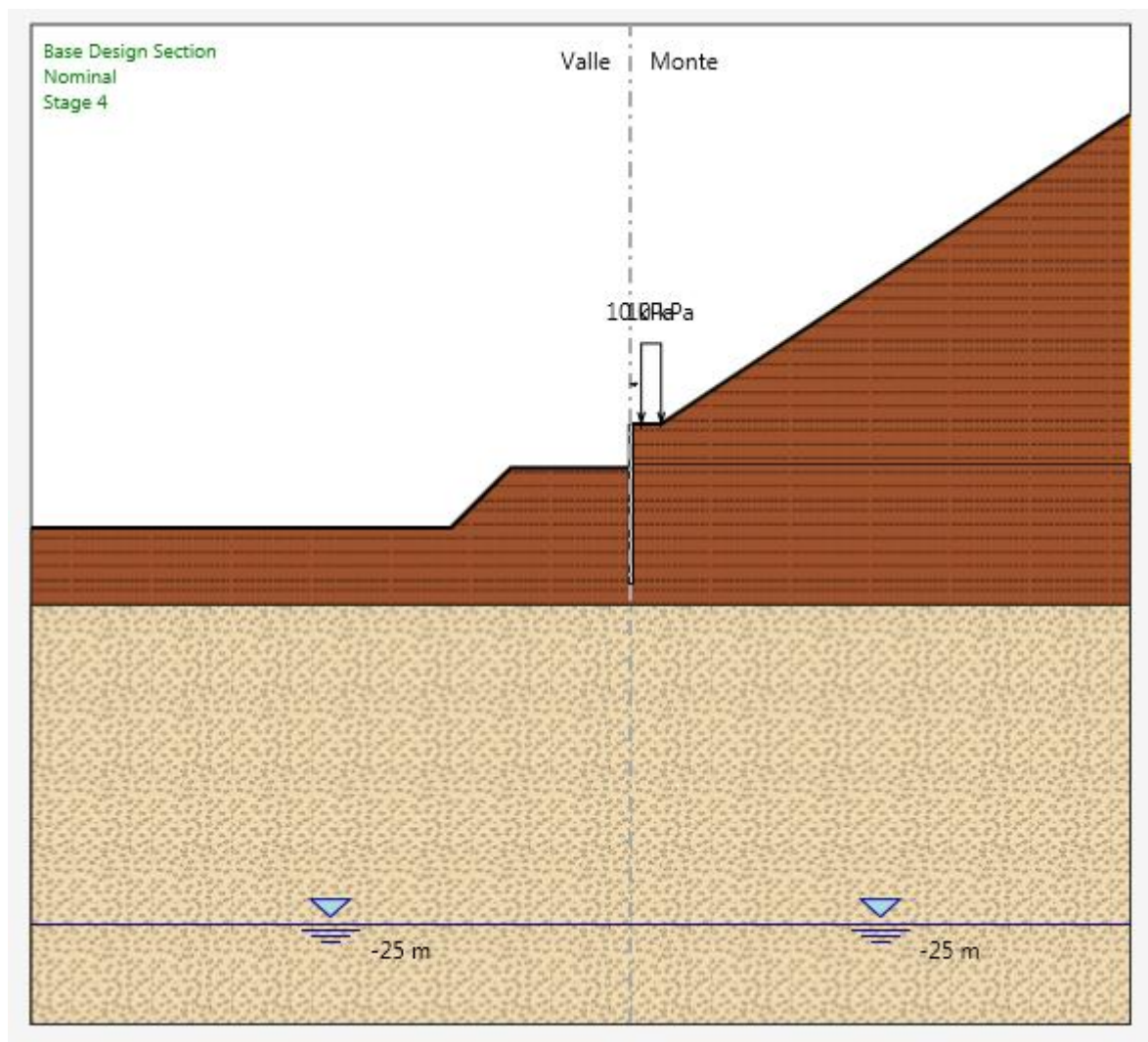


Figura 8 – Stage 4: scavo -2.2 m

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>26 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 26 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 26 di 67 | | | | | | | | |

8. CRITERI DI VERIFICA

Coerentemente con quanto descritto nel capitolo 6, le verifiche agli Stati Limite Ultimo della paratia sono condotte con riferimento a tutti i meccanismi di rottura e instabilità che possono verificarsi e previsti da normativa tecnica. Le verifiche di esercizio sono, invece, finalizzate alla valutazione degli spostamenti e della loro compatibilità con la funzionalità delle strutture adiacenti.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

8.1 Verifiche geotecniche

8.1.1 Verifica della massima spinta passiva mobilitata

La lunghezza di ammorsamento della paratia di micropali deve essere tale da garantire la stabilità dell'opera in tutte le fasi di realizzazione. La stabilità è verificata per mezzo del programma di calcolo Paratie, verificando la convergenza della soluzione calcolata e, dunque, l'equilibrio nella direzione orizzontale ed alla rotazione. Nell'ambito delle analisi si verificherà quindi che la spinta passiva mobilitata sia sempre inferiore alla spinta passiva ultima di progetto, nella Combinazione 2 dell'Approccio 1, garantendo un adeguato margine di sicurezza.

8.1.2 Verifica degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti della berlinese è effettuato con PARATIE e secondo quanto previsto dalle NTC. Orientativamente, lungo la paratia il valore limite degli spostamenti sarà pari ed accettabile 1/200 dell'altezza di scavo, per quanto riguarda il limite di spostamento agli SLE.

|  | <p style="text-align: center;">INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p style="text-align: center;">RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| <p>Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406</p> <p>Relazione di calcolo opera provvisoria</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>27 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 27 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 27 di 67 | | | | | | | | |

8.1.3 Verifica di stabilità globale

Per il progetto delle opere in oggetto, la verifica di stabilità globale del complesso opera-terreno è stata effettuata secondo la teoria dell'equilibrio limite nell'ambito della quale i terreni sono caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (analisi in termini di sforzi efficaci). Tale approccio consente di svincolarsi da tutte le complesse problematiche legate all'analisi dello stato deformativo dell'ammasso e di definire un semplice fattore di sicurezza, convenzionalmente valutato come rapporto tra le forze di taglio potenzialmente mobilitabili lungo la superficie di rottura analizzata e le forze di taglio effettivamente mobilitate sotto l'azione delle forze agenti sull'ammasso (pesi propri, carichi esterni, ecc.).

L'analisi delle condizioni di equilibrio viene svolta con ricorso al codice di calcolo Slide (Rocscience). Il calcolo viene condotto utilizzando i metodi dell'equilibrio limite con particolare riferimento a quello di Bishop semplificato, considerando forme di superfici di scivolamento compatibili con i cinematismi di rottura attesi. Vengono quindi analizzate tutte le possibili superfici di scivolamento passanti esternamente rispetto all'opera di sostegno (stabilità globale).

La metodologia di calcolo adottata dal programma consiste nell'analizzare molteplici superfici di scivolamento ben definite, fornendone il fattore di sicurezza. La resistenza al taglio agente lungo la superficie di scivolamento necessaria all'equilibrio è calcolata attraverso l'equazione della statica. Il coefficiente di sicurezza è inteso come il fattore per il quale possono essere divisi i parametri di resistenza meccanica del materiale per portare il pendio alle condizioni di equilibrio limite, implicitamente assunto costante lungo tutta la superficie di scivolamento.

Nello specifico, nel metodo di Bishop si divide la massa di terreno interessata dal cinematismo in più conci assumendo che le azioni agenti all'interfaccia dei conci stessi abbiano risultante orizzontale, trascurando gli sforzi di taglio all'interfaccia tra i vari volumetti.

8.1.4 Altre verifiche

In considerazione della geometria dell'opera e dello scavo, stratigrafia e delle condizioni di falda, per l'opera in oggetto si ritiene che non possano innescarsi meccanismi di instabilità

|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406 Relazione di calcolo opera provvisoria | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>28 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 28 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 28 di 67 | | | | | | | | |

globale del complesso opera-terreno o relativi al sollevamento, al sifonamento o ad altri stati limite di tipo idraulico.

8.2 Verifiche strutturali

8.2.1 Verifica dei tubi di armatura dei micropali

La verifica dei tubolari di armatura dei micropali, viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni tubolari compatte (classe 1 o 2) con il metodo plastico descritto nelle NTC. Il coefficiente parziale γ_{M0} è riportato nella tabella 4.2.VII delle NTC 2018.

Le verifiche a flessione ed a taglio saranno effettuate con Paratie, in termini di coefficiente di sfruttamento.

Tab. 4.2.VII - 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) | $\gamma_{M2} = 1,25$ |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 29 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

9. RISULTATI

Nel presente capitolo si riassumono i risultati del calcolo effettuato sull'opera descritta nel capitolo 7.

INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE

Nella figura che segue si illustra il momento flettente massimo calcolato per le combinazioni agli Stati Limite Ultimo.

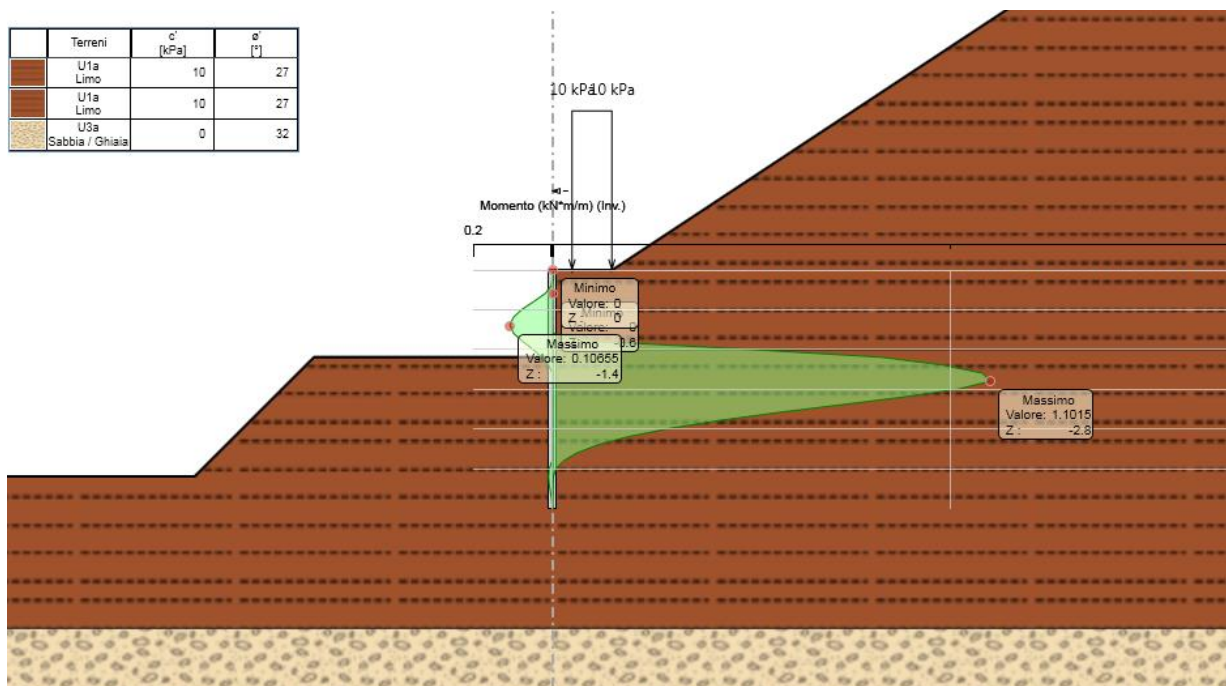


Figura 9 – Momento flettente massimo SLU ($M_{max}=1.1 \text{ kNm/m}$)

INVILUPPO AZIONE DI TAGLIO

Nella figura che segue si illustra l'azione di taglio massima calcolata per le combinazioni agli Stati Limite Ultimo.

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 30 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

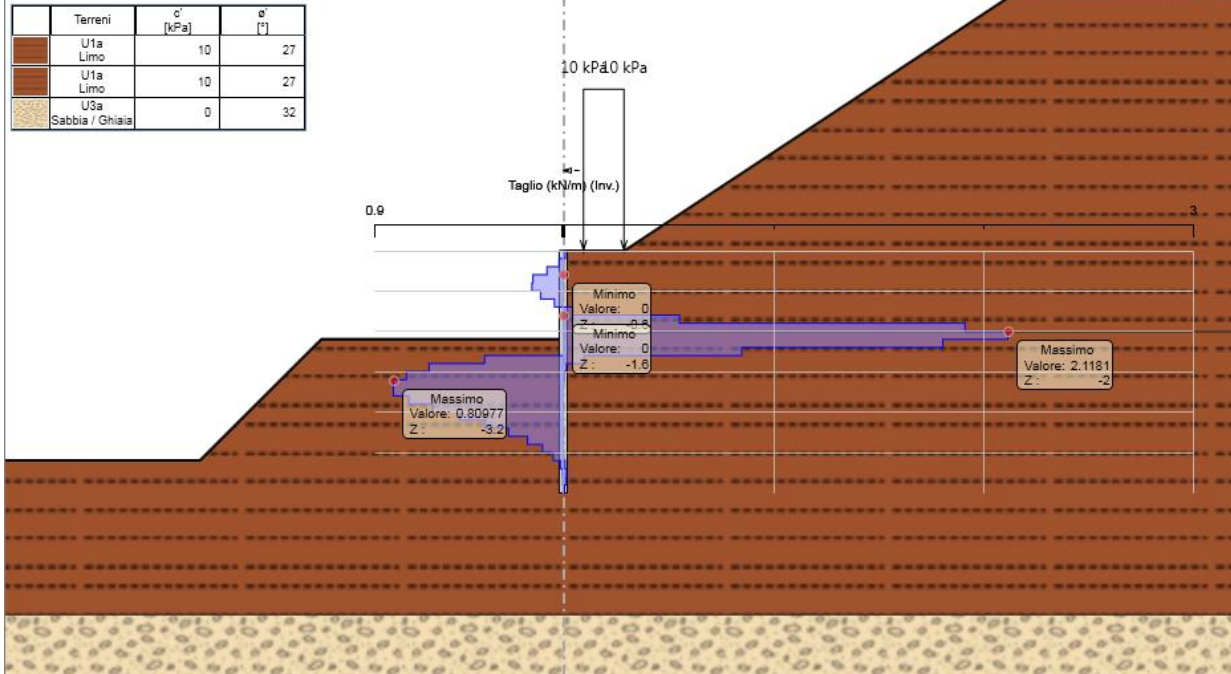


Figura 10 – Azione di taglio massimo SLU ($T_{max}=2.1 \text{ kN/m}$)

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 31 di 67 |

SPOSTAMENTO MASSIMO PARATIA

Nella figura seguente si illustrano gli spostamenti massimi orizzontali calcolati negli Stati Limite di Esercizio.

Lo spostamento orizzontale massimo è pari a 0.6 mm, inferiore al limite $H_{scavo}/200 = 11$ mm.

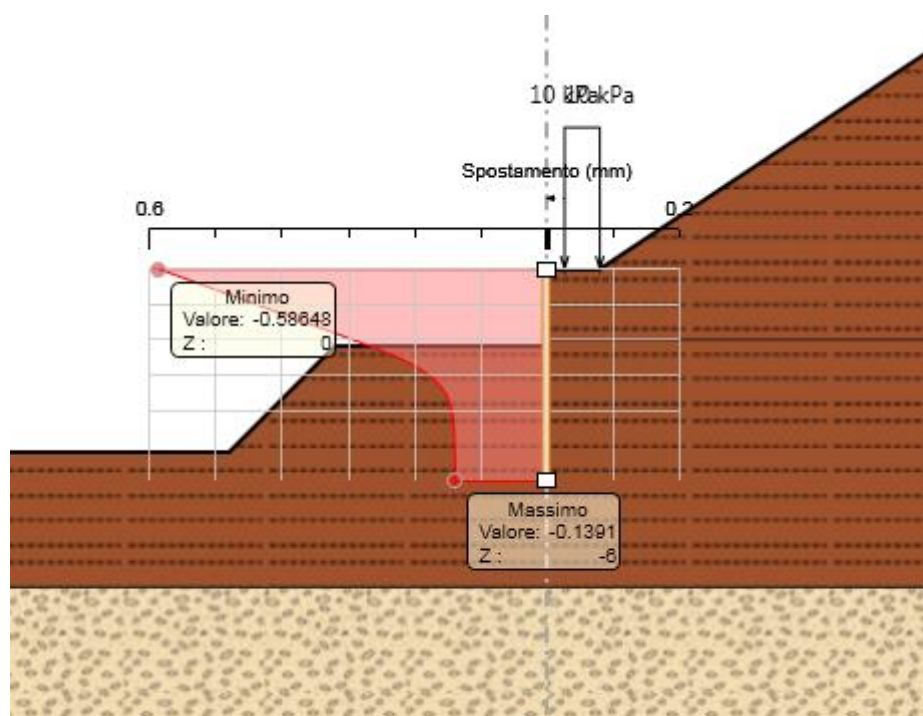


Figura 11 –Spostamenti massimi SLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406
Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 32 di 67 |

SPINTA PASSIVA MOBILITATA

La spinta passiva mobilitata raggiunge un valore massimo del 27%.

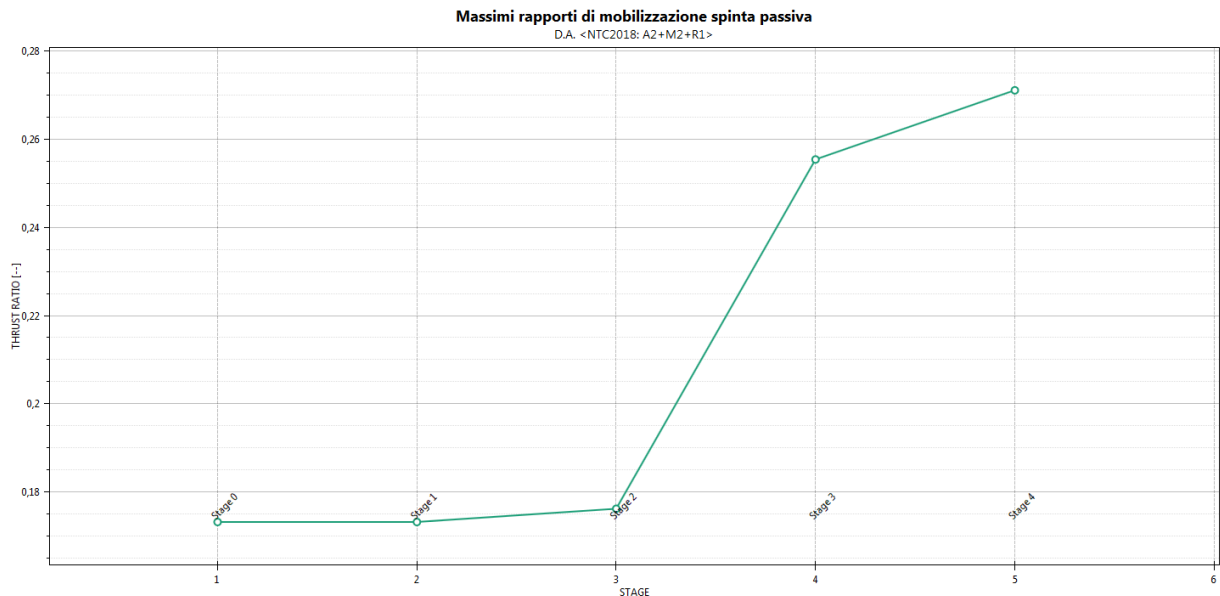


Figura 12 - Involuppo spinta reale efficace / Spinta passiva (Approccio 1 Combinazione 2)

STABILITA' GLOBALE

Il fattore di sicurezza minimo calcolato in condizioni statiche è riportato in Figura 13.

La berlinese è stata modellata in Slide utilizzando l'elemento *micropile* a cui è stata assegnata la resistenza al taglio del tubolare $D = 114.3 \text{ mm}$ sp. 10 mm in acciaio S275, pari a 315 kN.

È stato verificato che il valore di progetto delle azioni fosse inferiore al valore di progetto delle resistenze disponibili, ovvero $R/Ed > \gamma_R = 1.1$ (paragrafo 6.8.2 delle NTC2018).

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 33 di 67 |

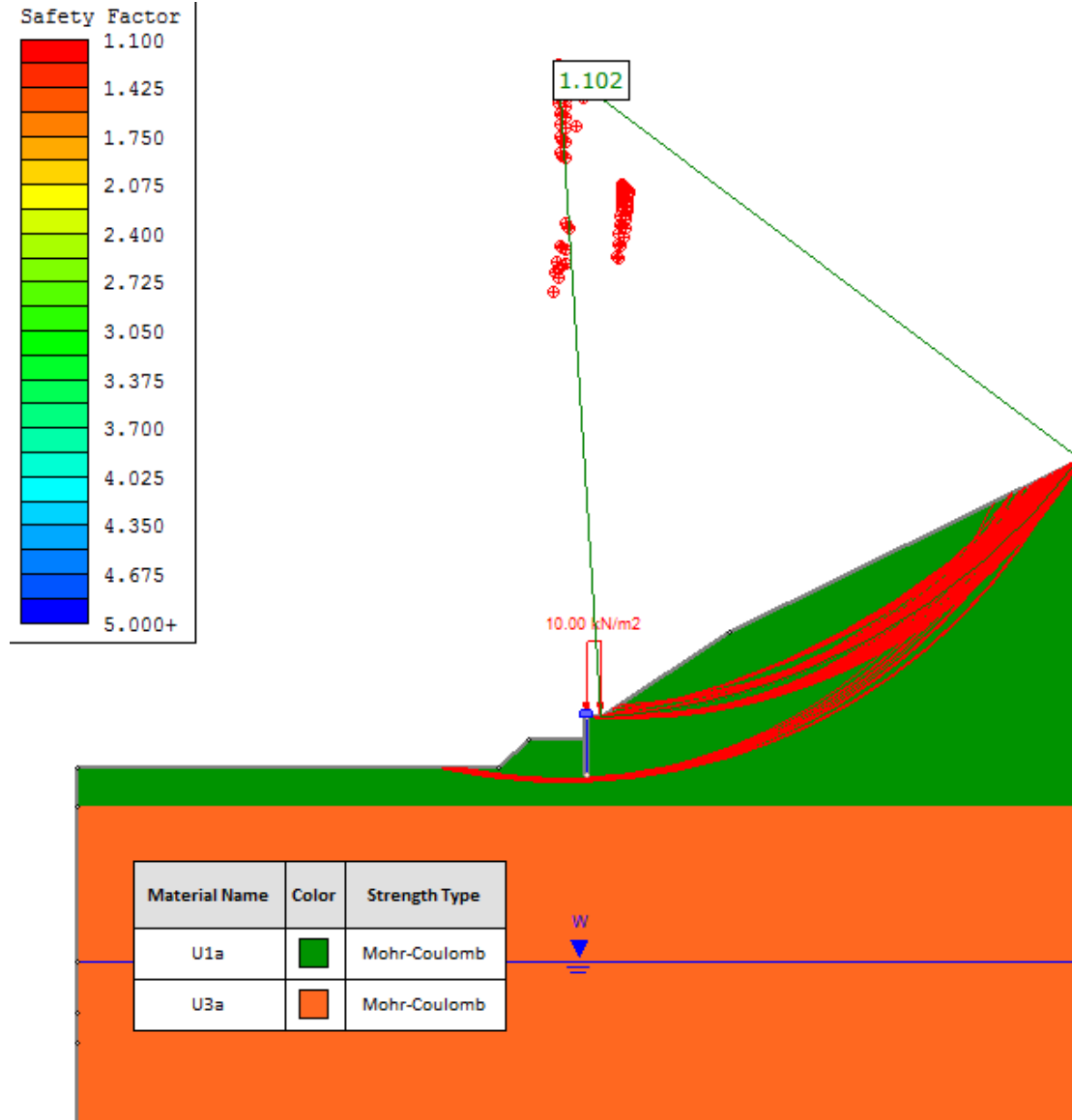


Figura 13 –Stabilità globale: fattore di sicurezza SLU (Metodo Bishop simplified)

|  | <p style="text-align: center;">INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p style="text-align: center;">RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| <p>Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406</p> <p>Relazione di calcolo opera provvisoria</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NR1J</td> <td style="text-align: center;">01 D 29</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">RI0005018</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">34 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 34 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 34 di 67 | | | | | | | | |

10. VERIFICHE

10.1 Verifiche geotecniche

Sulla base dei risultati presentati nel precedente capitolo, la percentuale di spinta passiva massima mobilitata nella Combinazione 2 è tale da garantire la stabilità dell'opera alla rototraslazione.

Inoltre, gli spostamenti calcolati e rappresentati in Figura 11 e **Error! Reference source not found.** sono in grado di garantire i requisiti prestazionali dell'opera e, quindi, soddisfare le verifiche agli SLE.

Il fattore di sicurezza rappresentato in Figura 13 è tale da da garantire la stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

10.2 Verifiche strutturali

Le seguenti figure illustrano il massimo livello di sfruttamento del tubolare in acciaio al momento ed al taglio, sempre ampiamente inferiore al 100%. Le verifiche strutturali agli SLU sono, pertanto, soddisfatte.

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 35 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

10.2.1 Paratia

Come anticipato in precedenza, la verifica strutturale della paratia viene condotta andando a controllare il tasso di sfruttamento dei tubolari in acciaio all'interno dei micropali. Nelle figure di seguito riportate si presentano gli involuipi di sfruttamento a momento flettente e taglio che soddisfano la verifica, presentando un valore molto inferiore all'unità:

- Sfruttamento momento SLU: < 1%;
- Sfruttamento taglio SLU: < 1%.

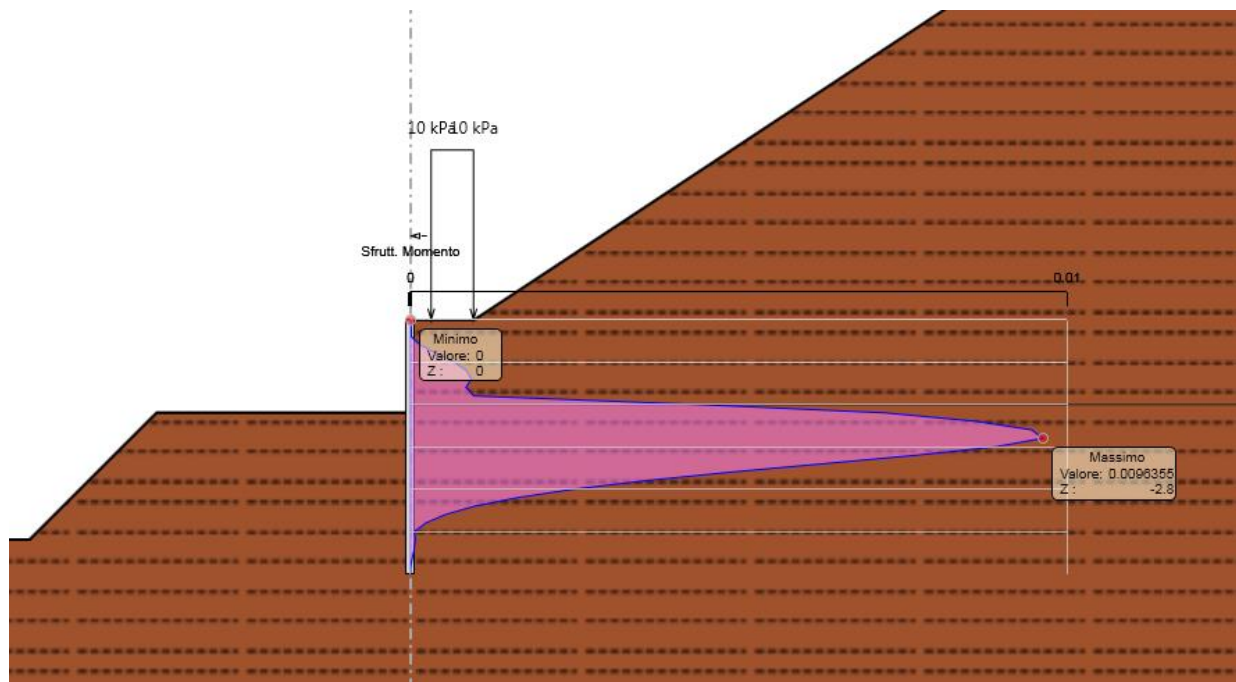


Figura 14 – Involuppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a flessione (SLU)

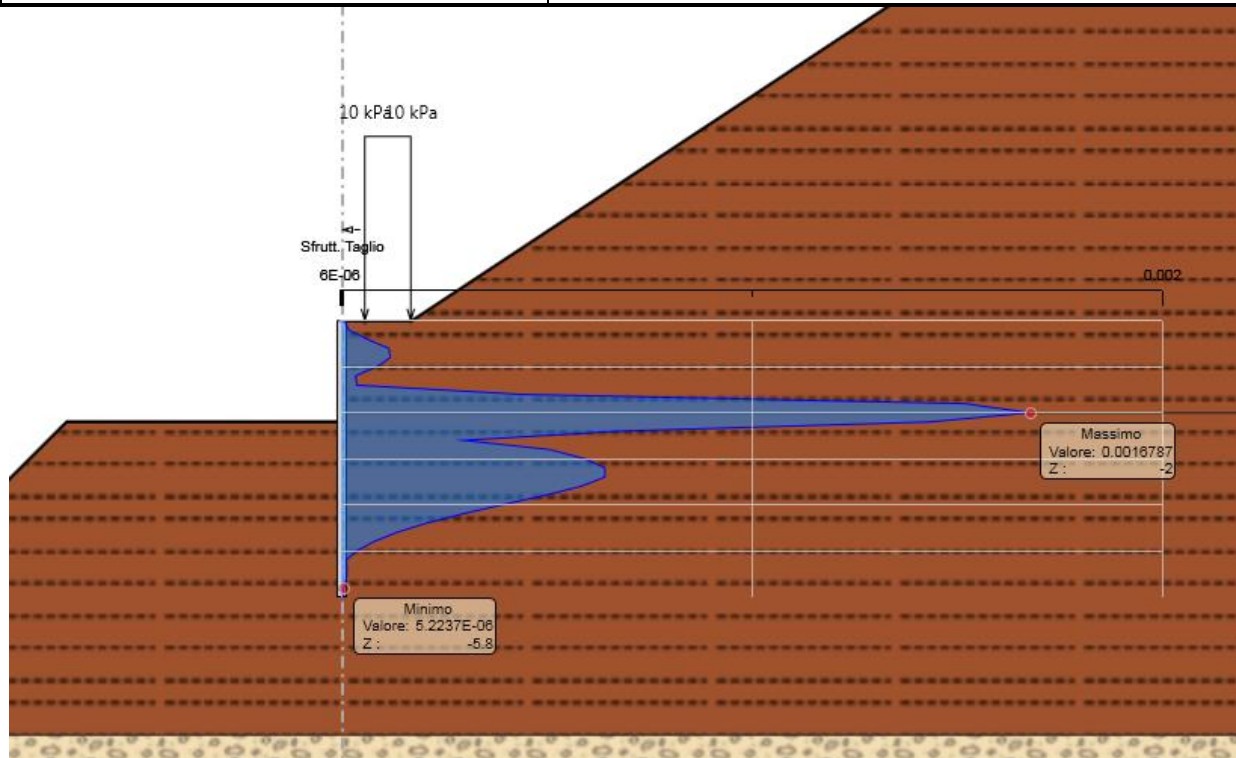


Figura 15 –Inviluppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a taglio (SLU)

10.2.1.1 Trave di coronamento

Il cordolo in c.a. di collegamento in testa ai micropali, di dimensioni 0.5m x 0.5m, non risulta sollecitato, come si evince nei risultati riportati in Figura 9 e Figura 10. Viene quindi prevista l'armatura minima prescritta da normativa al capitolo 4.1.6.1.1.

$$A_{s,req} \geq A_{s,min} = 0,26 b_t d f_{ctm} / f_{yk} > 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0.26 \times 50\text{cm} \times 42\text{cm} \times 2.56\text{MPa} / 450\text{MPa} = 4.61 \text{ cm}^2 > 0.0013 \times 60 \times 52 = 3.11 \text{ cm}^2$$

Questa condizione risulta soddisfatta assumendo 4 $\Phi 12$ ($A_{s,tesa} = 4.52 \text{ cm}^2$) ambo i lati.

Si prevedono staffe a 2 bracci, barre $\Phi 10$ con passo 20 cm ($A_{st} = 785 \text{ mm}^2/\text{m} > A_{st,min} = 1.5 b = 750 \text{ mm}^2/\text{m}$).

Si giunge pertanto ad un'incidenza di 65 kg/m^3 .



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE
FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E
POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI
VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 37 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

ALLEGATI



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE
FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E
POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI
VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 38 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

ALLEGATO 1 – TABULATI DI PARATIE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 40 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -6 m

Muro di sinistra

Sezione : berlinese

Area equivalente : 0.0205597635998333 m

Inerzia equivalente : 0 m⁴/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 0.25 m

Diametro : 0.2 m

Efficacia : 0.5

Materiale acciaio : S275

Sezione : CHS114.3*10

Tipo sezione : O

Spaziatura : 0.25 m

Spessore : 0.01 m

Diametro : 0.1143 m

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 41 di 67 |

Fasi di Calcolo

Stage 0

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;-3)

(-20.79;-3)

(-14.73;-3)

(-9;-3)

(-6;0)

(-3.28;0)

(-2.26;0)

(-2;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;0)

(1.5;0)

(25;15.5)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -25 m

Falda di destra : -25 m

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 42 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Stage 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;-3)

(-20.79;-3)

(-14.73;-3)

(-9;-3)

(-6;0)

(-3.28;0)

(-2.26;0)

(-2;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;0)

(1.5;0)

(25;15.5)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -25 m

Falda di destra : -25 m

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -6 m

Sezione : berlinese

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 43 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Stage 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;-3)

(-20.79;-3)

(-14.73;-3)

(-9;-3)

(-6;0)

(-3.28;0)

(-2.26;0)

(-2;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;0)

(1.5;0)

(25;15.5)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -25 m

Falda di destra : -25 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : 0.5 m

X finale : 1.5 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -6 m

Sezione : berlinese

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 44 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Stage 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -2 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;-5)

(-20.79;-5)

(-14.73;-5)

(-9;-5)

(-6;-2)

(-3.28;-2)

(-2.26;-2)

(-2;-2)

(0;-2)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;0)

(1.5;0)

(25;15.5)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -25 m

Falda di destra : -25 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : 0.5 m

X finale : 1.5 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -6 m

Sezione : berlinese

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 45 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Stage 4

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -2.2 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;-5.2)

(-20.79;-5.2)

(-14.73;-5.2)

(-9;-5.2)

(-6;-2.2)

(-3.28;-2.2)

(-2.26;-2.2)

(-2;-2.2)

(0;-2.2)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;0)

(1.5;0)

(25;15.5)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -25 m

Falda di destra : -25 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : 0.5 m

X finale : 1.5 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -6 m

Sezione : berlinese

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 46 di 67 |

Descrizione Coefficienti Design Assumption

| Nome | Carichi Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour) | Carichi Favorevoli (F_dead_load_favour) | Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour) | Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour) | Carico Sismico (F_seis) | Pressioni Acqua Lato Monte (F_WaterDR) | Pressioni Acqua Lato Valle (F_WaterVal) | 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 |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | 1.35 | 1 | 1.5 | 1 | 0 | 1.3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | 1 | 1 | 1.3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |

| Nome | Parziale su $\tan(\phi')$ (F_Fr) | Parziale su c' (F_eff_cohes) | Parziale su S_u (F_Su) | Parziale su q_u (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 |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | 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 |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |

Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE
RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406
 Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 47 di 67 |

| Design Assumption | Stage 0 | Stage 1 | Stage 2 | Stage 3 | Stage 4 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | | | | | |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | V | V | V | V | V |
| NTC2018: A2+M2+R1 | | | | | |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 48 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

Tabella Inviluppi Momento WallElement

| Selected Design Assumptions | Inviluppi: Momento | Muro: WallElement |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| 0 | 0 | 0 |
| -0.2 | 0 | 0.002 |
| -0.4 | 0.002 | 0 |
| -0.6 | 0.018 | 0 |
| -0.8 | 0.047 | 0 |
| -1 | 0.076 | 0 |
| -1.2 | 0.098 | 0 |
| -1.4 | 0.107 | 0 |
| -1.6 | 0.097 | 0 |
| -1.8 | 0.075 | 0.111 |
| -2 | 0.049 | 0.494 |
| -2.2 | 0.026 | 0.827 |
| -2.4 | 0.009 | 0.985 |
| -2.6 | 0 | 1.082 |
| -2.8 | 0 | 1.101 |
| -3 | 0 | 1.02 |
| -3.2 | 0 | 0.882 |
| -3.4 | 0 | 0.72 |
| -3.6 | 0 | 0.558 |
| -3.8 | 0 | 0.411 |
| -4 | 0 | 0.287 |
| -4.2 | 0 | 0.188 |
| -4.4 | 0 | 0.114 |
| -4.6 | 0 | 0.062 |
| -4.8 | 0 | 0.028 |
| -5 | 0.007 | 0.008 |
| -5.2 | 0.009 | 0.002 |
| -5.4 | 0.007 | 0.001 |
| -5.6 | 0.004 | 0.001 |
| -5.8 | 0.001 | 0 |
| -6 | 0 | 0 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 49 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Tabella Involuppi Taglio WallElement

| Selected Design Assumptions | Involuppi: Taglio | Muro: WallElement |
|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
| 0 | 0 | 0.01 |
| -0.2 | 0.02 | 0.01 |
| -0.4 | 0.078 | 0 |
| -0.6 | 0.145 | 0 |
| -0.8 | 0.149 | 0 |
| -1 | 0.149 | 0 |
| -1.2 | 0.108 | 0 |
| -1.4 | 0.042 | 0.047 |
| -1.6 | 0 | 0.554 |
| -1.8 | 0 | 1.914 |
| -2 | 0 | 2.118 |
| -2.2 | 0 | 2.118 |
| -2.4 | 0 | 1.808 |
| -2.6 | 0.374 | 0.851 |
| -2.8 | 0.639 | 0.099 |
| -3 | 0.748 | 0.016 |
| -3.2 | 0.81 | 0.003 |
| -3.4 | 0.81 | 0 |
| -3.6 | 0.81 | 0 |
| -3.8 | 0.735 | 0 |
| -4 | 0.622 | 0 |
| -4.2 | 0.495 | 0 |
| -4.4 | 0.371 | 0 |
| -4.6 | 0.261 | 0 |
| -4.8 | 0.17 | 0 |
| -5 | 0.099 | 0 |
| -5.2 | 0.048 | 0.009 |
| -5.4 | 0.014 | 0.016 |
| -5.6 | 0.002 | 0.016 |
| -5.8 | 0.002 | 0.014 |
| -6 | 0.001 | 0.007 |



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE
FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E
POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI
VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 50 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva % |
|------------------------------------|---------|-----------|-------|---|
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | Stage 4 | Left Wall | LEFT | 19.32 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | Stage 0 | Left Wall | RIGHT | 11.91 |



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE
RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406
 Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 51 di 67 |

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva % |
|------------------------------------|---------|-----------|-------|--|
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | Stage 0 | Left Wall | LEFT | 408.2 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | Stage 4 | Left Wall | RIGHT | 175.81 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 52 di 67 |

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 | 1.15 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406</p> <p>Relazione di calcolo opera provvisoria</p> | <table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>53 di 67</td> </tr> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 53 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 53 di 67 | | | | | | | | |

Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

| Design Assumption | Stage 0 | Stage 1 | Stage 2 | Stage 3 | Stage 4 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | | | | | |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | V | V | V | V | V |
| NTC2018: A2+M2+R1 | | | | | |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

Relazione di calcolo opera provvisoria

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 54 di 67 |

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 |
| -0.4 | 0 |
| -0.6 | 0 |
| -0.8 | 0 |
| -1 | 0.001 |
| -1.2 | 0.001 |
| -1.4 | 0.001 |
| -1.6 | 0.001 |
| -1.8 | 0.001 |
| -2 | 0.004 |
| -2.2 | 0.007 |
| -2.4 | 0.009 |
| -2.6 | 0.009 |
| -2.8 | 0.01 |
| -3 | 0.009 |
| -3.2 | 0.008 |
| -3.4 | 0.006 |
| -3.6 | 0.005 |
| -3.8 | 0.004 |
| -4 | 0.003 |
| -4.2 | 0.002 |
| -4.4 | 0.001 |
| -4.6 | 0.001 |
| -4.8 | 0 |
| -5 | 0 |
| -5.2 | 0 |
| -5.4 | 0 |
| -5.6 | 0 |
| -5.8 | 0 |
| -6 | 0 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 55 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

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 | |
| -0.2 | 0 | |
| -0.4 | 0 | |
| -0.6 | 0 | |
| -0.8 | 0 | |
| -1 | 0 | |
| -1.2 | 0 | |
| -1.4 | 0 | |
| -1.6 | 0 | |
| -1.8 | 0.002 | |
| -2 | 0.002 | |
| -2.2 | 0.001 | |
| -2.4 | 0.001 | |
| -2.6 | 0 | |
| -2.8 | 0.001 | |
| -3 | 0.001 | |
| -3.2 | 0.001 | |
| -3.4 | 0.001 | |
| -3.6 | 0.001 | |
| -3.8 | 0 | |
| -4 | 0 | |
| -4.2 | 0 | |
| -4.4 | 0 | |
| -4.6 | 0 | |
| -4.8 | 0 | |
| -5 | 0 | |
| -5.2 | 0 | |
| -5.4 | 0 | |
| -5.6 | 0 | |
| -5.8 | 0 | |
| -6 | 0 | |



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE
FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E
POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI
VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 56 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

ALLEGATO 2 – TABULATI DI SLIDE

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
|  <p>ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406</p> <p>Relazione di calcolo opera provvisoria</p> | <table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>57 di 67</td> </tr> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 57 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 57 di 67 | | | | | | | | |

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Berlinese 36+150.slmd - Group 1 - SLU
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 03/09/2018, 15:40:26

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2018_SLU

| Type | Partial Factor |
|---------------------------------|----------------|
| Permanent Actions: Unfavourable | 1 |
| Permanent Actions: Favourable | 1 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 58 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

| | |
|------------------------------------|------|
| Variable Actions: Unfavourable | 1.3 |
| Variable Actions: Favourable | 0 |
| Effective cohesion | 1.25 |
| Coefficient of shearing resistance | 1.25 |
| Undrained strength | 1.4 |
| Weight density | 1 |
| Shear strength (other models) | 1.25 |
| Earth resistance | 1 |
| Tensile and plate strength | 1 |
| Shear strength | 1 |
| Compressive strength | 1 |
| Bond strength | 1 |
| Seismic Coefficient | 1 |

Analysis Options


Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

| | |
|--|-------------------|
| | Bishop simplified |
| Number of slices: | 50 |
| Tolerance: | 0.005 |
| Maximum number of iterations: | 75 |
| Check $\alpha < 0.2$: | Yes |
| Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: | Yes |
| Initial trial value of FS: | 1 |
| Steffensen Iteration: | Yes |

Groundwater Analysis

| | |
|--|----------------|
| Groundwater Method: | Water Surfaces |
| Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]: | 9.81 |
| Use negative pore pressure cutoff: | Yes |

|  <p>ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|--------|------|---------|----|-----------|---|----------|
| <p>Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km 36+406</p> <p>Relazione di calcolo opera provvisoria</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>RI0005018</td> <td>A</td> <td>59 di 67</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 59 di 67 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 59 di 67 | | | | | | | | |

Maximum negative pore pressure [kPa]: 0

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Auto Refine Search

Divisions along slope: 10

Circles per division: 10

Number of iterations: 10

Divisions to use in next iteration: 50%

Composite Surfaces: Disabled

Minimum Elevation: Not Defined

Minimum Depth [m]: 1

Minimum Area: Not Defined

Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No

Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 60 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 10
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Material Properties

| Property | U1a | U3a |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Color | | |
| Strength Type | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m ³] | 17 | 18 |
| Cohesion [kPa] | 10 | 0 |
| Friction Angle [deg] | 27 | 32 |
| Water Surface | None | None |
| Ru Value | 0 | 0 |

Support Properties

Support 1

- Support Type: Micro-Pile
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 0.25 m
- Pile Shear Strength: 315 kN
- Force Direction: Parallel to Surface

Global Minimums

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 61 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

Method: bishop simplified

| FS | 1.101880 |
|------------------------------|------------------------|
| Center: | 32.831, 123.423 |
| Radius: | 67.226 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 37.107, 56.334 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 86.494, 82.932 |
| Resisting Moment: | 150453 kN-m |
| Driving Moment: | 136542 kN-m |
| Total Slice Area: | 273.475 m ² |
| Surface Horizontal Width: | 49.3867 m |
| Surface Average Height: | 5.53742 m |

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2404
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10188

| Slice Number | Width [m] | Weight [kN] | Angle of Slice Base [degrees] | Base Material | Base Cohesion [kPa] | Base Friction Angle [degrees] | Shear Stress [kPa] | Shear Strength [kPa] | Base Normal Stress [kPa] | Pore Pressure [kPa] | Effective Normal Stress [kPa] | Base Vertical Stress [kPa] | Effective Vertical Stress [kPa] |
|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1 | 0.9877 34 | 4.941 42 | 4.0694 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 8.911 54 | 9.819 45 | 4.368 91 | 0 | 4.368 91 | 5.002 92 | 5.002 92 |
| 2 | 0.9877 34 | 14.70 13 | 4.9138 9 | U1a | 8 | 22.609 5 | 12.48 02 | 13.75 17 | 13.81 11 | 0 | 13.81 11 | 14.88 41 | 14.88 41 |
| 3 | 0.9877 34 | 24.21 47 | 5.7594 1 | U1a | 8 | 22.609 5 | 15.91 92 | 17.54 1 | 22.91 02 | 0 | 22.91 02 | 24.51 58 | 24.51 58 |
| 4 | 0.9877 34 | 33.48 07 | 6.6062 | U1a | 8 | 22.609 5 | 19.22 99 | 21.18 9 | 31.66 99 | 0 | 31.66 99 | 33.89 7 | 33.89 7 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 62 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-------------|-------------|-----|---|-------------|-------------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|-------------|
| 5 | 0.9877 34 | 42.49 8 | 7.4544 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 22.41 37 | 24.69 72 | 40.09 38 | 0 | 40.09 38 | 43.02 64 | 43.02 64 |
| 6 | 0.9877 34 | 51.26 54 | 8.3043 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 25.47 17 | 28.06 68 | 48.18 49 | 0 | 48.18 49 | 51.90 28 | 51.90 28 |
| 7 | 0.9877 34 | 59.78 12 | 9.1560 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 28.40 51 | 31.29 9 | 55.94 63 | 0 | 55.94 63 | 60.52 46 | 60.52 46 |
| 8 | 0.9877 34 | 68.04 37 | 10.009 8 | U1a | 8 | 22.609 5 | 31.21 48 | 34.39 5 | 63.38 04 | 0 | 63.38 04 | 68.88 99 | 68.88 99 |
| 9 | 0.9877 34 | 76.05 1 | 10.865 9 | U1a | 8 | 22.609 5 | 33.90 17 | 37.35 56 | 70.48 94 | 0 | 70.48 94 | 76.99 69 | 76.99 69 |
| 10 | 0.9877 34 | 83.80 09 | 11.724 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 36.46 64 | 40.18 16 | 77.27 53 | 0 | 77.27 53 | 84.84 33 | 84.84 33 |
| 11 | 0.9877 34 | 91.29 13 | 12.585 5 | U1a | 8 | 22.609 5 | 38.90 97 | 42.87 38 | 83.73 99 | 0 | 83.73 99 | 92.42 7 | 92.42 7 |
| 12 | 0.9877 34 | 98.51 95 | 13.449 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 41.23 2 | 45.43 27 | 89.88 46 | 0 | 89.88 46 | 99.74 51 | 99.74 51 |
| 13 | 0.9877 34 | 105.4 83 | 14.316 8 | U1a | 8 | 22.609 5 | 43.43 39 | 47.85 89 | 95.71 03 | 0 | 95.71 03 | 106.7 95 | 106.7 95 |
| 14 | 0.9877 34 | 111.7 49 | 15.187 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 45.36 69 | 49.98 89 | 100.8 25 | 0 | 100.8 25 | 113.1 4 | 113.1 4 |
| 15 | 0.9877 34 | 115.5 64 | 16.061 5 | U1a | 8 | 22.609 5 | 46.42 9 | 51.15 92 | 103.6 35 | 0 | 103.6 35 | 117.0 02 | 117.0 02 |
| 16 | 0.9877 34 | 118.7 99 | 16.939 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 47.27 67 | 52.09 32 | 105.8 78 | 0 | 105.8 78 | 120.2 77 | 120.2 77 |
| 17 | 0.9877 34 | 121.7 55 | 17.821 7 | U1a | 8 | 22.609 5 | 48.01 59 | 52.90 78 | 107.8 34 | 0 | 107.8 34 | 123.2 7 | 123.2 7 |
| 18 | 0.9877 34 | 124.4 28 | 18.708 2 | U1a | 8 | 22.609 5 | 48.64 69 | 53.60 31 | 109.5 04 | 0 | 109.5 04 | 125.9 78 | 125.9 78 |
| 19 | 0.9877 34 | 126.8 15 | 19.599 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 49.16 94 | 54.17 88 | 110.8 86 | 0 | 110.8 86 | 128.3 94 | 128.3 94 |
| 20 | 0.9877 34 | 128.9 1 | 20.495 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 49.58 33 | 54.63 49 | 111.9 81 | 0 | 111.9 81 | 130.5 15 | 130.5 15 |
| 21 | 0.9877 34 | 130.7 09 | 21.397 1 | U1a | 8 | 22.609 5 | 49.88 85 | 54.97 11 | 112.7 88 | 0 | 112.7 88 | 132.3 37 | 132.3 37 |
| 22 | 0.9877 34 | 132.2 06 | 22.304 1 | U1a | 8 | 22.609 5 | 50.08 44 | 55.18 7 | 113.3 06 | 0 | 113.3 06 | 133.8 52 | 133.8 52 |
| 23 | 0.9877 34 | 133.3 94 | 23.217 1 | U1a | 8 | 22.609 5 | 50.17 06 | 55.28 2 | 113.5 35 | 0 | 113.5 35 | 135.0 56 | 135.0 56 |
| 24 | 0.9877 34 | 134.2 69 | 24.136 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 50.14 67 | 55.25 57 | 113.4 72 | 0 | 113.4 72 | 135.9 42 | 135.9 42 |
| 25 | 0.9877 34 | 134.8 23 | 25.062 2 | U1a | 8 | 22.609 5 | 50.01 22 | 55.10 74 | 113.1 16 | 0 | 113.1 16 | 136.5 03 | 136.5 03 |
| 26 | 0.9877 34 | 135.0 49 | 25.995 2 | U1a | 8 | 22.609 5 | 49.76 61 | 54.83 63 | 112.4 64 | 0 | 112.4 64 | 136.7 32 | 136.7 32 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
 36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 63 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoriale

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-------------|-------------|-----|---|-------------|-------------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|-------------|
| 27 | 0.9877 34 | 134.9 4 | 26.935 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 49.40 78 | 54.44 15 | 111.5 16 | 0 | 111.5 16 | 136.6 21 | 136.6 21 |
| 28 | 0.9877 34 | 134.4 86 | 27.884 | U1a | 8 | 22.609 5 | 48.93 64 | 53.92 2 | 110.2 69 | 0 | 110.2 69 | 136.1 62 | 136.1 62 |
| 29 | 0.9877 34 | 133.6 8 | 28.840 7 | U1a | 8 | 22.609 5 | 48.35 08 | 53.27 68 | 108.7 2 | 0 | 108.7 2 | 135.3 46 | 135.3 46 |
| 30 | 0.9877 34 | 132.5 1 | 29.806 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 47.64 99 | 52.50 45 | 106.8 65 | 0 | 106.8 65 | 134.1 62 | 134.1 62 |
| 31 | 0.9877 34 | 130.9 68 | 30.781 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 46.83 27 | 51.60 4 | 104.7 03 | 0 | 104.7 03 | 132.6 01 | 132.6 01 |
| 32 | 0.9877 34 | 129.0 41 | 31.766 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 45.89 76 | 50.57 37 | 102.2 29 | 0 | 102.2 29 | 130.6 5 | 130.6 5 |
| 33 | 0.9877 34 | 126.7 17 | 32.762 | U1a | 8 | 22.609 5 | 44.84 34 | 49.41 2 | 99.43 99 | 0 | 99.43 99 | 128.2 97 | 128.2 97 |
| 34 | 0.9877 34 | 123.9 83 | 33.768 9 | U1a | 8 | 22.609 5 | 43.66 83 | 48.11 72 | 96.33 07 | 0 | 96.33 07 | 125.5 3 | 125.5 3 |
| 35 | 0.9877 34 | 120.8 25 | 34.787 8 | U1a | 8 | 22.609 5 | 42.37 07 | 46.68 74 | 92.89 77 | 0 | 92.89 77 | 122.3 33 | 122.3 33 |
| 36 | 0.9877 34 | 117.2 27 | 35.819 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 40.94 87 | 45.12 06 | 89.13 47 | 0 | 89.13 47 | 118.6 89 | 118.6 89 |
| 37 | 0.9877 34 | 113.1 71 | 36.864 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 39.40 05 | 43.41 46 | 85.03 85 | 0 | 85.03 85 | 114.5 83 | 114.5 83 |
| 38 | 0.9877 34 | 108.6 39 | 37.924 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 37.72 38 | 41.56 71 | 80.60 22 | 0 | 80.60 22 | 109.9 95 | 109.9 95 |
| 39 | 0.9877 34 | 103.6 11 | 38.999 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 35.91 63 | 39.57 54 | 75.81 98 | 0 | 75.81 98 | 104.9 04 | 104.9 04 |
| 40 | 0.9877 34 | 98.06 22 | 40.091 4 | U1a | 8 | 22.609 5 | 33.97 56 | 37.43 7 | 70.68 5 | 0 | 70.68 5 | 99.28 63 | 99.28 63 |
| 41 | 0.9877 34 | 91.96 9 | 41.201 | U1a | 8 | 22.609 5 | 31.89 9 | 35.14 89 | 65.19 08 | 0 | 65.19 08 | 93.11 73 | 93.11 73 |
| 42 | 0.9877 34 | 85.30 31 | 42.329 9 | U1a | 8 | 22.609 5 | 29.68 39 | 32.70 81 | 59.32 99 | 0 | 59.32 99 | 86.36 84 | 86.36 84 |
| 43 | 0.9877 34 | 78.03 34 | 43.479 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 27.32 73 | 30.11 14 | 53.09 44 | 0 | 53.09 44 | 79.00 83 | 79.00 83 |
| 44 | 0.9877 34 | 70.12 51 | 44.651 1 | U1a | 8 | 22.609 5 | 24.82 58 | 27.35 51 | 46.47 6 | 0 | 46.47 6 | 71.00 13 | 71.00 13 |
| 45 | 0.9877 34 | 61.53 89 | 45.847 | U1a | 8 | 22.609 5 | 22.17 65 | 24.43 58 | 39.46 61 | 0 | 39.46 61 | 62.30 82 | 62.30 82 |
| 46 | 0.9877 34 | 52.23 07 | 47.069 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 19.37 57 | 21.34 97 | 32.05 56 | 0 | 32.05 56 | 52.88 39 | 52.88 39 |
| 47 | 0.9877 34 | 42.14 98 | 48.320 3 | U1a | 8 | 22.609 5 | 16.41 98 | 18.09 27 | 24.23 49 | 0 | 24.23 49 | 42.67 73 | 42.67 73 |
| 48 | 0.9877 34 | 31.23 85 | 49.602 8 | U1a | 8 | 22.609 5 | 13.30 54 | 14.66 1 | 15.99 46 | 0 | 15.99 46 | 31.63 | 31.63 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| | | | | | |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 64 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoriale

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-------------|-------------|-----|---|-------------|-------------|-------------|------------------|---|------------------|-------------|-------------|
| 49 | 0.9877 34 | 19.43 | 50.92 | U1a | 8 | 22.609 5 | 10.02 87 | 11.05 05 | 7.324 89 | 0 | 7.324 89 | 19.67 4 | 19.67 4 |
| 50 | 0.9877 34 | 6.646 21 | 52.275 6 | U1a | 8 | 22.609 5 | 6.586 25 | 7.257 26 | - 1.783 49 | 0 | - 1.783 49 | 6.730 63 | 6.730 63 |

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10188

| Slice Number | X coordinate [m] | Y coordinate - Bottom [m] | Interslice Normal Force [kN] | Interslice Shear Force [kN] | Interslice Force Angle [degrees] |
|--------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 37.1073 | 56.3335 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 38.095 | 56.4038 | 8.49327 | 0 | 0 |
| 3 | 39.0828 | 56.4887 | 19.6448 | 0 | 0 |
| 4 | 40.0705 | 56.5884 | 33.0829 | 0 | 0 |
| 5 | 41.0582 | 56.7027 | 48.4499 | 0 | 0 |
| 6 | 42.046 | 56.832 | 65.4021 | 0 | 0 |
| 7 | 43.0337 | 56.9762 | 83.6089 | 0 | 0 |
| 8 | 44.0214 | 57.1354 | 102.753 | 0 | 0 |
| 9 | 45.0092 | 57.3097 | 122.528 | 0 | 0 |
| 10 | 45.9969 | 57.4993 | 142.642 | 0 | 0 |
| 11 | 46.9846 | 57.7043 | 162.813 | 0 | 0 |
| 12 | 47.9724 | 57.9248 | 182.77 | 0 | 0 |
| 13 | 48.9601 | 58.161 | 202.255 | 0 | 0 |
| 14 | 49.9478 | 58.4131 | 221.02 | 0 | 0 |
| 15 | 50.9356 | 58.6812 | 238.787 | 0 | 0 |
| 16 | 51.9233 | 58.9656 | 255.165 | 0 | 0 |
| 17 | 52.911 | 59.2664 | 269.999 | 0 | 0 |
| 18 | 53.8988 | 59.584 | 283.174 | 0 | 0 |
| 19 | 54.8865 | 59.9185 | 294.586 | 0 | 0 |
| 20 | 55.8742 | 60.2702 | 304.142 | 0 | 0 |
| 21 | 56.862 | 60.6394 | 311.762 | 0 | 0 |
| 22 | 57.8497 | 61.0264 | 317.375 | 0 | 0 |
| 23 | 58.8374 | 61.4316 | 320.924 | 0 | 0 |
| 24 | 59.8252 | 61.8553 | 322.365 | 0 | 0 |
| 25 | 60.8129 | 62.2979 | 321.664 | 0 | 0 |
| 26 | 61.8006 | 62.7598 | 318.805 | 0 | 0 |
| 27 | 62.7884 | 63.2414 | 313.781 | 0 | 0 |

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 65 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

| | | | | | |
|----|---------|---------|----------|---|---|
| 28 | 63.7761 | 63.7433 | 306.604 | 0 | 0 |
| 29 | 64.7638 | 64.2659 | 297.3 | 0 | 0 |
| 30 | 65.7516 | 64.8098 | 285.912 | 0 | 0 |
| 31 | 66.7393 | 65.3757 | 272.5 | 0 | 0 |
| 32 | 67.727 | 65.964 | 257.143 | 0 | 0 |
| 33 | 68.7148 | 66.5757 | 239.943 | 0 | 0 |
| 34 | 69.7025 | 67.2113 | 221.02 | 0 | 0 |
| 35 | 70.6902 | 67.8717 | 200.521 | 0 | 0 |
| 36 | 71.678 | 68.5579 | 178.619 | 0 | 0 |
| 37 | 72.6657 | 69.2708 | 155.513 | 0 | 0 |
| 38 | 73.6534 | 70.0115 | 131.437 | 0 | 0 |
| 39 | 74.6412 | 70.7811 | 106.658 | 0 | 0 |
| 40 | 75.6289 | 71.5809 | 81.4825 | 0 | 0 |
| 41 | 76.6166 | 72.4124 | 56.2597 | 0 | 0 |
| 42 | 77.6044 | 73.2771 | 31.3882 | 0 | 0 |
| 43 | 78.5921 | 74.1768 | 7.3219 | 0 | 0 |
| 44 | 79.5798 | 75.1135 | -15.4227 | 0 | 0 |
| 45 | 80.5676 | 76.0893 | -36.257 | 0 | 0 |
| 46 | 81.5553 | 77.1066 | -54.5094 | 0 | 0 |
| 47 | 82.543 | 78.1684 | -69.4118 | 0 | 0 |
| 48 | 83.5308 | 79.2778 | -80.0831 | 0 | 0 |
| 49 | 84.5185 | 80.4385 | -85.5087 | 0 | 0 |
| 50 | 85.5062 | 81.6548 | -84.5142 | 0 | 0 |
| 51 | 86.494 | 82.9316 | 0 | 0 | 0 |

List Of Coordinates

Water Table

| X | Y |
|---------|---------|
| -16.847 | 31.0997 |
| 86.547 | 31.0997 |

Distributed Load

| X | Y |
|---|---|
|---|---|



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE
FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E
POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI
VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| | | | | | |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 66 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoriale

| | |
|--------|---------|
| 37.1 | 56.3287 |
| 35.571 | 56.3287 |

External Boundary

| X | Y |
|----------|---------|
| 35.571 | 56.3287 |
| 35.571 | 56.1948 |
| 35.571 | 54.1 |
| 29.571 | 54.1 |
| 26.571 | 51.1 |
| -16.8 | 51.1 |
| -16.8075 | 47.0992 |
| -16.847 | 25.98 |
| -16.847 | 22.7435 |
| -16.847 | 0 |
| 86.547 | 0 |
| 86.547 | 22.7435 |
| 86.547 | 25.98 |
| 86.547 | 45.97 |
| 86.5457 | 47.0992 |
| 86.5373 | 54.1 |
| 86.503 | 82.8011 |
| 86.5028 | 82.936 |
| 50.4 | 65.2 |
| 37.1 | 56.3287 |

Material Boundary

| X | Y |
|----------|---------|
| -16.8075 | 47.0992 |
| 86.5457 | 47.0992 |

Material Boundary

| X | Y |
|--------|------|
| 35.571 | 54.1 |



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE
FERROVIARIA REGIONALE - AMMODERNAMENTO E
POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI
VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Paratia di pali lato BD dal km 35+870 al km
36+406

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|-----------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005018 | A | 67 di 67 |

Relazione di calcolo opera provvisoria

86.5373 54.1