

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:

HIRPINIA - ORSARA AV

SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO

### ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA

PZ01 – GALLERIA HIRPINIA: TRATTO IN SCAVO DALL'ALTO  
PARATIA PROVVISORIALE

Relazione geotecnica e di calcolo paratie

| APPALTATORE  | DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE  | PROGETTISTA         |
|--|--|---------------------|
| Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV<br>Il Direttore Tecnico<br>Ing. P. M. Gianvecchio<br>16/01/2023 | Il Responsabile integrazione fra le varie<br>prestazioni specialistiche<br>Ing. G. Cassani | <br>Ing. M. Tanzini |

| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. | SCALA: |
|----------|-------|------|------|-----------|------------------|--------|------|--------|
| IF3A     | 02    | E    | ZZ   | RB        | PZ0100           | 001    | D    | -      |

| Rev. | Descrizione                         | Redatto   | Data       | Verificato | Data       | Approvato  | Data       | Autorizzato Data                            |
|------|-------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|---|
| A    | Emissione a 180 giorni              | R. Rege   | 08/02/2022 | A. Lucia   | 08/02/2022 | M. Tanzini | 08/02/2022 | Ing. Andrea Polli<br><br><br><br>16/01/2023 |
| B    | C.08.01 A valle del contraddittorio | E. Molina | 22/07/2022 | A. Lucia   | 22/07/2022 | M. Tanzini | 22/07/2022 |   |
| C    | C.08.02 A valle del contraddittorio | E. Molina | 30/09/2022 | A. Lucia   | 30/09/2022 | M. Tanzini | 30/09/2022 |   |
| D    | C.08.04 A valle del contraddittorio | E. Molina | 16/01/2023 | M. Trezzi  | 16/01/2023 | M. Tanzini | 16/01/2023 |   |

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| File: IF3A02EZZRBPZ0100001D | n. Elab.: - |
|-----------------------------|-------------|



|   |   |                      |  |                         |             |                     |
|---|---|----------------------|--|-------------------------|-------------|---------------------|
| APPALTATORE:<br><u>Conorzio</u><br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>                   |                      |  |                         |             |                     |
| PROGETTAZIONE:<br><u>Mandatario</u><br>ROCKSOIL S.P.A                             | <u>Soci</u><br>WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI          |                      | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                         |             |                     |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie                   | <u>Mandanti</u><br>NET ENGINEERING<br>ELETTRI-FER | PINI<br>M-INGEGNERIA | GCF  | COMMESSA<br>IF3A        | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB |
|   |   |                      |  | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D   | FOGLIO<br>3 di 85   |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 9.1 | CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE .....  | 82 |
| 9.2 | MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DELLA PARATIA..... | 82 |
| 9.3 | MONITORAGGIO DEI TIRANTI.....               | 83 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 10 | VALIDAZIONE SOFTWARE DI CALCOLO E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ<br>DEI RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE..... | 85 |
|----|--|----|

|  |  |             |                     |                         |           |                   |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                   |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                   |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>4 di 85 |

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione è parte integrante del Progetto Esecutivo per il raddoppio del 2° lotto funzionale Hirpinia - Orsara della tratta Apice – Orsara, compreso tra la Stazione di Orsara e la nuova fermata di Hirpinia per una estensione complessiva di circa 28 Km di linea.

In particolare, il presente documento è relativo alla paratia provvisoria di micropali da realizzarsi in corrispondenza dell'area di cantiere del pozzo PZ01 in prossimità dell'imbocco lato Napoli.

Di seguito vengono descritti e dimensionati gli interventi previsti ed indicate le attività di monitoraggio da svolgere.

### 1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari si inserisce il Raddoppio della Tratta Hirpinia-Orsara che rappresenta il secondo lotto della tratta in variante Apice-Orsara, il cui primo lotto (Apice-Hirpinia) si trova attualmente in fase di esecuzione da parte del Consorzio Hirpinia AV.

La riqualificazione e lo sviluppo dell'itinerario Roma/Napoli – Bari prevede interventi di raddoppio delle tratte ferroviarie a singolo binario e varianti agli attuali scenari perseguendo la scelta delle migliori soluzioni che garantiscano la velocizzazione dei collegamenti e l'aumento dell'offerta generalizzata del servizio ferroviario, elevando l'accessibilità al servizio medesimo nelle aree attraversate.

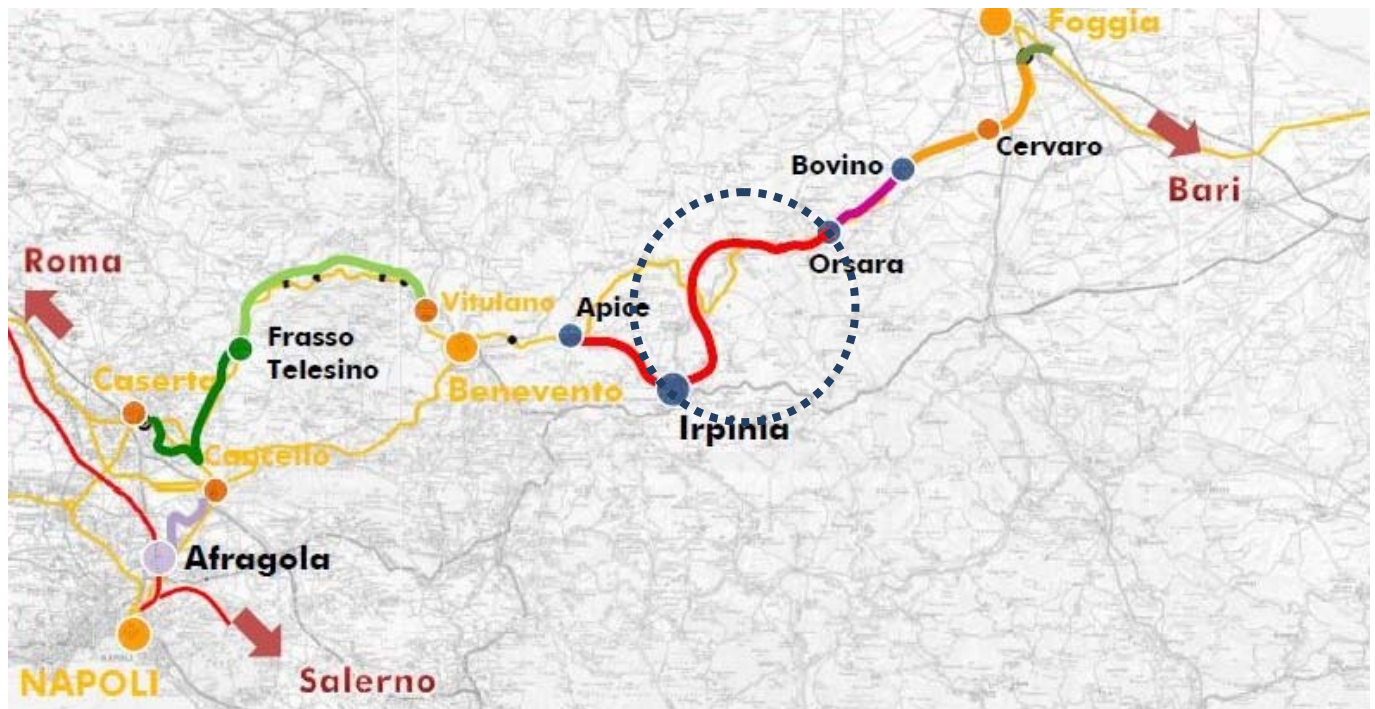


Figura 1-1. Corografia dell'intera tratta Napoli Bari, con dettaglio della tratta Hirpinia-Orsara

La variante oggetto del presente documento interessa il tratto centrale della direttrice Napoli – Bari e risulta strategica nel riassetto complessivo dei collegamenti metropolitani, regionali e lunga percorrenza previsto con la realizzazione di tutto il potenziamento. Si colloca in territorio campano e pugliese ed i comuni attraversati sono rispettivamente per la provincia di Avellino: Ariano Irpino, Flumeri, Savignano Irpino e Montaguto; per la provincia di Foggia: Panni e Orsara di Puglia.

|  |  |             |                     |                         |           |                   |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                   |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                   |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>5 di 85 |

Il tracciato della Bovino – Orsara - Hirpinia è stato progressivato rispetto all'orientamento della Linea Storica partendo da Bovino con la pk 29+050 (fine tratta Cervaro-Bovino) fino ad Orsara con pk 40+889 (imbocco galleria Orsara) dove inizia la tratta oggetto del presente progetto esecutivo che si estende fino ad Hirpinia con pk 68+955.

La linea AV/AC si sviluppa prevalentemente in galleria con una velocità compresa tra 200 e 250 Km/h ed ha una lunghezza complessiva L=28,06 km.

Il nuovo tracciato ferroviario ha inizio alla pk 40+894.50 (BP) in corrispondenza dell'inizio del collegamento di 1<sup>a</sup> fase della tratta Bovino – Orsara, per il quale in questo progetto è prevista la dismissione.

Il tracciato prosegue come prolungamento della nuova linea a doppio binario inizialmente con l'interasse a 4m per poi divergere fino all'imbocco dalla galleria naturale Hirpinia (lato Bari) per la quale è previsto l'imbocco a canne separate.

Il corpo ferroviario compreso tra l'inizio del progetto e la pk 41+052.75 è già realizzato nell'ambito degli interventi della tratta Bovino – Orsara, come lo sono anche i piazzali tecnologici Nord e Sud, la SSE e il sottopasso di collegamento tra la viabilità di accesso alla stazione e i piazzali suddetti.

Dal km 41+052.75 dopo un breve tratto in rilevato inizia lo scatolare che si collega direttamente al viadotto VI01 sul torrente Cervaro di L=313.65m.

In questo contesto si colloca anche la nuova Stazione di Orsara (pk 40+074.95).

La galleria "Hirpinia" inizia alla pk 41+440.62 a pochi metri dalla spalla del viadotto VI01 e finisce alla pk 68+556.275 La galleria lato Bari imbocca direttamente con le canne separate e prosegue a doppia canna fino ad Hirpinia dove attraverso un camerone di collegamento in prossimità dell'uscita lato Napoli diventa a singola canna doppio binario per consentire ai binari di avvicinarsi all'interasse di 4m e collegarsi con i binari di corsa della stazione di Hirpinia, già realizzata nella tratta Apice - Hirpinia.

Lo sviluppo complessivo della galleria è di 27 Km circa.

L'interasse delle due canne è prevalentemente di 40 m ad eccezione di un tratto compreso tra le pk 48+000 e pk 57+800 circa all'interno del quale l'interasse è stato allargato a 50 m; per l'intera galleria le canne sono collegate tra di loro da by-pass trasversali a passo 500 m per consentire l'esodo dei passeggeri.

Tra le pk 57+195 e 57+605 è stato inserito un luogo sicuro intermedio dotato di marciapiedi FFP di lunghezza L=410 m. L'esodo all'aperto dei passeggeri avviene attraverso la finestra F1 direttamente collegata con la viabilità locale attraverso un piazzale di sicurezza.

L'uscita della finestra F1 si trova in località Contrada Stratola, in corrispondenza dell'uscita della galleria sono stati ubicati anche i piazzali tecnologici e la nuova SSE di Ariano Irpino.

La linea AV/AC è progettata nel tratto allo scoperto (stazione di Orsara) con una velocità di tracciato di 200 Km/h, con una velocità di 250 Km/h per tutto il restante tracciato in galleria per poi riscendere a 200 Km/h in corrispondenza del camerone di Hirpinia proprio per l'approssimarsi alla stazione di Hirpinia.

Lungo la galleria sono previste 2 finestre costruttive necessarie per la realizzazione con il metodo tradizionale dei tratti di galleria.

Uscito dalla galleria il tracciato termina alla pk 68+971.53 (BP), coincidente con la pk 0+700 della tratta Apice – Hirpinia, in prossimità dei tronchini per l'attestamento dei treni da e per Napoli previsti nella stazione di Hirpinia di 1<sup>a</sup> fase.

## 1.2 DESCRIZIONE DELLA GALLERIA HIRPINIA

Il tracciato della tratta Hirpinia-Orsara, di lunghezza complessiva pari a circa 28 km, si sviluppa prevalentemente in sotterraneo con la galleria "Hirpinia" di lunghezza pari a circa 27 Km. Ubicata fra le progressive di tracciato (B.P.) km 41+435,91 (imbocco lato Bari) e km 68+537,41 (imbocco lato Napoli), la Galleria Hirpinia ha una lunghezza della tratta in naturale di 27.062 m e una lunghezza delle tratte in artificiale pari a 39,5 m.

Partendo dall'imbocco lato Bari posto ad una quota di 362,39 m s.l.m., il tracciato procede con pendenza crescente con un valore pari al 5‰ fino alla pk 44+692 e successivamente con pendenza del 12‰ fino al punto di culmine alla pk 53+617. In questo tratto sono presenti le massime coperture della galleria pari a 370 m in corrispondenza

|  |  |             |                     |                         |           |                   |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                   |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                   |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>6 di 85 |

delle pk 43+115 e 48+680 circa. Dal punto di culmine il tracciato prosegue in discesa con una pendenza del 12‰ fino alla pk 65+959.9, ad esclusione del tratto compreso tra le pk 56+732.5 e 57+785.5 dove la pendenza si riduce al 10‰. Dalla pk 65+959.9, posta in corrispondenza del sottoattraversamento del torrente Fiumarella dove la copertura della galleria raggiunge il valore minimo pari a 10 m, la pendenza del tracciato diminuisce gradualmente fino all'imbocco lato Napoli posto ad una quota di 336,9 m s.l.m.

La configurazione della galleria è a doppia canna singolo binario per la quasi totalità del suo sviluppo; per esigenze di tracciato, la configurazione è a singola canna doppio binario per il tratto di 143 m che precede l'uscita lato Napoli. Il passaggio dalla configurazione a doppia canna a quella a singola canna è realizzato tramite un camerone di diramazione di lunghezza pari a 226 m. Nel tratto a doppia canna l'interasse tra le gallerie è di 40 m ad eccezione di un tratto compreso tra le pk 48+000 e pk 57+800 circa, all'interno del quale l'interasse è stato aumentato a 50 m per esigenze funzionali (Punto Antincendio) e per le caratteristiche del contesto geotecnico attraversato.

La galleria è progettata per consentire il transito del Gabarit C (P.M.O. n°5) con velocità di tracciato pari a 250 km/h. Le sezioni geometriche funzionali previste sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI; nel tratto a doppia canna singolo binario sono state adottate le sezioni tipo per velocità di progetto  $200 < v \leq 250$  km/h. Nel tratto a singola canna doppio binario, essendo la velocità di tracciato pari a 200 km/h, è stata adottata la sezione con velocità di progetto  $160 < v \leq 200$  km/h.

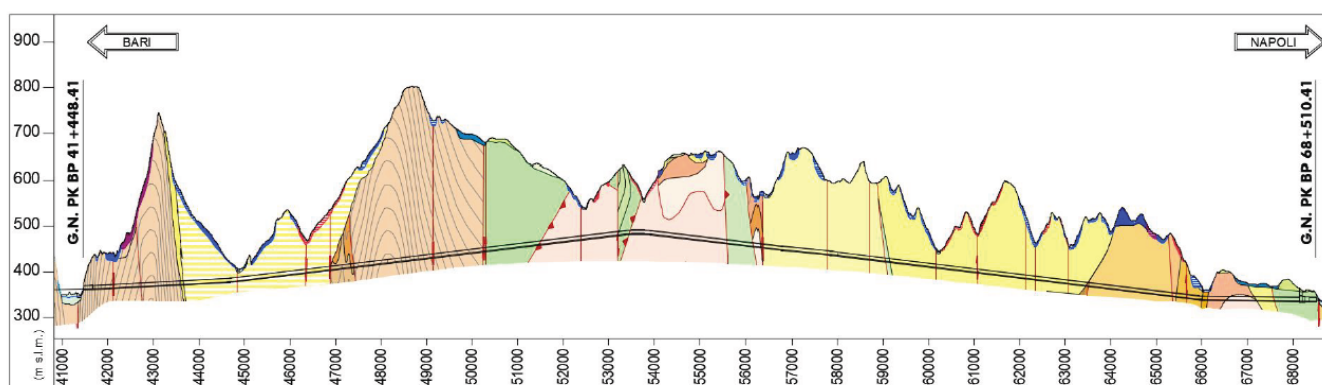


Figura 1-2. Profilo galleria Hirpinia.

In particolare, nel tratto a doppia canna singolo binario la sezione adottata per lo scavo in meccanizzato ha raggio pari a 4,20 metri ed area libera di poco superiore ai 55 m<sup>2</sup>, mentre per lo scavo tradizionale è prevista una sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 3,50 metri ed area libera di poco superiore a 52 m<sup>2</sup>. Nel tratto a singola canna doppio binario è prevista una sezione policentrica con raggio di calotta e piedritti pari a 5,40 metri ed area libera di poco superiore a 82 m<sup>2</sup>. È previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV. Le sezioni di intradosso delle gallerie hanno un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico, l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 cm, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, è pari a 113 cm. Tale camminamento ha una larghezza non inferiore a 120 cm ed è corredato da mancorrente posto sul paramento interno della galleria ad una quota di circa 1m dal piano di calpestio del marciapiede. Nella tratta compresa tra le pk 57+195 e 57+605 (BP), dove è prevista la realizzazione del Punto Antincendio in sotterraneo, la larghezza del marciapiede è pari a 2 m.

In corrispondenza dei due imbocchi verranno realizzati due tratti di galleria naturale in tradizionale tra circa le progressive 41+453.12 e 41+607.77 e tra le progressive 68+250.091 e 68+529.38 in corrispondenza rispettivamente dell'imbocco lato Bari e lato Napoli.

|   |  |                           |                                   |                                       |                         |                                 |
|---|--|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                           |                                   |                                       |                         |                                 |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br><u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                           |                                   |                                       |                         |                                 |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | <b>COMMESSA</b><br><b>IF3A</b>   | <b>LOTTO</b><br><b>02</b> | <b>CODIFICA</b><br><b>E ZZ RB</b> | <b>DOCUMENTO</b><br><b>PZ0100 001</b> | <b>REV.</b><br><b>D</b> | <b>FOGLIO</b><br><b>7 di 85</b> |

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 LEGGI E NORMATIVE COGENTI

- [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 17/01/2018”.
- [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

### 2.2 NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI

- [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- [9] NIR n°28: NOTA INTERREGIONALE DEL 13/01/2005 “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3ª edizione”;
- [10] NIR n°44: NOTA INTERREGIONALE DEL 28/05/2012 “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù TBM”;
- [11] Linea Guida “Grisù – TBM”. Scavo meccanizzato di grande sezione con TBM – EPB in terreni grisutosi, maggio 2015;
- [12] Linea Guida “Grisù”. Scavi in sotterraneo con metodo a piena sezione e tecnica tradizionale in terreni grisutosi, luglio 2014.

### 2.3 PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE

- [13] Rif. [13] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 D “Manuale di Progettazione delle opere civili” (20/4/2019);
- [14] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 C “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (21/12/2018);
- [15] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (dicembre 2015).

|  |  |                           |                                   |                                       |                         |                                 |
|--|--|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consortio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                           |                                   |                                       |                         |                                 |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF<br/>                                        ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                           |                                   |                                       |                         |                                 |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | <b>COMMESSA</b><br><b>IF3A</b>   | <b>LOTTO</b><br><b>02</b> | <b>CODIFICA</b><br><b>E ZZ RB</b> | <b>DOCUMENTO</b><br><b>PZ0100 001</b> | <b>REV.</b><br><b>D</b> | <b>FOGLIO</b><br><b>8 di 85</b> |

## 2.4 ELABORATI DI RIFERIMENTO

|   |                      |
|---|----------------------|
| - Tabella materiali                       | IF3A02EZZSPPZ0100002 |
| - Planimetria ed elementi di tracciamento | IF3A02EZZP9PZ0100001 |
| - Sviluppata paratia e sezioni Tav. 1/3   | IF3A02EZZPZPZ0100001 |
| - Sviluppata paratia e sezioni Tav. 2/3   | IF3A02EZZPZPZ0100002 |
| - Sviluppata paratia e sezioni Tav. 3/3   | IF3A02EZZPZPZ0100003 |
| - Monitoraggio planimetria e sezioni      | IF3A02EZZWZPZ0100002 |



|  |  |             |                     |                         |                          |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                          |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                          |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 9 di 85 |

### 3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Di seguito sono brevemente descritte le opere in oggetto alla presente relazione.

Nella zona di imbocco lato Napoli è prevista la realizzazione di un pozzo scavato a cielo aperto della lunghezza di circa 74 m dal quale verranno calate le frese per lo scavo dei tratti di galleria previsti in meccanizzato.

La seguente figura illustra uno stralcio planimetrico delle opere da eseguirsi tra l'imbocco lato Napoli ed il pozzo di lancio delle frese.

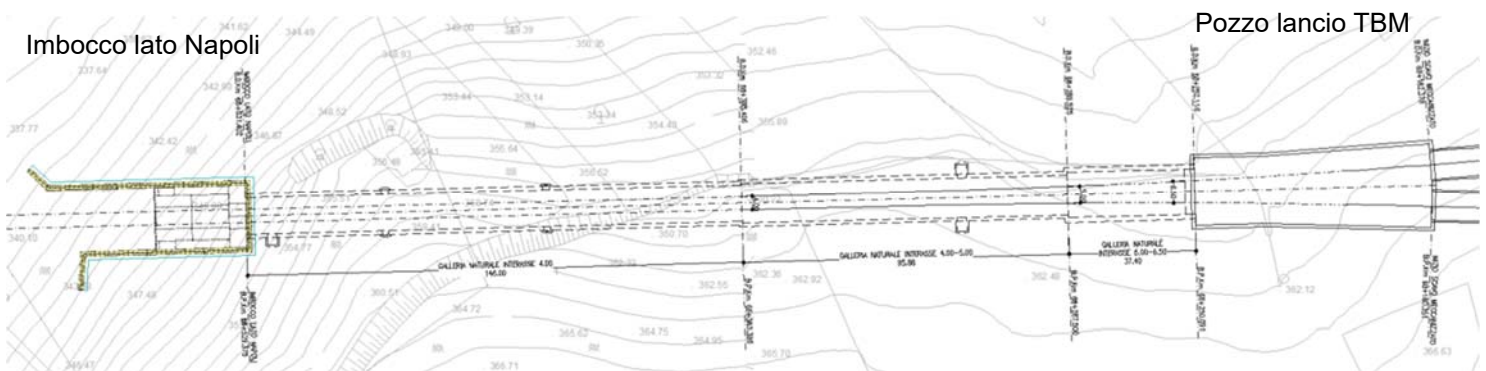


Figura 3-1. Planimetria imbocco GN Tradizionale imbocco lato Napoli

Per la realizzazione del pozzo di lancio risulta necessario raggiungere una quota dei due piani di lavoro di 359.24 e 356.74 m dai quali verranno realizzati i diaframmi del pozzo.

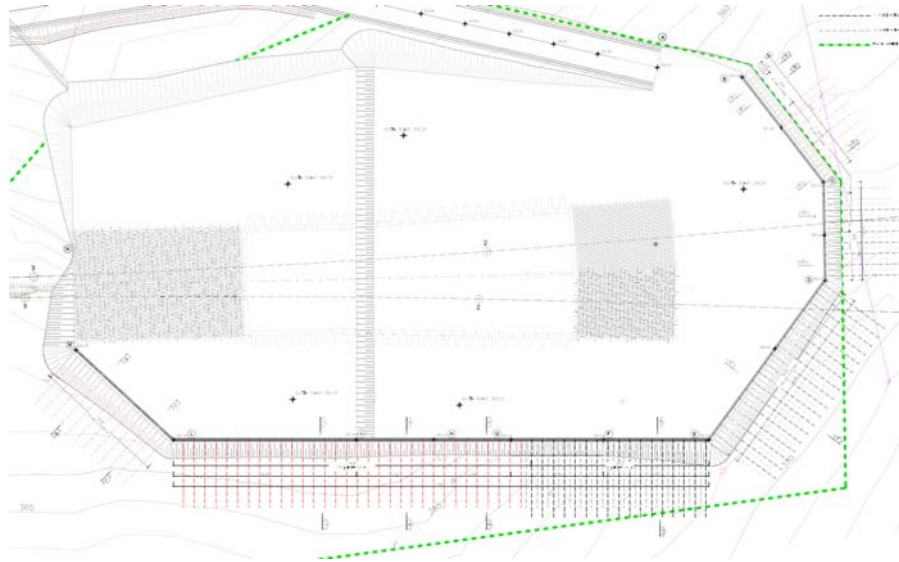
A tale riguardo, visto l'andamento topografico del terreno superficiale, risulta necessaria l'esecuzione di un'opera di sostegno provvisoria in corrispondenza della porzione est e sud dell'area di cantiere.

Verrà quindi realizzata una paratia di micropali lungo tutta la porzione est e sud dell'area di cantiere come illustrato nella seguente figura.

La paratia sarà realizzata con micropali in acciaio S355 del diametro di 168.3 mm e spessore 12.5 mm con un interasse di 0.4 m. Lo sviluppo complessivo dell'opera sarà di circa 245 m, e avrà un'altezza massima di scavo di 6.3 m. La lunghezza massima dei tubi è di 12 m, e la paratia nel suo tratto di maggiore altezza avrà un'infissione di circa 5.7 metri.

La paratia sarà inoltre contrastata con un massimo di 2 ordini di tiranti a 4 trefoli in corrispondenza delle maggiori altezze di scavo. I tiranti avranno una spaziatura orizzontale di 2.4 m, la trave di ripartizione sarà costituita da due profili HEB 180 in acciaio S275. I tiranti hanno una lunghezza di ancoraggio del bulbo di 9 m, eseguito con iniezioni multiple ripetute, e una lunghezza libera di 9 m per il primo ordine e 7 m per il secondo ordine. Il pretiro previsto dovrà essere di 480 kN per ogni tirante.

|   |  |          |            |      |          |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
|---|--|----------|------------|------|----------|--|----------|-------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|------------|---|----------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA    PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b><br><br><b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>  |          |            |      |          |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A            NET ENGINEERING            PINI            GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RB</td> <td>PZ0100 001</td> <td>D</td> <td>10 di 85</td> </tr> </table> |          |            |      |          |  | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF3A | 02 | E ZZ RB | PZ0100 001 | D | 10 di 85 |
| COMMESSA  | LOTTO  | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| IF3A  | 02   | E ZZ RB  | PZ0100 001 | D    | 10 di 85 |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  |  |          |            |      |          |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |



**Figura 3-2. Stralcio planimetrico dell'area di cantiere con indicazione dello sviluppo della paratia provvisoria**

La realizzazione degli scavi, della paratia, e della successiva galleria artificiale avverranno secondo le seguenti fasi operative:

1. preparazione del piano di lavoro fino alla quota di realizzazione dei micropali;
2. realizzazione dei micropali;
3. realizzazione della trave in c.a. di collegamento in testa ai micropali;
4. scavo di sbancamento fino alla profondità di ca. -0.50 m rispetto alla quota di installazione del primo ordine di tiranti;
5. installazione della trave di ripartizione e del primo ordine di tiranti;
6. scavo di sbancamento fino alla profondità di ca. -0.50 m rispetto alla quota di installazione del secondo ordine di tiranti;
7. installazione della trave di ripartizione e del secondo ordine di tiranti;
8. scavo di sbancamento fino alla quota di fondo scavo finale;

La seguente figura riporta la sviluppata della paratia con l'indicazione dei piani di scavo e dei livelli di contrasto.

|  |   |          |            |      |          |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
|--|---|----------|------------|------|----------|----------|-------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|------------|---|----------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b><br><br><b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>   |          |            |      |          |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF3A</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RB</td> <td style="text-align: center;">PZ0100 001</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">11 di 85</td> </tr> </table> |          |            |      |          | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF3A | 02 | E ZZ RB | PZ0100 001 | D | 11 di 85 |
| COMMESSA   | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| IF3A   | 02  | E ZZ RB  | PZ0100 001 | D    | 11 di 85 |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  |   |          |            |      |          |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |

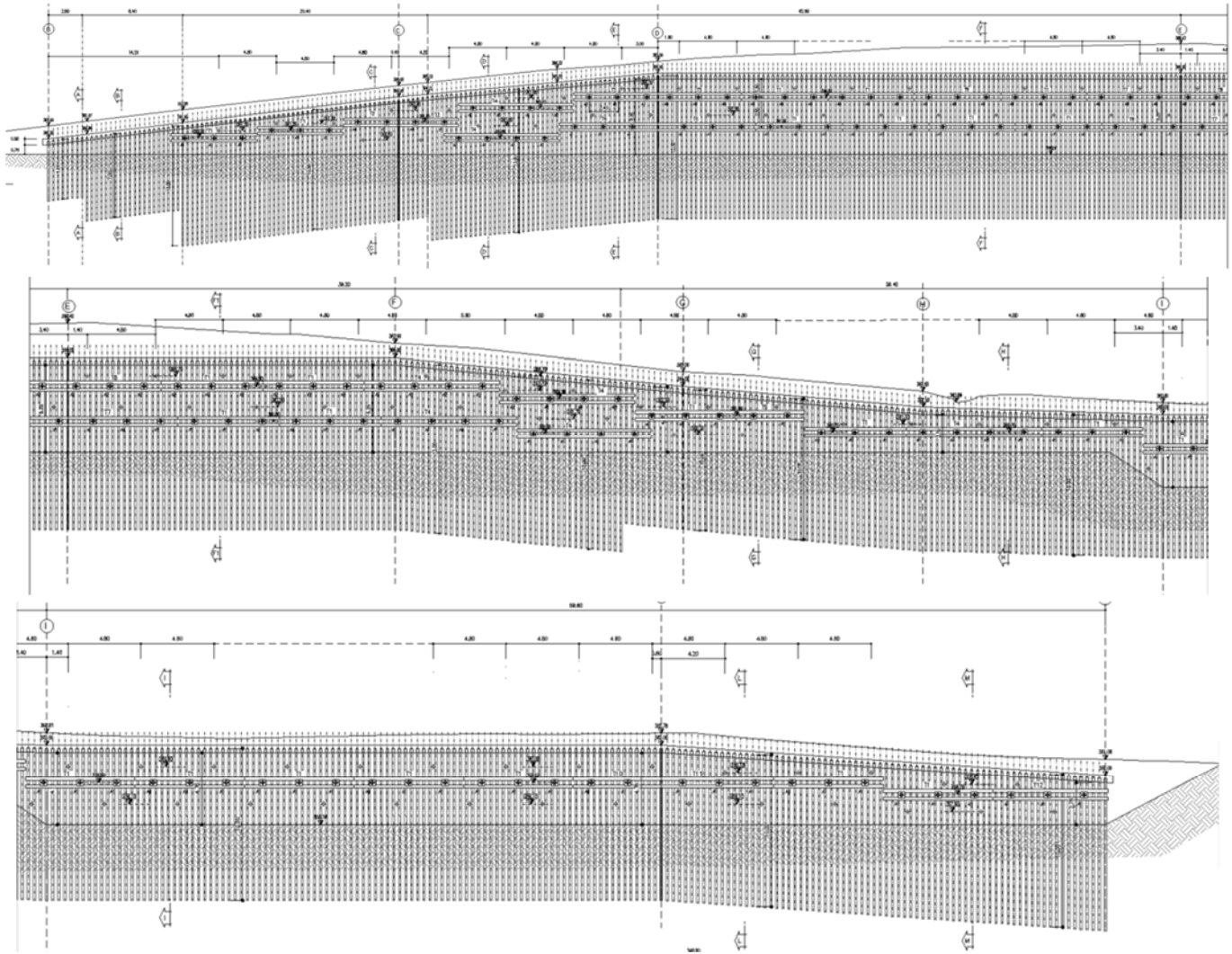


Figura 3-3. Sviluppata della paratia provvisoria

|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>12 di 85 |

## 4 FASE CONOSCITIVA

### 4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per una dettagliata descrizione delle caratteristiche geologiche si rimanda al documento “Relazione geologica generale - IF3A02EZZRGGE0101001”.

### 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dalle opere in esame.

Il modello geotecnico complessivo dell'area in oggetto è rappresentato negli elaborati “Tratta Tradizionale - Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo - IF3A02EZZRGGN0000002”, “Profilo geotecnico/geomeccanico - Binario Dispari - Galleria Hirpinia Tav. 18 – IF3A02EZZF6GN0100036” e “Profilo geotecnico/geomeccanico - Binario Pari - Galleria Hirpinia Tav. 18 – IF3A02EZZF6GN0100018”.

Nella definizione del modello geotecnico di sottosuolo per le opere provvisorie in corrispondenza dell'area di cantiere del pozzo di lancio della TBM è stata individuata l'Unità geotecnica APC, distinta per i differenti valori di coesione efficace e modulo di deformabilità, crescenti con la profondità.

L'analisi dei risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui campioni indisturbati dei sondaggi IO S12 (pk. 68+150) e IF16G18 (pk. 68+396) (realizzati in prossimità dell'imbocco) hanno evidenziato un incremento del parametro di coesione efficace con la profondità. Per quanto riguarda le caratteristiche di deformabilità, determinate sulla base delle prove dilatometriche eseguite nei due fori di sondaggio e dell'indagine geofisica down-hole eseguite nel foro di sondaggio IF16G18, le prove hanno evidenziato, anche in questo caso, un aumento del modulo di deformabilità “E” del terreno con la profondità.

Inoltre, la prova down-hole ha permesso di stimare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità:  $V_{s,30} = 374$  m/s, individuando quindi la categoria B per il sottosuolo.

#### 4.2.1 Definizione dei parametri geotecnici

I parametri geotecnici caratteristici dei materiali utilizzati nelle analisi sono riportati nella seguente tabella.

**Tabella 4-1. Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi**

| Litologia                 | Profondità [m] | $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $c_k$ [kPa] | $\phi_k$ [°] | E [MPa] |
|---------------------------|----------------|-------------------------------|-------------|--------------|---------|
| Argille / Argille marnose | 5              | 20                            | 15          | 23           | 30      |
| Argille / Argille marnose | 10             | 20                            | 15          | 23           | 50      |
| Argille / Argille marnose | 20             | 20                            | 20          | 23           | 80      |
| Argille / Argille marnose | 30             | 20                            | 20          | 23           | 100     |
| Argille / Argille marnose | >30            | 20                            | 20          | 23           | 180     |

Dove:

- $\gamma$  = peso di volume naturale;
- $\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio;
- $c_k$  = coesione drenata;
- E = modulo di deformazione.

|   |   |          |            |      |          |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
|---|---|----------|------------|------|----------|--|----------|-------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|------------|---|----------|
| <b>APPALTATORE:</b><br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA    PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b><br><br><b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>   |          |            |      |          |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br><u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                                      M-INGEGNERIA</b> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF3A</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RB</td> <td style="text-align: center;">PZ0100 001</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">13 di 85</td> </tr> </table> |          |            |      |          |  | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF3A | 02 | E ZZ RB | PZ0100 001 | D | 13 di 85 |
| COMMESSA  | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO   |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| IF3A  | 02  | E ZZ RB  | PZ0100 001 | D    | 13 di 85 |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   |   |          |            |      |          |  |          |       |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |

#### 4.2.2 Livello piezometrico in sito

Il livello piezometrico utilizzato nei calcoli è posto a 3 m da piano campagna per tenere in conto possibili fenomeni di oscillazione stagionale della falda.

|   |  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
|---|--|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br><u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | <b>COMMESSA</b><br><b>IF3A</b>   | <b>LOTTO</b><br><b>02</b> | <b>CODIFICA</b><br><b>E ZZ RB</b> | <b>DOCUMENTO</b><br><b>PZ0100 001</b> | <b>REV.</b><br><b>D</b> | <b>FOGLIO</b><br><b>14 di 85</b> |

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera si prevede l'impiego dei materiali indicati nel presente paragrafo. Di seguito sono indicate le caratteristiche prestazionali di resistenza minime.

### Calcestruzzo per travi di collegamento

Caratteristiche di resistenza minime C25/30

Classe di esposizione XC2

### Acciaio per calcestruzzo armato

Si utilizzano per le armature degli elementi in c.a. la seguente tipologia di acciaio:

Acciaio tipo: B450 C Saldabile controllato in stabilimento

Copriferro minimo 50 mm

In conformità a quanto sopra, le caratteristiche meccaniche dell'acciaio d'armatura utilizzate nell'analisi/verifiche sono le seguenti:

Limite di snervamento  $f_y \geq 450$  MPa

Limite di rottura  $f_t \geq 540$  MPa

Allungamento totale al carico massimo  $A_{gt} \geq 7.5\%$

### Malte e/o miscele cementizie per micropali

Rapporto massimo a/c  $\leq 0.5$

Contenuto di acqua 300 kg

Contenuto di cemento 600 kg

Additivi 5-10 kg

Inerti 1100-1300 kg

Resistenza caratteristica cubica  $> 30$  MPa

### Acciaio in profili a sezione cava per micropali

Acciaio tipo EN 10210-1 S355 JR

### Acciaio in profilati per travi di ripartizione

Acciaio tipo EN 10025 S275 JR

### Acciaio armonico per tiranti

Trefoli da 0.6"

Tensione di rottura caratteristica  $f_{ptk} \geq 1860$  MPa

Tensione elastica all'1% di deformazione  $f_{p(1)\%} \geq 1670$  Mpa

|  |  |             |  |                         |                           |
|--|--|-------------|--|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>                    |             |  |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria<br>ROCKSOIL S.P.A                             | Soci<br>Mandanti<br>NET ENGINEERING<br>ELETTRI-FER |             | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie            | COMMESSA<br>IF3A                                   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB  | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. D<br>FOGLIO 15 di 85 |

## 6 MODELLAZIONE NUMERICA

### 6.1 MODELLAZIONE NUMERICA DELLA PARATIA PROVVISORIALE

Le analisi relative le opere di sostegno provvisorie sono state condotte utilizzando il software di calcolo "Paratie Plus" 22.0.4 (prodotto da Ce.A.S. s.r.l. e distribuito da HarpaCeas S.r.l. – Milano) con licenza N° 1625087040.

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura adottata da Paratie Plus 18.0.2 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 di terreno.

Si veda a tal riguardo la Figura 6-1.

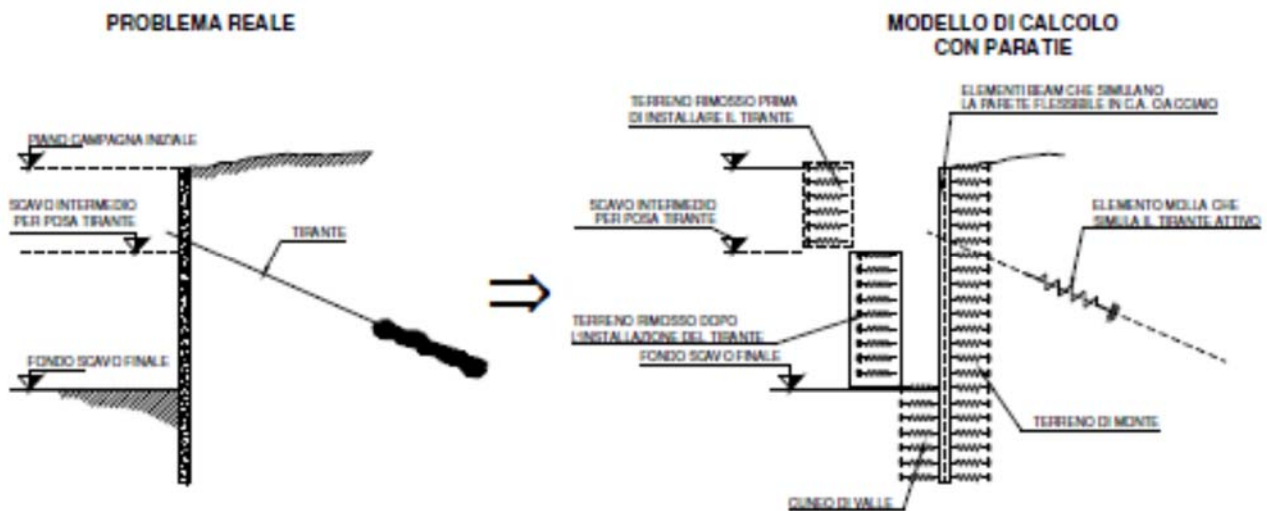


Figura 6-1. Modellazione dell'interazione terreno-struttura

Per quanto riguarda i tiranti, essi provocano nel modello due effetti:

1. sorge una forza al nodo di applicazione del tirante, dovuta allo stato di coazione (pretensione) con cui l'elemento nasce, nel caso di tirante attivo;
2. la rigidità globale della struttura riceve un contributo dovuto alla rigidità estensionale del tirante stesso. Quando, nelle fasi successive, il nodo ove il tirante è connesso, subirà ulteriori spostamenti, la forza nel tirante subirà mutamenti.

Un tirante viene caratterizzato da una rigidità assiale data da un'espressione del tipo  $K = E \times (A/L)$  dove E è il modulo elastico della materiale costituente il tirante, A l'area per unità di larghezza del tirante nel tratto deformabile e L la lunghezza del tratto deformabile del tirante, che può essere stimata come indicato nella Figura 6-2. Si assume  $\eta = 0.5$ .

|   |  |             |                     |                         |           |                    |
|---|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>16 di 85 |

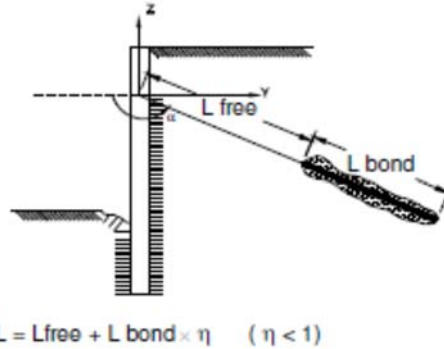


Figura 6-2. Lunghezza deformabile del tirante

Per quanto riguarda la presenza dei puntoni, la rigidità globale della struttura riceve un contributo dovuto alla loro rigidità. Nelle fasi successive all'installazione, il nodo ove il puntone è connesso, subirà ulteriori spostamenti che saranno contrastati dalla rigidità del puntone stesso, e di conseguenza la sollecitazione nel puntone subirà mutamenti.

Il pendio eventualmente presente a monte è rappresentato mediante carico nastriforme equivalente posto su terreno orizzontale, la cui entità viene valutata in automatico dal software interpolando le quote intermedie della superficie inclinata con un passo di discretizzazione costante ed assegnando il rispettivo peso per unità di volume. Il carico nastriforme in superficie provoca una variazione alla Boussinesq di sforzi verticali efficaci all'interno del terreno.

Lo sforzo verticale efficace  $\sigma'_v$  nel terreno è calcolato indipendentemente dalle deformazioni alle quali la parete va incontro, è cioè ricavato attraverso semplici formule che tengono conto, fase per fase, della quota del piano campagna e dei sovraccarichi.

Nella fase iniziale, lo sforzo orizzontale efficace nel generico elemento terreno è calcolato come:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v \text{ (step 1)}$$

in cui  $K_0$  è il coefficiente di spinta a riposo. Nelle fasi successive,  $\sigma'_h$  si modifica tenendo conto della deformazione laterale subita.

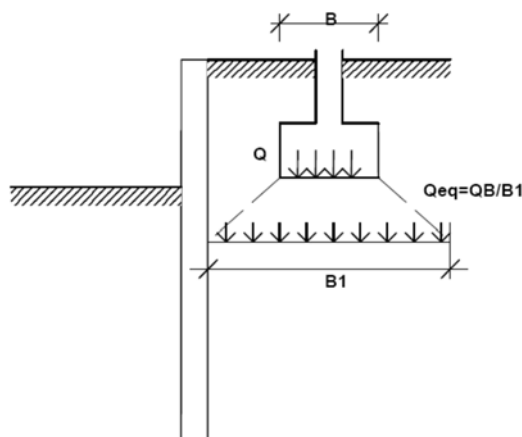


Figura 6-3. Sovraccarico uniforme equivalente dovuto ad una fondazione.

Per tener conto della presenza di carichi, il software assume che esso induca nel terreno uno stato di sforzo addizionale prima dello scavo. Questo sforzo, sommato a quello geostatico (dipendente da  $K_0$ ), consente di calcolare lo sforzo efficace presente negli elementi molla, all'inizio dell'analisi, cioè a spostamenti nulli.

Nella prima fase dell'analisi, in tutti gli elementi molla, la  $\sigma'_h$  è calcolata come:



|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>17 di 85</b> |

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v \text{ (step 1)} + \Delta\sigma'_h$$

la  $\sigma'_v$ , nella formula precedente, non tiene conto dell'incremento di tensione verticale dovuto al sovraccarico.  $\Delta\sigma'_h$  è calcolata attraverso la soluzione del semispazio elastico sollecitato da un carico nastriforme sulla superficie libera.

$\sigma'_h$  così calcolato stabilisce solamente lo sforzo iniziale nella molla generica: lo sforzo orizzontale in seguito varierà, in accordo con le deformazioni subite. In particolare, se la parete subisce deformazioni molto elevate, l'effetto di  $\Delta\sigma'_h$  può azzerarsi.

Negli elementi a valle,  $\sigma'_v$  non risente della presenza di carichi; a monte, invece, si tiene conto, in tutte le fasi, di un incremento di  $\sigma'_v$ .

Il profilo degli sforzi orizzontali iniziali è calcolato secondo la formula che fornisce la distribuzione di sforzi in un semispazio elastico caricato da una striscia di carico di lunghezza indefinita. La formula implementata è riportata in Figura 6-4.

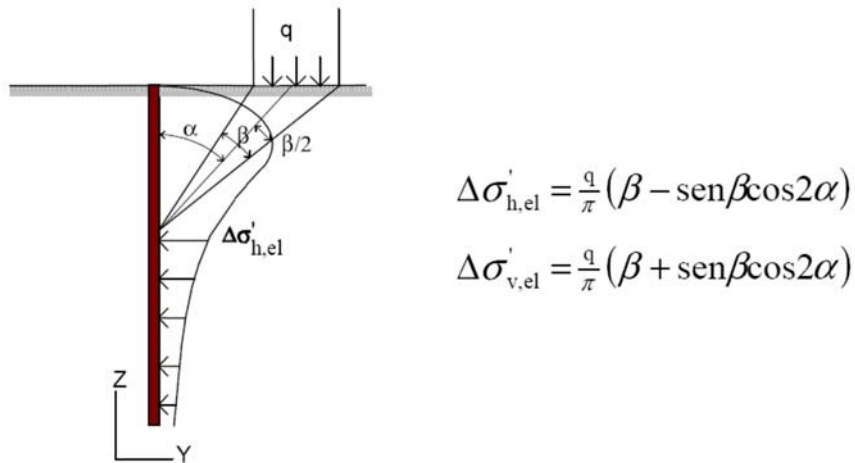


Figura 6-4. Soluzione del semispazio elastico omogeneo.

La formula è applicata ipotizzando il piano libero del semispazio elastico coincidente con la quota di imposta del sovraccarico.

Per quanto riguarda la stabilità dei pendii e del fronte di scavo, Paratie Plus, utilizza metodi all'equilibrio limite per individuare potenziali superfici di scorrimento e ricavarne il relativo coefficiente di sicurezza. Il coefficiente di sicurezza associato ad una superficie è calcolato imponendo le condizioni di equilibrio nelle quali vengono introdotte le resistenze offerte del terreno affette da tale coefficiente di sicurezza.

La regione di terreno mobilitata viene suddivisa in conci verticali compresi fra la superficie del terreno e la superficie di scorrimento e vengono imposte le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci, come illustrato in Figura 6-5.

In particolare, nelle analisi effettuate si è utilizzato il metodo di Bishop semplificato, il quale assume che i conci si scambino unicamente azioni normali alle facce, ovvero orizzontali, e richiede la definizione di superfici di scivolamento su archi di cerchio. Il coefficiente di sicurezza viene determinato imponendo l'equilibrio alla rotazione del terreno potenzialmente instabile attorno al centro della circonferenza.

|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>18 di 85</b> |

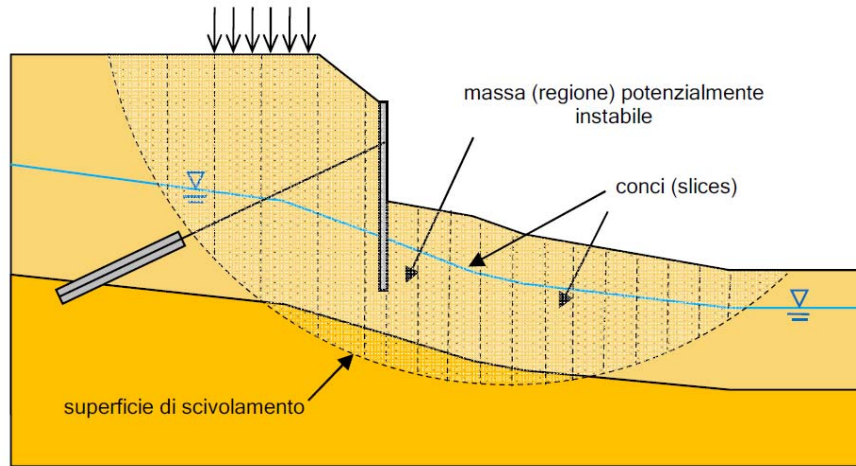


Figura 6-5. Schematizzazione di un problema di stabilità del fronte o del versante.

## 6.2 MODELLAZIONE NUMERICA DEGLI SCAVI A TERGO DELLA PARATIA

Le analisi di stabilità relative gli scavi a tergo della paratia in progetto, sono state svolte con il software di calcolo Slide2 (Prodotto da Rocscience Inc. con licenza 882728293285530817), codice di calcolo dedicato allo studio della stabilità dei pendii e che permette di calcolare il fattore di sicurezza dei pendii in terreno e in roccia.

Il codice Slide2 utilizza il metodo dell'equilibrio limite e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite in diversi modi, condizioni stratigrafiche e idrostratigrafiche complesse mediante l'utilizzo di diversi modelli costitutivi per i materiali e condizioni di pressioni neutre variabili. Sono inoltre utilizzabili diversi metodi di analisi e possono essere applicate condizioni di carico di vario tipo.

Tra le differenti metodologie di calcolo proposte dal software si è considerata quella proposta da Bishop (1955).

|   |  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
|---|--|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br><u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | <b>COMMESSA</b><br><b>IF3A</b>   | <b>LOTTO</b><br><b>02</b> | <b>CODIFICA</b><br><b>E ZZ RB</b> | <b>DOCUMENTO</b><br><b>PZ0100 001</b> | <b>REV.</b><br><b>D</b> | <b>FOGLIO</b><br><b>19 di 85</b> |

## 7 STATI LIMITE E CRITERI DI VERIFICA

Di seguito viene presentato l'elenco delle diverse analisi effettuate per il dimensionamento e la verifica delle opere oggetto di tale documento nello spirito del metodo semiprobabilistico agli stati limite, in accordo alle disposizioni del DM 17.01.2018 e al manuale di progettazione delle opere civili.

### 7.1 AZIONI

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno sono le seguenti:

- **azioni permanenti strutturali:** peso proprio degli elementi strutturali, spinta del terreno a monte e a valle dell'opera.
- **azioni variabili:** carico variabile sul piano campagna a monte della struttura di sostegno,  $Q_{1M}$ , atto a schematizzare nella fase costruttiva l'eventuale presenza di sovraccarichi di varia natura connessi alla realizzazione delle opere.
- **azione sismica**

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 17/01/2018, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite ultimi e di esercizio in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

### 7.2 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi,
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Come prescritto dal DM 17/01/2018 per le strutture di sostegno flessibili, è stato adottato l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018):

- Combinazione 1:  $A1 + M1 + R1$
- Combinazione 2:  $A2 + M2 + R1$

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 ( $A2+M2+R1$ ) e verificando che la resistenza mobilitata fosse sempre inferiore a quella disponibile.

Le verifiche nei riguardi degli stati limite idraulici (UPL) e (HYD) devono essere eseguite come descritto nel § 6.2.4.2 del DM 17/01/2018, considerando almeno i seguenti stati limite ultimi:

SLU di tipo idraulico

- instabilità del fondo scavo per sollevamento (UPL);
- sifonamento del fondo scavo (HYD).

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consortio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. D<br>FOGLIO 20 di 85 |

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, per opere provvisorie, in assenza di fabbricati o altre opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE.

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Coulomb. I coefficienti di spinta passiva sono stati determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura,  $\delta$ , è stato assunto pari a 2/3 della resistenza al taglio del terreno naturale.

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus (versione 22.0.4).

Per le analisi relative alle paratie, sono stati presi in considerazione i seguenti stati limite di progetto:

- Stato Limite Ultimo - Combinazione  $A_1+M_1$  (SLU-1): le analisi sono condotte considerando i valori di progetto delle azioni esterne  $A_1$  (ottenuti amplificando con opportuni coefficienti parziali i valori caratteristici,  $A_1=\gamma_1 \cdot A_k$ ), mentre ai parametri geotecnici si assegnano coefficienti parziali unitari ( $M_1=M_k$ ).
- Stato Limite Ultimo - Combinazione  $A_2+M_2$  (SLU-2): le analisi sono svolte considerando i valori di progetto delle azioni esterne  $A_2$  (ottenuti amplificando con opportuni coefficienti parziali i valori caratteristici,  $A_2=\gamma_2 \cdot A_k$ ), i parametri geotecnici sono ridotti dividendo i parametri caratteristici  $M_k$  per opportuni coefficienti ( $M_2=M_k / \gamma_2$ ).
- Stato Limite Ultimo con sisma – Combinazione  $A_k + M_1$  (EQK STR): secondo le indicazioni della normativa, le analisi sono svolte considerando coefficienti parziali unitari per le azioni esterne ( $A_k$ ) mentre ai parametri geotecnici si assegnano coefficienti parziali unitari ( $M_1=M_k$ ). Il sisma è valutato per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).
- Stato Limite Ultimo con sisma – Combinazione  $A_k + M_1$  (EQK GEO): secondo le indicazioni della normativa, le analisi sono svolte considerando coefficienti parziali unitari per le azioni esterne ( $A_k$ ) mentre ai parametri geotecnici si assegnano coefficienti parziali unitari ( $M_2=M_k$ ). Il sisma è valutato per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV)..

Nelle seguenti tabelle sono riportati i coefficienti parziali prescritti dalla normativa per gli Stati Limite Ultimi.

**Tabella 7-1. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

| CARICHI                | coeff. parziale | (A1)<br>STR | (A2)<br>GEO |
|------------------------|-----------------|-------------|-------------|
| Permanente sfavorevole | $\gamma_G$      | 1.3         | 1.0         |
| Permanente favorevole  |                 | 1.0         | 1.0         |
| Variabile sfavorevole  | $\gamma_Q$      | 1.5         | 1.3         |
| Variabile favorevole   |                 | 0           | 0           |

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. D<br>FOGLIO 21 di 85 |

Tabella 7-2. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| PARAMETRO                                    | parametro al quale applicare il coeff. parziale | coeff. parziale $\gamma_m$ |                      |
|--|---|----------------------------|----------------------|
|  |   | M1                         | M2                   |
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$                                  | $\gamma_\phi=1.00$         | $\gamma_\phi=1.25$   |
| Coesione efficace                            | $c'_k$  | $\gamma_{c'}=1.00$         | $\gamma_{c'}=1.25$   |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$  | $\gamma_{c_u}=1.00$        | $\gamma_{c_u}=1.40$  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma$  | $\gamma_\gamma=1.00$       | $\gamma_\gamma=1.00$ |

Tabella 7-3. Coefficienti parziali delle resistenze

| VERIFICA                        | COEFFICIENTE PARZIALE R1 | COEFFICIENTE PARZIALE R2 |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Resistenza del terreno di valle | $\gamma_R=1.00$          | $\gamma_R=1.00$          |

Per la determinazione dell'azione sismica si è fatto riferimento al comune di Flumeri nel quale ricadono le opere.

Vista la tipologia d'opera in esame e visti i tempi di scavo della galleria naturale la durata stimata delle opere provvisorie è sicuramente superiore a 2 anni, pertanto, le opere provvisorie sono state dimensionate considerando anche l'azione sismica con una vita nominale pari a 35 anni.

Si sono pertanto assunti i seguenti parametri:

- vita nominale della struttura (par. 2.4.1 NTC):  $VN = 35$  anni;
- coefficiente d'amplificazione topografica (tab. 3.2.VI):  $ST = 1.0$ ;
- coefficiente d'amplificazione stratigrafico (tab. 3.2.VI):  $SS = 1.2$  (cat. Suolo B);

Nella tabella si riportano i parametri relativi alla azione sismica:

Tabella 7-4. Parametri per la definizione dell'accelerazione sismica sulle strutture provvisionali

| Analisi | $a_g/g$ | $S_s$ | $S_T$ |
|---------|---------|-------|-------|
| SLV     | 0.22    | 1.19  | 1.0   |

L'effetto del sisma è ottenuto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione rettangolare sull'intera altezza dell'opera.

|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria<br>ROCKSOIL S.P.A                             | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
|  | Mandanti<br>NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA                 |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie            | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>22 di 85 |

$$\Delta S_E = \left[ \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H,$$

dove  $\gamma$  rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce, H rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso),  $K_{aE}$ ,  $K_{aE}$  e  $K_a$  rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

I coefficienti di spinta attiva sono stati determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono stati determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007).

### 7.3 VERIFICHE DEGLI SCAVI A TERGO DELLA PARATIA PROVVISORIALE

Le verifiche degli scavi a tergo della paratia sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU e SLV):

- Verifica di stabilità globale.

Le verifiche SLU di stabilità globale sono state implementate sia in campo statico che in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico) tramite il codice di calcolo Slide2, descritto al paragrafo 6.2 della presente relazione.

Nelle verifiche di stabilità globale del rilevato si fa riferimento:

- per le analisi in campo statico, ai valori di progetto per azioni e ai valori di progetto dei parametri geotecnici valutati in accordo ai coefficienti parziali (A2+M2); tali coefficienti sono contenuti nelle tabelle mostrate in Tabella 7-1 e Tabella 7-2 della della presente relazione.
- per le analisi sismiche con approccio pseudo-statico, ai valori caratteristici sia per le azioni che per i parametri geotecnici.

Come da DM 17/01/2018, le verifiche di stabilità globale sono soddisfatte se sussiste la relazione  $FS \geq \gamma_R$ , in particolare:

- per le analisi in campo statico,  $\gamma_R = 1.1$  (Tab. 6.8.I del DM 17/01/2018 e Tabella 7-5 della presente relazione);
- per le analisi sismiche con approccio pseudo-statico,  $\gamma_R = 1.2$  (par. 7.11.4 del DM 17/01/2018 e Tabella 7-5 della presente relazione).

La forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

- kh concorde alla direzione di scivolamento;
- kv positivo se rivolto verso il basso, negativo se rivolto verso l'alto.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione della superficie di rottura "critica", ovvero quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

**Tabella 7-5 – Stabilità degli scavi a tergo della paratia – Coefficienti parziali sulle resistenza**

|            | Condizioni statiche | Condizioni sismiche |
|------------|---------------------|---------------------|
| $\gamma_R$ | 1,1                 | 1,2                 |

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 23 di 85 |

## 8 ANALISI E VERIFICHE

Per la paratia di micropali in esame sono state eseguite le verifiche su 3 sezioni caratterizzanti l'opera. Le sezioni analizzate sono state prese in corrispondenza delle massime altezze di scavo rispettivamente per i tratti con due ordini di tiranti, con un ordine di tiranti e a sbalzo.

La seguente figura illustra la posizione delle sezioni di calcolo relativamente alla sviluppata della paratia.

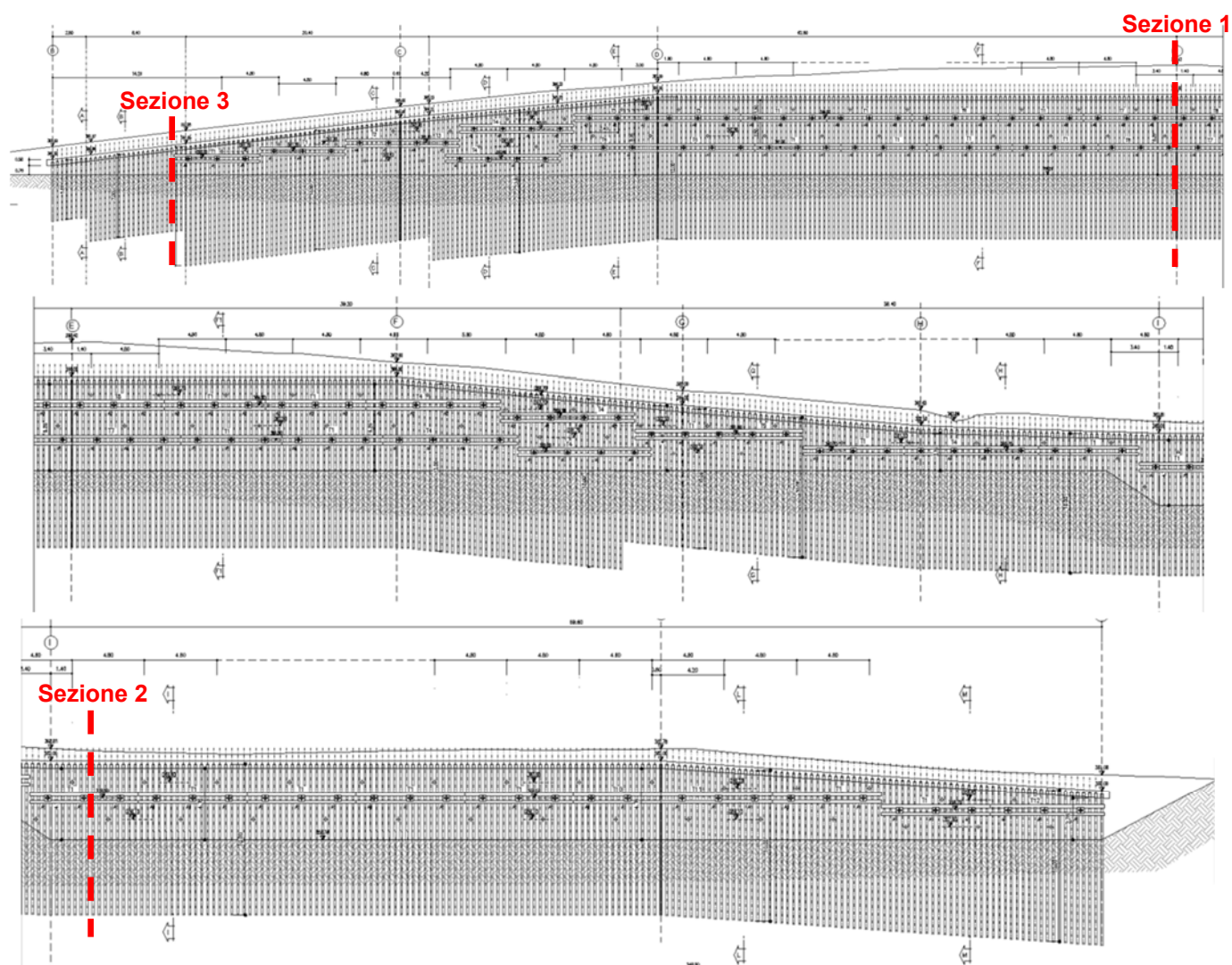


Figura 8-1. Sezioni di calcolo analizzate

Di seguito si riportano i risultati e le verifiche delle analisi condotte per le 3 sezioni.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 24 di 85 |

## 8.1 SEZIONE DI CALCOLO 1 – PARATIA CON DUE ORDINI DI TIRANTI

Sono di seguito riportate le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

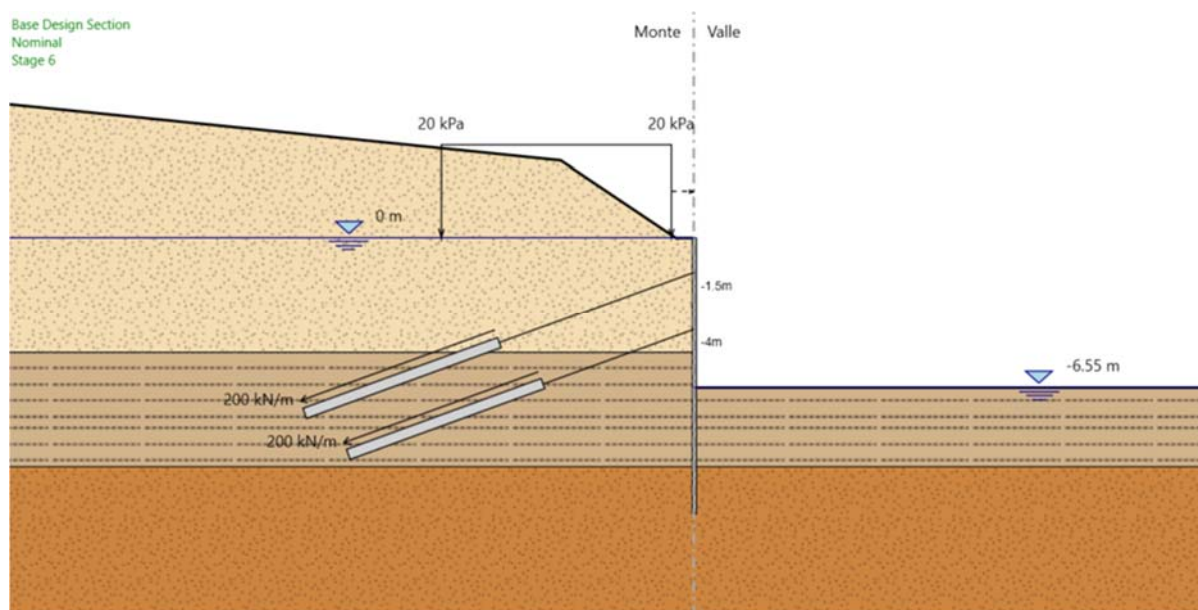


Figura 8-2. Sezione di verifica per la paratia con due ordini di tiranti

Si presentano di seguito le caratteristiche geometriche della struttura, i sovraccarichi a tergo, i parametri geotecnici e i coefficienti di spinta utilizzati nei calcoli.

La verifica è stata eseguita in corrispondenza della massima altezza di scavo pari a 6.3 m incrementata del 10% della differenza di quota tra il livello inferiore di tiranti ed il fondo scavo, come previsto dal paragrafo 6.5.2.2 delle NTC 2018. Nelle analisi si è considerato il pendio a monte della paratia ed il sovraccarico dovuto all'eventuale presenza di mezzi/lavorazioni di cantiere assunto pari a 20 kPa ed applicato subito a monte della paratia.

La posizione della falda è assunta a favore di sicurezza alla quota di testa paratia.



|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 25 di 85 |

**Tabella 8-1. Caratteristiche della struttura e sovraccarichi**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Tipologia                           | Micropali $\phi$ 168.3 mm spessore 12.5 mm passo 0.4 m |
| Altezza totale paratia              | 12 m   |
| Altezza di scavo paratia            | 6.3 m + 0.1*2.26 m = 6.55 m                            |
| Ordini di tiranti                   | 2  |
| Passo orizzontale tiranti           | 2.4 m  |
| Inclinazione piano campagna a monte | Terreno naturale <10°                                  |
| Inclinazione piano campagna a valle | -  |
| Sovraccarichi permanenti a monte    | Terreno in sito  |
| Sovraccarichi permanenti a valle    | -  |
| Sovraccarichi variabili a monte     | Mezzi/lavorazioni di cantiere q=20kPa                  |
| Sovraccarichi variabili a valle     | -  |

**Tabella 8-2. Parametri geotecnici caratteristici**

| Terreno<br>(m da p.c.) | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $c_k$<br>[kPa] | $\phi_k$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | $E'$<br>[MPa] | $E'_{ur}$<br>[MPa] | $K_a$<br>M1 (M2) | $K_p$<br>M1 (M2) |
|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|
| 0-5                    | 20                               | 15             | 23              | 15,18           | 30            | 48                 | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |
| 5-10                   | 20                               | 15             | 23              | 15,18           | 50            | 80                 | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |
| >10                    | 20                               | 20             | 23              | 15,18           | 80            | 128                | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume

$c_k$  = coesione efficace caratteristica

$\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio caratteristico

$\delta$  = angolo di attrito struttura-terreno

$E'$  = modulo di Young

$E'_{ur}$  = modulo di Young scarico-ricarico

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 26 di 85 |

**Tabella 8-3. Parametri per il calcolo dell'azione sismica**

| Condizione | Categoria<br>sottosuolo<br>[-] | Categoria<br>topografica<br>[-] | $a_g/g$<br>[-] | S<br>[-] | $a_{max}/g$<br>[-] | $\alpha$<br>[-] | $U_s$<br>[m] | $\beta$<br>[-] | $K_h$<br>[-] |
|------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|
| SLV        | B                              | T1                              | 0,22           | 1,1948   | 0,2629             | 1               | 0,055        | 0,5998         | 0,1577       |

dove:

$\alpha$  = coefficiente di deformabilità (fig. 7.11.2 NTC2018)

$U_s$  = spostamento ammissibile

$\beta$  = coefficiente di spostamento (fig. 7.11.3 NTC 2018)

$K_h$  = coefficiente sismico

Da cui si evincono i coefficienti di spinta sismici.

**Tabella 8-4. Coefficienti di spinta in fase sismica**

| Terreno<br>(m da<br>p.c.) | $\phi_k$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | $K_{ah}$ | $K_{ph}$ |
|---------------------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| 0-5                       | 23              | 15,18           | 0,51     | 1,984    |
| 05-10                     | 23              | 15,18           | 0,51     | 1,984    |
| >10                       | 23              | 15,18           | 0,51     | 1,984    |

dove:  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume  
 $c_k$  = coesione efficace caratteristica  
 $\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio caratteristico  
 $\delta$  = angolo di attrito struttura-terreno  
 $E'$  = modulo di Young  
 $E'_{ur}$  = modulo di Young scarico-ricarico  
 $K_{ah}$  = coefficiente di spinta attiva  
 $K_{ph}$  = coefficiente di spinta passiva (si assume  $\delta=0$ )

Mentre la spinta distribuita è pari a

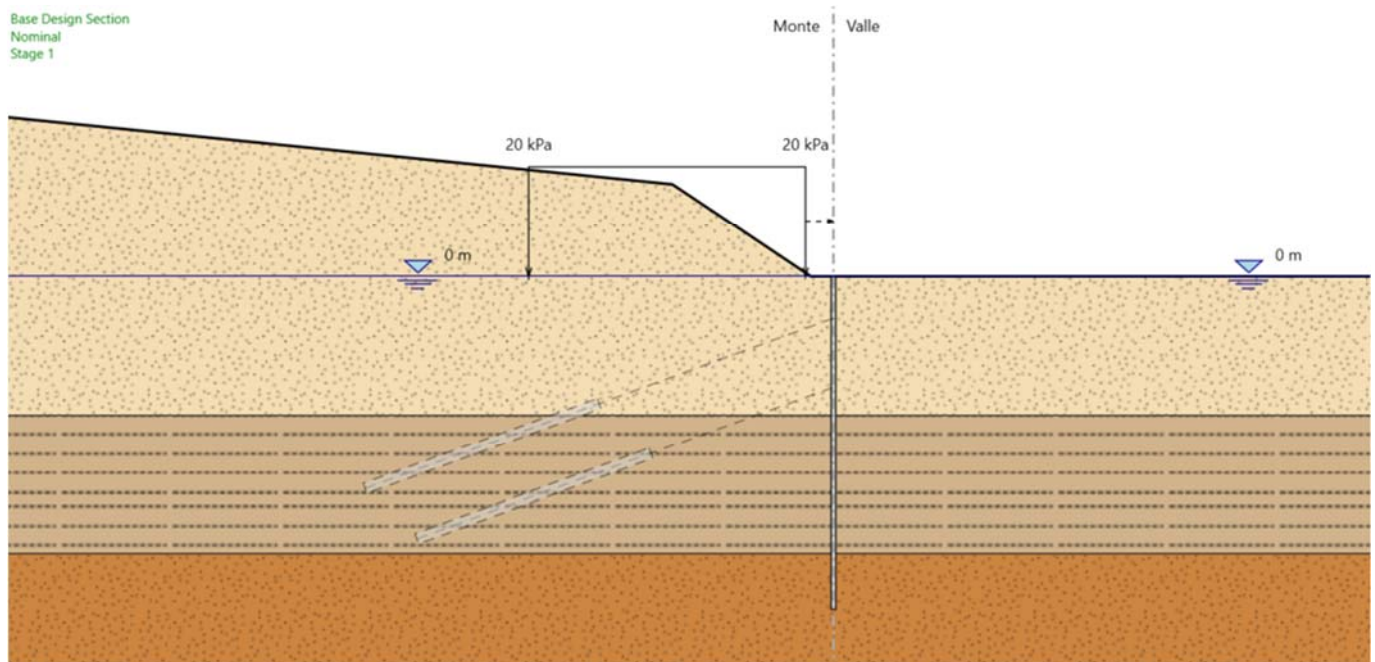
**Tabella 8-5. Spinta sismica distribuita**

| H [m] | $K_a$ | $K_{ah}$ | $\Delta S_E$ [kPa] |
|-------|-------|----------|--------------------|
| 12    | 0.376 | 0.51     | 16.08              |

|   |  |                    |                            |                                |  |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |  |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |  |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.              FOGLIO<br><b>D                      27 di 85</b> |

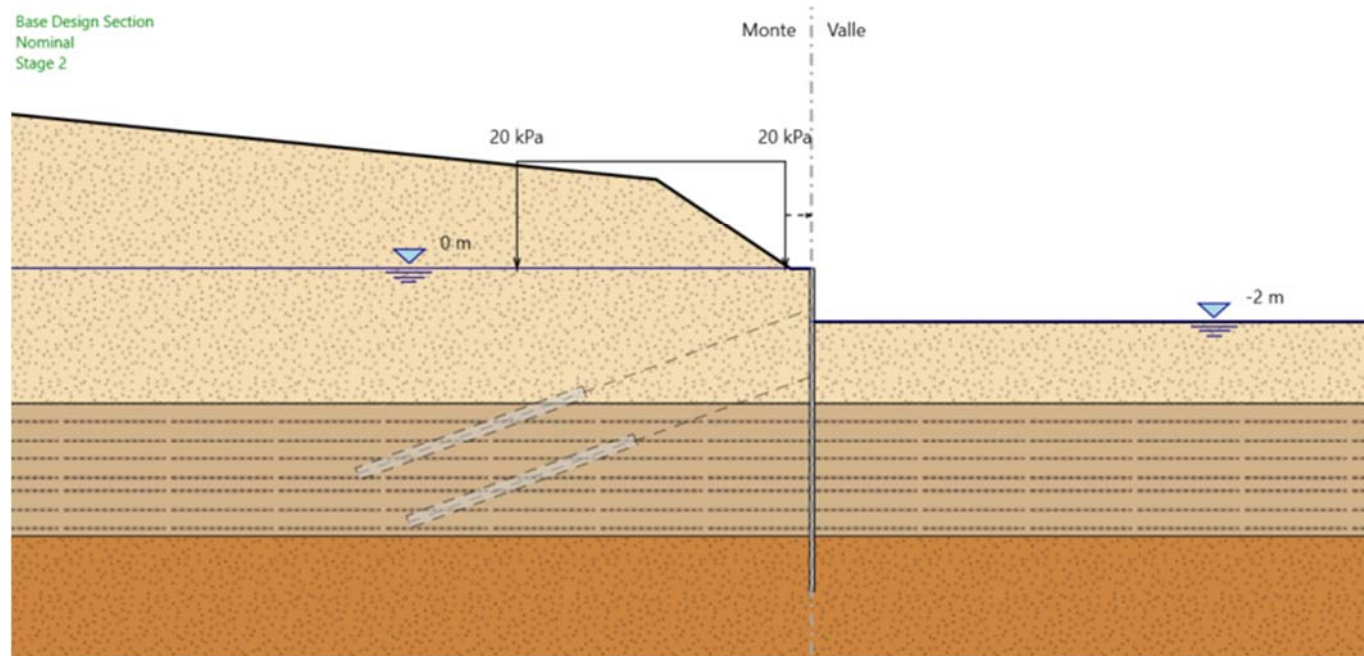
Le fasi di calcolo sono le seguenti:

fase 1 – Step geostatico in cui risultano già eseguiti i micropali ed applicato il carico di cantiere a monte della paratia

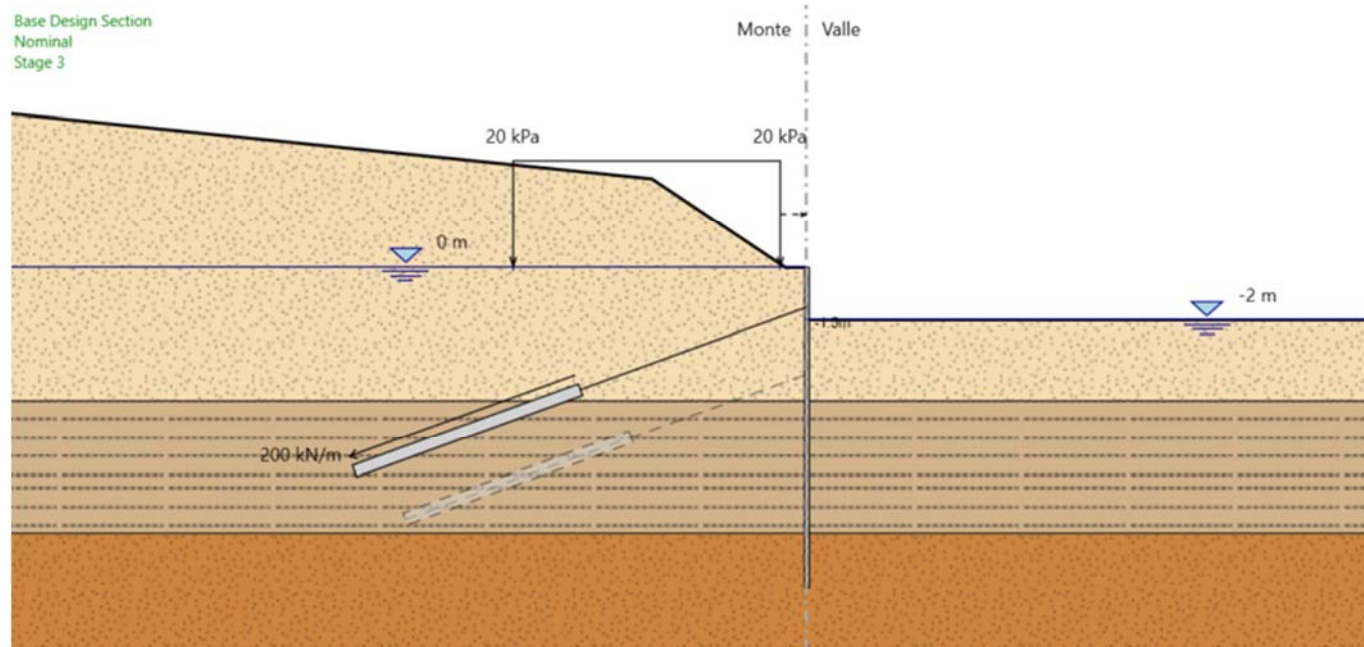


|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>28 di 85</b> |

Fase 2 – Scavo di sbancamento fino a circa -2 m da testa paratia

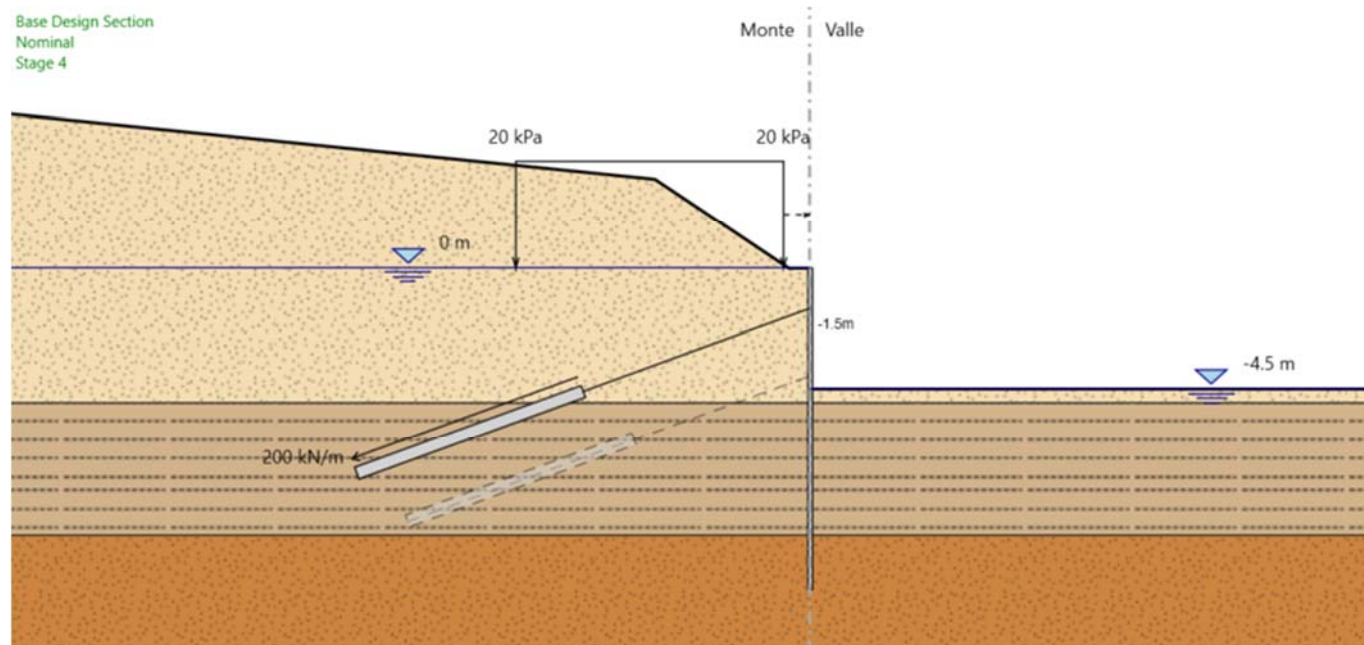


Fase 3 – installazione dei tiranti a -1.5 m da testa paratia

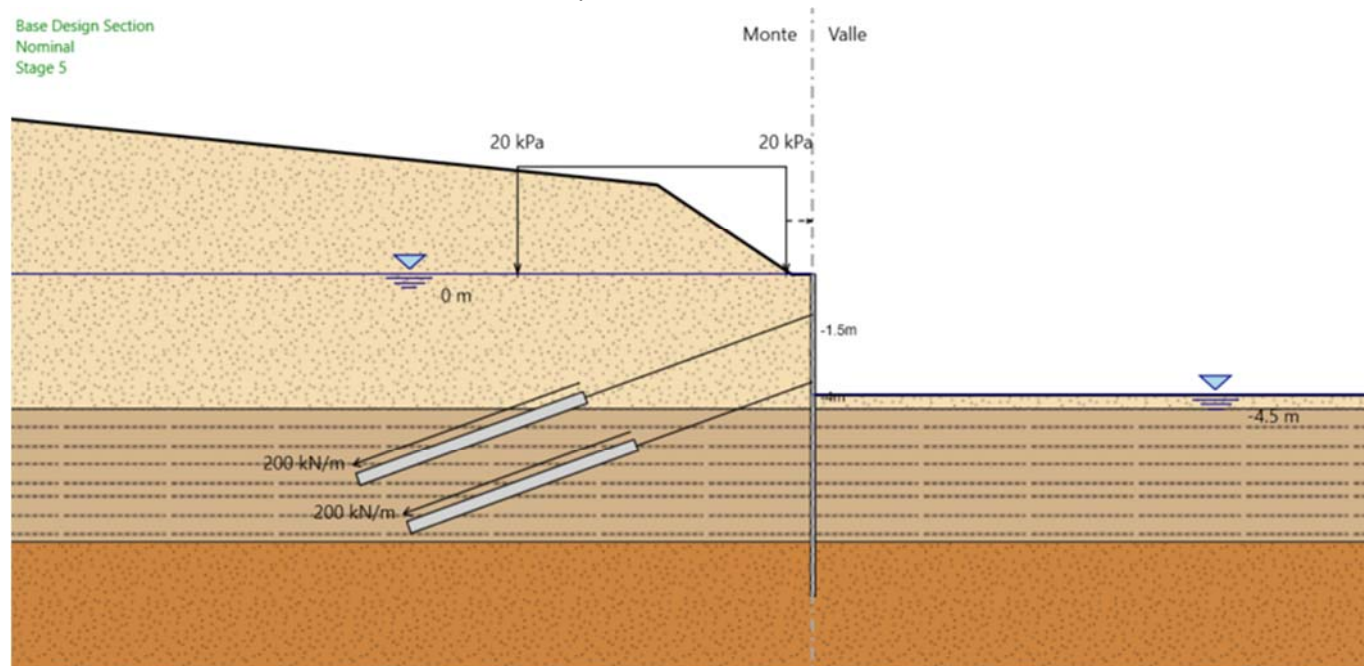


|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>29 di 85</b> |

Fase 4 - Scavo di sbancamento fino a circa -4.5 m da testa paratia

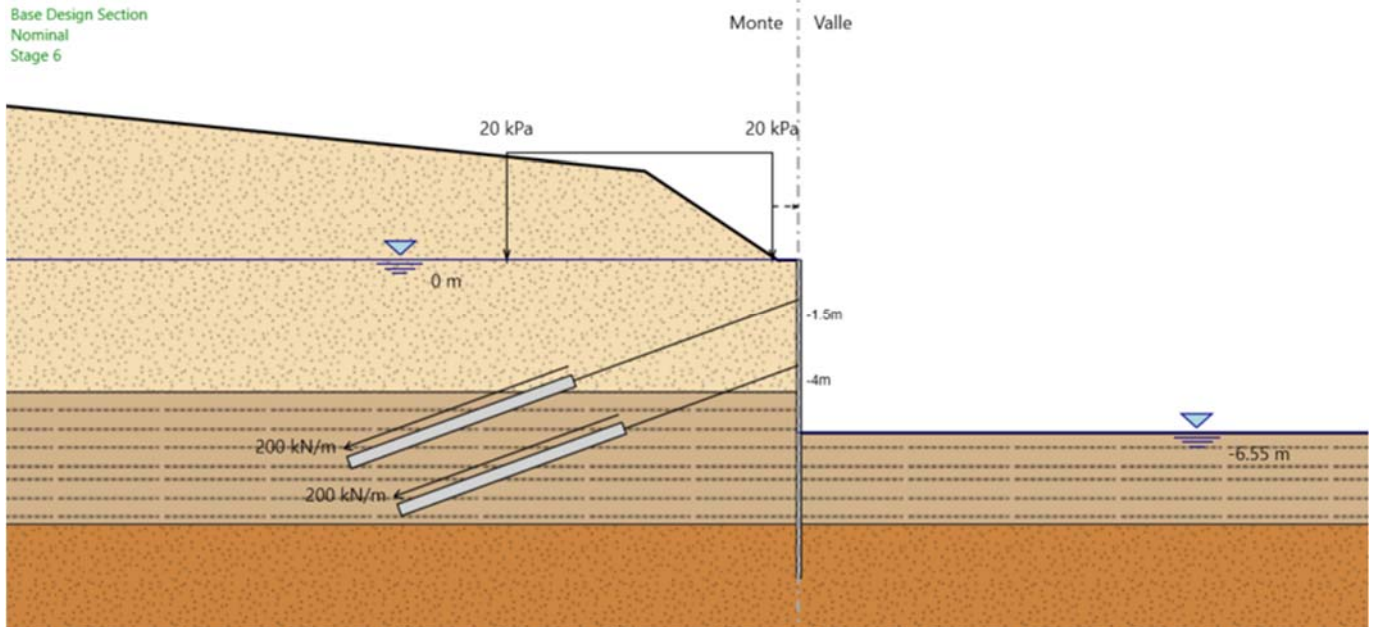


Fase 5 – installazione dei tiranti a -4 m da testa paratia

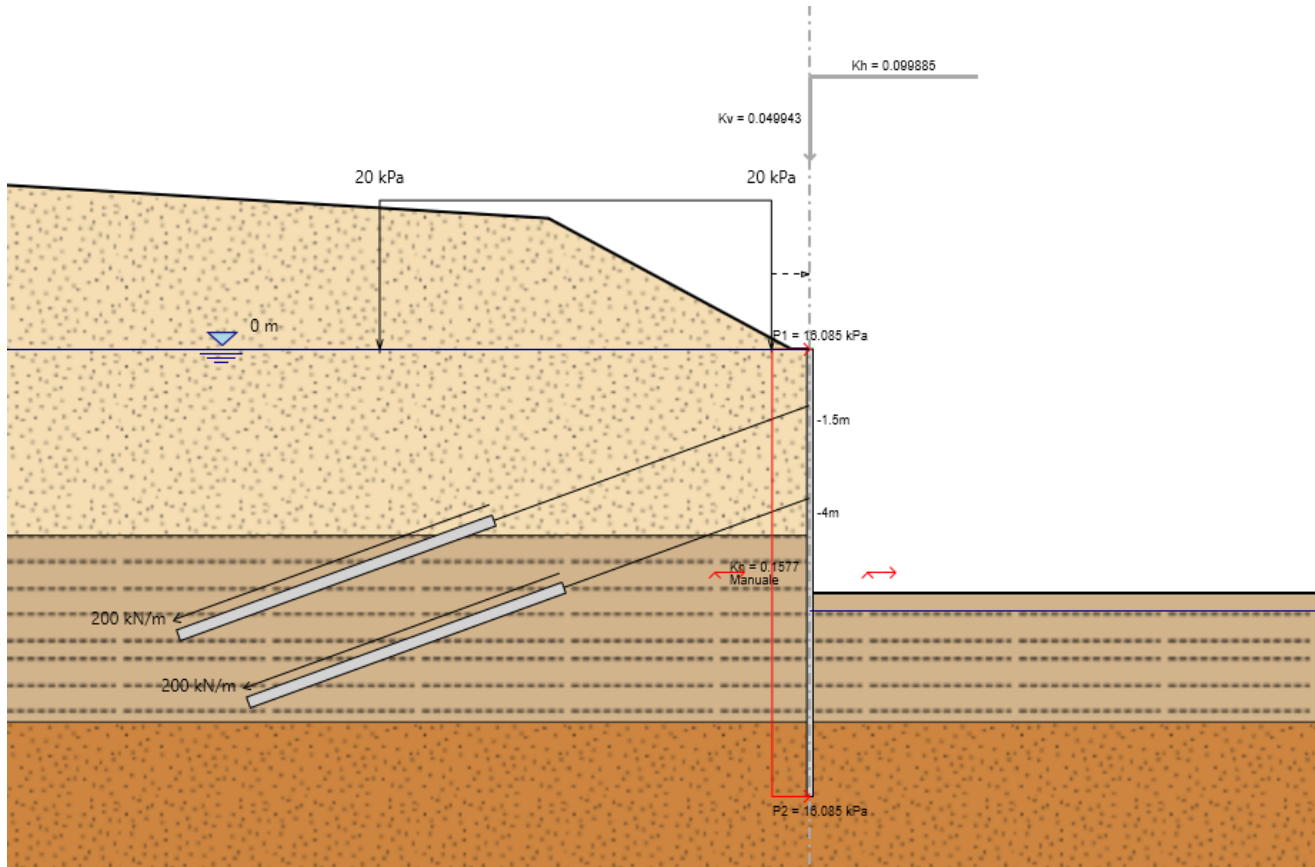


|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>30 di 85</b> |

Fase 6 – Scavo di sbancamento fino alla quota di fondo scavo (-6.55 m da testa paratia)



Fase 7 – Applicazione del carico sismico



|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>31 di 85</b> |

### 8.1.1 Verifiche strutturali dei micropali

Si riportano di seguito i grafici del momento flettente e del taglio nella combinazione SLU A1+M1 e SLV STR per le diverse fasi di calcolo e successivamente le relative verifiche sugli elementi strutturali.

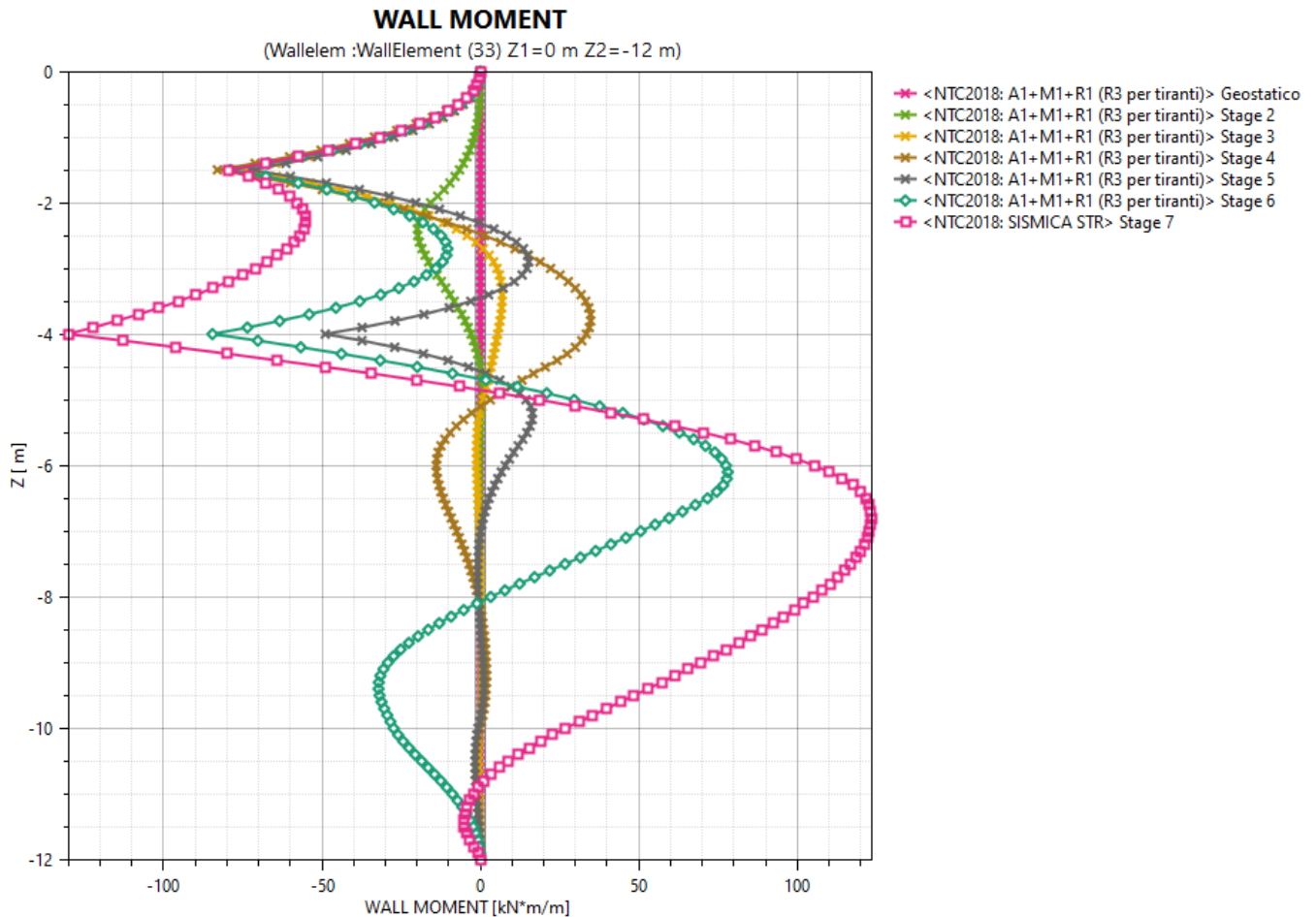
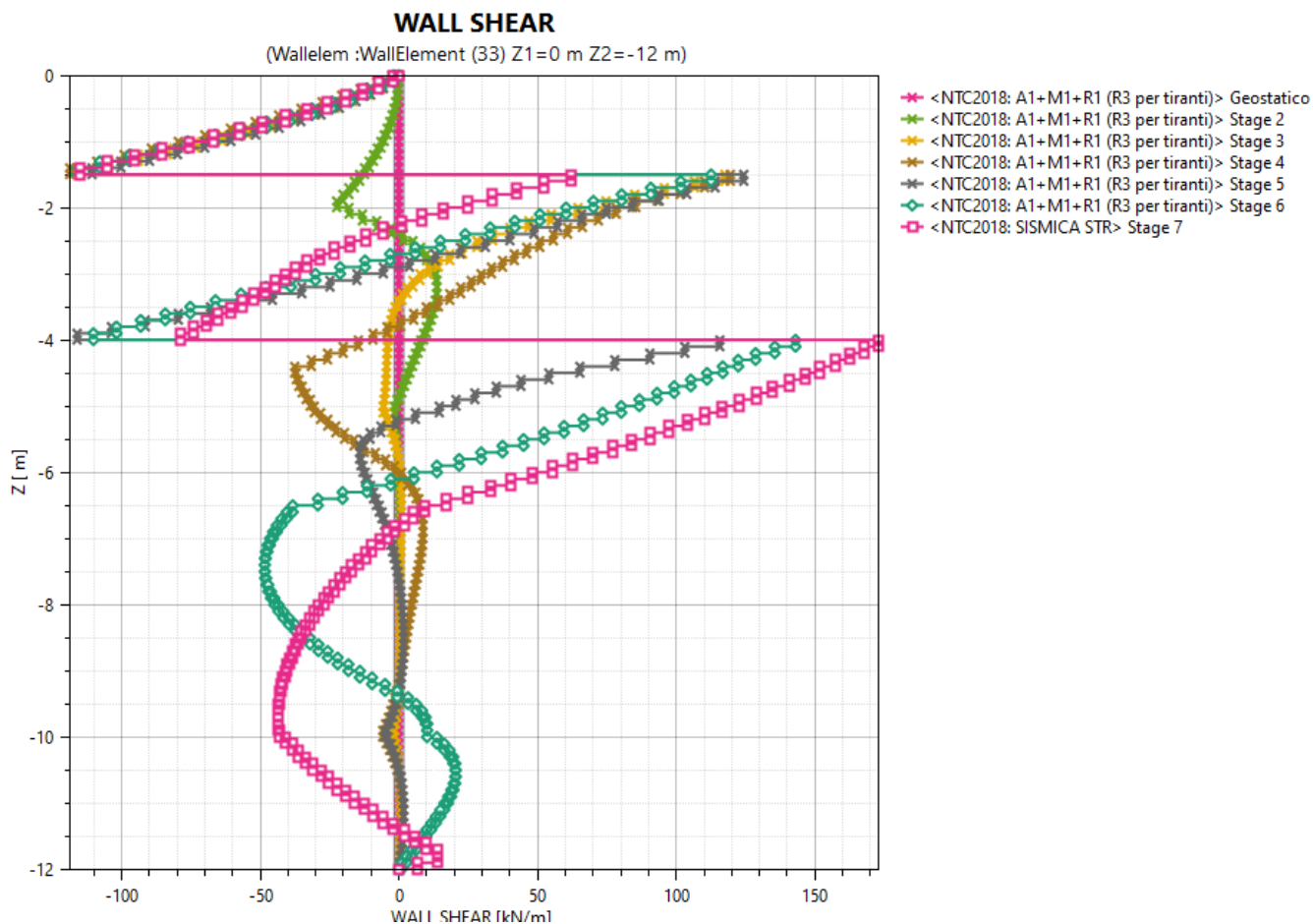


Figura 8-3. Andamento del momento flettente per le combinazioni SLU A1+M1 e SLV STR per i vari stage di calcolo

|   |  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   |  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> |  | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   |  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>32 di 85</b> |



**Figura 8-4. Andamento del taglio per le combinazioni SLU A1+M1 e SLV STR per i vari stage di calcolo**

Nella seguente tabella sono riportate le verifiche eseguite per i micropali della paratia considerando unicamente la resistenza dell'acciaio costituente la sezione del palo.



|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. D<br>FOGLIO 33 di 85 |

Tabella 8-6. Verifica allo SLU dei micropali della paratia

| NTC - DM 2018 - Verifica plastica SLU di sezioni tubolari Classe 1 o 2 |                                   |          |                                       |                              |        |
|--|-----------------------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------|--------|
| <b>Materiale</b>   |                                   |          | <b>Azioni di calcolo (A1+M1+R1)</b>   |                              |        |
| Classe acciaio   | [-]                               | S355     | Sforzo normale                        | N <sub>Ed</sub> [kN/m]       | 0.0    |
| Coefficiente sicurezza   | γ <sub>M0</sub> [-]               | 1.05     | Taglio                                | V <sub>Ed</sub> [kN/m]       | 172.7  |
| Tensione snervamento   | f <sub>yk</sub> [MPa]             | 355      | Momento flettente                     | M <sub>Ed</sub> [kNm/m]      | 130.1  |
| Tensione di calcolo  | f <sub>vd</sub> [MPa]             | 338      | Interasse micropali                   | i [m]                        | 0.40   |
| <b>Sezione</b>   |                                   |          | <b>Azioni di progetto</b>             |                              |        |
| Diametro esterno   | D [mm]                            | 168.30   | Sforzo normale                        | N <sub>Ed</sub> [kN]         | 0.0    |
| Spessore   | s [mm]                            | 12.50    | Taglio                                | V <sub>Ed</sub> [kN]         | 69.1   |
| Diametro interno   | d [mm]                            | 143.30   | Momento flettente                     | M <sub>Ed</sub> [kNm]        | 52.0   |
| Area   | A [m <sup>2</sup> ]               | 6.12E-03 | <b>Effetto delle azioni combinate</b> |                              |        |
| Modulo di inerzia  | J [m <sup>4</sup> ]               | 1.87E-05 | V <sub>Ed</sub> /V <sub>Rd</sub>      | [-]                          | 0.091  |
| Raggio di inerzia  | ρ [m]                             | 5.53E-02 | ρ                                     | [-]                          | 1.00   |
| Modulo di resistenza elastico  | W <sub>el</sub> [m <sup>3</sup> ] | 2.22E-04 | n                                     | [-]                          | 0.00   |
| Modulo di resistenza plastico  | W <sub>pl</sub> [m <sup>3</sup> ] | 3.04E-04 | Momento flettente ridotto V           | M <sub>pl,Rd,V</sub> [kNm]   | 102.81 |
| Area resistente taglio   | A <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> ]  | 3.90E-03 | Momento flettente ridotto V N         | M <sub>pl,Rd,V,N</sub> [kNm] | 102.81 |
| <b>Resistenze di progetto</b>  |                                   |          | <b>Verifiche</b>                      |                              |        |
| Sforzo normale   | N <sub>pl,Rd</sub> [kN]           | 2068.6   | Sforzo normale                        |                              | OK     |
| Taglio   | V <sub>pl,Rd</sub> [kN]           | 760.3    | Taglio                                |                              | OK     |
| Momento flettente  | M <sub>pl,Rd</sub> [kNm]          | 102.8    | Momento flettente                     |                              | OK     |

Per tutte le combinazioni di carico le verifiche risultano soddisfatte in quanto MRd > MEd e VRd > VEd.

### 8.1.2 Verifiche strutturali sui tiranti

Le opere di contrasto previste per la paratia sono composte dai seguenti interventi:

Tabella 8-7. Elementi di contrasto della paratia

| Ordine tiranti | Posizione [m da p.c.] | Trefoli [n] | Passo orizzontale [m] | Lungh. libera [m] | Lungh. ancoraggio [m] | Diametro perforazione [mm] | Trave di ripartizione |
|----------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| I°             | -1,5                  | 4           | 2,4                   | 9                 | 9                     | 160                        | 2 HEB 180             |
| II°            | -4                    | 4           | 2,4                   | 7                 | 9                     | 160                        | 2 HEB 180             |

Il pretiro previsto per ogni tirante è pari a 480 kN. Affinché i tiranti di ancoraggio assolvano al meglio la loro funzione statica di sostegno della parete, è opportuno che il bulbo di fondazione si trovi completamente all'esterno del cuneo di spinta attiva che può nascere a tergo della paratia durante le fasi di costruzione e di esercizio dell'opera.

La geometria del cuneo di spinta attiva nel caso delle paratie multiancorate può essere determinata secondo vari criteri, nel seguito si fa riferimento allo schema secondo cui il cuneo di spinta è delimitato da una retta inclinata sull'orizzontale di un angolo pari a  $(\pi/4 + \varphi/2)$ , traslata verso monte rispetto al punto di nullo del momento flettente di una lunghezza pari a 0.15 h (con h= altezza dello scavo di sbancamento). La lunghezza libera è inoltre

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 34 di 85 |

comprensiva dell'incremento necessario per tenere in conto delle condizioni sismiche, tale incremento è stato valutato secondo la formula 7.11.12 proposta nelle NTC2018.

La seguente figura rappresenta graficamente il criterio geometrico adottato per la determinazione del valore minimo del tratto libero d'ancoraggio.

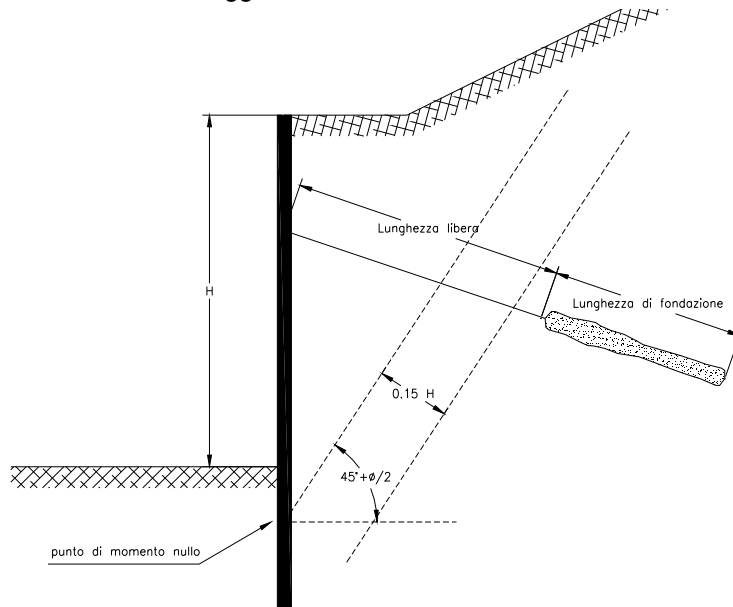


Figura 8-5. Criterio per la determinazione del tratto libero d'ancoraggio dei tiranti

Le azioni sui tiranti, ricavate da analisi con combinazioni A1+M1 e Sisma STR, sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 8-8. Azioni sui tiranti

| Combinazione | $N_{ED}$ [kN]<br>(I ORDINE) | $N_{ED}$ [kN]<br>(II ORDINE) |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| SLU A1+M1    | 632,7                       | 666,9                        |
| SLV SIS STR  | 477,1                       | 655,1                        |

In Tabella 8-9 è riportato il tiro massimo a SLU per un singolo trefolo del tirante.

Tabella 8-9. Caratteristiche di resistenza dei trefoli

|                          |      |                    |           |             |            | SLU      | massimo tiro SLU |
|--------------------------|------|--------------------|-----------|-------------|------------|----------|------------------|
| Singolo trefolo a 7 fili |      | Sezione            | $f_{ptk}$ | $f_{p(1)k}$ | $\gamma_s$ | $f_{yd}$ | $N_{SLU}$        |
| Diametro nominale        | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | (MPa)     | (MPa)       | --         | (MPa)    | (kN)             |
| φ 0.6"                   | 15.2 | 139                | 1860      | 1670        | 1.15       | 1452     | 201.85           |

Il valore limite si ottiene moltiplicando il valore precedente per il numero di trefoli, in questo caso 4.

Risulta quindi:

$$4 \text{ trefoli } N_{Rd} = 201.85 \times 4 = 807.4 \text{ kN} > N_{Ed}$$

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 35 di 85 |

Confrontando i valori di resistenza  $N_{RD}$  con i valori sollecitanti di progetto  $N_{ED}$  le verifiche risultano soddisfatte.

### 8.1.3 Verifiche geotecniche dei tiranti

Con riferimento alle indicazioni contenute nel par. 6.6 delle NTC2018 si valuta la resistenza allo sfilamento con metodi di calcolo analitici a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati delle prove in sito e/o di laboratorio.

La resistenza di calcolo è valutata con la formula di Bustamante-Doix che prevede:

$$R_{\text{calcolo}} = \pi \cdot \alpha \cdot D \cdot L \cdot q_s$$

con:

- $\alpha$  coefficiente amplificativo che tiene conto dell'incremento della sezione del bulbo per iniezioni multiple e ripetute;
- $D$  diametro del foro da cui viene realizzato il bulbo;
- $L$  lunghezza del bulbo di ancoraggio;
- $q_s$  resistenza disponibile lungo la superficie di contatto tra bulbo e terreno.

I valori relativi al parametro  $\alpha$  e alla resistenza tangenziale  $q_s$  sono stati presi in accordo alle esperienze di Bustamante-Doix in terreni analoghi nell'ipotesi di realizzare i bulbi con iniezioni multiple e ripetute (I.R.S).

Per tale opera i bulbi di ancoraggio dei tiranti ricadono nelle argille/marne.

Tabella 8-10. Valori dei coefficienti  $\alpha$  per il calcolo del diametro di perforazione di un tirante

| SOLS                           | Coefficient $\alpha$ |           | Quantité minimale de coulis<br>conseillée<br>$V_i$                           |
|--------------------------------|----------------------|-----------|--|
|                                | IRS*                 | IGU**     |  |
| Grave                          | 1,8                  | 1,3 à 1,4 | 1,5 $V_s$ *  |
| Grave sableuse                 | 1,6 à 1,8            | 1,2 à 1,4 | 1,5 $V_s$  |
| Sable graveleux                | 1,5 à 1,6            | 1,2 à 1,3 | 1,5 $V_s$  |
| Sable grossier                 | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | 1,5 $V_s$  |
| Sable moyen                    | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | 1,5 $V_s$  |
| Sable fin                      | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | 1,5 $V_s$  |
| Sable limoneux                 | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | { 1,5 à 2 $V_s$ pour IRS<br>1,5 $V_s$ pour IGU                               |
| Limons                         | 1,4 à 1,6            | 1,1 à 1,2 | { 2 $V_s$ pour IRS<br>1,5 $V_s$ pour IGU                                     |
| Argile                         | 1,8 à 2              | 1,2       | { 2,5 à 3 $V_s$ pour IRS<br>1,5 à 2 $V_s$ pour IGU                           |
| Marne                          | 1,8                  | 1,1 à 1,2 | 1,5 à 2 $V_s$ pour couche compacte   |
| Marno-calcaire                 | 1,8                  | 1,1 à 1,2 |  |
| Craie altérée<br>ou fragmentée | 1,8                  | 1,1 à 1,2 | 2 à 6 $V_s$ ou plus, si couche fracturée                                     |
| Rocher altéré<br>ou fragmenté  | 1,2                  | 1,1       | 1,1 à 1,5 $V_s$ si couche finement fissurée<br>2 ou plus si couche fracturée |

$V_s$  : volume du bulbe de scellement.  
IRS : injection répétitive et sélective.  
IGU : injection globale en presse unifiée.

\* : avec  $p_i \geq p_j$   
\*\* : avec  $0,5 p_i < p_j < p_i$

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. D<br>FOGLIO 36 di 85 |

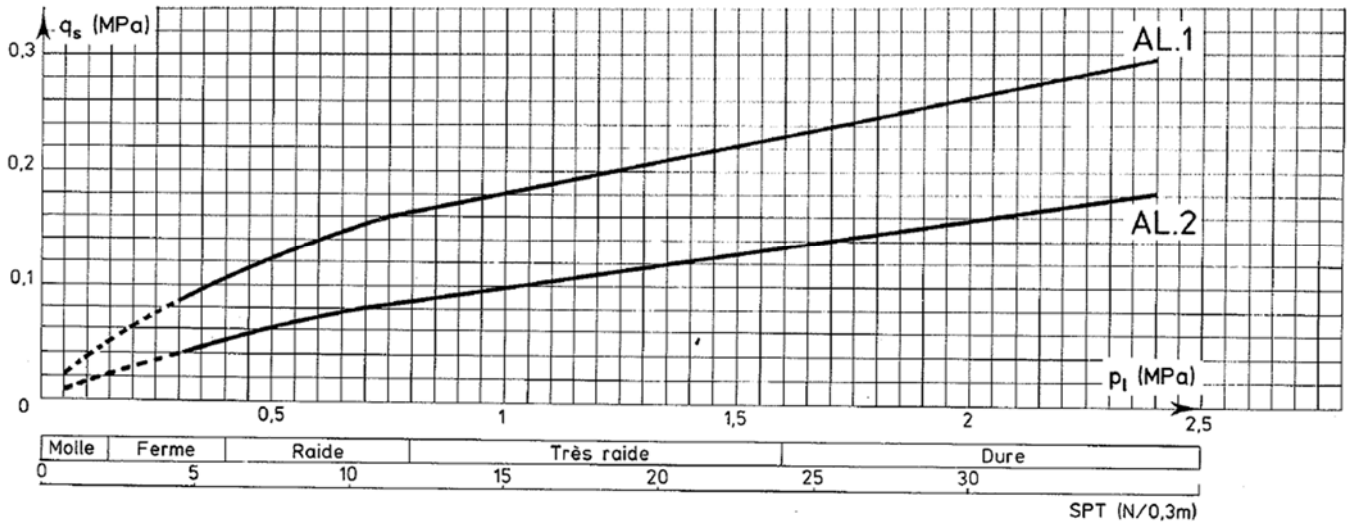


Figura 8-6. Grafici per la valutazione di  $q$ , in argille

Per la valutazione dell'aderenza tangenziale malta-terreno nelle sabbie e ghiaie è stato considerato il grafico relativo alle argille ed in particolare la curva AL.1 relativa a iniezioni multiple e ripetute (I.R.S.). È stato quindi assunto un valore di calcolo di  $\alpha q_s$  pari a 320 kPa che deriva dai seguenti valori:

$$q_s = 190 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 1.7$$

Le lunghezze dei bulbi dovranno essere confermate o modificate a seguito di un adeguato campo prova secondo quanto indicato al par. 6.6.4 delle NTC2018.

la resistenza di progetto allo sfilamento del tirante  $R_{ad}$  è valutata come:

$$R_{ad} = \frac{R_{ak}}{\gamma_{Ra,t}}$$

con:

$\gamma_{ra,t}$  coefficiente parziale per tiranti permanenti assunto pari a 1,2;

$R_{ak}$  resistenza caratteristica allo sfilamento, valutata come:

$$R_{ak} = \frac{R_{calcolo}}{\xi_{a3}}$$

con:

$\xi_{a3}$  fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero di profili d'indagine;

La seguente tabella contiene i dati di progetto e fornisce il valore di  $R_{ad}$  per una lunghezza unitaria del bulbo ( $L=1.0 \text{ m}$ ).

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 37 di 85 |

**Tabella 8-11. Caratteristiche di resistenza dei bulbi**

| $\alpha q_s$<br>(MPa) | D<br>(mm) | $\xi_{sa3}$<br>-- | $\gamma_R$<br>-- | $R_{ak}$<br>(kN/m) | $R_{ad}$<br>(kN/m) |
|-----------------------|-----------|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 0,32                  | 160       | 1,8               | 1,2              | 89,4               | 74,5               |

Assumendo una lunghezza del bulbo pari a  $L_f = 9.00$  m risulta:

$$R_{ad} = 670 \text{ kN}$$

Per la verifica del bulbo di ancoraggio bisogna assicurarsi che:

$$N_{Ed} \leq R_{ad}$$

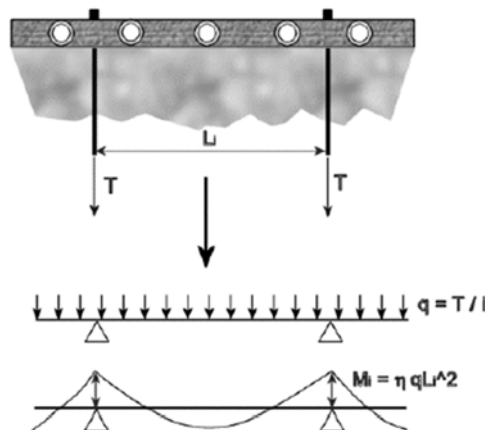
Tale verifica risulta soddisfatta.

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, viene verificato che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero risulta maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento del bulbo di fondazione.

### 8.1.4 Verifica strutturale delle travi di ripartizione dei tiranti

Per la ripartizione sulla paratia dello sforzo assiale agente nei tiranti d'ancoraggio è stata utilizzata una trave composta da una coppia di profilati metallici del tipo HEB 160 (acciaio S275).

La verifica di tali elementi strutturali è stata eseguita secondo lo schema di trave continua su infiniti appoggi, soggetta ad un carico uniforme pari al valore dell'azione del singolo tirante distribuito sulla sua zona di competenza, che è pari all'interasse orizzontale tra i tiranti stessi.



**Figura 8-7. Schema statico adottato per le travi di ripartizione**

Le sollecitazioni massime sulla trave saranno allora valutate come:

$$M = q L^2 / 10;$$

$$V = 0.6 q L;$$

essendo:

$L$  = luce della campata, ovvero interasse tra i tiranti (in questo caso 2.4 m);

|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>38 di 85 |

q = massima reazione del tirante a metro lineare considerando i vari stati limite.

La verifica delle travi di ripartizione in acciaio dei tiranti viene condotta in campo plastico, per gli stati di sforzo piani tipici delle travi, con riferimento al criterio indicato nel par. 4.2.4.1 delle NTC2018.

Nella seguente tabella sono riassunte le massime sollecitazioni agli SLU a cui sono soggette le travi di ripartizione.

**Tabella 8-12. Massime sollecitazioni nella trave di ripartizione**

| ordine | Combinazione | N <sub>ED</sub> | q       | passo | Travi     | M <sub>MAX</sub> | V <sub>MAX</sub> |
|--------|--------------|-----------------|---------|-------|-----------|------------------|------------------|
|        |              | [kN]            | [kN/m]  | [m]   | [-]       | [kNm]            | [kN]             |
| I°     | SLU A1+M1    | 632.7           | 263.625 | 2.4   | 2 HEB 180 | 151.8            | 379.6            |
| II°    | SLU A1+M1    | 666.9           | 277.875 | 2.4   | 2 HEB 180 | 160.1            | 400.1            |

Adottando due profili accoppiati su ciascun profilo agirà:

$$M_{Ed} = \frac{M_{max}}{2}; \quad V_{Ed} = \frac{V_{max}}{2}$$

Il valore del momento plastico resistente è calcolato come:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1 (essendo } \gamma_{M0} \text{ pari a 1.05)}$$

Se il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  bisogna tener conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

$$\text{Posto } \rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

la resistenza a flessione si determina assumendo per l'area resistente a taglio  $A_v$  la tensione di snervamento ridotta  $(1-\rho) \cdot f_{yk}$ .

Il valore del taglio resistente è quindi calcolato come:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad \text{dove } A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \quad \text{per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima.}$$

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle analisi precedentemente illustrate considerando come trave di ripartizione dei tiranti una coppia di profilati HEB 180. Le verifiche risultano soddisfatte.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 39 di 85 |

**Tabella 8-13. Verifica allo SLU delle travi di ripartizione dei tiranti composte da profilati HEB 180**

|                                |                 |       |
|--------------------------------|-----------------|-------|
| Forza nei tiranti (A1+M1+R1)   | $N_{Ed}$ [kN]   | 666.9 |
| Interasse tiranti              | $i$ [m]         | 2.4   |
| Carico distribuito sulla trave | $q$ [kN/m]      | 277.9 |
| Momento flettente massimo      | $M_{max}$ [kNm] | 160.1 |
| Taglio massimo                 | $V_{max}$ [kN]  | 400.1 |

**NTC - DM 14 GENNAIO 2008 - Verifica plastica SLU di profilati Classe 1 o 2**

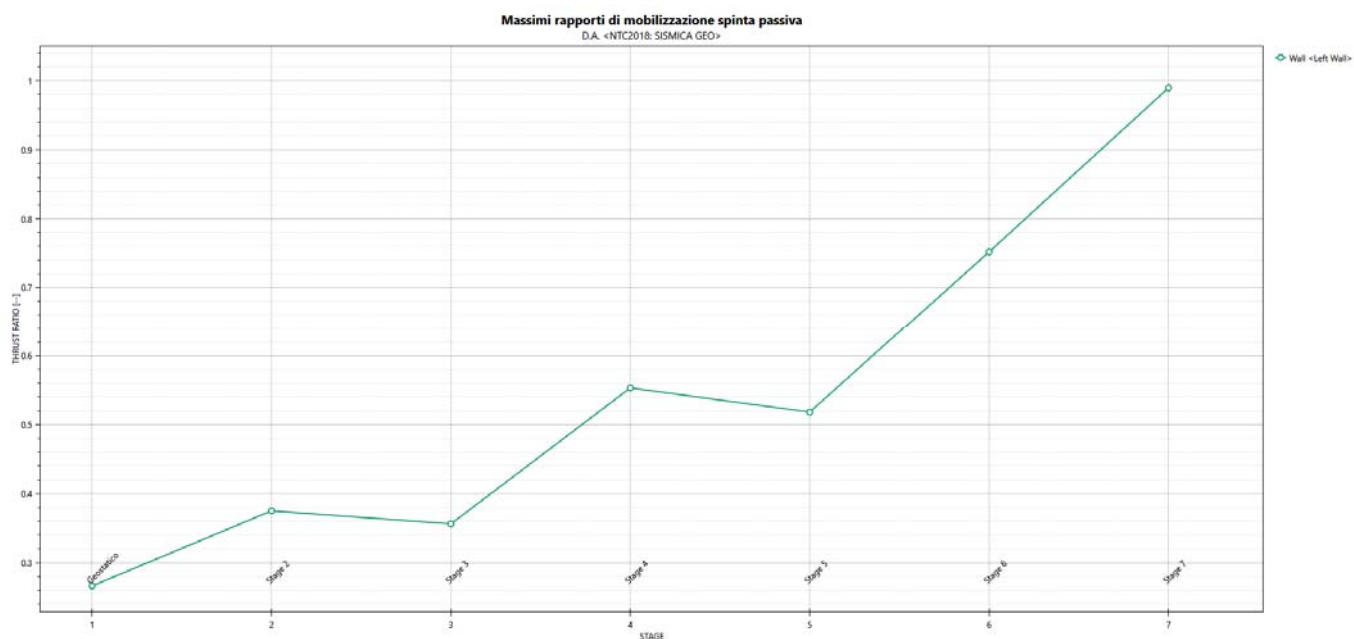
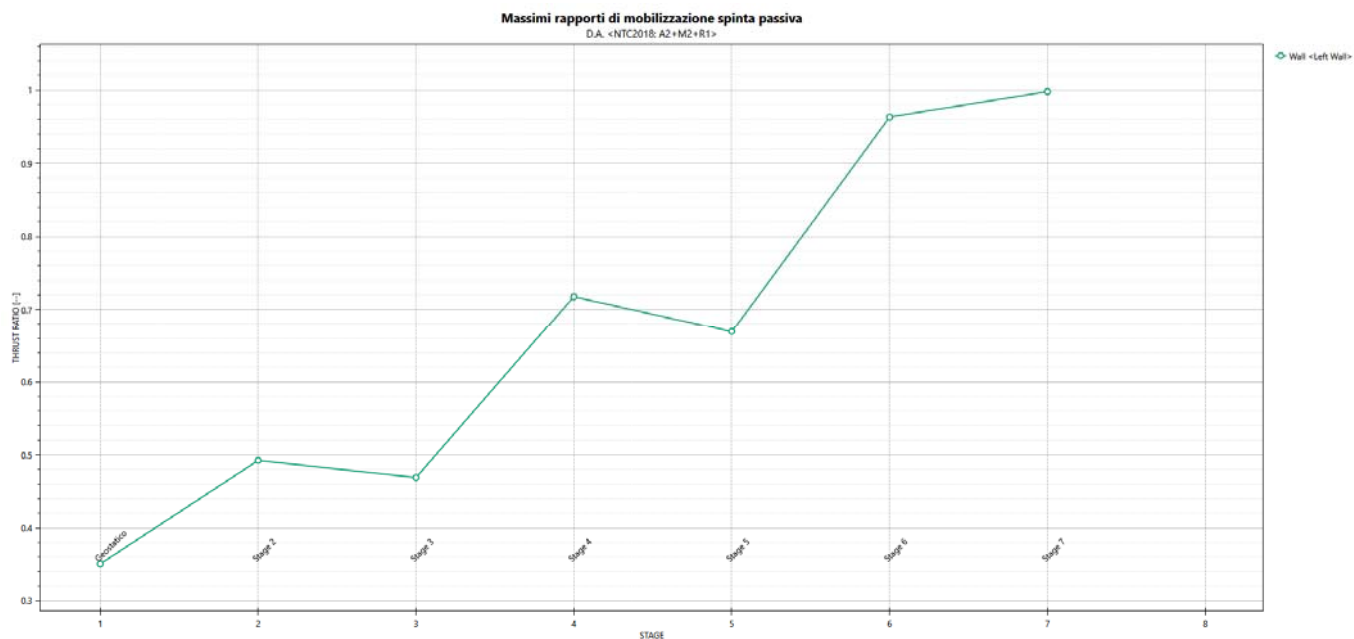
| Materiale                     |                            |          | Azioni di calcolo (A1+M1+R1)           |                     |        |
|-------------------------------|----------------------------|----------|--|---------------------|--------|
| Classe acciaio                | [-]                        | S275     | Taglio                                 | $V_{Ed}$ [kN]       | 400.1  |
| Coefficiente sicurezza        | $\gamma_{Mo}$ [-]          | 1.05     | Momento flettente                      | $M_{Ed}$ [kNm]      | 160.1  |
| Tensione snervamento          | $f_{yk}$ [MPa]             | 275      | Numero profilati                       | $n$ [-]             | 2.00   |
| Tensione di calcolo           | $f_{yd}$ [MPa]             | 262      | Azioni di progetto sulla singola trave |                     |        |
| Sezione                       |                            |          | Taglio                                 | $V_{Ed}$ [kN]       | 200.1  |
| Tipo profilato                | [-]                        | HEB180   | Momento flettente                      | $M_{Ed}$ [kNm]      | 80.0   |
| Area                          | [cm <sup>2</sup> ]         | 65.25    | Effetto delle azioni combinate         |                     |        |
| $b$                           | [mm]                       | 180      | $V_{Ed}/V_{Rd}$                        | [-]                 | 0.654  |
| $h$                           | [mm]                       | 180      | $\rho$                                 | [-]                 | 0.09   |
| $tw$                          | [mm]                       | 8.5      | Momento flettente ridotto $V$          | $M_{pl,Rd,V}$ [kNm] | 114.16 |
| $tf$                          | [mm]                       | 14       | Verifiche                              |                     |        |
| $r$                           | [mm]                       | 15       | Taglio $V_{pl,Rd} > V_{Ed}$            | OK                  |        |
| Modulo di resistenza elastico | $W_{el}$ [m <sup>3</sup> ] | 4.26E-04 | Momento flettente $M_{pl,Rd} > M_{Ed}$ | OK                  |        |
| Modulo di resistenza plastico | $W_{pl}$ [m <sup>3</sup> ] | 4.81E-04 |  |                     |        |
| Area resistente taglio        | $A_v$ [m <sup>2</sup> ]    | 2.02E-03 |  |                     |        |
| Resistenze di progetto        |                            |          |  |                     |        |
| Sforzo normale                | $N_{pl,Rd}$ [kN]           | 1708.9   |  |                     |        |
| Taglio                        | $V_{pl,Rd}$ [kN]           | 306.1    |  |                     |        |
| Momento flettente             | $M_{pl,Rd}$ [kNm]          | 126.1    |  |                     |        |

### 8.1.5 Verifiche geotecniche

La verifica del complesso opera-terreno risulta soddisfatta in quanto in ogni momento la spinta mobilitata risulta inferiore della spinta disponibile.

Nella seguente figura sono riportati i rapporti tra le spinte mobilitate e disponibili per i vari stage di calcolo.

|   |  |             |                     |                         |           |                    |
|---|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>40 di 85 |



**Figura 8-8. Andamento del rapporto tra le spinte mobilitate e disponibili per i vari stage di calcolo**

Di seguito è riportata l'analisi di stabilità globale del fronte di scavo eseguita con il metodo di Bishop. Le analisi sono state svolte con la combinazione A2+M2 e SLV GEO.

Le azioni sismiche nell'analisi pseudostatica sono schematizzate attraverso i coefficienti sismici:

$$k_h = \beta_s \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$



|  |  |                    |                            |                                |  |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| APPALTATORE:<br>Conorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |  |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF<br/>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |  |
| PROGETTO ESECUTIVO<br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.              FOGLIO<br><b>D                      41 di 85</b> |

Dove:

$$\beta_s = 0.38$$

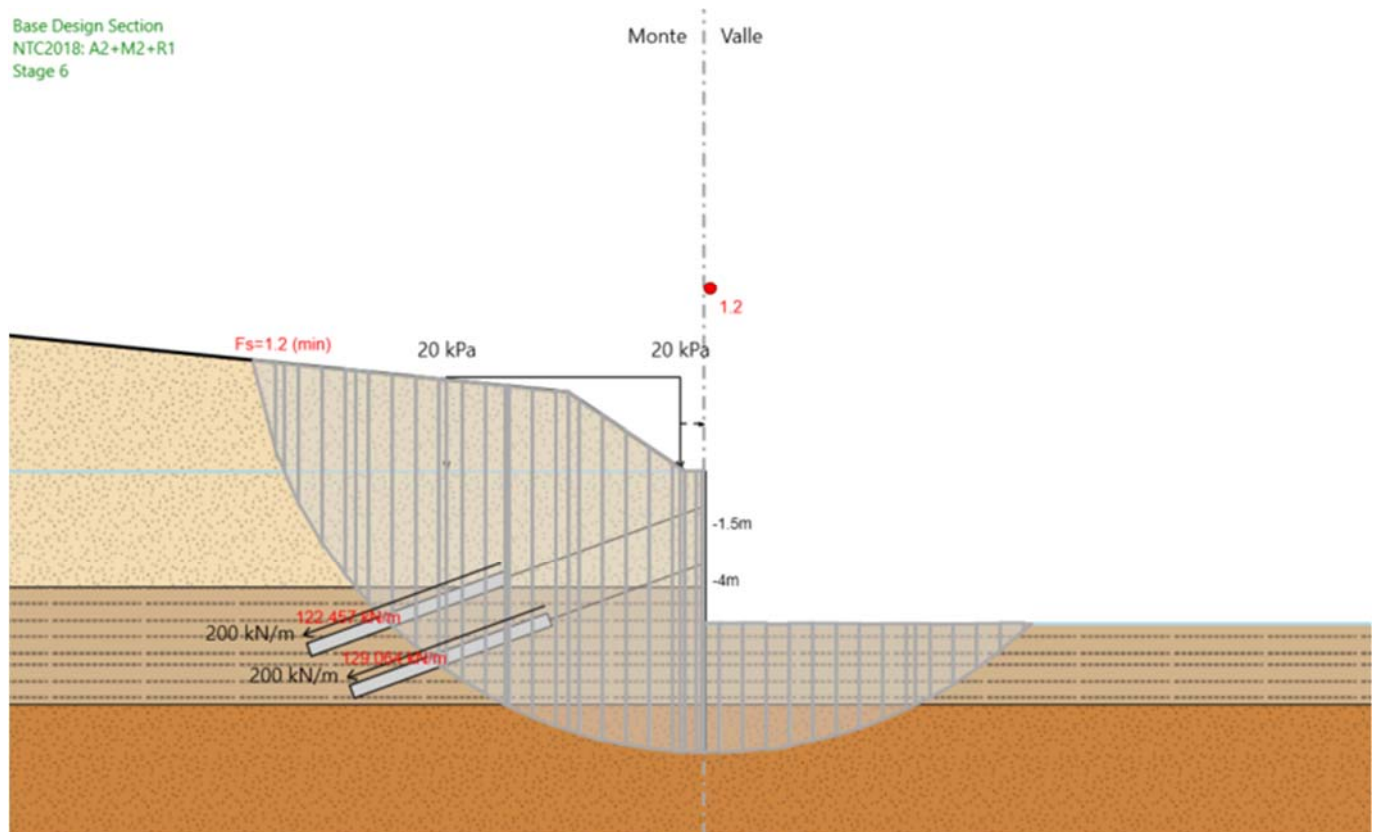
$$a_{max} = 0.263$$

I coefficienti di sicurezza ricavati nelle analisi sono riportati in Tabella 8-14, le verifiche risultano soddisfatte in quanto maggiori di 1.1.

**Tabella 8-14. Coefficienti di sicurezza ricavati dalle analisi di stabilità globale del fronte di scavo**

| Combinazione | FS    | Fslim |
|--------------|-------|-------|
| A2+M2        | 1,200 | 1,1   |
| SLV GEO +    | 1,204 | 1,2   |
| SLV GEO -    | 1,243 | 1,2   |

Nelle seguenti figure si riportano le immagini delle superfici critiche valutate per le combinazioni di calcolo A2+M2 e SLV GEO.



**Figura 8-9. Verifica di stabilità globale del fronte di scavo, combinazione A2+M2**

|  |  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             |  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA |  | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  |  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 42 di 85 |

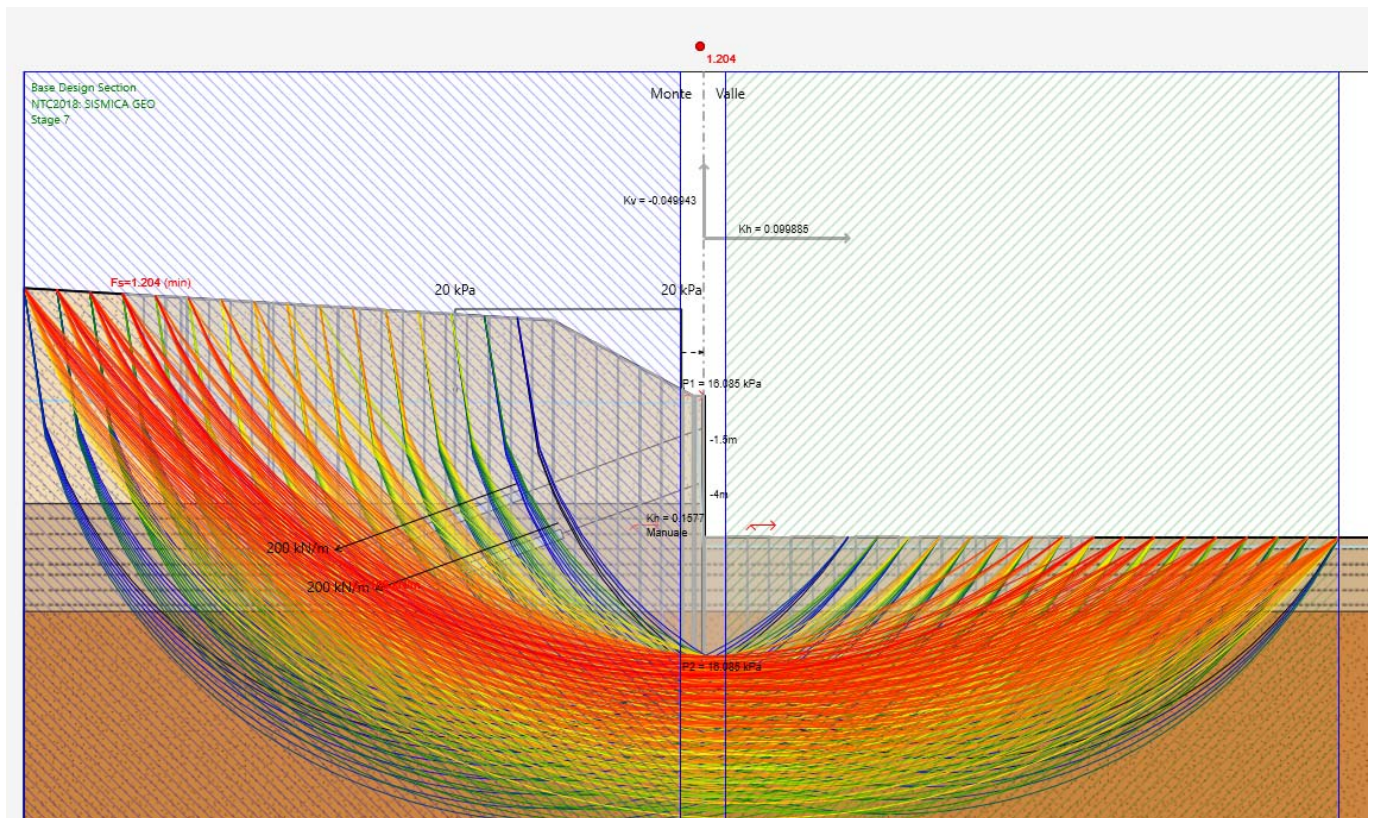
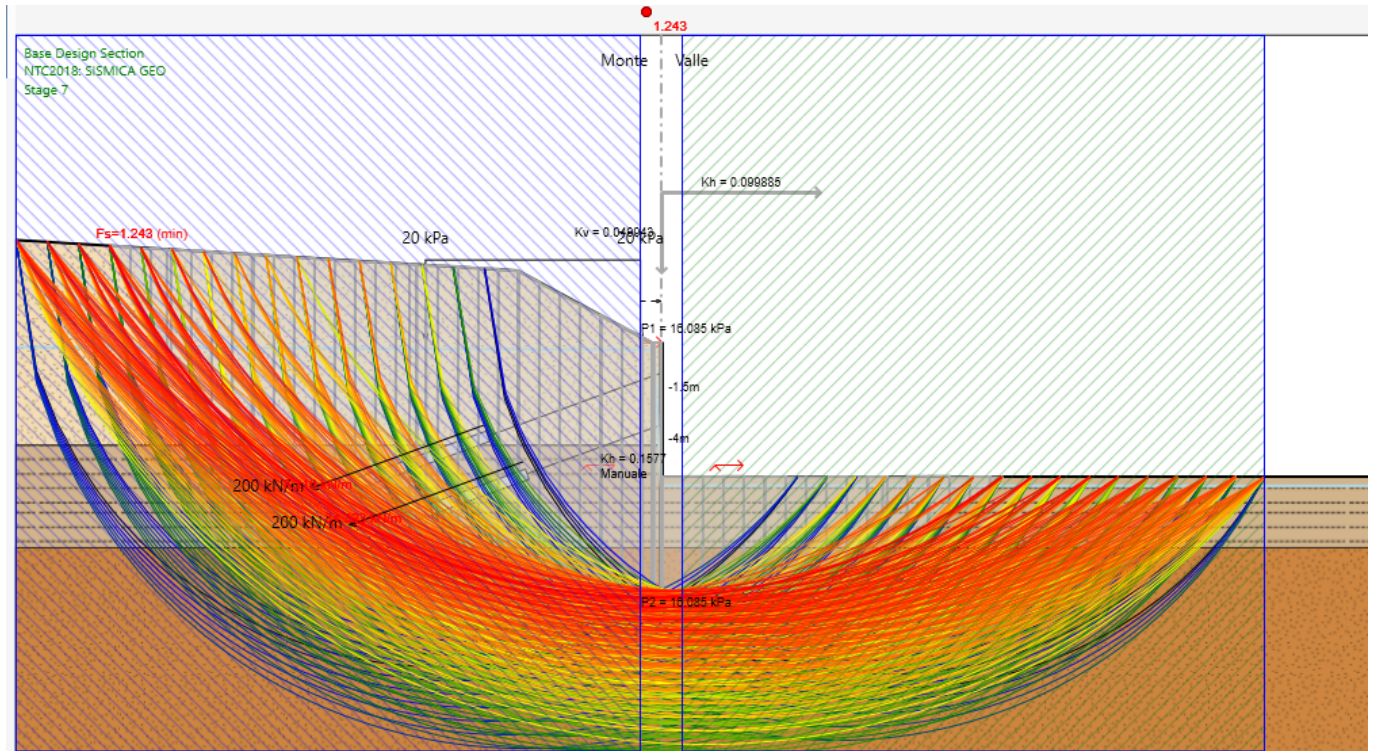


Figura 8-10. Verifica di stabilità globale del fronte di scavo, combinazione SLV GEO

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 43 di 85 |

### 8.1.6 Deformazioni

Le deformazioni in fase realizzativa e in esercizio dell'opera sono state valutate con la combinazione SLE. Nelle seguenti figure sono riportati gli spostamenti massimi per ogni stage di calcolo e l'involuppo complessivo degli spostamenti. Lo spostamento massimo risulta di circa 15 mm.

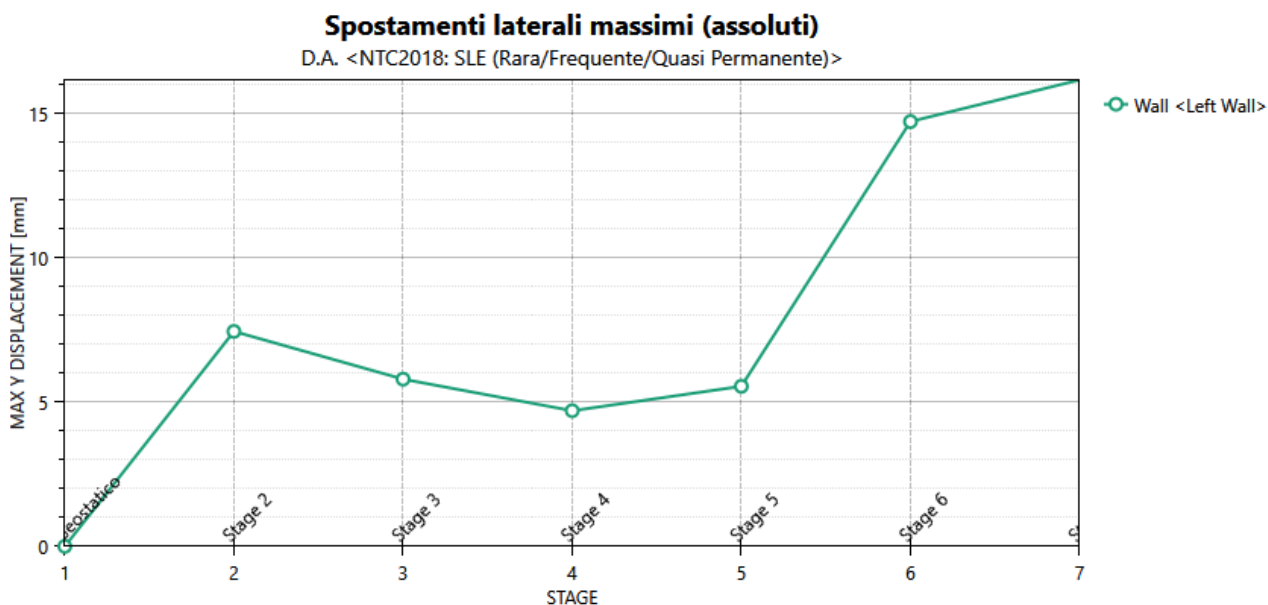


Figura 8-11. Spostamenti massimi della paratia in condizioni SLE

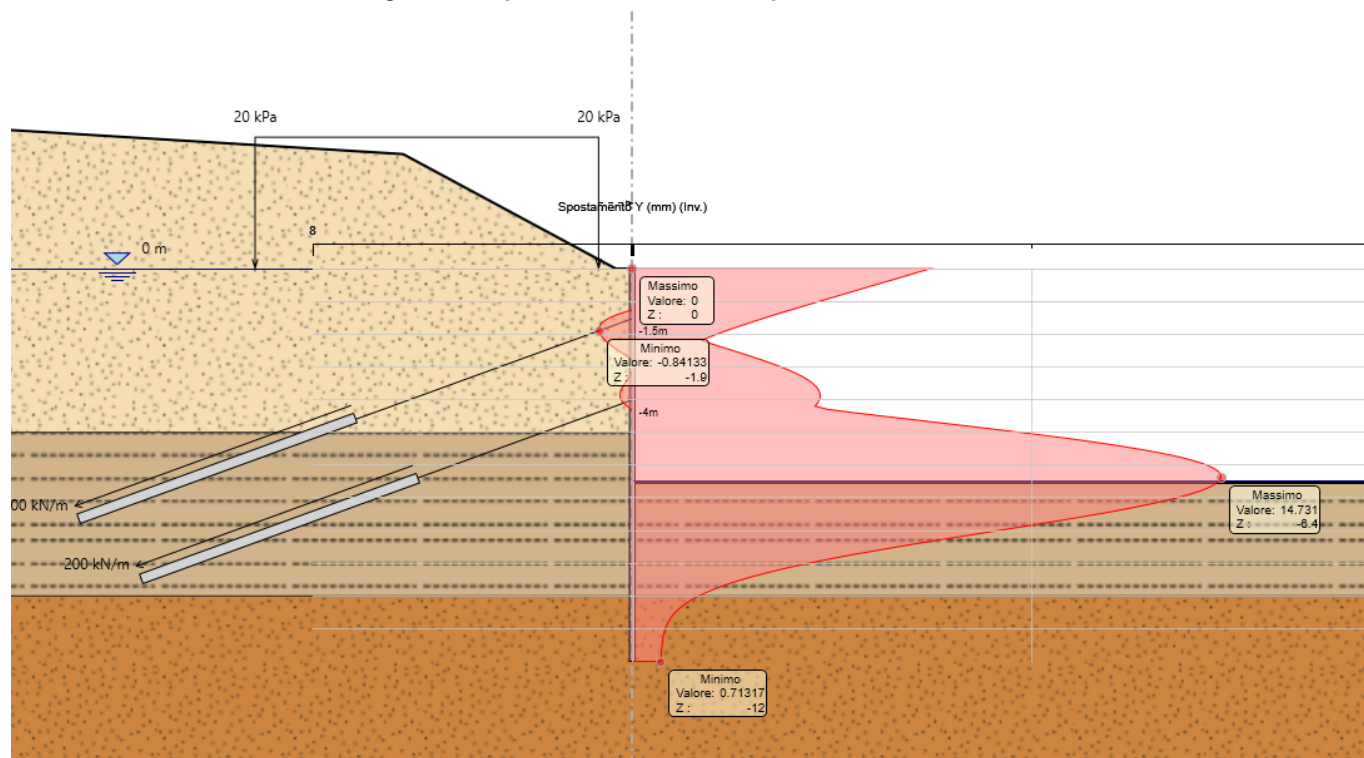


Figura 8-12. Involuppo degli spostamenti della paratia in condizioni SLE

|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>44 di 85</b> |

## 8.2 SEZIONE DI CALCOLO 2 – PARATIA CON UN ORDINE DI TIRANTI

Sono di seguito riportate le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

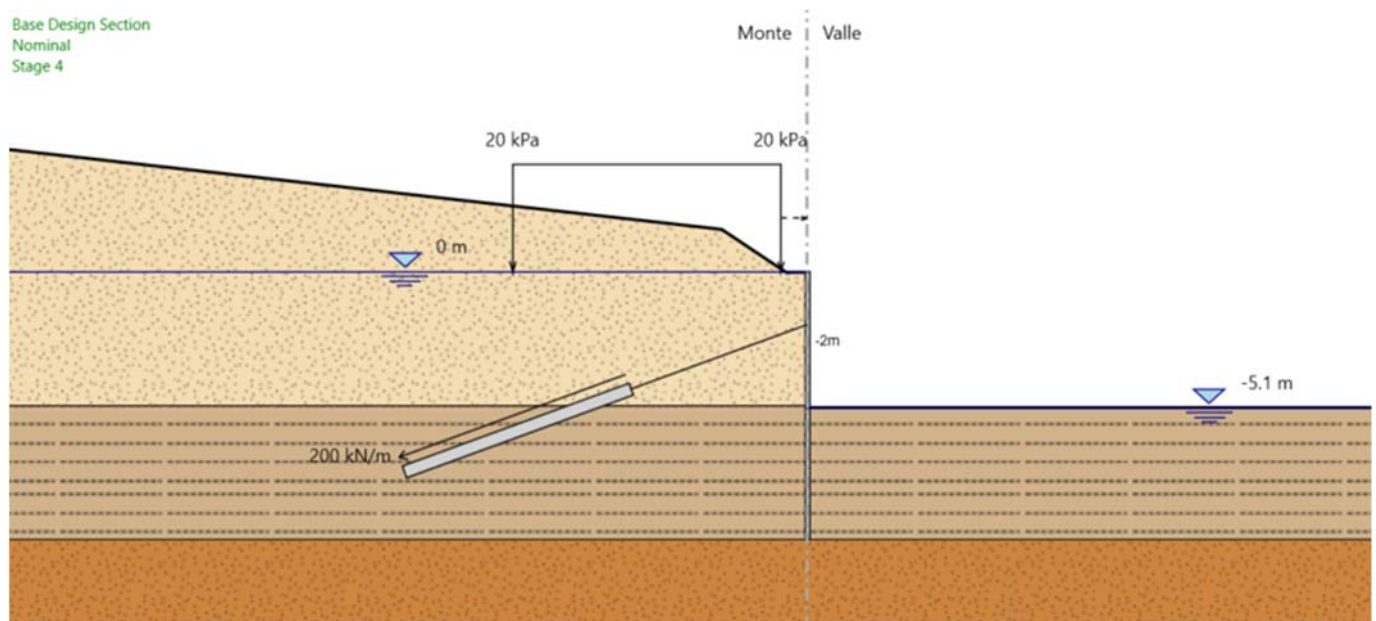


Figura 8-13. Sezione di verifica per la paratia con un ordine di tiranti

Si presentano di seguito le caratteristiche geometriche della struttura, i sovraccarichi a tergo, i parametri geotecnici e i coefficienti di spinta utilizzati nei calcoli.

La verifica è stata eseguita in corrispondenza della massima altezza di scavo pari a 4.75 m incrementata del 10% della differenza di quota tra il livello inferiore di tiranti ed il fondo scavo, come previsto dal paragrafo 6.5.2.2 delle NTC 2018. Nelle analisi si è considerato il pendio a monte della paratia ed il sovraccarico dovuto all'eventuale presenza di mezzi/lavorazioni di cantiere assunto pari a 20 kPa ed applicato subito a monte della paratia.

La posizione della falda è assunta a favore di sicurezza alla quota di testa paratia.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 45 di 85 |

**Tabella 8-15. Caratteristiche della struttura e sovraccarichi**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Tipologia                           | Micropali $\phi$ 168.3 mm spessore 12.5 mm passo 0.4 m |
| Altezza totale paratia              | 10 m   |
| Altezza di scavo paratia            | 4.75 m + 0.1*3.26 m = 5.1 m                            |
| Ordini di tiranti                   | 1  |
| Passo orizzontale tiranti           | 2.4 m  |
| Inclinazione piano campagna a monte | Terreno naturale <10°                                  |
| Inclinazione piano campagna a valle | -  |
| Sovraccarichi permanenti a monte    | Terreno in sito  |
| Sovraccarichi permanenti a valle    | -  |
| Sovraccarichi variabili a monte     | Mezzi/lavorazioni di cantiere q=20kPa                  |
| Sovraccarichi variabili a valle     | -  |

**Tabella 8-16. Parametri geotecnici caratteristici**

| Terreno<br>(m da p.c.) | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $c_k$<br>[kPa] | $\phi_k$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | $E'$<br>[MPa] | $E'_{ur}$<br>[MPa] | $K_a$<br>M1 (M2) | $K_p$<br>M1 (M2) |
|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|
| 0-5                    | 20                               | 15             | 23              | 15,18           | 30            | 48                 | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |
| 5-10                   | 20                               | 15             | 23              | 15,18           | 50            | 80                 | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |
| >10                    | 20                               | 20             | 23              | 15,18           | 80            | 128                | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume

$c_k$  = coesione efficace caratteristica

$\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio caratteristico

$\delta$  = angolo di attrito struttura-terreno

$E'$  = modulo di Young

$E'_{ur}$  = modulo di Young scarico-ricarico

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva

|  |  |             |                     |                         |                              |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|------------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                              |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                              |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. D<br>FOGLIO<br>46 di 85 |

Tabella 8-17. Parametri per il calcolo dell'azione sismica

| Condizione | Categoria<br>sottosuolo<br>[-] | Categoria<br>topografica<br>[-] | $a_g/g$<br>[-] | S<br>[-] | $a_{max}/g$<br>[-] | $\alpha$<br>[-] | $U_s$<br>[m] | $\beta$<br>[-] | $K_h$<br>[-] |
|------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|
| SLV        | B                              | T1                              | 0,22           | 1,1948   | 0,2629             | 1               | 0,05         | 0,6125         | 0,161        |

dove:

$\alpha$  = coefficiente di deformabilità (fig. 7.11.2 NTC2018)

$U_s$  = spostamento ammissibile

$\beta$  = coefficiente di spostamento (fig. 7.11.3 NTC 2018)

$K_h$  = coefficiente sismico

Da cui si evincono i coefficienti di spinta sismici.

Tabella 8-18. Coefficienti di spinta in fase sismica

| Terreno<br>(m da<br>p.c.) | $\phi_k$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | $K_{ah}$ | $K_{ph}$ |
|---------------------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| 0-5                       | 23              | 15,18           | 0,513    | 1,976    |
| 05-ott                    | 23              | 15,18           | 0,513    | 1,976    |
| >10                       | 23              | 15,18           | 0,513    | 1,976    |

dove:  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume  
 $c_k$  = coesione efficace caratteristica  
 $\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio caratteristico  
 $\delta$  = angolo di attrito struttuta-terreno  
 $E'$  = modulo di Young  
 $E'_{ur}$  = modulo di Young scarico-ricarico  
 $K_{ah}$  = coefficiente di spinta attiva  
 $K_{ph}$  = coefficiente di spinta passiva (si assume  $\delta=0$ )

Mentre la spinta distribuita è pari a:

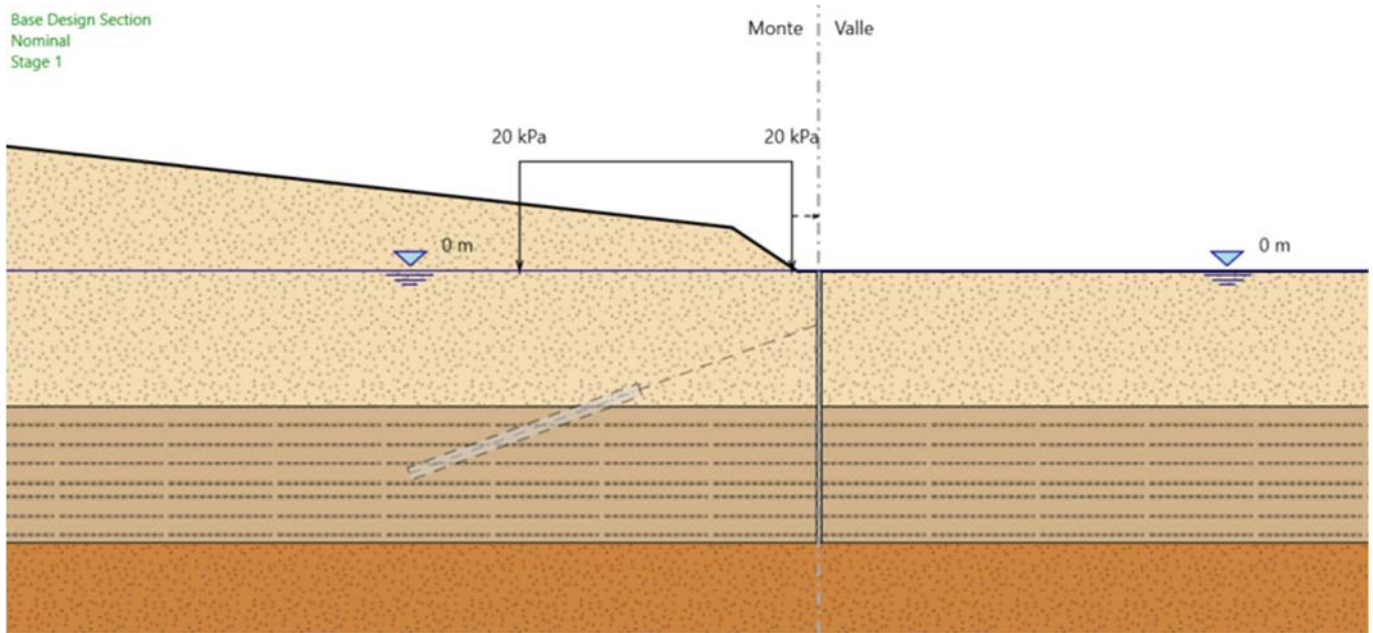
Tabella 8-19. Spinta sismica distribuita

| H [m] | $K_a$ | $K_{ah}$ | $\Delta S_E$ [kPa] |
|-------|-------|----------|--------------------|
| 10    | 0.376 | 0.513    | 13.7               |

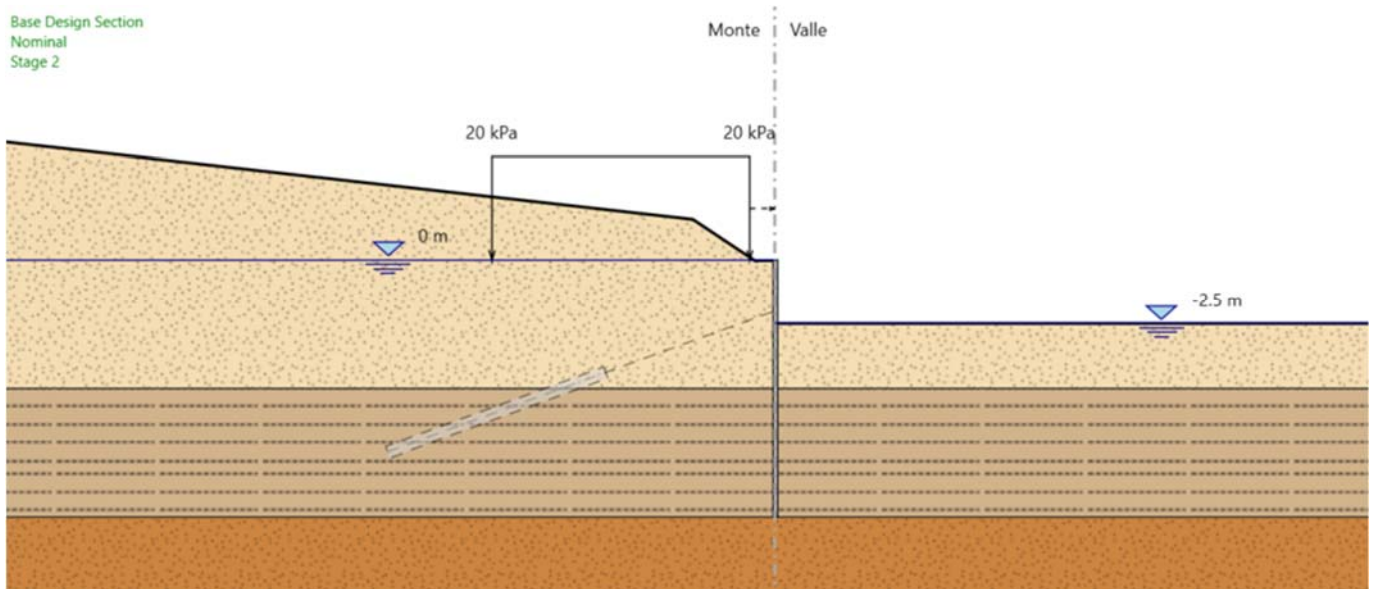
|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>47 di 85</b> |

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

fase 1 – Step geostatico in cui risultano già eseguiti i micropali ed applicato il carico di cantiere a monte della paratia

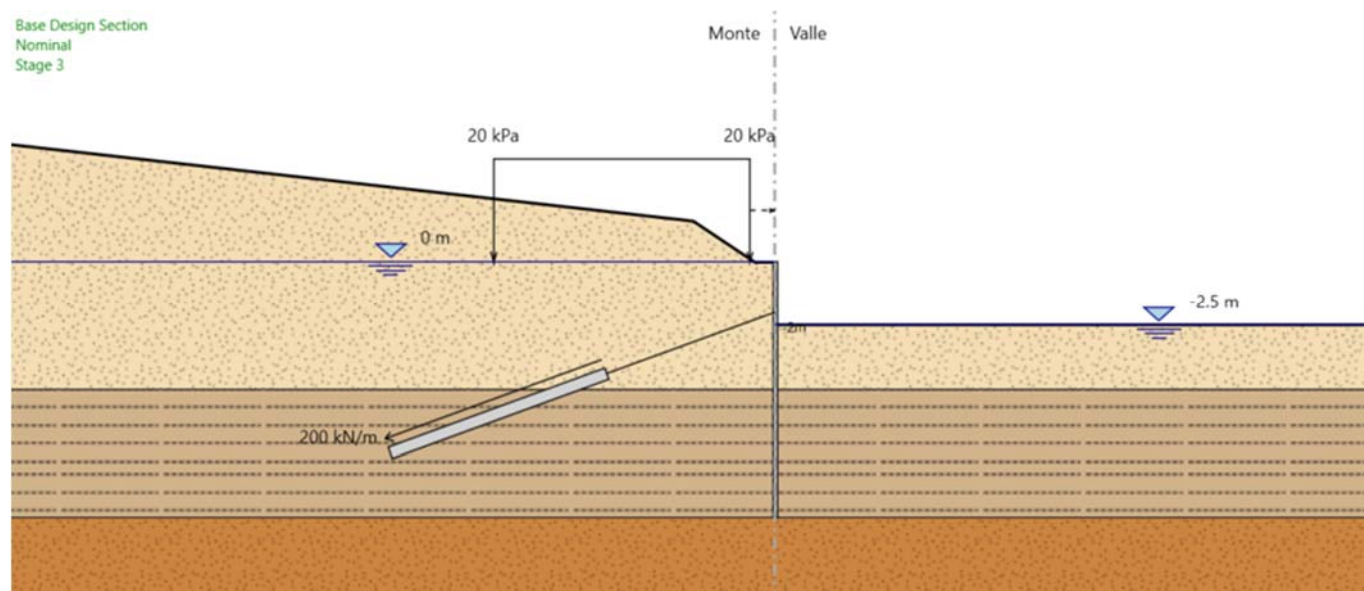


Fase 2 – Scavo di sbancamento fino a circa -2.5 m da testa paratia

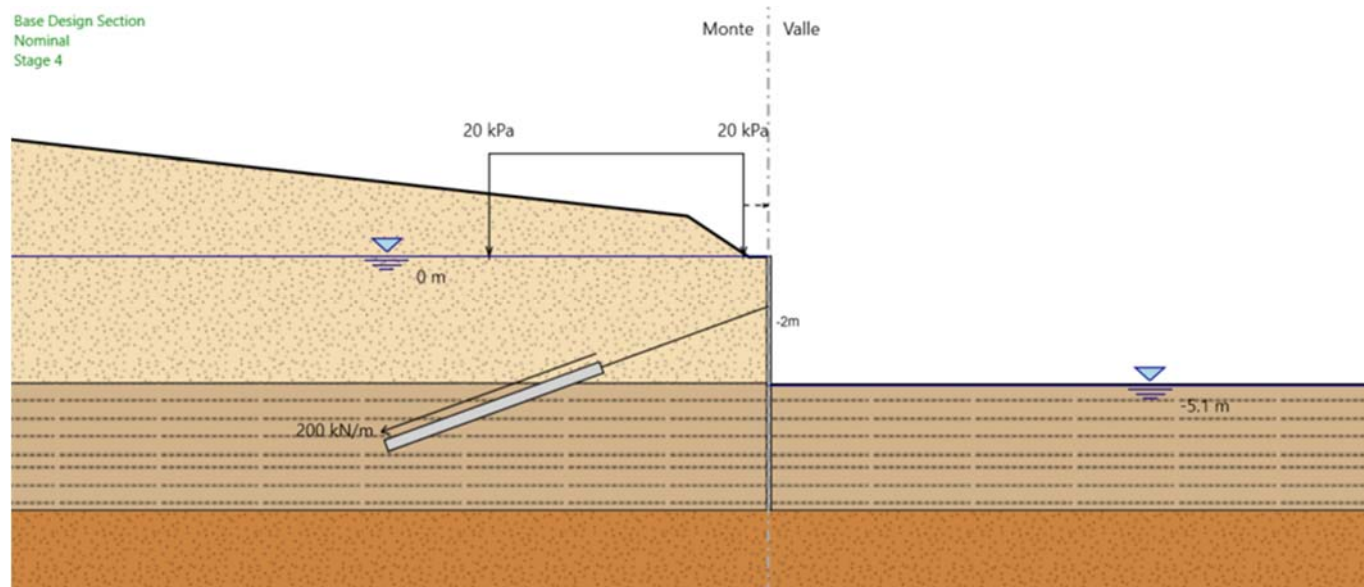


|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>48 di 85</b> |

Fase 3 – installazione dei tiranti a -2 m da testa paratia



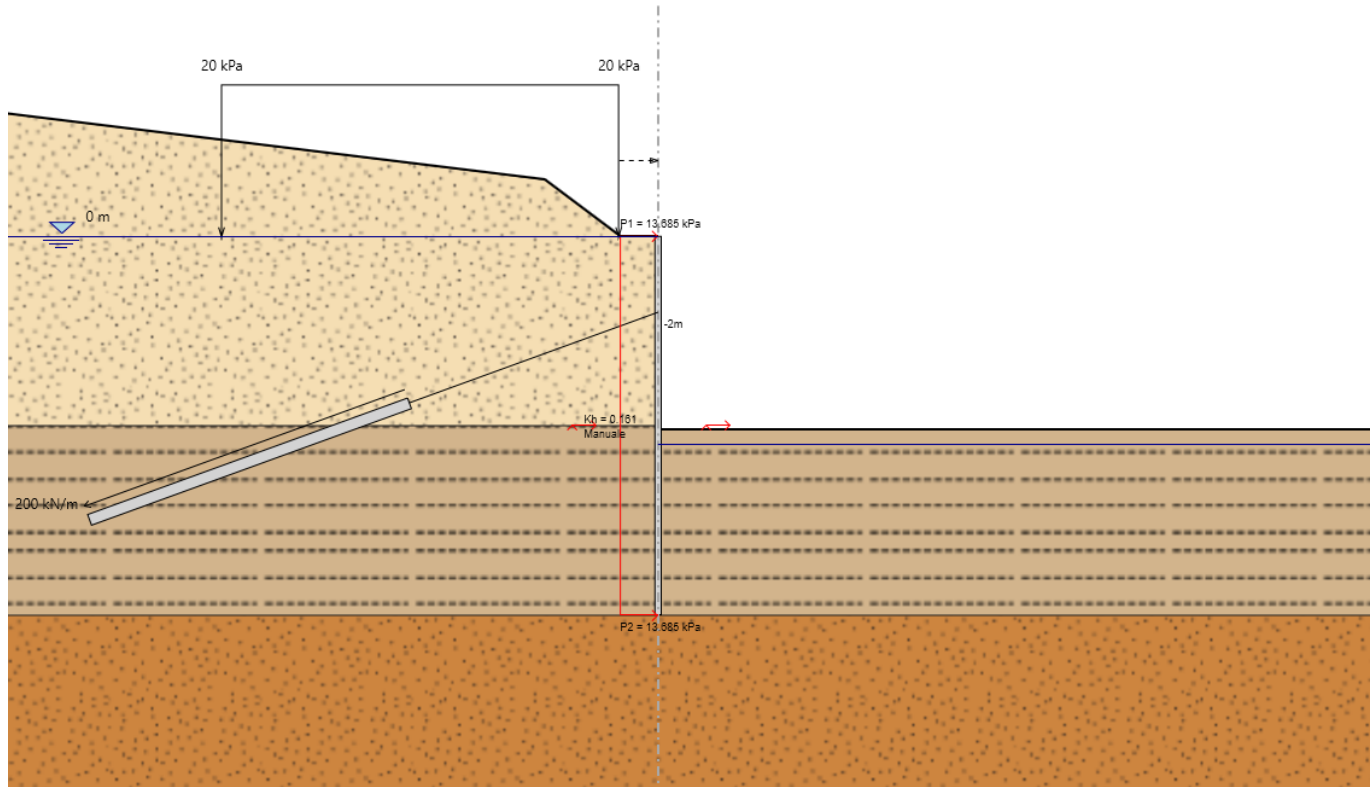
Fase 4 - Scavo di sbancamento fino alla quota di fondo scavo (-5.1 m da testa paratia)





|  |  |                    |                            |                                |  |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |  |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |  |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.                      FOGLIO<br><b>D                              49 di 85</b> |

### Fase 5 – Applicazione del carico sismico



|  |  |             |                     |                         |   |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---|
| APPALTATORE:<br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA    PIZZAROTTI   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |   |
| PROGETTAZIONE:<br><u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u><br>ROCKSOIL S.P.A            NET ENGINEERING    PINI    GCF<br>ELETTRI-FER            M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |   |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.      FOGLIO<br>D            50 di 85 |

### 8.2.1 Verifiche strutturali dei micropali

Si riportano di seguito i grafici del momento flettente e del taglio nella combinazione SLU A1+M1 e SLV STR per le diverse fasi di calcolo e successivamente le relative verifiche sugli elementi strutturali.

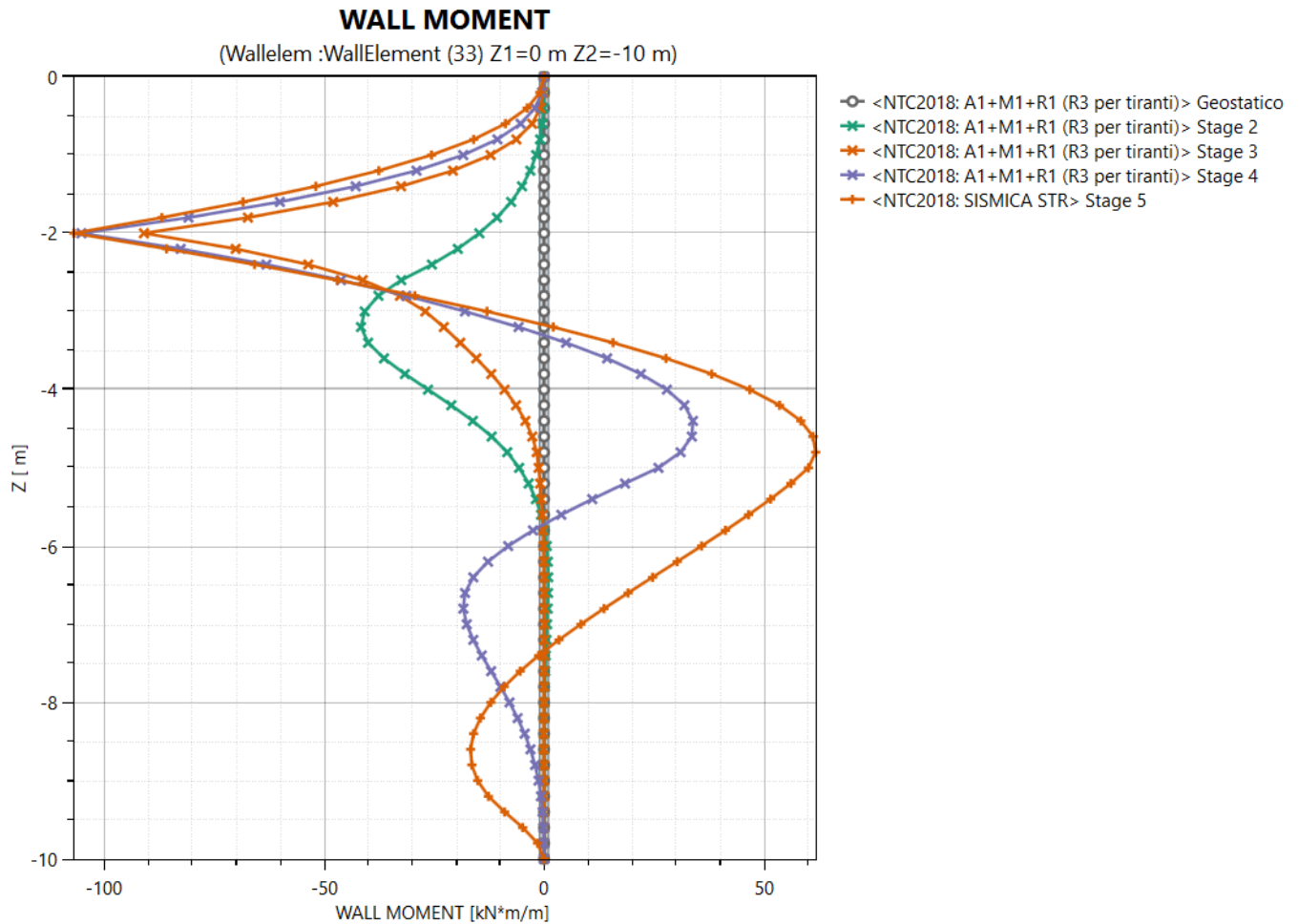
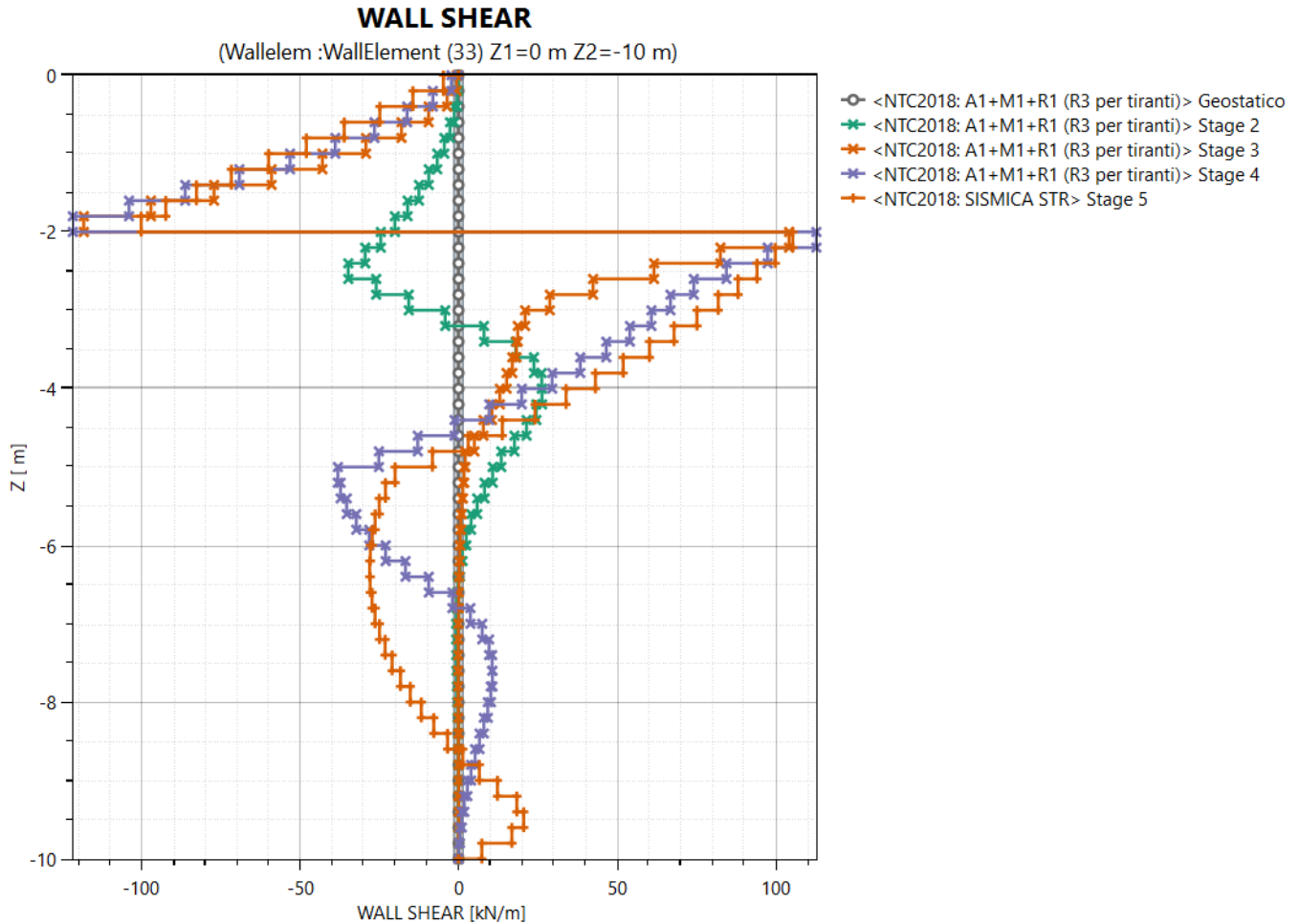


Figura 8-14. Andamento del momento flettente per le combinazioni SLU A1+M1 e SLV STR per i vari stage di calcolo

|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA    PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>51 di 85</b> |



**Figura 8-15. Andamento del taglio per le combinazioni SLU A1+M1 e SLV STR per i vari stage di calcolo**

Nella seguente tabella sono riportate le verifiche eseguite per i micropali della paratia considerando unicamente la resistenza dell'acciaio costituente la sezione del palo.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 52 di 85 |

Tabella 8-20. Verifica allo SLU dei micropali della paratia

| NTC - DM 2018 - Verifica plastica SLU di sezioni tubolari Classe 1 o 2 |                            |          |
|--|----------------------------|----------|
| <b>Materiale</b>   |                            |          |
| Classe acciaio   | [-]                        | S355     |
| Coefficiente sicurezza   | $\gamma_{M0}$ [-]          | 1.05     |
| Tensione snervamento   | $f_{yk}$ [MPa]             | 355      |
| Tensione di calcolo  | $f_{yd}$ [MPa]             | 338      |
| <b>Sezione</b>   |                            |          |
| Diametro esterno   | D [mm]                     | 168.30   |
| Spessore   | s [mm]                     | 12.50    |
| Diametro interno   | d [mm]                     | 143.30   |
| Area   | A [m <sup>2</sup> ]        | 6.12E-03 |
| Modulo di inerzia  | J [m <sup>4</sup> ]        | 1.87E-05 |
| Raggio di inerzia  | $\rho$ [m]                 | 5.53E-02 |
| Modulo di resistenza elastico  | $W_{el}$ [m <sup>3</sup> ] | 2.22E-04 |
| Modulo di resistenza plastico  | $W_{pl}$ [m <sup>3</sup> ] | 3.04E-04 |
| Area resistente taglio   | $A_v$ [m <sup>2</sup> ]    | 3.90E-03 |
| <b>Resistenze di progetto</b>  |                            |          |
| Sforzo normale   | $N_{pl,Rd}$ [kN]           | 2068.6   |
| Taglio   | $V_{pl,Rd}$ [kN]           | 760.3    |
| Momento flettente  | $M_{pl,Rd}$ [kNm]          | 102.8    |
| <b>Azioni di calcolo (A1+M1+R1)</b>                                    |                            |          |
| Sforzo normale   | $N_{Ed}$ [kN/m]            | 0.0      |
| Taglio   | $V_{Ed}$ [kN/m]            | 121.7    |
| Momento flettente  | $M_{Ed}$ [kNm/m]           | 106.9    |
| Interasse micropali  | i [m]                      | 0.40     |
| <b>Azioni di progetto</b>  |                            |          |
| Sforzo normale   | $N_{Ed}$ [kN]              | 0.0      |
| Taglio   | $V_{Ed}$ [kN]              | 48.7     |
| Momento flettente  | $M_{Ed}$ [kNm]             | 42.8     |
| <b>Effetto delle azioni combinate</b>                                  |                            |          |
| $V_{Ed}/V_{Rd}$  | [-]                        | 0.064    |
| $\rho$   | [-]                        | 1.00     |
| n  | [-]                        | 0.00     |
| Momento flettente ridotto V  | $M_{pl,Rd,V}$ [kNm]        | 102.81   |
| Momento flettente ridotto V N  | $M_{pl,Rd,V,N}$ [kNm]      | 102.81   |
| <b>Verifiche</b>   |                            |          |
| Sforzo normale   |                            | OK       |
| Taglio   |                            | OK       |
| Momento flettente  |                            | OK       |

Per tutte le combinazioni di carico le verifiche risultano soddisfatte in quanto  $MR_d > MEd$  e  $VR_d > VEd$ .

## 8.2.2 Verifiche strutturali sui tiranti

Le opere di contrasto previste per la paratia sono composte dai seguenti interventi:

Tabella 8-21. Elementi di contrasto della paratia

| Ordine tiranti | Posizione [m da p.c.] | Trefoli [n] | Passo orizzontale [m] | Lungh. libera [m] | Lungh. ancoraggio [m] | Diametro perforazione [mm] | Trave di ripartizione |
|----------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| I°             | -2                    | 4           | 2,4                   | 7                 | 9                     | 160                        | 2 HEB 180             |

Il pretiro previsto per ogni tirante è pari a 480 kN. Affinché i tiranti di ancoraggio assolvano al meglio la loro funzione statica di sostegno della parete, è opportuno che il bulbo di fondazione si trovi completamente all'esterno del cuneo di spinta attiva che può nascere a tergo della paratia durante le fasi di costruzione e di esercizio dell'opera.

La geometria del cuneo di spinta attiva nel caso delle paratie multiancorate può essere determinata secondo vari criteri, nel seguito si fa riferimento allo schema secondo cui il cuneo di spinta è delimitato da una retta inclinata sull'orizzontale di un angolo pari a  $(\pi/4 + \varphi/2)$ , traslata verso monte rispetto al punto di nullo del momento flettente di una lunghezza pari a  $0.15 h$  (con  $h$ = altezza dello scavo di sbancamento). La lunghezza libera è inoltre

|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>53 di 85</b> |

comprensiva dell'incremento necessario per tenere in conto delle condizioni sismiche, tale incremento è stato valutato secondo la formula 7.11.12 proposta nelle NTC2018.

La seguente figura rappresenta graficamente il criterio geometrico adottato per la determinazione del valore minimo del tratto libero d'ancoraggio.

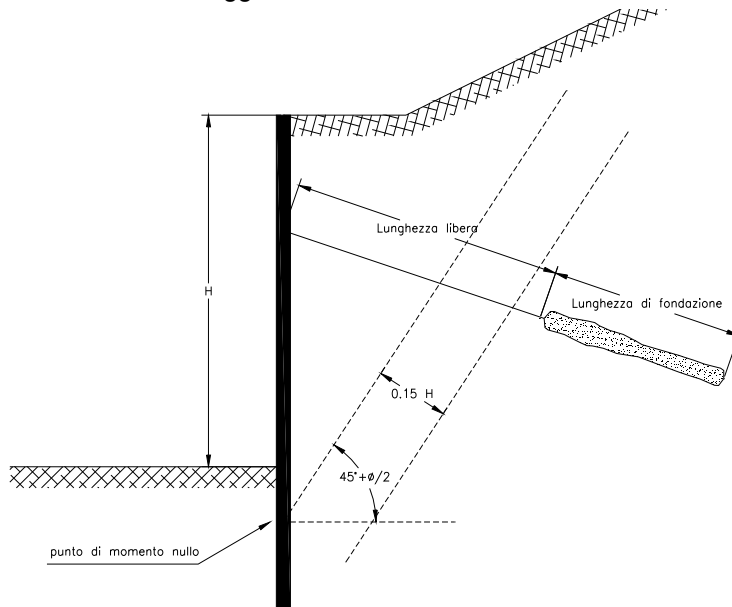


Figura 8-16. Criterio per la determinazione del tratto libero d'ancoraggio dei tiranti

Le azioni sui tiranti, ricavate da analisi con combinazioni A1+M1 e Sisma STR, sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 8-22. Azioni sui tiranti

| Combinazione | $N_{ED}$ [kN]<br>(I ORDINE) |
|--------------|-----------------------------|
| SLU A1+M1    | 642,5                       |
| SLV SIS STR  | 538,4                       |

In Tabella 8-9 è riportato il tiro massimo a SLU per un singolo trefolo del tirante.

Tabella 8-23. Caratteristiche di resistenza dei trefoli

|                          |      |                    |           |             |            | SLU      | massimo tiro SLU |
|--------------------------|------|--------------------|-----------|-------------|------------|----------|------------------|
| Singolo trefolo a 7 fili |      | Sezione            | $f_{ptk}$ | $f_{p(1)k}$ | $\gamma_s$ | $f_{yd}$ | $N_{SLU}$        |
| Diametro nominale        | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | (MPa)     | (MPa)       | --         | (MPa)    | (kN)             |
| Φ 0.6"                   | 15.2 | 139                | 1860      | 1670        | 1.15       | 1452     | 201.85           |

Il valore limite si ottiene moltiplicando il valore precedente per il numero di trefoli, in questo caso 4.

Risulta quindi:

$$4 \text{ trefoli } N_{Rd} = 201.85 \times 4 = 807.4 \text{ kN} > N_{Ed}$$

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 54 di 85 |

Confrontando i valori di resistenza  $N_{RD}$  con i valori sollecitanti di progetto  $N_{ED}$  le verifiche risultano soddisfatte.

### 8.2.3 Verifiche geotecniche dei tiranti

Con riferimento alle indicazioni contenute nel par. 6.6 delle NTC2018 si valuta la resistenza allo sfilamento con metodi di calcolo analitici a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati delle prove in sito e/o di laboratorio.

La resistenza di calcolo è valutata con la formula di Bustamante-Doix che prevede:

$$R_{\text{calcolo}} = \pi \cdot \alpha \cdot D \cdot L \cdot q_s$$

con:

- $\alpha$  coefficiente amplificativo che tiene conto dell'incremento della sezione del bulbo per iniezioni multiple e ripetute;
- D diametro del foro da cui viene realizzato il bulbo;
- L lunghezza del bulbo di ancoraggio;
- $q_s$  resistenza disponibile lungo la superficie di contatto tra bulbo e terreno.

I valori relativi al parametro  $\alpha$  e alla resistenza tangenziale  $q_s$  sono stati presi in accordo alle esperienze di Bustamante-Doix in terreni analoghi nell'ipotesi di realizzare i bulbi con iniezioni multiple e ripetute (I.R.S).

Per tale opera i bulbi di ancoraggio dei tiranti ricadono nelle argille/marne.

**Tabella 8-24. Valori dei coefficienti  $\alpha$  per il calcolo del diametro di perforazione di un tirante**

| SOLS                           | Coefficient $\alpha$ |           | Quantité minimale de coulis<br>conseillée<br>$V_i$                           |
|--------------------------------|----------------------|-----------|--|
|                                | IRS*                 | IGU**     |  |
| Grave                          | 1,8                  | 1,3 à 1,4 | 1,5 $V_s$  |
| Grave sableuse                 | 1,6 à 1,8            | 1,2 à 1,4 | 1,5 $V_s$  |
| Sable graveleux                | 1,5 à 1,6            | 1,2 à 1,3 | 1,5 $V_s$  |
| Sable grossier                 | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | 1,5 $V_s$  |
| Sable moyen                    | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | 1,5 $V_s$  |
| Sable fin                      | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | 1,5 $V_s$  |
| Sable limoneux                 | 1,4 à 1,5            | 1,1 à 1,2 | { 1,5 à 2 $V_s$ pour IRS<br>1,5 $V_s$ pour IGU                               |
| Limons                         | 1,4 à 1,6            | 1,1 à 1,2 | { 2 $V_s$ pour IRS<br>1,5 $V_s$ pour IGU                                     |
| Argile                         | 1,8 à 2              | 1,2       | { 2,5 à 3 $V_s$ pour IRS<br>1,5 à 2 $V_s$ pour IGU                           |
| Marne                          | 1,8                  | 1,1 à 1,2 | 1,5 à 2 $V_s$ pour couche compacte   |
| Marno-calcaire                 | 1,8                  | 1,1 à 1,2 |  |
| Craie altérée<br>ou fragmentée | 1,8                  | 1,1 à 1,2 | 2 à 6 $V_s$ ou plus, si couche fracturée                                     |
| Rocher altéré<br>ou fragmenté  | 1,2                  | 1,1       | 1,1 à 1,5 $V_s$ si couche finement fissurée<br>2 ou plus si couche fracturée |

$V_s$ : volume du bulbe de scellement.  
IRS: injection répétitive et sélective.  
IGU: injection globale en presse unifiée.

\* : avec  $p_l \geq p_f$   
\*\* : avec  $0,5 p_l < p_l < p_f$

|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>55 di 85</b> |

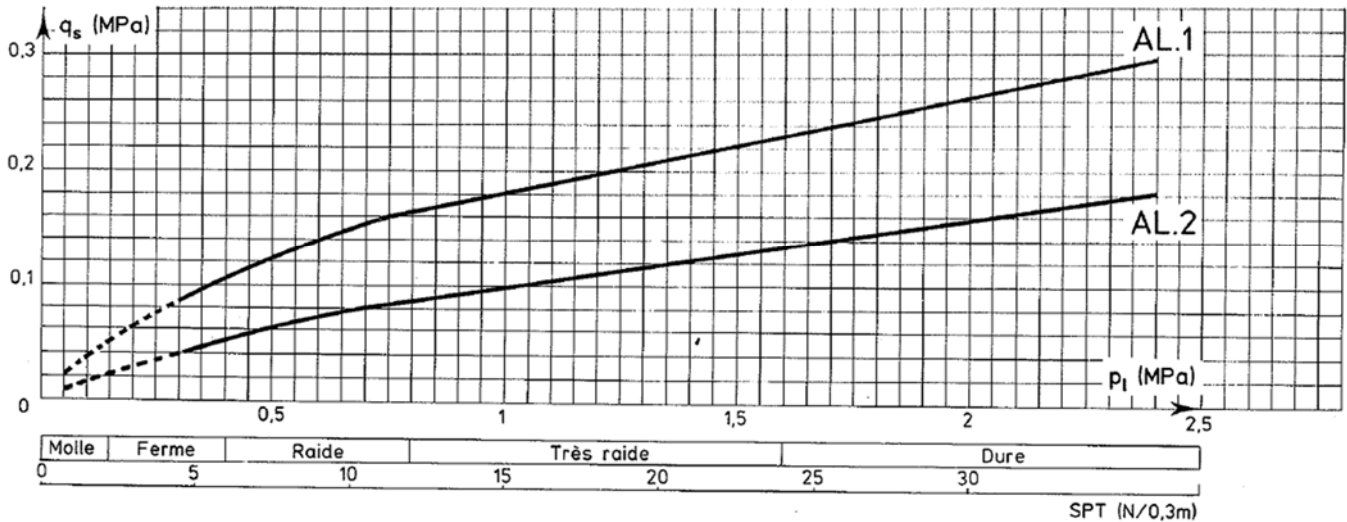


Figura 8-17. Grafici per la valutazione di  $q_s$  in argille

Per la valutazione dell'aderenza tangenziale malta-terreno nelle sabbie e ghiaie è stato considerato il grafico relativo alle argille ed in particolare la curva AL.1 relativa a iniezioni multiple e ripetute (I.R.S.). È stato quindi assunto un valore di calcolo di  $\alpha q_s$  pari a 320 kPa che deriva dai seguenti valori:

$$q_s = 190 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 1.7$$

Le lunghezze dei bulbi dovranno essere confermate o modificate a seguito di un adeguato campo prova secondo quanto indicato al par. 6.6.4 delle NTC2018.

la resistenza di progetto allo sfilamento del tirante  $R_{ad}$  è valutata come:

$$R_{ad} = \frac{R_{ak}}{\gamma_{Ra,t}}$$

con:

$\gamma_{ra,t}$       coefficiente parziale per tiranti permanenti assunto pari a 1,2;

$R_{ak}$       resistenza caratteristica allo sfilamento, valutata come:

$$R_{ak} = \frac{R_{calcolo}}{\xi_{a3}}$$

con:

$\xi_{a3}$       fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero di profili d'indagine;

La seguente tabella contiene i dati di progetto e fornisce il valore di  $R_{ad}$  per una lunghezza unitaria del bulbo ( $L=1.0 \text{ m}$ ).

|   |  |             |                     |                         |                           |
|---|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandatara Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 56 di 85 |

Tabella 8-25. Caratteristiche di resistenza dei bulbi

| $\alpha q_s$ | D    | $\xi_{a3}$ | $\gamma_R$ | $R_{ak}$ | $R_{ad}$ |
|--------------|------|------------|------------|----------|----------|
| (MPa)        | (mm) | --         | --         | (kN/m)   | (kN/m)   |
| 0,32         | 160  | 1,8        | 1,2        | 89,40    | 74,50    |

Assumendo una lunghezza del bulbo pari a  $L_f = 9.00$  m risulta:

$$R_{ad} = 670 \text{ kN}$$

Per la verifica del bulbo di ancoraggio bisogna assicurarsi che:

$$N_{Ed} \leq R_{ad}$$

Tale verifica risulta soddisfatta.

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, viene verificato che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero risulta maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento del bulbo di fondazione.

### 8.2.4 Verifica strutturale delle travi di ripartizione dei tiranti

Per la ripartizione sulla paratia dello sforzo assiale agente nei tiranti d'ancoraggio è stata utilizzata una trave composta da una coppia di profilati metallici del tipo HEB 160 (acciaio S275).

La verifica di tali elementi strutturali è stata eseguita secondo lo schema di trave continua su infiniti appoggi, soggetta ad un carico uniforme pari al valore dell'azione del singolo tirante distribuito sulla sua zona di competenza, che è pari all'interasse orizzontale tra i tiranti stessi.

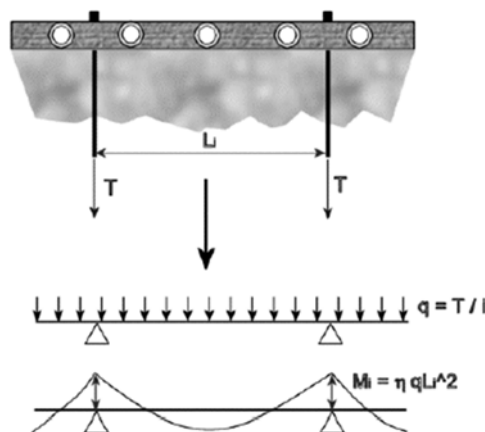


Figura 8-18. Schema statico adottato per le travi di ripartizione

Le sollecitazioni massime sulla trave saranno allora valutate come:

$$M = q L^2 / 10;$$

$$V = 0.6 q L;$$

essendo:

$L$  = luce della campata, ovvero interasse tra i tiranti (in questo caso 2.4 m);



|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>57 di 85 |

$q$  = massima reazione del tirante a metro lineare considerando i vari stati limite.

La verifica delle travi di ripartizione in acciaio dei tiranti viene condotta in campo plastico, per gli stati di sforzo piani tipici delle travi, con riferimento al criterio indicato nel par. 4.2.4.1 delle NTC2018.

Nella seguente tabella sono riassunte le massime sollecitazioni agli SLU a cui sono soggette le travi di ripartizione.

**Tabella 8-26. Massime sollecitazioni nella trave di ripartizione**

| ordine | Combinazione | $N_{ED}$ | $q$    | passo | Travi     | $M_{MAX}$ | $V_{MAX}$ |
|--------|--------------|----------|--------|-------|-----------|-----------|-----------|
|        |              | [kN]     | [kN/m] | [m]   | [-]       | [kNm]     | [kN]      |
| I°     | SLU A1+M1    | 642,5    | 267,7  | 2,4   | 2 HEB 180 | 154,2     | 385,5     |

Adottando due profili accoppiati su ciascun profilo agirà:

$$M_{Ed} = \frac{M_{max}}{2} ; \quad V_{Ed} = \frac{V_{max}}{2}$$

Il valore del momento plastico resistente è calcolato come:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1 (essendo } \gamma_{M0} \text{ pari a 1.05)}$$

Se il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  bisogna tener conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

$$\text{Posto } \rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

la resistenza a flessione si determina assumendo per l'area resistente a taglio  $A_v$  la tensione di snervamento ridotta  $(1-\rho) \cdot f_{yk}$ .

Il valore del taglio resistente è quindi calcolato come:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad \text{dove } A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \quad \text{per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima.}$$

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle analisi precedentemente illustrate considerando come trave di ripartizione dei tiranti una coppia di profilati HEB 180. Le verifiche risultano soddisfatte.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 58 di 85 |

**Tabella 8-27. Verifica allo SLU delle travi di ripartizione dei tiranti composte da profilati HEB 180**

|                                |                 |       |
|--------------------------------|-----------------|-------|
| Forza nei tiranti (A1+M1+R1)   | $N_{Ed}$ [kN]   | 642.5 |
| Interasse tiranti              | $i$ [m]         | 2.4   |
| Carico distribuito sulla trave | $q$ [kN/m]      | 267.7 |
| Momento flettente massimo      | $M_{max}$ [kNm] | 154.2 |
| Taglio massimo                 | $V_{max}$ [kN]  | 385.5 |

**NTC - DM 14 GENNAIO 2008 - Verifica plastica SLU di profilati Classe 1 o 2**

| Materiale                     |                            |          | Azioni di calcolo (A1+M1+R1)           |                     |        |
|-------------------------------|----------------------------|----------|--|---------------------|--------|
| Classe acciaio                | [-]                        | S275     | Taglio                                 | $V_{Ed}$ [kN]       | 385.5  |
| Coefficiente sicurezza        | $\gamma_{Mo}$ [-]          | 1.05     | Momento flettente                      | $M_{Ed}$ [kNm]      | 154.2  |
| Tensione snervamento          | $f_{yk}$ [MPa]             | 275      | Numero profilati                       | $n$ [-]             | 2.00   |
| Tensione di calcolo           | $f_{yd}$ [MPa]             | 262      | Azioni di progetto sulla singola trave |                     |        |
| Sezione                       |                            |          | Taglio                                 | $V_{Ed}$ [kN]       | 192.8  |
| Tipo profilato                | [-]                        | HEB180   | Momento flettente                      | $M_{Ed}$ [kNm]      | 77.1   |
| Area                          | [cm <sup>2</sup> ]         | 65.25    | Effetto delle azioni combinate         |                     |        |
| b                             | [mm]                       | 180      | $V_{Ed}/V_{Rd}$                        | [-]                 | 0.630  |
| h                             | [mm]                       | 180      | $\rho$                                 | [-]                 | 0.07   |
| tw                            | [mm]                       | 8.5      | Momento flettente ridotto V            | $M_{pl,Rd,V}$ [kNm] | 117.58 |
| tf                            | [mm]                       | 14       | Verifiche                              |                     |        |
| r                             | [mm]                       | 15       | Taglio $V_{pl,Rd} > V_{Ed}$            | OK                  |        |
| Modulo di resistenza elastico | $W_{el}$ [m <sup>3</sup> ] | 4.26E-04 | Momento flettente $M_{pl,Rd} > M_{Ed}$ | OK                  |        |
| Modulo di resistenza plastico | $W_{pl}$ [m <sup>3</sup> ] | 4.81E-04 |  |                     |        |
| Area resistente taglio        | $A_v$ [m <sup>2</sup> ]    | 2.02E-03 |  |                     |        |
| Resistenze di progetto        |                            |          |  |                     |        |
| Sforzo normale                | $N_{pl,Rd}$ [kN]           | 1708.9   |  |                     |        |
| Taglio                        | $V_{pl,Rd}$ [kN]           | 306.1    |  |                     |        |
| Momento flettente             | $M_{pl,Rd}$ [kNm]          | 126.1    |  |                     |        |

### 8.2.5 Verifiche geotecniche

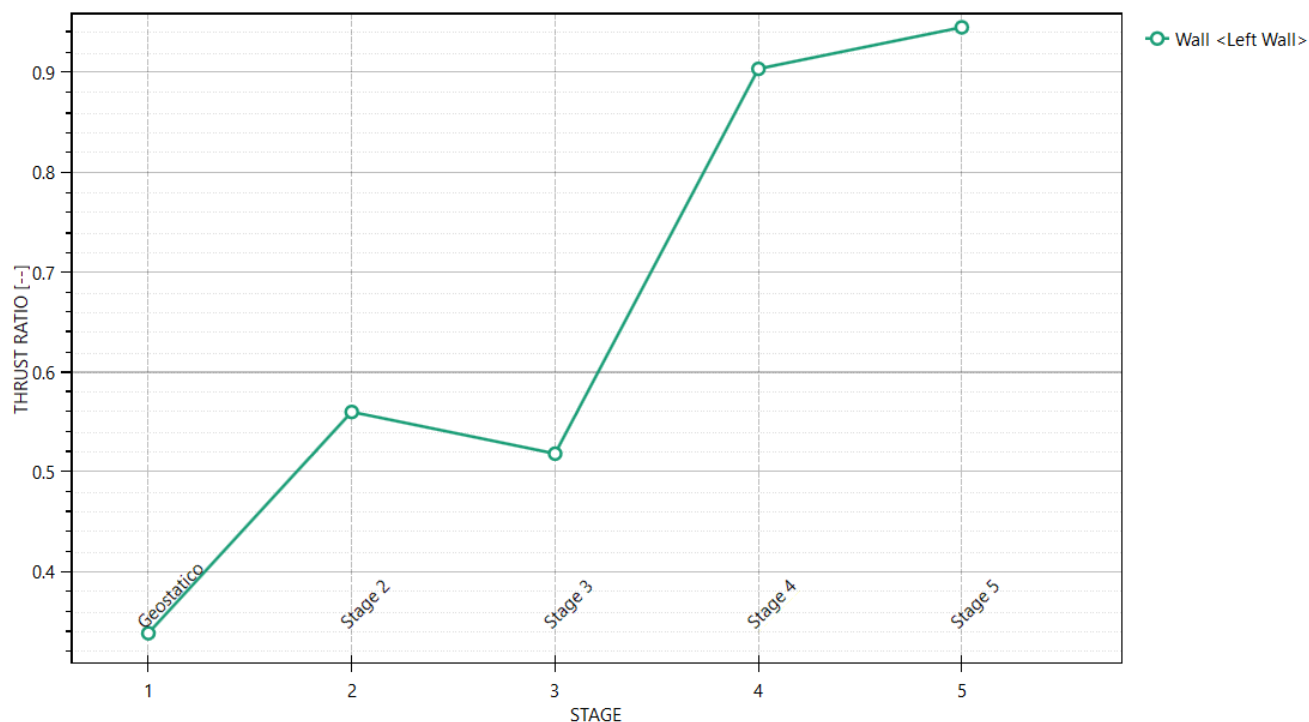
La verifica del complesso opera-terreno risulta soddisfatta in quanto in ogni momento la spinta mobilitata risulta inferiore della spinta disponibile.

Nella seguente figura sono riportati i rapporti tra le spinte mobilitate e disponibili per i vari stage di calcolo.

|   |  |  |             |                     |                         |           |                    |
|---|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>                                    |  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b><br><b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b> |  | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  |  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>59 di 85 |

### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <NTC2018: A2+M2+R1>



### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <NTC2018: SISMICA GEO>

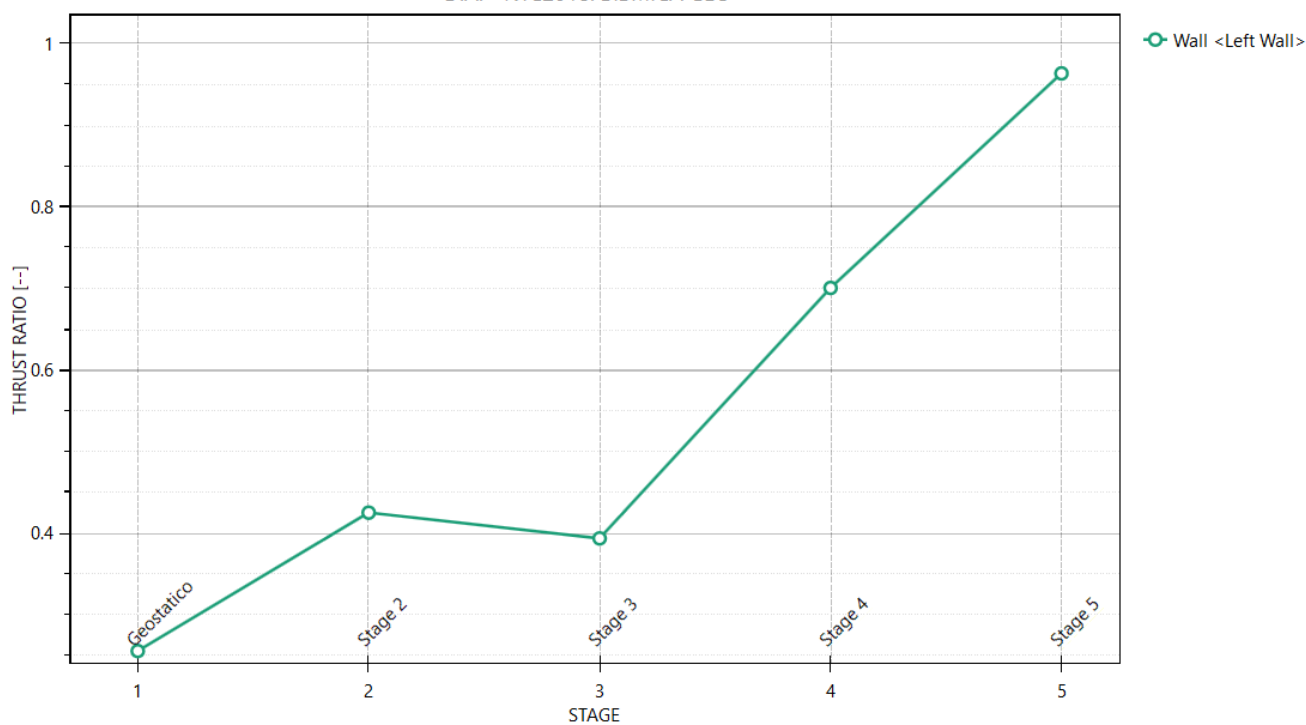


Figura 8-19. Andamento del rapporto tra le spinte mobilitate e disponibili per i vari stage di calcolo

|   |  |             |                     |                         |   |
|---|--|-------------|---------------------|-------------------------|---|
| APPALTATORE:<br>Conorzio                      Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |   |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria                      Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF<br>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |   |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.      FOGLIO<br>D              60 di 85 |

Di seguito è riportata l'analisi di stabilità globale del fronte di scavo eseguita con il metodo di Bishop. Le analisi sono state svolte con la combinazione A2+M2 e SLV GEO.

Le azioni sismiche nell'analisi pseudostatica sono schematizzate attraverso i coefficienti sismici:

$$k_h = \beta_s \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Dove:

$$\beta_s = 0.38$$

$$a_{max} = 0.263$$

I coefficienti di sicurezza ricavati nelle analisi sono riportati in Tabella 8-14, le verifiche risultano soddisfatte in quanto maggiori di 1.1.

Tabella 8-28. Coefficienti di sicurezza ricavati dalle analisi di stabilità globale del fronte di scavo

| Combinazione | FS    |
|--------------|-------|
| A2+M2        | 1,312 |
| SLV GEO +    | 1,327 |
| SLV GEO -    | 1,363 |

Nelle seguenti figure si riportano le immagini delle superfici critiche valutate per le combinazioni di calcolo A2+M2 e SLV GEO.

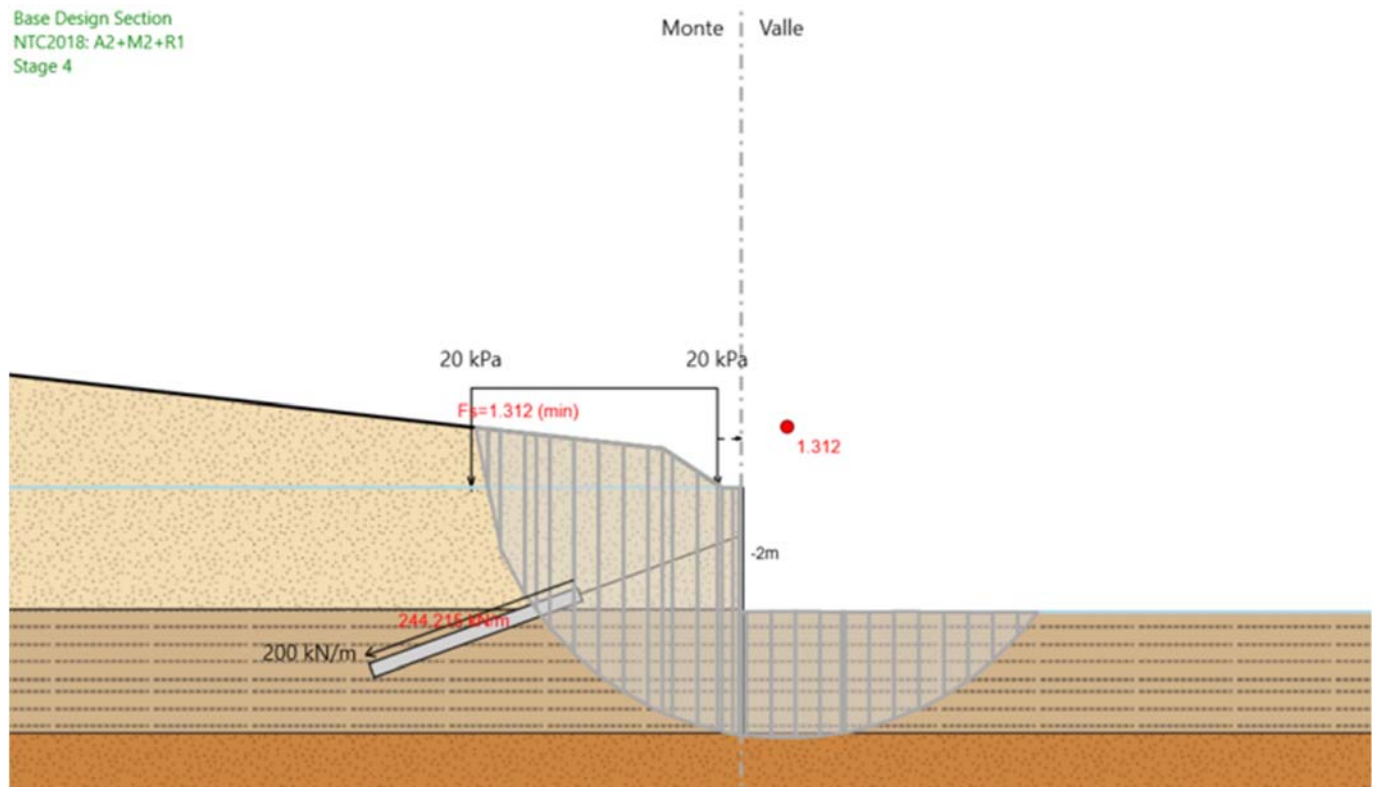


Figura 8-20. Verifica di stabilità globale del fronte di scavo, combinazione A2+M2

|   |   |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|---|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>                                      | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>   |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br/>         ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>         II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>   | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>61 di 85</b> |

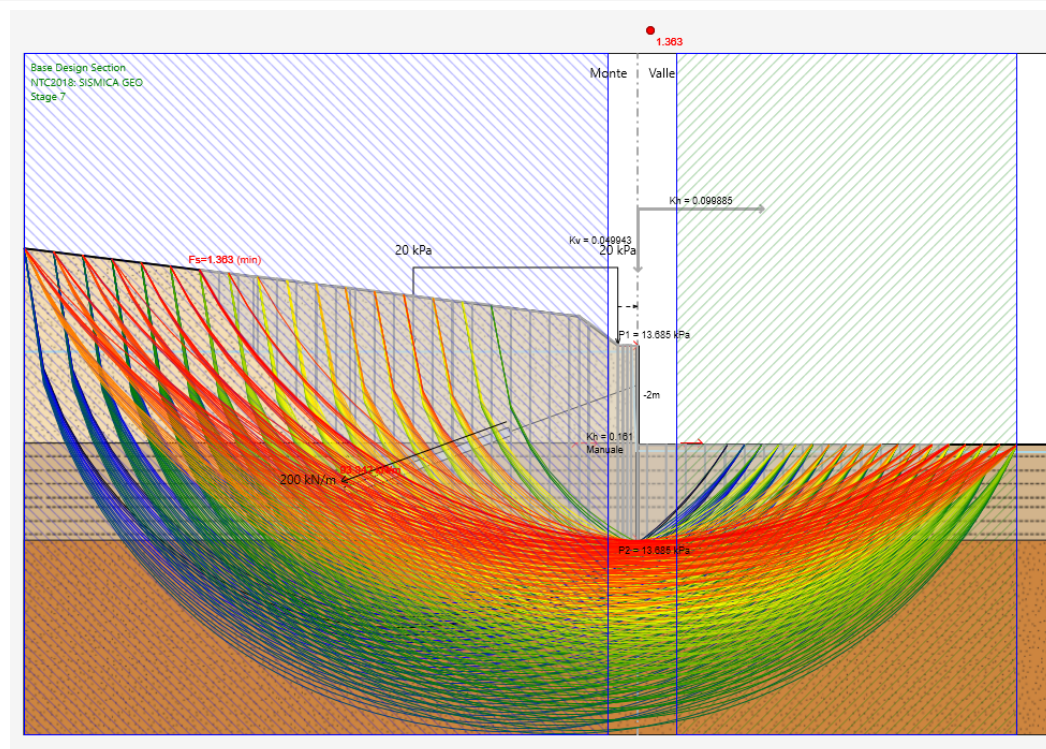
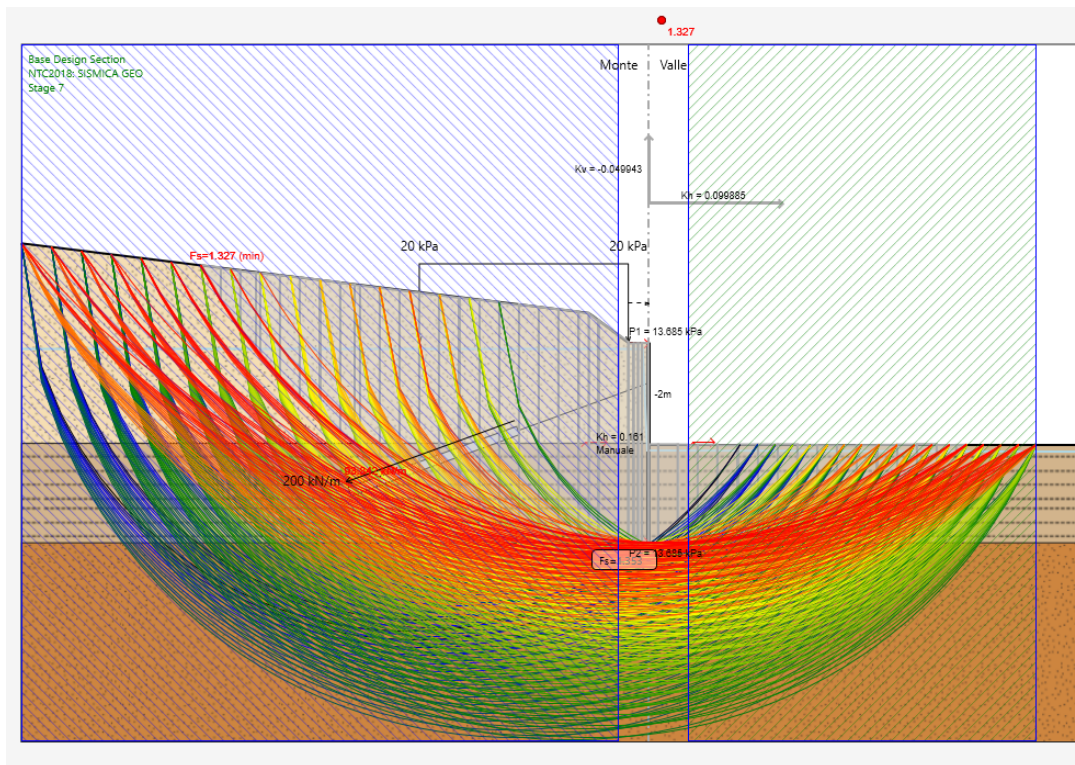


Figura 8-21. Verifica di stabilità globale del fronte di scavo, combinazione SLV GEO

|  |  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             |  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA |  | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  |  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>62 di 85 |

### 8.2.6 Deformazioni

Le deformazioni in fase realizzativa e in esercizio dell'opera sono state valutate con la combinazione SLE. Nelle seguenti figure sono riportati gli spostamenti massimi per ogni stage di calcolo e l'involuppo complessivo degli spostamenti. Lo spostamento massimo risulta di circa 22 mm.

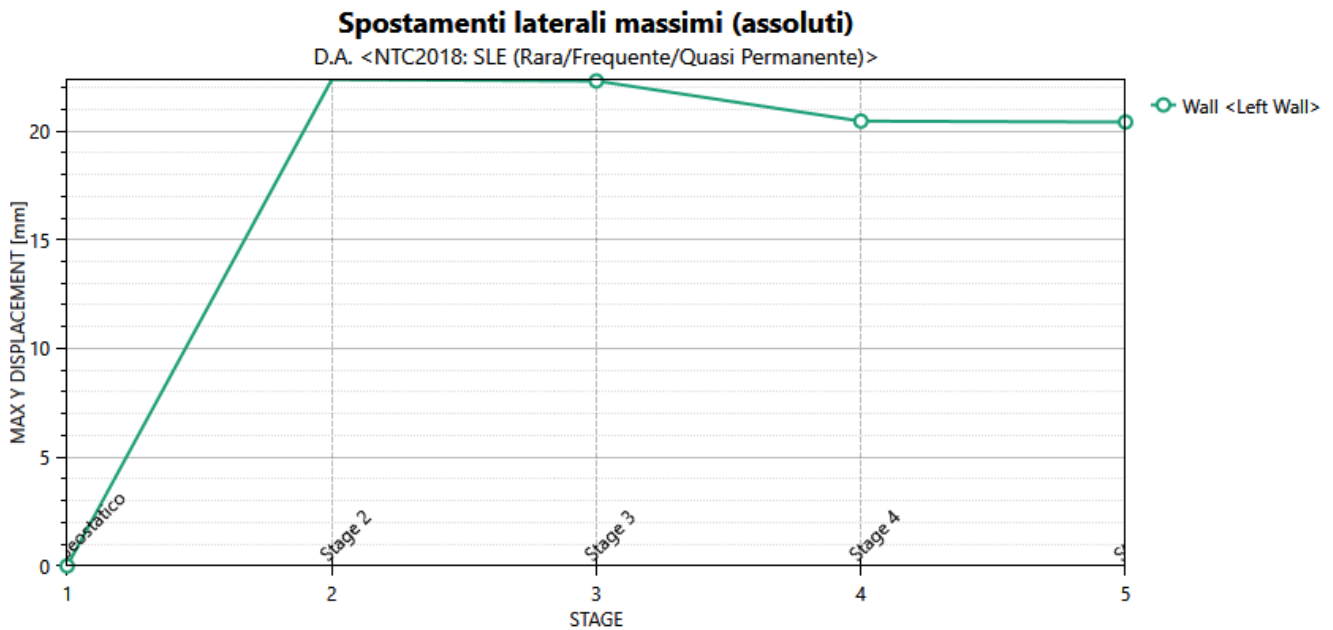


Figura 8-22. Spostamenti massimi della paratia in condizioni SLE

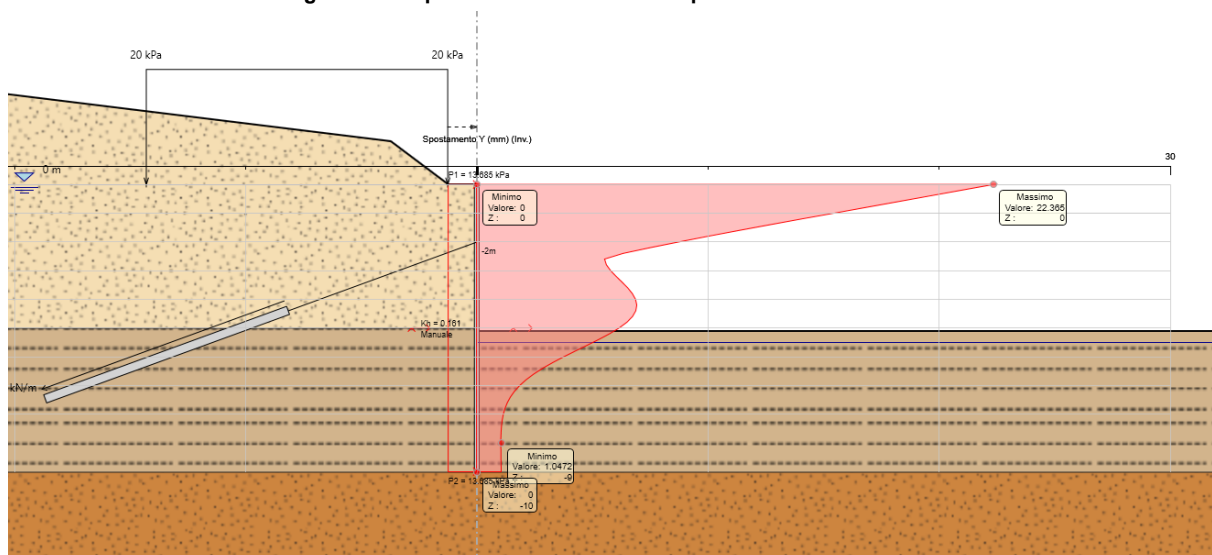


Figura 8-23. Involuppo degli spostamenti della paratia in condizioni SLE

|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>63 di 85 |

### 8.3 SEZIONE DI CALCOLO 3 – PARATIA A SBALZO

Sono di seguito riportate le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

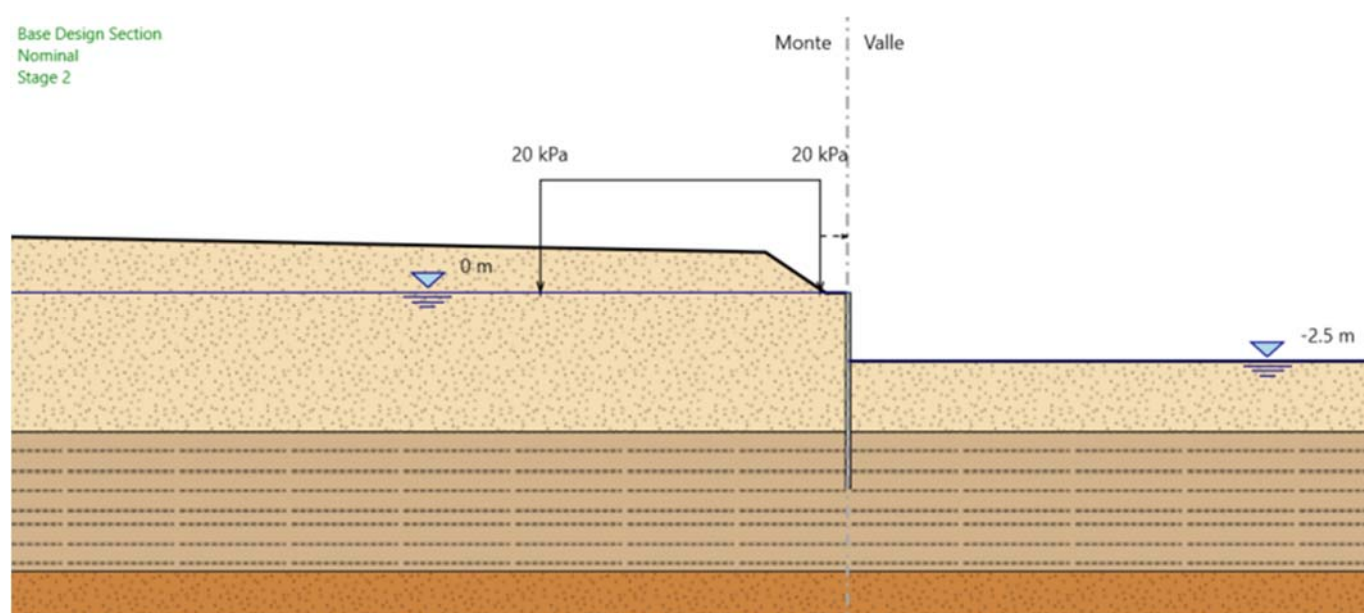


Figura 8-24. Sezione di verifica per la paratia con un ordine di tiranti

Si presentano di seguito le caratteristiche geometriche della struttura, i sovraccarichi a tergo, i parametri geotecnici e i coefficienti di spinta utilizzati nei calcoli.

La verifica è stata eseguita in corrispondenza della massima altezza di scavo incrementata del 10% come previsto dal paragrafo 6.5.2.2 delle NTC 2018. Nelle analisi si è considerato il pendio a monte della paratia ed il sovraccarico dovuto all'eventuale presenza di mezzi/lavorazioni di cantiere assunto paria a 20 kPa ed applicato subito a monte della paratia.

La posizione della falda è assunta a favore di sicurezza alla quota di testa paratia.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 64 di 85 |

**Tabella 8-29. Caratteristiche della struttura e sovraccarichi**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Tipologia                           | Micropali $\phi$ 168.3 mm spessore 12.5 mm passo 0.4 m |
| Altezza totale paratia              | 7 m  |
| Altezza di scavo paratia            | 2.25 m + 0.1*2.25 m = 2.5 m                            |
| Ordini di tiranti                   | -  |
| Passo orizzontale tiranti           | -  |
| Inclinazione piano campagna a monte | Terreno naturale <10°                                  |
| Inclinazione piano campagna a valle | -  |
| Sovraccarichi permanenti a monte    | Terreno in sito  |
| Sovraccarichi permanenti a valle    | -  |
| Sovraccarichi variabili a monte     | Mezzi/lavorazioni di cantiere q=20kPa                  |
| Sovraccarichi variabili a valle     | -  |

**Tabella 8-30. Parametri geotecnici caratteristici**

| Terreno<br>(m da p.c.) | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $c_k$<br>[kPa] | $\phi_k$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | $E'$<br>[MPa] | $E'_{ur}$<br>[MPa] | $K_a$<br>M1 (M2) | $K_p$<br>M1 (M2) |
|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|
| 0-5                    | 20                               | 15             | 23              | 15,18           | 30            | 48                 | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |
| 5-10                   | 20                               | 15             | 23              | 15,18           | 50            | 80                 | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |
| >10                    | 20                               | 20             | 23              | 15,18           | 80            | 128                | 0,376<br>(0,449) | 3,047<br>(2,419) |

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume

$c_k$  = coesione efficace caratteristica

$\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio caratteristico

$\delta$  = angolo di attrito struttura-terreno

$E'$  = modulo di Young

$E'_{ur}$  = modulo di Young scarico-ricarico

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva



|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 65 di 85 |

Tabella 8-31. Parametri per il calcolo dell'azione sismica

| Condizione | Categoria<br>sottosuolo<br>[-] | Categoria<br>topografica<br>[-] | $a_g/g$<br>[-] | S<br>[-] | $a_{max}/g$<br>[-] | $\alpha$<br>[-] | $U_s$<br>[m] | $\beta$<br>[-] | $K_h$<br>[-] |
|------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|
| SLV        | B                              | T1                              | 0,22           | 1,1948   | 0,2629             | 1               | 0,035        | 0,6599         | 0,1735       |

dove:

$\alpha$  = coefficiente di deformabilità (fig. 7.11.2 NTC2018)

$U_s$  = spostamento ammissibile

$\beta$  = coefficiente di spostamento (fig. 7.11.3 NTC 2018)

$K_h$  = coefficiente sismico

Da cui si evincono i coefficienti di spinta sismici.

Tabella 8-32. Coefficienti di spinta in fase sismica

| Terreno<br>(m da<br>p.c.) | $\phi_k$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | $K_{ah}$ | $K_{ph}$ |
|---------------------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| 0-5                       | 23              | 15,18           | 0,527    | 1,947    |
| 05-ott                    | 23              | 15,18           | 0,527    | 1,947    |
| >10                       | 23              | 15,18           | 0,527    | 1,947    |

dove:  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume  
 $c_k$  = coesione efficace caratteristica  
 $\phi_k$  = angolo di resistenza al taglio caratteristico  
 $\delta$  = angolo di attrito struttura-terreno  
 $E'$  = modulo di Young  
 $E'_{ur}$  = modulo di Young scarico-ricarico  
 $K_{ah}$  = coefficiente di spinta attiva  
 $K_{ph}$  = coefficiente di spinta passiva (si assume  $\delta=0$ )

Mentre la spinta distribuita è pari a :

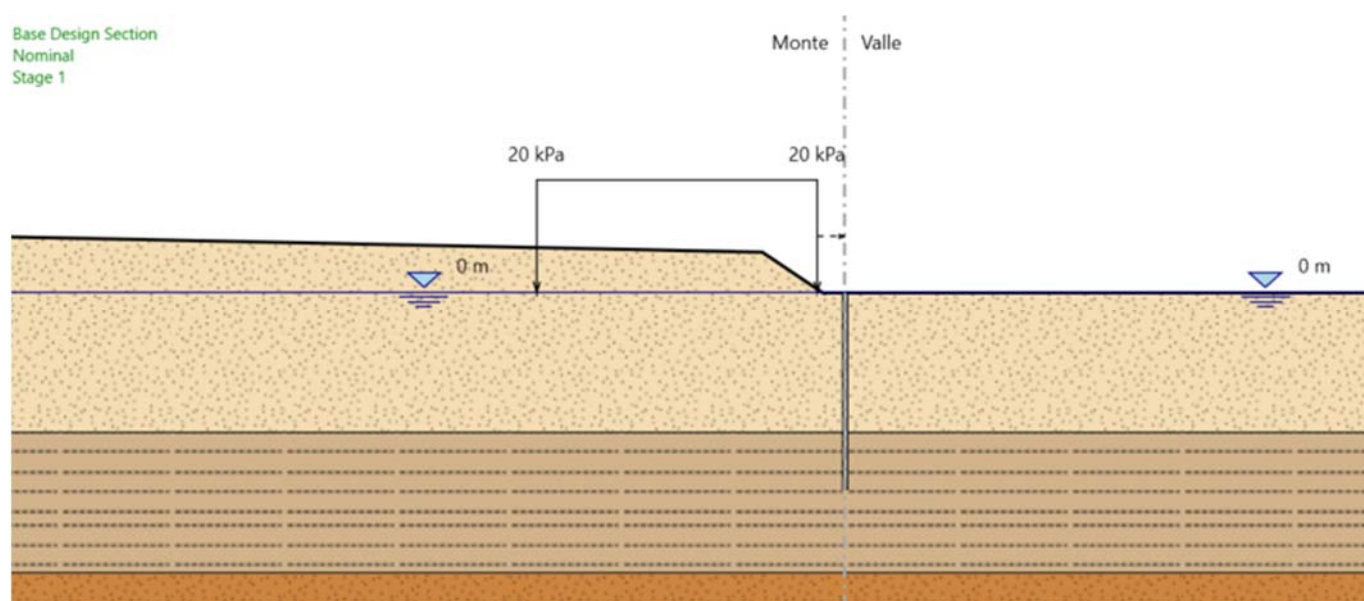
Tabella 8-33. Spinta sismica distribuita

| H [m] | $K_a$ | $K_{ah}$ | $\Delta S_E$ [kPa] |
|-------|-------|----------|--------------------|
| 7     | 0.376 | 0.527    | 10.6               |

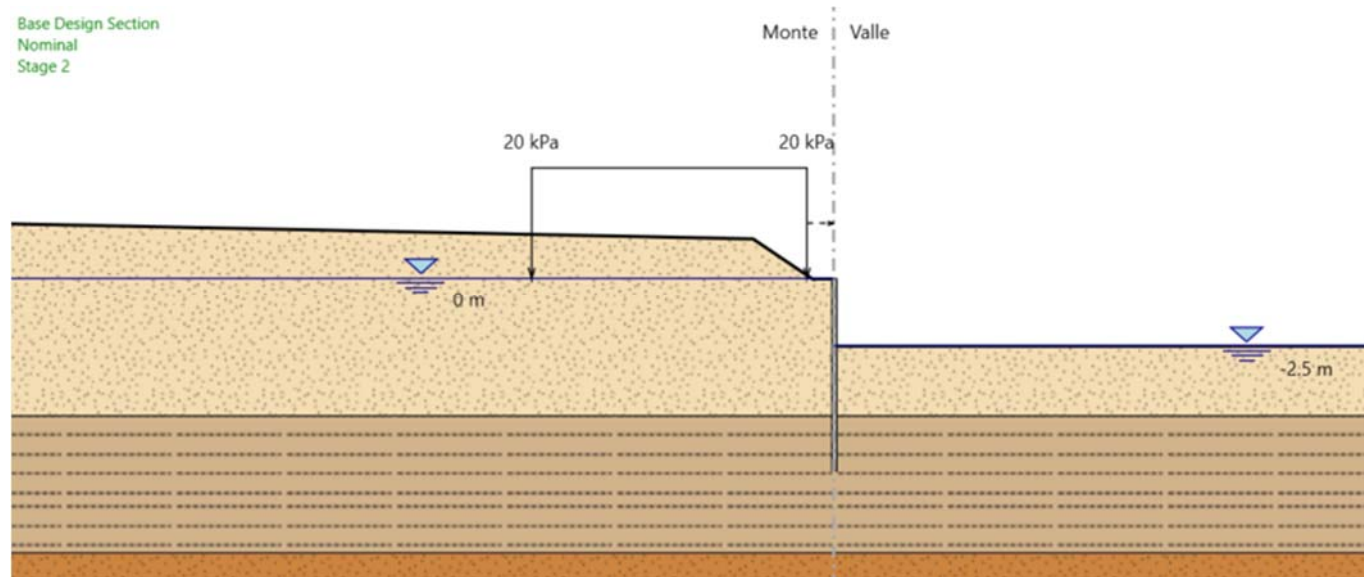
|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>66 di 85</b> |

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

fase 1 – Step geostatico in cui risultano già eseguiti i micropali ed applicato il carico di cantiere a monte della paratia

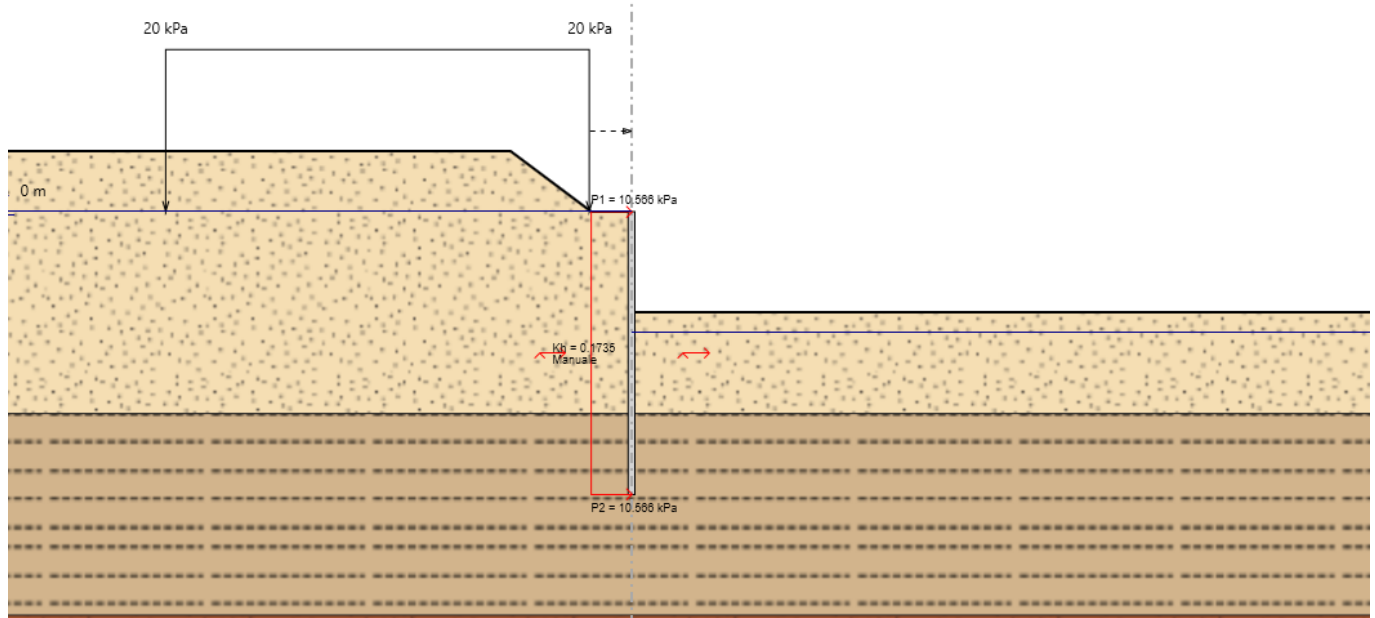


Fase 2 – Scavo di sbancamento fino alla quota di fondo scavo (a circa -2.5 m da testa paratia)



|  |   |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|---|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>                                    | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b><br><br><b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b><br><b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b> | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   |                    |                            |                                |                  |                           |
|  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>   | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>67 di 85</b> |

Fase 3 – Applicazione del carico sismico



|  |  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              |  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA |  | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  |  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>68 di 85 |

### 8.3.1 Verifiche strutturali dei micropali

Si riportano di seguito i grafici del momento flettente e del taglio nella combinazione SLU A1+M1 e SLV STR per le diverse fasi di calcolo e successivamente le relative verifiche sugli elementi strutturali.

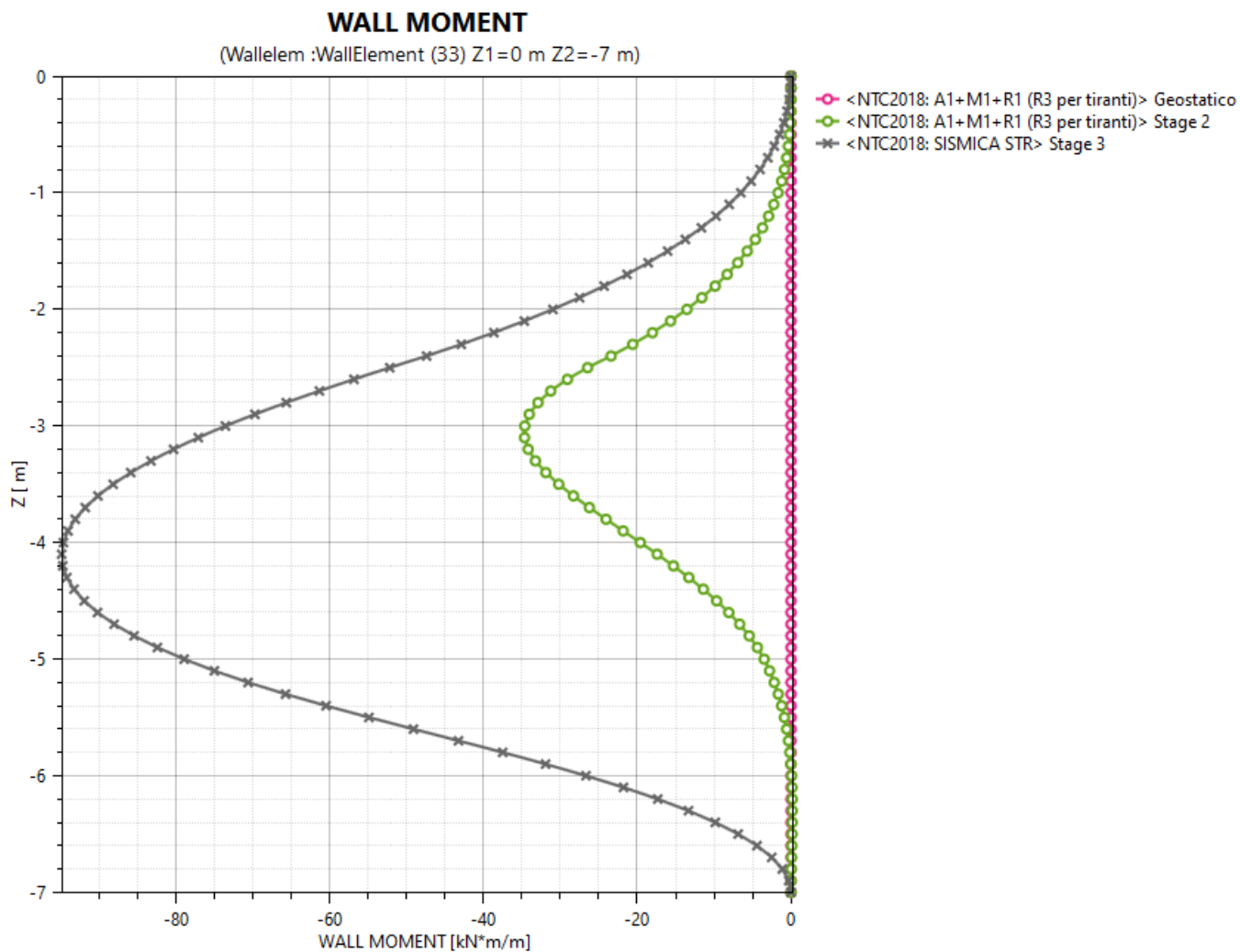
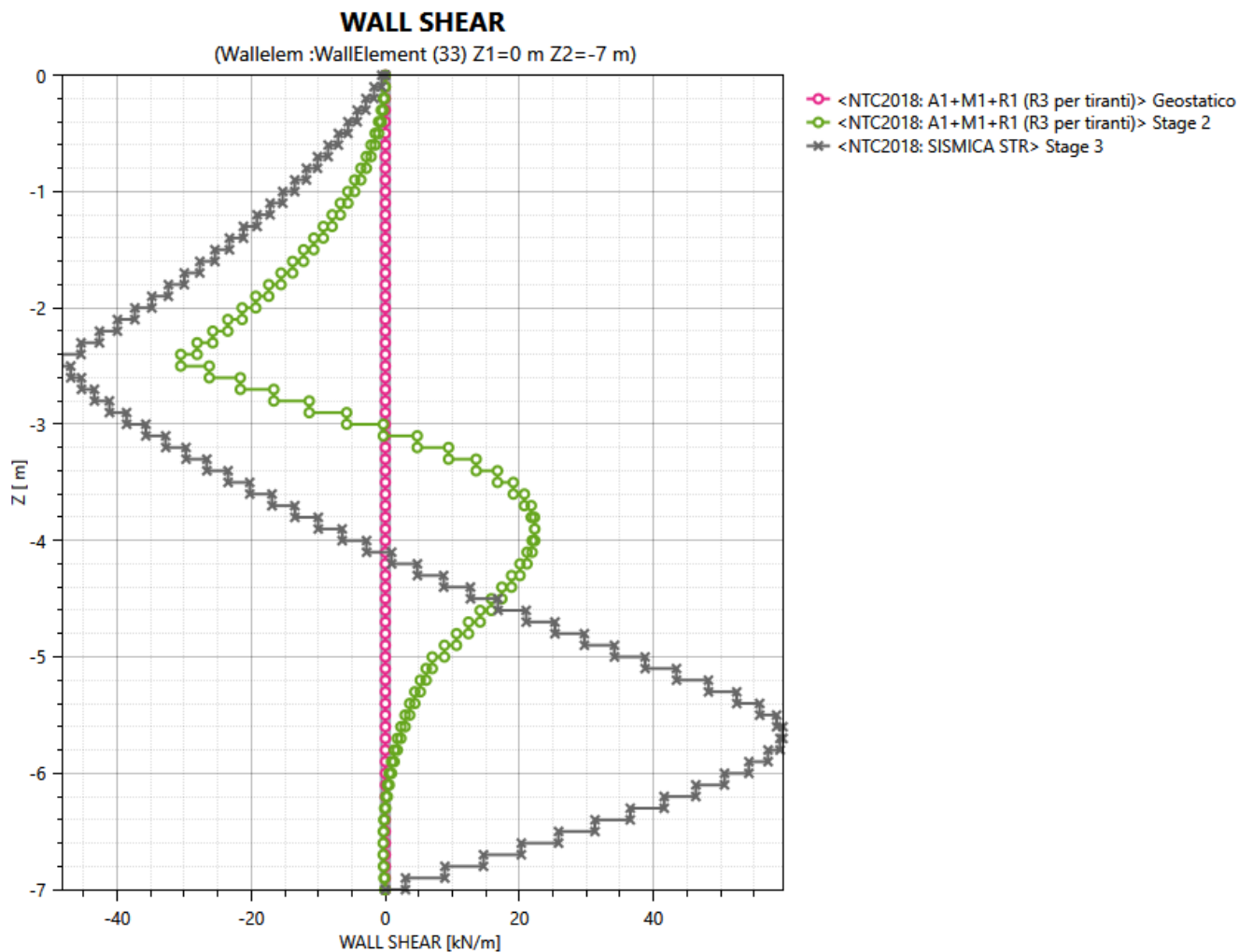


Figura 8-25. Andamento del momento flettente per le combinazioni SLU A1+M1 e SLV STR per i vari stage di calcolo

|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>69 di 85</b> |



**Figura 8-26. Andamento del taglio per le combinazioni SLU A1+M1 e SLV STR per i vari stage di calcolo**

Nella seguente tabella sono riportate le verifiche eseguite per i micropali della paratia considerando unicamente la resistenza dell'acciaio costituente la sezione del palo.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 70 di 85 |

Tabella 8-34. Verifica allo SLU dei micropali della paratia

| NTC - DM 2018 - Verifica plastica SLU di sezioni tubolari Classe 1 o 2 |                            |          |                                       |                       |        |
|--|----------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Materiale</b>   |                            |          | <b>Azioni di calcolo (A1+M1+R1)</b>   |                       |        |
| Classe acciaio   | [-]                        | S355     | Sforzo normale                        | $N_{Ed}$ [kN/m]       | 0.0    |
| Coefficiente sicurezza   | $\gamma_{M0}$ [-]          | 1.05     | Taglio                                | $V_{Ed}$ [kN/m]       | 59.3   |
| Tensione snervamento   | $f_{yk}$ [MPa]             | 355      | Momento flettente                     | $M_{Ed}$ [kNm/m]      | 95.9   |
| Tensione di calcolo  | $f_{yd}$ [MPa]             | 338      | Interasse micropali                   | $i$ [m]               | 0.40   |
| <b>Sezione</b>   |                            |          | <b>Azioni di progetto</b>             |                       |        |
| Diametro esterno   | $D$ [mm]                   | 168.30   | Sforzo normale                        | $N_{Ed}$ [kN]         | 0.0    |
| Spessore   | $s$ [mm]                   | 12.50    | Taglio                                | $V_{Ed}$ [kN]         | 23.7   |
| Diametro interno   | $d$ [mm]                   | 143.30   | Momento flettente                     | $M_{Ed}$ [kNm]        | 38.4   |
| Area   | $A$ [m <sup>2</sup> ]      | 6.12E-03 | <b>Effetto delle azioni combinate</b> |                       |        |
| Modulo di inerzia  | $J$ [m <sup>4</sup> ]      | 1.87E-05 | $V_{Ed}/V_{Rd}$                       | [-]                   | 0.031  |
| Raggio di inerzia  | $\rho$ [m]                 | 5.53E-02 | $\rho$                                | [-]                   | 1.00   |
| Modulo di resistenza elastico  | $W_{el}$ [m <sup>3</sup> ] | 2.22E-04 | $n$                                   | [-]                   | 0.00   |
| Modulo di resistenza plastico  | $W_{pl}$ [m <sup>3</sup> ] | 3.04E-04 | Momento flettente ridotto V           | $M_{pl,Rd,V}$ [kNm]   | 102.81 |
| Area resistente taglio   | $A_v$ [m <sup>2</sup> ]    | 3.90E-03 | Momento flettente ridotto V N         | $M_{pl,Rd,V,N}$ [kNm] | 102.81 |
| <b>Resistenze di progetto</b>  |                            |          | <b>Verifiche</b>                      |                       |        |
| Sforzo normale   | $N_{pl,Rd}$ [kN]           | 2068.6   | Sforzo normale                        | OK                    |        |
| Taglio   | $V_{pl,Rd}$ [kN]           | 760.3    | Taglio                                | OK                    |        |
| Momento flettente  | $M_{pl,Rd}$ [kNm]          | 102.8    | Momento flettente                     | OK                    |        |

Per tutte le combinazioni di carico le verifiche risultano soddisfatte in quanto  $MR_d > ME_d$  e  $VR_d > VE_d$ .

|   |   |          |            |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
|---|---|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|------------|---|----------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b><br><br><b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>   |          |            |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA |   |          |            |          |           |      |        |      |    |         |            |   |          |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | <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>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RB</td> <td>PZ0100 001</td> <td>D</td> <td>71 di 85</td> </tr> </table> | COMMESSA | LOTTO      | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IF3A | 02 | E ZZ RB | PZ0100 001 | D | 71 di 85 |
| COMMESSA  | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV.     | FOGLIO    |      |        |      |    |         |            |   |          |
| IF3A  | 02  | E ZZ RB  | PZ0100 001 | D        | 71 di 85  |      |        |      |    |         |            |   |          |

### 8.3.2 Verifiche geotecniche

La verifica del complesso opera-terreno risulta soddisfatta in quanto in ogni momento la spinta mobilitata risulta inferiore della spinta disponibile.

Nella seguente figura sono riportati i rapporti tra le spinte mobilitate e disponibili per i vari stage di calcolo.

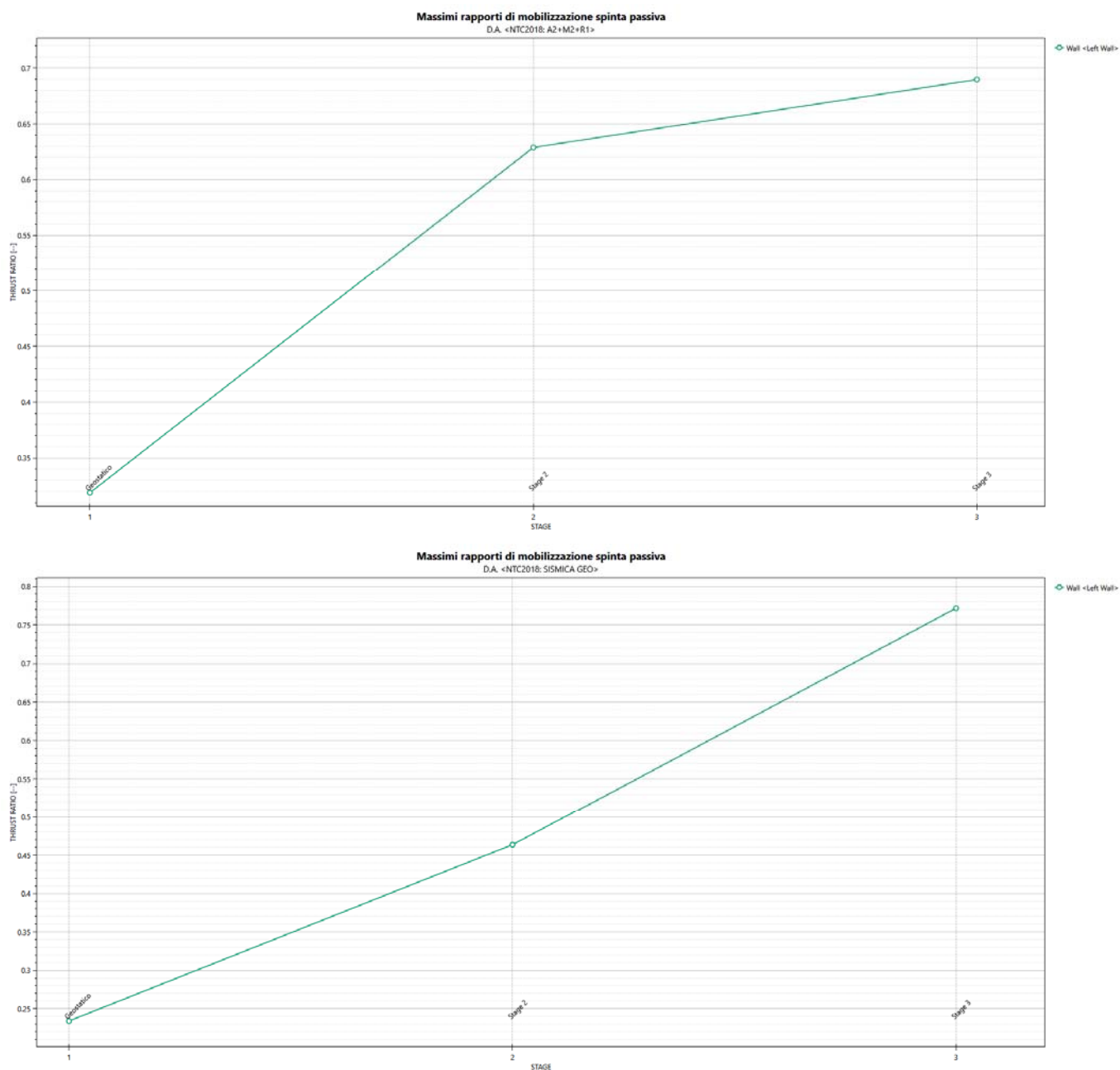


Figura 8-27. Andamento del rapporto tra le spinte mobilitate e disponibili per i vari stage di calcolo

|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:<br>Consortio Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandatario Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br/>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| PROGETTO ESECUTIVO<br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>72 di 85 |

Di seguito è riportata l'analisi di stabilità globale del fronte di scavo eseguita con il metodo di Bishop. Le analisi sono state svolte con la combinazione A2+M2 e SLV GEO.

Le azioni sismiche nell'analisi pseudostatica sono schematizzate attraverso i coefficienti sismici:

$$k_h = \beta_s \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Dove:

$$\beta_s = 0.38$$

$$a_{max} = 0.263$$

I coefficienti di sicurezza ricavati nelle analisi sono riportati in Tabella 8-14, le verifiche risultano soddisfatte in quanto maggiori di 1.1.

Tabella 8-35. Coefficienti di sicurezza ricavati dalle analisi di stabilità globale del fronte di scavo

| Combinazione | FS    |
|--------------|-------|
| A2+M2        | 1,631 |
| SLV GEO +    | 1,81  |
| SLV GEO -    | 1,87  |

Nelle seguenti figure si riportano le immagini delle superfici critiche valutate per le combinazioni di calcolo A2+M2 e SLV GEO.

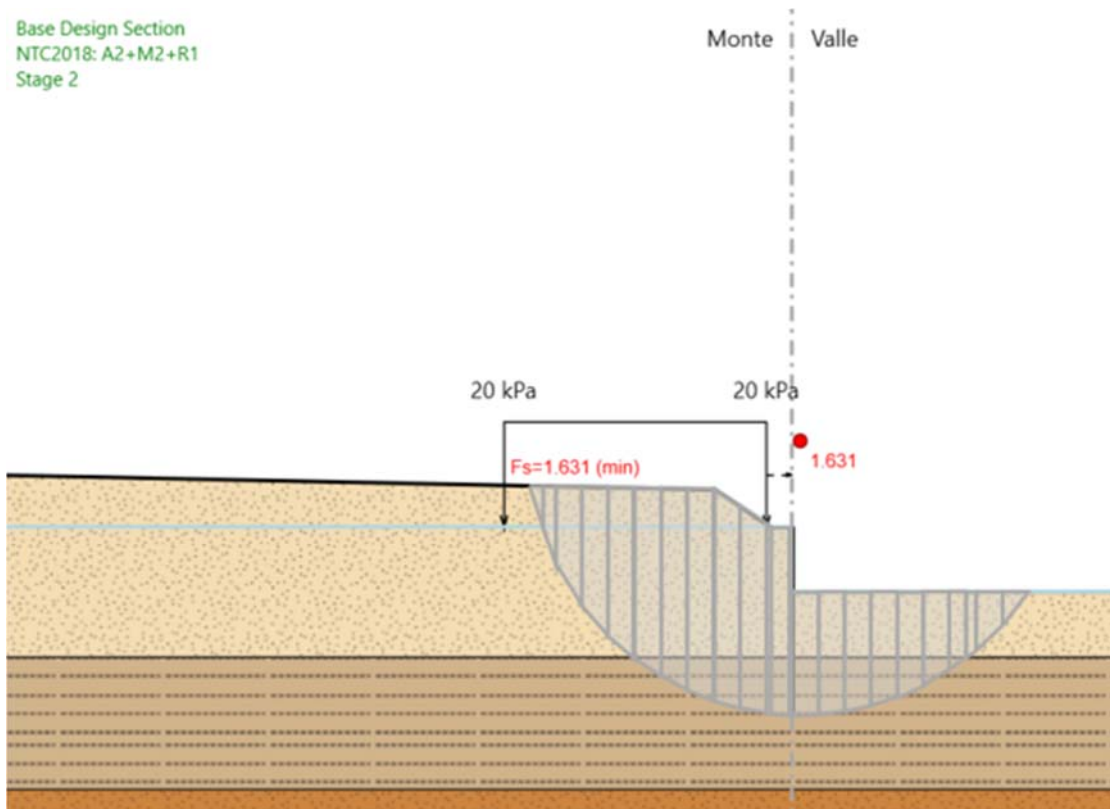


Figura 8-28. Verifica di stabilità globale del fronte di scavo, combinazione A2+M2



|   |  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   |  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> |  | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  |  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>73 di 85</b> |

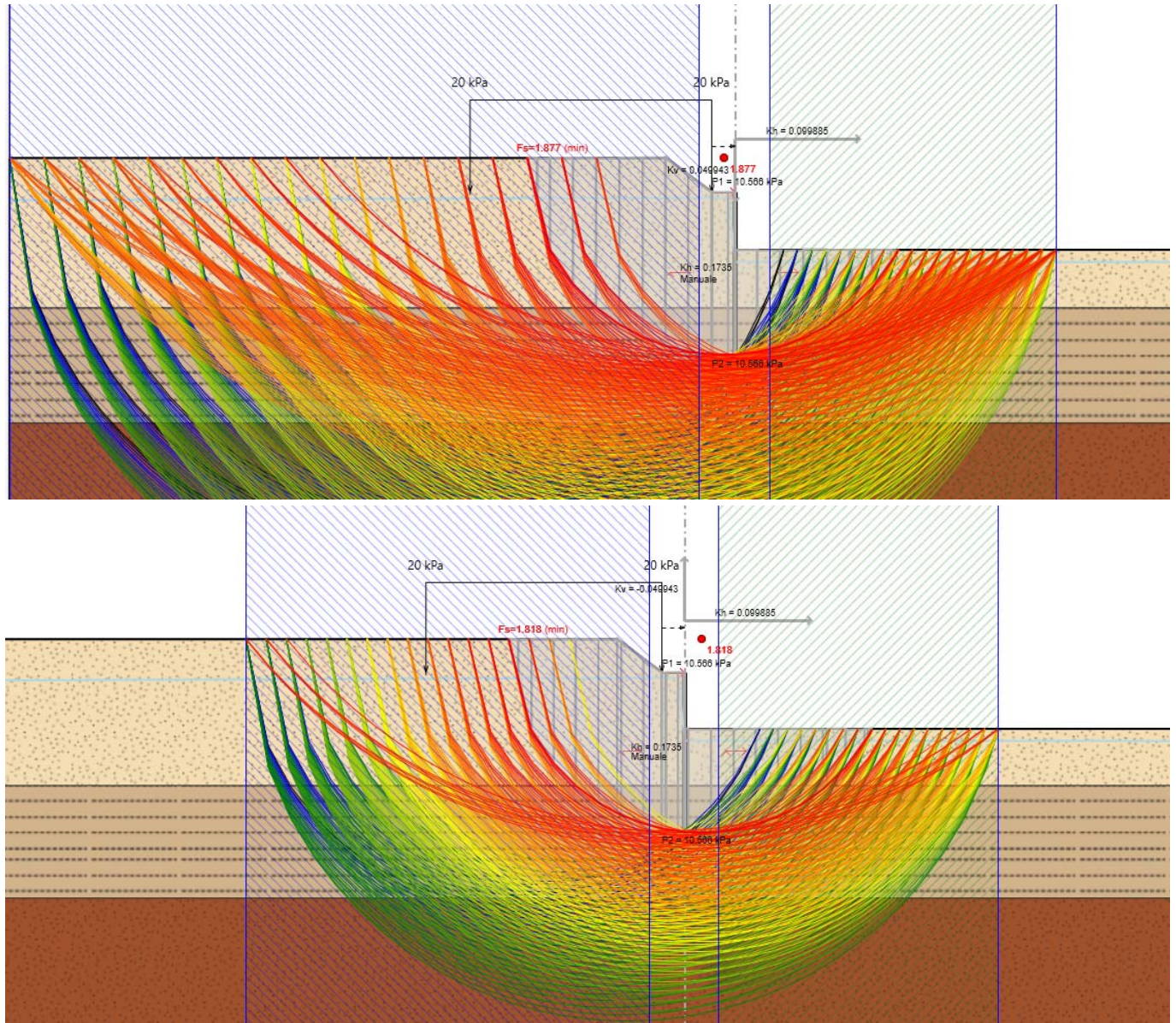


Figura 8-29. Verifica di stabilità globale del fronte di scavo, combinazione SLV GEO

|  |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>74 di 85</b> |

### 8.3.3 Deformazioni

Le deformazioni in fase realizzativa e in esercizio dell'opera sono state valutate con la combinazione SLE. Nelle seguenti figure sono riportati gli spostamenti massimi per ogni stage di calcolo e l'involuppo complessivo degli spostamenti. Lo spostamento massimo risulta di circa 20 mm.

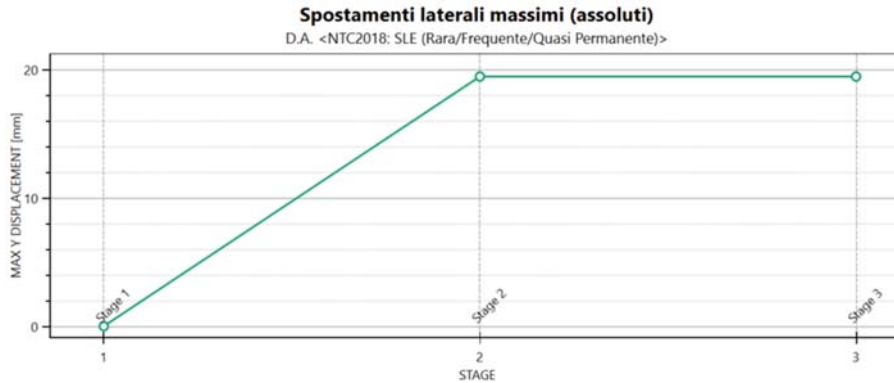


Figura 8-30. Spostamenti massimi della paratia in condizioni SLE

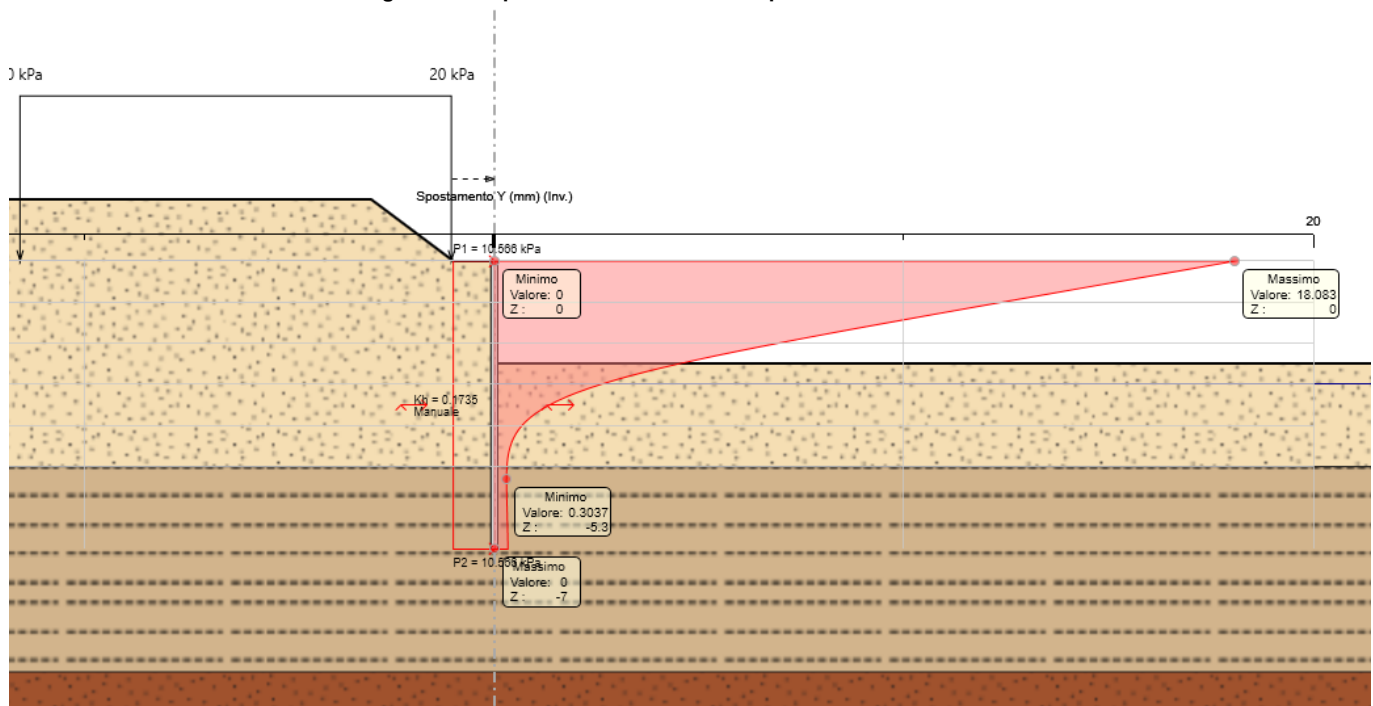


Figura 8-31. Involuppo degli spostamenti della paratia in condizioni SLE

|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>75 di 85</b> |

## 8.4 SCAVI A TERGO DELLA PARATIA

Oggetto di questo paragrafo sono le verifiche geotecniche (SLU e SLV) degli scavi di pendenza 2(V)/3(H) la cui realizzazione è prevista a tergo della paratia in progetto.

Le verifiche sono state svolte con riferimento alla sezione di calcolo dove l'altezza dello scavo a tergo della paratia risulta maggiore. In Figura 8-32 e Figura 8-33 si riportano rispettivamente, la sezione di calcolo e la sua ubicazione lungo la sviluppata della paratia.

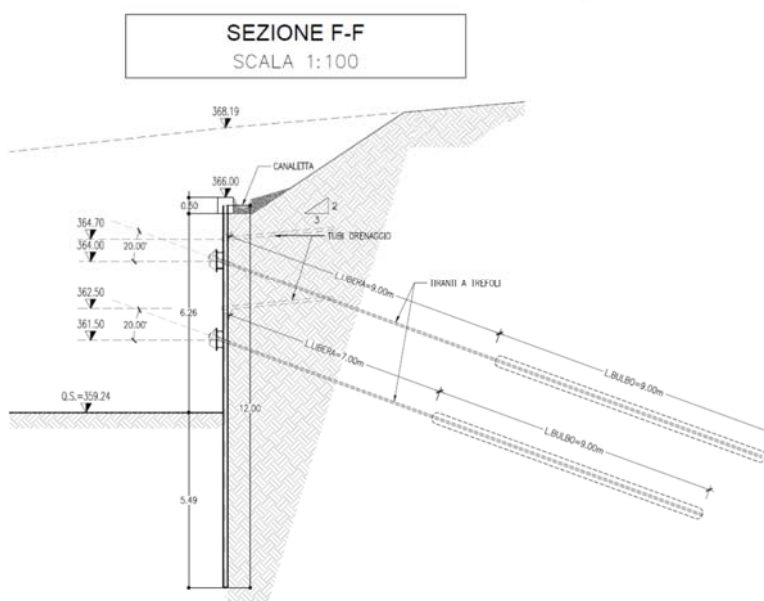


Figura 8-32. Scavi a tergo della paratia - Sezione di calcolo

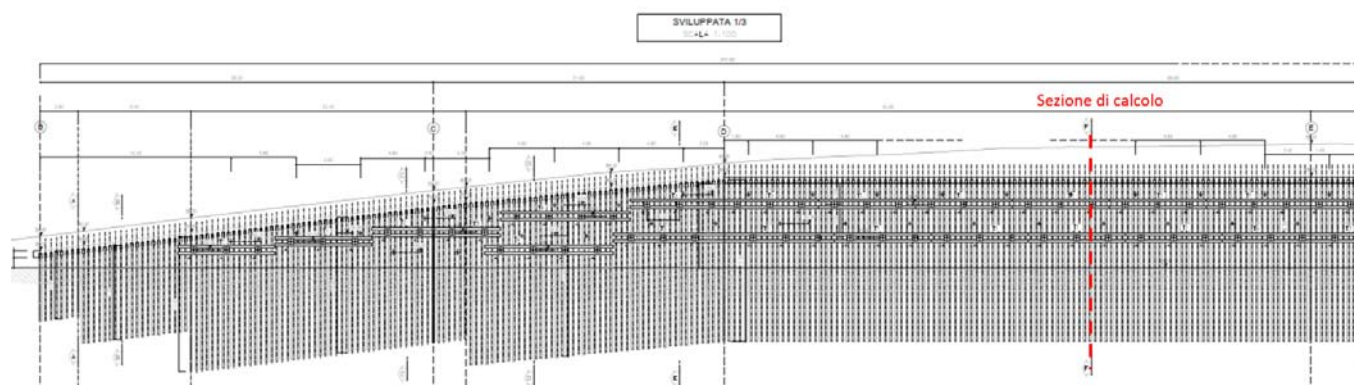


Figura 8-33. Scavi a tergo della paratia - Posizionamento della sezione di calcolo lungo la sviluppata

La sezione analizzata presenta un'altezza di scavo pari a circa 3,2m.

Poiché lo scopo delle analisi è quello di indagare la stabilità degli scavi presenti a monte della paratia, il modello di calcolo utilizzato ha previsto la modellazione della sola porzione di terreno a monte della paratia stessa ed è caratterizzato da una estensione sufficiente a studiare i possibili cinematismi di interesse.

In Figura 8-34 si riporta il modello di calcolo che è stato considerato.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 76 di 85 |

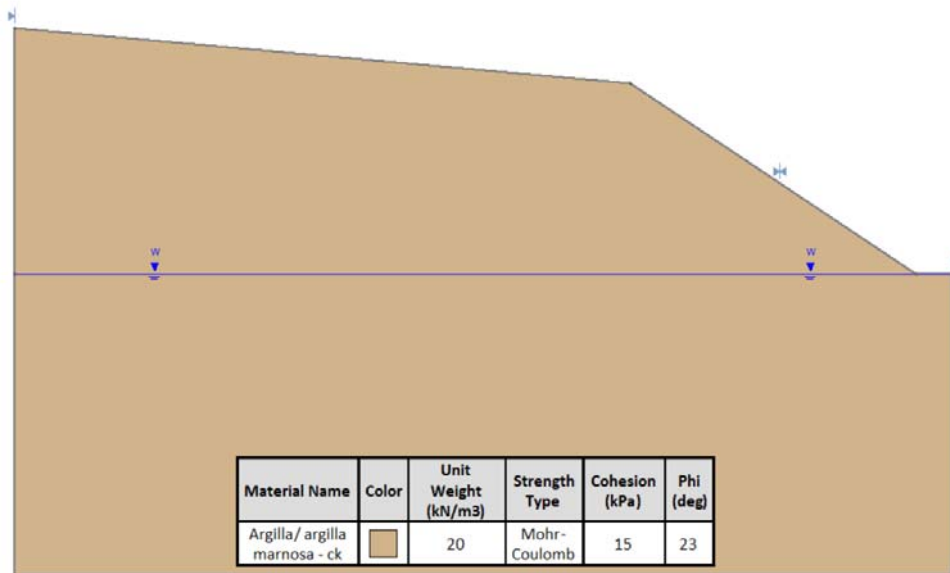


Figura 8-34 Scavi a tergo della paratia - Modello di calcolo

#### 8.4.1 Stratigrafia e parametri geotecnici

I cinematismi che interessano gli scavi a tergo della paratia presentano spessori modesti, di conseguenza nelle analisi si è considerato un terreno omogeneo avente i parametri geotecnici di resistenza propri dei terreni compresi tra piano campagna ed una profondità pari a 10m.

I valori caratteristici e di progetto dei parametri geotecnici di interesse sono riportati in Tabella 8-36.

Tabella 8-36 Scavi a tergo della paratia – Parametri geotecnici

| Argilla/argilla marnosa    | $\gamma$ | $\phi'$ | $c'$  |
|----------------------------|----------|---------|-------|
|                            | [kN/m³]  | [°]     | [kPa] |
| Parametri caratteristici   | 20       | 23      | 15    |
| Parametri di progetto – M2 | 20       | 18.8    | 12    |

In accordo a quanto definito al paragrafo 4.2.2, la falda di progetto è stata posta ad una profondità di 3m da piano campagna.

#### 8.4.2 Azione sismica di progetto

Secondo quanto definito dal DM 14.01.2018 e nelle relative istruzioni per l'applicazione, la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche dei fronti di scavo può essere condotta in accordo al metodo definito al paragrafo 7.11.4 del decreto stesso.

Sulla base di quanto definito al paragrafo 7.11.3.5.2 del DM 14.01.2018, in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici  $k_h$  (orizzontale) e  $k_v$  (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s a_{max}$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

Il DM 14.01.2018 indica che il valore da adottare per  $\beta_s$ , coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, debba essere 0.38 per le verifiche allo stato limite ultimo (SLV).

|  |  |             |                      |                         |  |
|--|--|-------------|----------------------|-------------------------|--|
| APPALTATORE:<br>Conorzio<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>                    |             |                      |                         |  |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria<br>ROCKSOIL S.P.A                             | Soci<br>MANDANTI<br>NET ENGINEERING<br>ELETTRI-FER |             | PINI<br>M-INGEGNERIA |                         | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie            | COMMESSA<br>IF3A                                   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB  | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 77 di 85  |

In accordo a quanto sopra dichiarato, per i rilevati oggetto di questo elaborato si ottengono i coefficienti sismici dichiarati in Tabella 8-37. Si noti che il valore di kv è considerato positivo quando rivolto verso il basso e negativo quando rivolto verso l'alto.

Tabella 8-37 Scavi a tergo della paratia - Valori dei coefficienti sismici per le verifiche dei fronti di scavo e rilevati

|              |        |         |
|--------------|--------|---------|
| Stato limite | kh     | kv      |
| SLV          | 0,0999 | ±0,0499 |

### 8.4.3 Verifiche SLU e SLV di stabilità globale

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità globale inerenti gli scavi a tergo della paratia.

Per le verifiche è stato implementato un modello 2D tramite il codice di calcolo Slide2, descritto al paragrafo 6.2.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura ritenute rappresentative, tra esse è stata definita come superficie critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza minimo.

In Tabella 8-38 si riportano i fattori di sicurezza FS calcolati, essendo FS>1,1 in condizioni statiche e FS>1,2 in condizioni sismiche, le verifiche di stabilità globali risultano soddisfatte.

In Figura 8-35, Figura 8-36 e Figura 8-37 si riportano i meccanismi di riferimento rispettivamente per le condizioni SLU, SLV+ e SLV-.

Tabella 8-38 Scavi a tergo della paratia - Risultati delle analisi di stabilità globale

| Combinazione | FS    | FSlim |
|--------------|-------|-------|
| SLU          | 2,078 | 1,1   |
| SLV+ (kv<0)  | 2,190 | 1,2   |
| SLV- (kv>0)  | 2,113 | 1,2   |

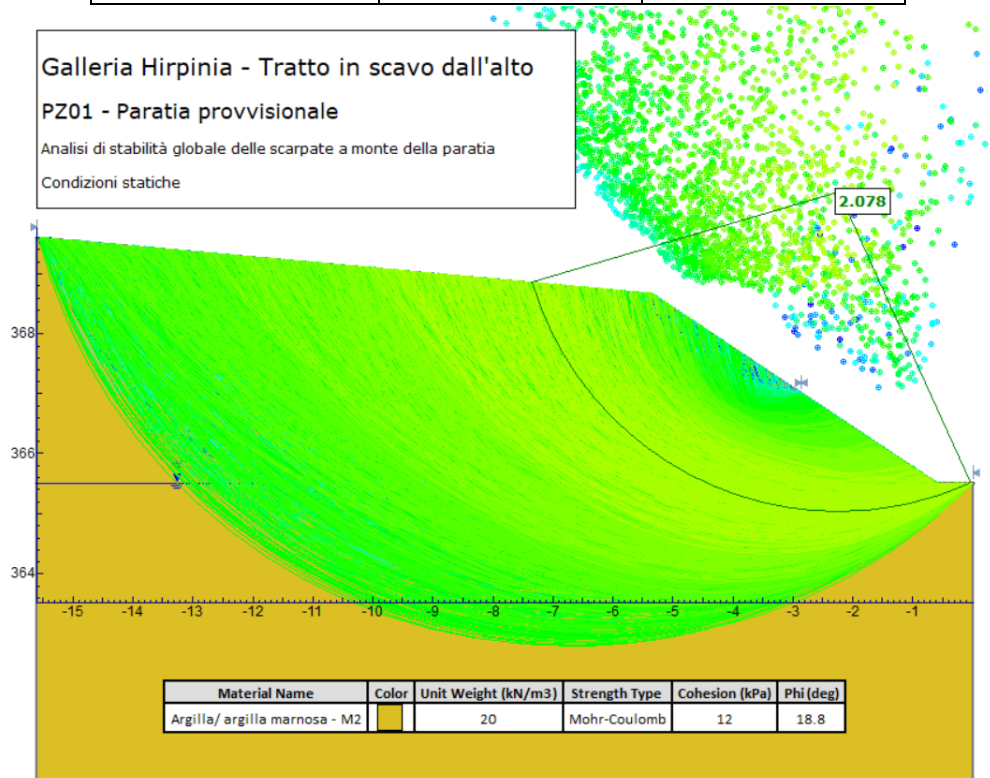


Figura 8-35 Scavi a tergo della paratia – Risultati delle verifiche di stabilità globale – Condizioni SLU

|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>78 di 85</b> |

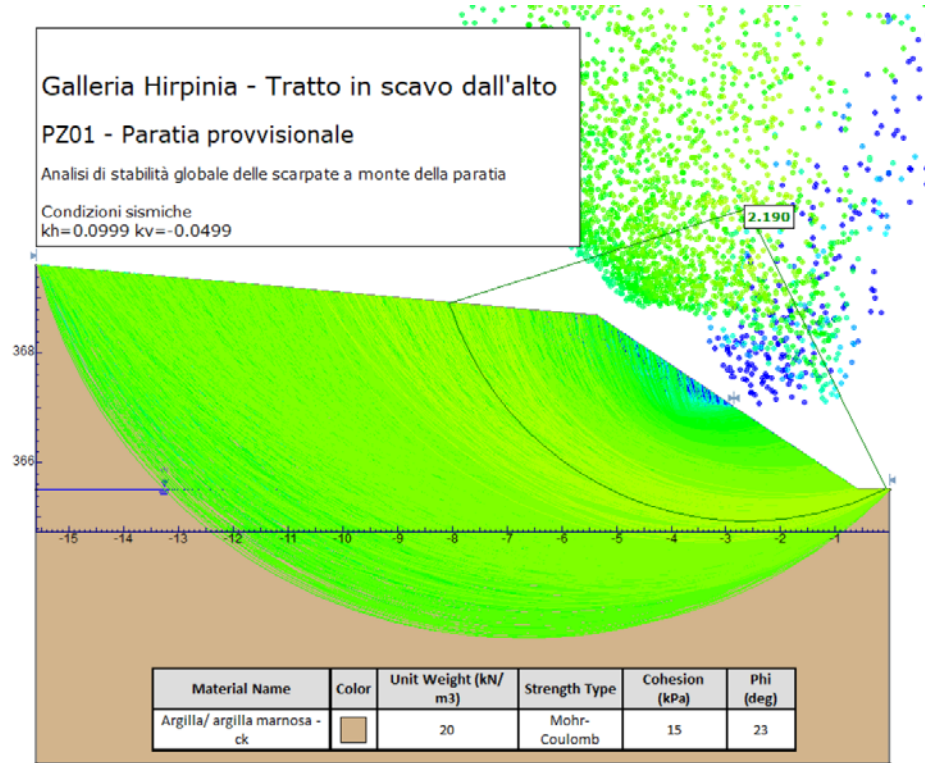


Figura 8-36 Scavi a tergo della paratia – Risultati delle verifiche di stabilità globale – Condizioni SLV+

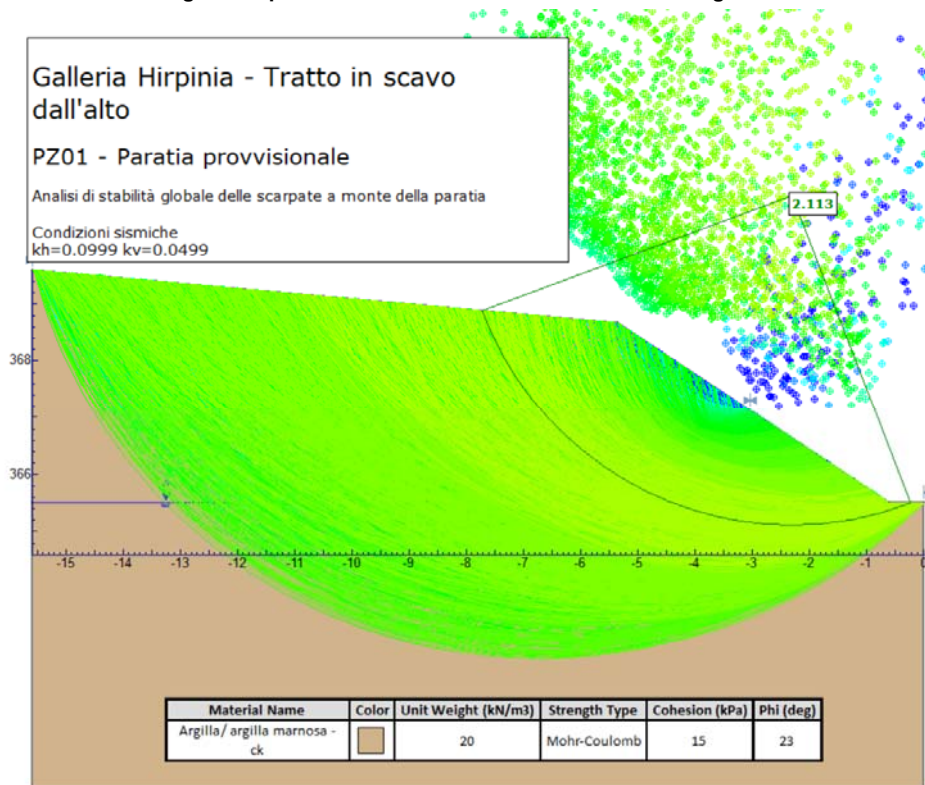


Figura 8-37 Scavi a tergo della paratia – Risultati delle verifiche di stabilità globale – Condizioni SLV-

|   |  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
|---|--|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br><u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | <b>COMMESSA</b><br><b>IF3A</b>   | <b>LOTTO</b><br><b>02</b> | <b>CODIFICA</b><br><b>E ZZ RB</b> | <b>DOCUMENTO</b><br><b>PZ0100 001</b> | <b>REV.</b><br><b>D</b> | <b>FOGLIO</b><br><b>79 di 85</b> |

## 8.5 VERIFICHE DI TIPO IDRAULICO (UPL E HYD)

Con riferimento agli stati limite ultimi di tipo idraulico relativi all'instabilità del fondo scavo per sollevamento (UPL) e sifonamento del fondo scavo (HYD), essi sono potenzialmente causati dalle forze di filtrazione che quando dirette verso l'alto possono annullare il peso del terreno, e se quest'ultimo è privo di coesione può essere trasportato dall'acqua in moto.

Nel nostro caso trattandosi di terreni argillosi, caratterizzati oltre che da un valore di permeabilità estremamente basso anche da una ragguardevole coesione è da escludersi il verificarsi di ogni possibile fenomeno di erosione; a questo riguardo nella seguente Figura si riporta un grafico ripreso dalla letteratura che mostra come il valore del gradiente idraulico critico aumenti all'aumentare della percentuale della frazione argillosa.

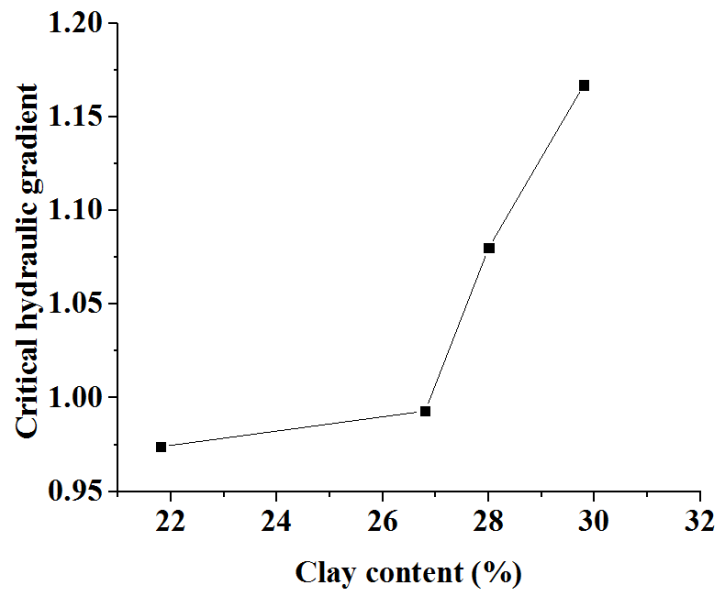


Figura 8-38. Andamento del gradiente idraulico critico in funzione della frazione argillosa.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Consorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                             | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 80 di 85 |

## 8.6 VERIFICHE SLU GEO DI STABILITÀ DEL FONDO SCAVO IN TERRENI A GRANA FINE IN CONDIZIONI NON DRENATE

Secondo i dettami del DM 14.01.2018 - par. 6.5.3.1.2, in condizioni non drenate in terreni a grana fine è necessario verificare la stabilità del fondo scavo, meccanismo di rottura analogo a quello della capacità portante, ma inverso; la rottura per taglio invece di essere raggiunta per un elevato carico applicato, è in questo caso ottenuta per scarico del materiale a causa dello scavo tra paratie.

La figura seguente mostra alcuni tra i più comuni metodi all'equilibrio limite usati per il meccanismo di rottura del fondo scavo in condizioni non drenate.

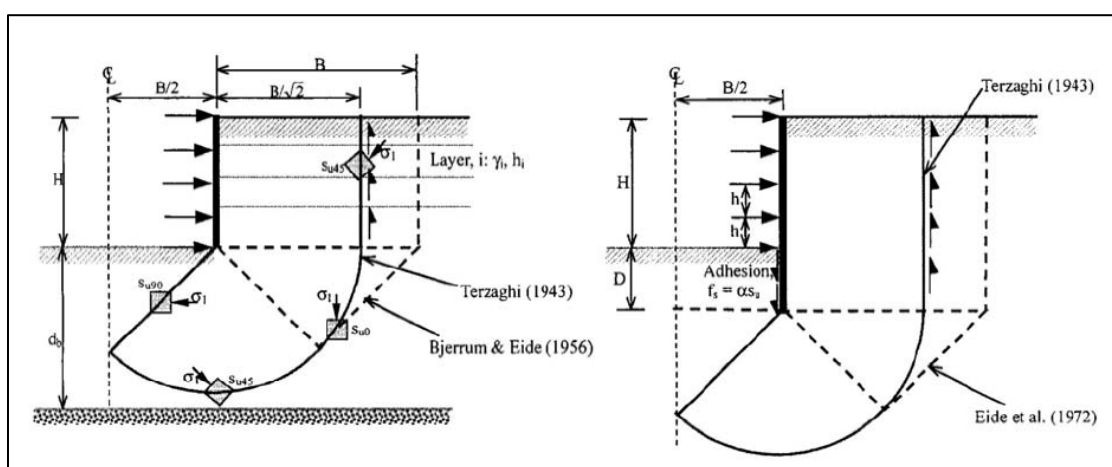


Figura 8-39. Meccanismi di rottura del fondo scavo senza e con approfondimento della paratia (Ukritchon et al., 2003)

Il metodo generalmente usato è quello di Terzaghi (1943) che definisce nel seguente modo il fattore di sicurezza:

$$F_s = \frac{Nc1 * Cu_d}{\gamma H - \sqrt{2} \left( \frac{H}{B} \right) Cu_d}$$

Dove  $Nc1$  è il numero di stabilità pari a 5.7,  $H$  è l'altezza libera della paratia e  $B$  la larghezza dello scavo.  $Cu_d$  è la resistenza non drenata del materiale coinvolto.

Nel caso di ampi scavi caratterizzati da  $H/B < 1$ , come nel caso delle paratie del presente imbocco, il fattore di sicurezza è vincolato dalla profondità del meccanismo ( $d_b$  in Figura 8-39), che può essere scelto ragionevolmente pari all'approfondimento della paratia.

$$F_s = \frac{Nc1 * Cu_d}{\gamma H - \left( \frac{H}{d_b} \right) Cu_d}$$

Inoltre, il calcolo del fattore di sicurezza non tiene conto dell'approfondimento della paratia che invece garantisce lo sviluppo di una crescente forza di coesione tra l'opera e il terreno e approfondisce il meccanismo di rottura fino alla profondità del piede della paratia, laddove la coesione non drenata è generalmente maggiore.

La verifica di stabilità del fondo scavo ha le seguenti ipotesi:

- $H/B < 1$  dove  $H=6.55$  m.
- Profondità  $D$  pari a all'approfondimento della paratia;
- Resistenza non drenata cautelativamente pari a 100 kPa;
- Peso specifico del materiale pari a 20 kN/m<sup>3</sup> relativo al terreno di monte.

La verifica è svolta secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2):



|   |  |                    |                            |                                |                  |                           |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>   | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING              PINI              GCF</b><br><b>   ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                    |                            |                                |                  |                           |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | COMMESSA<br><b>IF3A</b>  | LOTTO<br><b>02</b> | CODIFICA<br><b>E ZZ RB</b> | DOCUMENTO<br><b>PZ0100 001</b> | REV.<br><b>D</b> | FOGLIO<br><b>81 di 85</b> |

- M2 - coefficienti sui materiali:  $\gamma_{Cu} = 1.4$  ;  $\gamma_{\gamma} = 1.0$
- R2 – coefficienti sulle resistenze:  $\gamma_R = 1.1$  per fronti di scavo

### Verifica instabilità del fondo scavo

#### Materiale

|                 |                      |
|-----------------|----------------------|
| $\gamma$        | 20 kN/m <sup>3</sup> |
| Cu              | 100 kPa              |
| Cu <sub>d</sub> | 71.43 kPa            |

#### Geometria

|    |        |
|----|--------|
| H  | 6.55 m |
| D  | 5.5 m  |
| B  | 20 m   |
| db | 10 m   |

#### Fattore di Stabilità

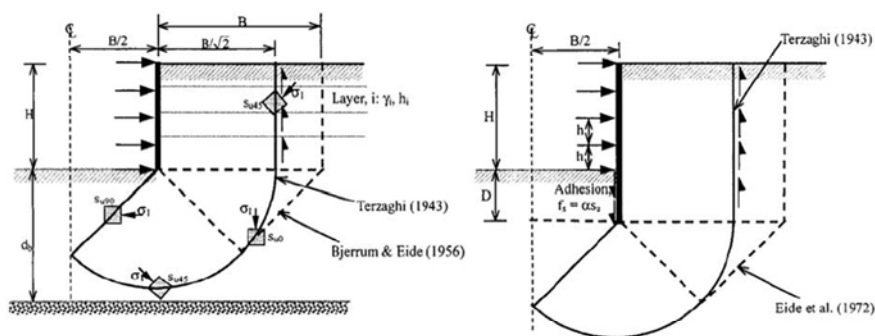
|     |     |
|-----|-----|
| Nc1 | 5.7 |
|-----|-----|

#### Coefficienti

|         |     |
|---------|-----|
| R2      | 1.1 |
| A2 (Cu) | 1.4 |

#### Fattori di sicurezza

|          |      |
|----------|------|
| Fs H/B>1 | 3.78 |
| Fs H/B<1 | 4.40 |



Il fattore di sicurezza per la sezione 1 è di 4.40 è maggiore di 1.0 e la verifica risulta soddisfatta. La verifica risulta essere rappresentativa delle altre sezioni in esame, caratterizzate da inferiori rapporti H/D. Si riporta l'andamento del fattore di sicurezza al variare di B e db e si fa notare che per le larghezze di interesse il FS è sempre ampiamente maggiore di 1.

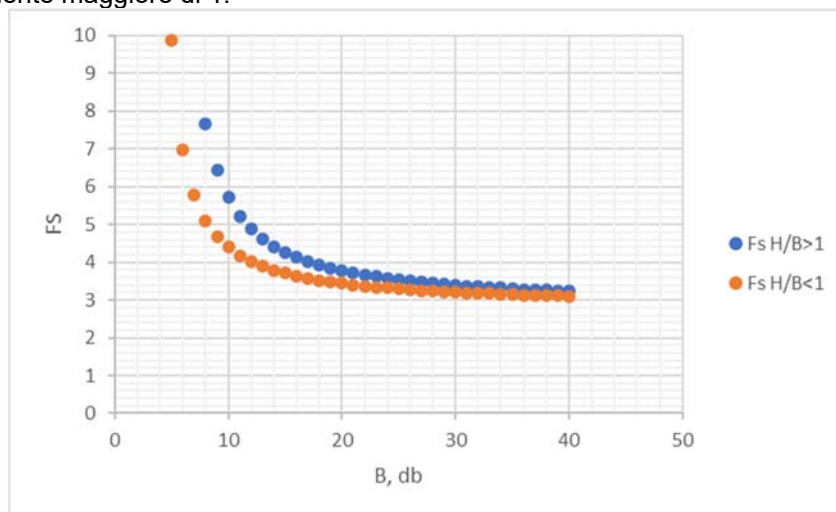


Figura 8-40. Verifica del fondo di scavo in terreni fini in condizioni non drenate – Andamento del fattore di sicurezza al variare di B e db

|  |  |             |                     |                         |           |                    |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br>Consorzio                      Soci<br><b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA   PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br>Mandataria                      Mandanti<br><b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b><br><b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |           |                    |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie   | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV.<br>D | FOGLIO<br>82 di 85 |

## 9 MONITORAGGIO DELLA PARATIA

Di seguito vengono illustrate le caratteristiche del sistema di monitoraggio da adottare per l'esecuzione della paratia.

### 9.1 CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE

#### 9.1.1 Mire ottiche

Le mire ottiche per il monitoraggio dovranno essere dei target riflettenti con croce di mira delle dimensioni minime di 50x50 mm. I target potranno essere montati su un supporto plastico ancorato alla struttura mediante un tassello o barra metallica filettata inghisata, oppure potranno essere di tipo adesivo ed applicati direttamente sulla struttura da monitorare.

Le misure dovranno essere eseguite con stazioni totali automatiche con precisione delle letture angolari a norma ISO 17123-3 di 1.5 cc e precisione di misura delle distanze a norma ISO 17123-4 di 1 mm + 1 ppm, e provviste di regolare certificato di calibrazione.



Figura 9-1. Esempio di target topografico riflettente su supporto in plastica

Le mire ottiche dovranno essere installate prima dell'esecuzione dei relativi scavi da monitorare e dovrà essere eseguita una lettura di zero subito dopo l'installazione. Sui fabbricati da monitorare l'installazione delle mire dovrà essere effettuata prima dell'inizio dei lavori e in concomitanza con l'esecuzione dello stato di consistenza del fabbricato stesso, mentre sulle opere di contenimento le mire dovranno essere installate una volta ultimata la parte di struttura sulla quale devono essere posizionate, prima dell'ulteriore approfondimento degli scavi. Le misure effettuate dovranno partire dai punti fissi della rete topografica utilizzata per il tracciamento delle opere da realizzare, e la posizione misurata dovrà essere nel medesimo sistema di riferimento.

#### 9.1.2 Celle di carico toroidali

Le celle di carico per il monitoraggio della forza nei tiranti dovranno essere posizionate in testa ai tiranti, tra una piastra di appoggio e la piastra di distribuzione del carico del tirante. Le celle dovranno essere elettriche con trasduttore di tipo resistivo, dovranno avere un fondo scala di 2500 kN e una sensibilità di almeno 0.06 % del fondo scala. Le celle di carico dovranno essere leggibili manualmente con apposita strumentazione di lettura. La lettura di zero dovrà essere eseguita successivamente all'installazione del tirante, prima dell'esecuzione di ulteriori lavorazioni.

### 9.2 MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DELLA PARATIA

La paratia verrà monitorata topograficamente tramite l'installazione di mire ottiche in corrispondenza del cordolo di testa e delle travi di ripartizione dei tiranti. Le misure eseguite restituiranno l'indicazione degli spostamenti orizzontali dell'opera provvisoria.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 83 di 85 |

Tabella 9-1. Quantità e frequenze misure topografiche superficiali

| Strumento   | Quantità e zona d'installazione   | Frequenza lettura *   |
|---|---|---|
| Mire topografiche   | 19 mire topografiche.<br>Punti di misura posti sul cordolo di testa e sulle travi di ripartizione dei tiranti | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura/giorno durante gli scavi;</li> <li>• 1 lettura/settimana per il successivo mese;</li> <li>• 1 lettura/mese per i successivi tre mesi;</li> <li>• 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.</li> </ul> |
| * in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate |   |   |

### 9.2.1 Documentazione

I risultati delle misure dovranno contenere:

- La restituzione numerica delle letture ed elaborazione dei dati;
- Il grafico dell'andamento degli spostamenti in funzione della profondità di scavo;
- Il grafico dell'andamento degli spostamenti in funzione del tempo;

### 9.2.2 Valori di soglia degli spostamenti

Si riportano di seguito i valori di attenzione e di allarme sulla base delle analisi numeriche svolte nella relazione di calcolo delle paratie. Tali valori sono stati valutati in funzione del valore massimo atteso dalle analisi numeriche per le diverse grandezze, nel seguente modo:

soglia di allarme  $\Delta_{allarme}=1.2*\Delta_{calcolo}$

soglia di attenzione  $\Delta_{attenzione}=0.95*\Delta_{calcolo}$

in cui  $\Delta_{calcolo}$  è il massimo della grandezza secondo i risultati delle analisi numeriche.

Tabella 9-2. Soglie di attenzione ed allarme per gli spostamenti della paratia

|           |                     |                    | Spostamento della paratia  |                           |                        |
|-----------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|
|           |                     |                    | Valore atteso/calcolo [mm] | Soglia di attenzione [mm] | Soglia di allarme [mm] |
| Sezione 1 | 2 ordini di tiranti | Trave cls          | 7.5                        | 7                         | 9                      |
|           |                     | Tave rip II ordine | 10                         | 10                        | 12                     |
| Sezione 2 | 1 ordine di tiranti | Trave cls          | 22                         | 21                        | 26                     |
|           |                     | Tave rip I ordine  | 10                         | 10                        | 12                     |
| Sezione 3 | a sbalzo            | Trave cls          | 18                         | 17                        | 22                     |

### 9.3 MONITORAGGIO DEI TIRANTI

I tiranti della paratia verranno monitorati tramite l'installazione di 14 celle di carico toroidali installate in corrispondenza sia del primo che del secondo ordine di tiranti. Le misure eseguite restituiranno l'indicazione della forza agente sui singoli elementi.

|  |  |             |                     |                         |                           |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| APPALTATORE:<br>Conorzio Soci<br>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI                              | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |             |                     |                         |                           |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandataria Mandanti<br>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF<br>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA<br/>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |             |                     |                         |                           |
| PROGETTO ESECUTIVO<br>Relazione geotecnica e di calcolo paratie  | COMMESSA<br>IF3A   | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>E ZZ RB | DOCUMENTO<br>PZ0100 001 | REV. FOGLIO<br>D 84 di 85 |

**Tabella 9-3. Quantità e frequenze misure topografiche superficiali**

| Strumento   | Quantità e zona d'installazione  | Frequenza lettura *                                  |
|---|--|--|
| Celle di carico toroidali   | 14 celle di carico.<br>Punti di misura posti in corrispondenza del primo e del secondo ordine di tiranti | * letture automatiche in continuo (1 lettura/giorno) |
| * in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate |  |  |

### 9.3.1 Documentazione

I risultati delle misure dovranno contenere:

- La restituzione numerica delle letture ed elaborazione dei dati;
- Il grafico dell'andamento della forza negli elementi in funzione della profondità di scavo;
- Il grafico dell'andamento della forza negli elementi in funzione del tempo;

### 9.3.2 Valori di soglia degli spostamenti

Si riportano di seguito i valori di attenzione e di allarme sulla base delle analisi numeriche svolte nella relazione di calcolo delle paratie. Tali valori sono stati valutati in funzione del valore massimo atteso dalle analisi numeriche per le diverse grandezze, nel seguente modo:

soglia di allarme  $\Delta_{allarme}=1.2*\Delta_{calcolo}$

soglia di attenzione  $\Delta_{attenzione}=0.95*\Delta_{calcolo}$

in cui  $\Delta_{calcolo}$  è il massimo della grandezza secondo i risultati delle analisi numeriche.

**Tabella 9-4. Soglie di attenzione ed allarme per lo stato di sollecitazione dei tiranti**

|           |                     |           | Sollecitazione nei tiranti |                           |                        |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------------|---------------------------|------------------------|
|           |                     |           | Valore atteso/calcolo [kN] | Soglia di attenzione [kN] | Soglia di allarme [kN] |
| Sezione 1 | 2 ordini di tiranti | I ordine  | 486.5                      | 462.2                     | 583.8                  |
|           |                     | II ordine | 512.4                      | 486.8                     | 614.9                  |
| Sezione 2 | 1 ordine di tiranti | I ordine  | 493.7                      | 469.0                     | 592.4                  |

|   |  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
|---|--|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| <b>APPALTATORE:</b><br><u>Consorzio</u> <u>Soci</u><br><b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>  | <b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTAZIONE:</b><br><u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u><br><b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b><br><b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b> | <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b><br><b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b> |                           |                                   |                                       |                         |                                  |
| <b>PROGETTO ESECUTIVO</b><br><b>Relazione geotecnica e di calcolo paratie</b>   | <b>COMMESSA</b><br><b>IF3A</b>   | <b>LOTTO</b><br><b>02</b> | <b>CODIFICA</b><br><b>E ZZ RB</b> | <b>DOCUMENTO</b><br><b>PZ0100 001</b> | <b>REV.</b><br><b>D</b> | <b>FOGLIO</b><br><b>85 di 85</b> |

## 10 VALIDAZIONE SOFTWARE DI CALCOLO E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE

Le analisi numeriche sono state eseguite con il software PARATIE commercializzato della società Harpaceas di comprovata validità e affidabilità, la cui validazione è stata effettuata negli anni mediante confronti con altri software, con soluzioni analitiche e con casi reali. In ogni caso si rimanda anche ai manuali d'uso dei software in cui sono riportati dei test di validazione.

Per quanto riguarda l'accettabilità dei risultati delle analisi numeriche, ogni struttura illustrata nel presente elaborato è stata analizzata in fase di dimensionamento tramite metodi semplificati, al fine di confermare l'idoneità dei risultati ottenuti dalle elaborazioni numeriche. In particolare, in base alla natura delle opere in oggetto, i seguenti controlli sono stati svolti.

1. Analisi delle spinte orizzontali in fase finale (configurazione di fondo scavo) determinate in base alla teoria di Muller-Breslau con

$$k_A = \frac{\cos^2(\phi')}{\cos \delta \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin \phi'}{\cos \delta}} \right]^2} \quad k_P = \frac{\cos^2(\phi')}{\cos \delta \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin \phi'}{\cos \delta}} \right]^2}$$

2. Verifica dell'equilibrio orizzontale del sistema, includendo le azioni dei tiranti, ove presenti.
3. Verifica della lunghezza di infissione secondo le due seguenti situazioni

caso A: paratie a mensola

caso B: paratie dotate di tiranti

assumendo che, nel primo caso (A) la lunghezza di infissione debba valere almeno 1.3÷1.5 volte l'altezza di scavo e nel secondo caso (B) essa debba essere sempre maggiore di 4 m.

Il procedimento proposto è stato considerato valido per confermare l'idoneità delle scelte effettuate in sede di schematizzazione e modellazione.