

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA FERROVIARIA ROMA - VITERBO

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

NR1J 00 D 29 CL RI0005 001 B

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|-----------|---------|--------------|---------|-------------|---------|--|
| A | EMISSIONE ESECUTIVA | F. Serrau | 11.2018 | M. Arcangeli | 11.2018 | T. Paoletti | 11.2018 | <p>ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Via Feltrina - Fabrizio Arduini 00144 Roma - Provincia di Roma Tel. +39 06 4982 7674 Fax +39 06 4982 7674</p> |
| B | REVISIONE | F. Serrau | 05-2020 | M. Monda | 05-2020 | T. Paoletti | 05-2020 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

File: NR1J00D29CLGE0005001B.doc

n. Elab.: 199

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | NORMATIVE DI RIFERIMENTO..... | 5 |
| 2.2 | DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO..... | 5 |
| 2.3 | SOFTWARE..... | 6 |
| 3.1 | CALCESTRUZZO..... | 7 |
| 3.2 | ACCIAIO DI ARMATURA - BARRE..... | 7 |
| 5.1 | VITA NOMINALE..... | 9 |
| 5.2 | CLASSE D'USO..... | 9 |
| 5.3 | PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA..... | 10 |
| 5.4 | CATEGORIE DI SOTTOSUOLO..... | 10 |
| 5.5 | CONDIZIONI TOPOGRAFICHE..... | 11 |
| 5.6 | AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA..... | 11 |
| 5.7 | AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO..... | 12 |
| 6.1 | AZIONI PERMANENTI..... | 15 |
| 6.1.1 | <i>Peso proprio</i> | 15 |
| 6.1.2 | <i>Spinta delle terre</i> | 15 |
| 6.2 | AZIONI VARIABILI..... | 18 |
| 6.2.1 | <i>Sovraccarichi</i> | 18 |
| 6.3 | AZIONE SISMICA..... | 18 |
| 6.3.1 | <i>Accelerazione equivalente di progetto</i> | 18 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.3.2 | <i>Spinta sismica del terreno</i> | 20 |
| 6.3.3 | <i>Forza d'inerzia</i> | 21 |
| 8.1 | MODELLAZIONE NUMERICA | 26 |
| 8.2 | MODELLO DI CALCOLO | 30 |
| 8.3 | FASI DI COSTRUZIONE | 30 |
| 9.1 | VERIFICA DELLA MASSIMA SPINTA PASSIVA MOBILITATA | 36 |
| 9.2 | VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI | 36 |
| 9.3 | ALTRE VERIFICHE | 36 |
| 10.1 | CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A. | 37 |
| 10.2 | VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE-PRESSOFLESSIONE | 37 |
| 10.3 | VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO | 37 |
| 10.4 | VERIFICA AGLI STATI LIMITE D'ESERCIZIO | 39 |
| 12.1 | VERIFICHE GEOTECNICHE | 47 |
| 12.2 | VERIFICHE STRUTTURALI | 47 |

1. PREMESSA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e la verifica della paratia di pali nei pressi della stazione ferroviaria del comune di Cesano nell'ambito dell'intervento della realizzazione del raddoppio della ferrovia Roma - Viterbo nella tratta extraurbana tra la stazione di Cesano di Roma e la stazione di Vigna di Valle, da progr. Km 27+811 a progr. Km 39+280, con relativa eliminazione dei passaggi a livello.

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche della paratia di pali prevista tra le pk 28+050 e pk 28+105, con lunghezza in pianta di 18.00m. La Figura 1 illustra la geometria dell'opera, costituita da pali con interasse 0.9m, $\phi 800$ e lunghi 18m.

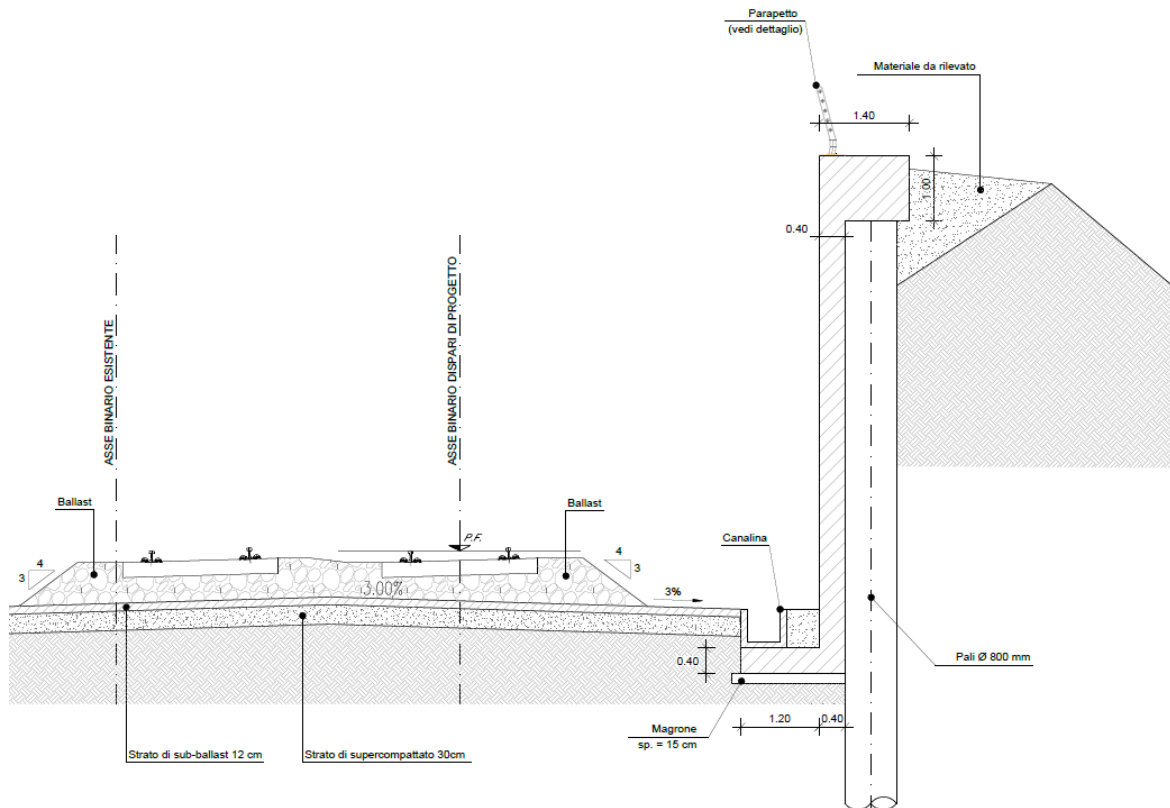


Figura 1 – Paratia di pali accostati

| | | | | | | |
|---|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B | FOGLIO 5 di 79 |

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Normative di riferimento

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

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018;
- [2] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [3] Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- [4] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 002 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria;
- [5] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 003 - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari;
- [6] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 004 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo;
- [7] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 005 - Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia;
- [8] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea.
- [9] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B “Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale”.

2.2 Documentazione di progetto

- [10] Infrastruttura ferroviaria – Planimetria di progetto 1-7, NR1J01D29P6IF0001001A-7A
- [11] Infrastruttura ferroviaria – Sezioni trasversali 1-36, NR1J01D29W9IF0001001A-36°
- [12] Relazione geotecnica generale di linea, NR1J01D29GE0005001A
- [13] Profilo geotecnico di linea – Tav 1-8, NR1J01D29F6GE0005001A-8A

| | | | | | | |
|---|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B | FOGLIO 6 di 79 |

[14] Opera di sostegno BD - km 28+050 - 28+105 - Planimetria di tracciamento, profilo e sezioni 1-2, NR1J01D29PZRI0005001A-2A

2.3 Software

[15] ParatiePlus v18.1.0 – Ceas Srl (www.ceas.it)

[16] RC-SEC v2016.10.0.510 – GeoStru (www.geostru.eu)

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzo

Elemento strutturale: Pali, cordoli di collegamento, rivestimento interno

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

3.2 Acciaio di Armatura - Barre

| | |
|--|--------------------------|
| Tipo acciaio | B 450 C |
| Peso specifico, γ_a | 78,50 kN/mc |
| Tensione nominale di snervamento, $f_{y\ nom}$ | 450 N/mm ² |
| Tensione nominale di rottura, $f_{t\ nom}$ | 540 N/mm ² |
| Minima tensione caratteristica di snervamento, $f_{yk\ min}$ | 450 N/mm ² |
| Minima tensione caratteristica di rottura, $f_{tk\ min}$ | 540 N/mm ² |
| Minimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_k\ min$ | 1,15 |
| Massimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_k\ max$ | 1,35 |
| Massimo rapporto tra i valori nominali, $(f_y/f_{y\ nom})_k$ | 1,25 |
| Allungamento caratteristico sotto carico massimo, $(A_{gt})_k$ | 7,5 % |
| Modulo di elasticità dell'acciaio, E | 206000 N/mm ² |

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica generale (NR1J00D29GEGE0005001A). In base ai dati a disposizione, sono stati scelti dei valori cautelativi per i parametri di calcolo.

In particolare, per l'opera in esame si è fatto riferimento al modello geotecnico individuato per la macro-area che va da pk 27+769 a pk 28+450 e descritto in dettaglio nella Relazione Geotecnica. Inoltre, questo è stato opportunamente esteso per tenere conto del variare del piano campagna (P.C.) lungo il tracciato ferroviario.

Nella Tabella 1 si riportano la stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto.

Tabella 1 - Modello geotecnico di riferimento

Modello 1a - Da pk 27+769 a 28+400

| Unità geotecnica | Descrizione | z iniz (m) | z fin (m) |
|------------------|---|------------|-----------|
| U1a | Limo sabbioso debolmente argilloso | 0 | 7 |
| U2a | Sabbia limoso argillosa | 7 | 11 |
| U3c superficiale | PVL- Depositi vulcanici litoidei: Tufo litoide alterato | 11 | 16 |
| U3c profondo | PVL- Depositi vulcanici litoidei: Tufo litoide | 16 | 30 |

La falda di progetto si trova alla profondità di 3.86 m dal piano campagna; nel modello tale valore corrisponde a - 9.4m.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

5.1 Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione (tipo 2):

- 1 *Costruzioni temporanee e provvisorie*
- 2 *Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie*
- 3 *Costruzioni con livelli di prestazione elevati*

la cui vita nominale è pari a 75 anni.

5.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso II (Tabella §2.5.1.1.2.1 di RFI DTC SI PS MA IFS 001 B):

- I *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- II *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- III *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- IV *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di*

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il coefficiente d'uso è pari a 1.00, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4.II delle NTC.

Tabella 2 – Valori del coefficiente di uso C_u

| | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| Classe d'uso | I | II | III | IV |
| Coefficiente d'uso | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

5.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento $V_R = V_N * C_U = 75 * 1.0 = 75$ anni.

5.4 Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di **Categoria E**.

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*
- C *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*
- D *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,*

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

5.5 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come **T1**.

T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

T2 Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.

T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

5.6 Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018, per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

Tabella 3 - Espressioni per S_S e C_C

| Categoria sottosuolo | S_S | C_C |
|----------------------|---|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

Tabella 4 - Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T

| Categoria Topografica | Ubicazione dell'opera dell'intervento | S_T |
|-----------------------|--|-------|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4 |

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a $S_T = 1$.

I valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a $S_S = 1,600$ e $C_C = 1,748$.

5.7 Azione sismica di riferimento

Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{V_R} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

Tabella 5 - Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

| | STATO LIMITE | P_{VR} : probabilità di superamento nel periodo di riferimento |
|-----|--|--|
| SLE | SLO - Stato Limite di Operatività | 81% |
| | SLD - Stato Limite di Danno | 63% |
| SLU | SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita | 10% |
| | SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso | 5% |

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = -\frac{C_u \cdot V_N}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Di seguito si riportano i valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito dell'opera in oggetto. La latitudine e la longitudine di riferimento sono riferite al WGS84 e sono pari a (vedi Figura 2):



Figura 2 – ubicazione della paratia di pali

Latitudine: 42,064283

Longitudine: 12,323333

Tabella 6 - Parametri sismici Stato Limite di salvaguardia della Vita

| | |
|---|--------|
| a_g (g) (SLV) | 0.077 |
| Risposta Sismica Locale | |
| Categoria di sottosuolo | E |
| Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s | 1.600 |
| Categoria Topografica | T1 |
| Coefficiente di amplificazione topografica S_t | 1.0 |
| Accelerazione massima attesa al suolo | |
| a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$) | 0.1232 |

Tabella 7 - Parametri sismici Stato Limite di Danno

| | |
|---|-------|
| a_g (g) (SLD) | 0.045 |
| Risposta Sismica Locale | |
| Categoria di sottosuolo | E |
| Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s | 1.600 |
| Categoria Topografica | T1 |
| Coefficiente di amplificazione topografica S_t | 1.0 |
| Accelerazione massima attesa al suolo | |
| a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$) | 0.072 |

Per la definizione delle azioni, è stato considerato un fattore di struttura $q=1,00$ per gli spettri orizzontali e $q=1,00$ per quelli verticali SLV e $q=1,00$ per quelli SLD.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

6. ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO

6.1 Azioni permanenti

6.1.1 *Peso proprio*

Per la tipologia di modello di calcolo adottato l'effetto del peso proprio della berlinese non entra in gioco nelle valutazioni dello stato di sforzo agente.

6.1.2 *Spinta delle terre*

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

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

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

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

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

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

dove

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

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

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

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

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

Attraverso valori opportuni di K_A e K_P si tiene conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948).

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'h = K_A \sigma'v - 2c'K_A^{0.5}$$

$$\sigma'h = K_P \sigma'v + 2c'K_P^{0.5}$$

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

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

$$k = E / L$$

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

$$K = E \Delta / L$$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto, in zona attiva (uphill):

$$L_A = 2/3 l_A \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

e in zona passiva (downhill):

$$L_P = 2/3 l_P \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

dove l sono rispettivamente:

$$l_A = \min[l; 2H]$$

$$l_P = \min[l-H; H]$$

e dove l = altezza totale della paratia e H = altezza corrente dello scavo. La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987).

Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

Il parametro E dipende dalla storia tensionale del sito nonché dall'incremento locale dello stato tensionale come illustrato in Becci e Nova (1987).

Il modulo E può essere considerato dipendente dalla pressione media $p = (\sigma'_v + \sigma'_h)/2$ secondo la legge

$$E = R(p/p_a)^n$$

in cui p_a è la pressione atmosferica mentre R e n sono quantità determinabili sperimentalmente. E' ovvio che ponendo $n=0$ si può considerare il caso di modulo costante, mentre se n è posto pari a 1, si ha il caso, tipico delle argille normalconsolidate, in cui il modulo varia linearmente con la profondità. Nelle nostre analisi si è posto $n=0$.

Il valore R è in genere diverso in condizioni di carico vergine o di scarico-ricarico. Valori indicativi di R e n sono dati da Janbu (1963). La variabilità di questi parametri è grandissima. Per una sabbia n può variare tra 0.2 e 1.0 e R tra 8 e 200 MPa. Per un'argilla normalmente consolidata $n \sim 1$. I valori di R per argille italiane possono essere dedotti da Jamiolkowski et al. (1979).

Si noti inoltre che, poiché lo stato tensionale iniziale vergine non è isotropo, la rigidità del terreno in condizioni di carico vergine è minore di quella che si può misurare in prove triassiali drenate isotropicamente consolidate.

Nel caso in cui $n=0$, il valore del modulo R in condizioni di carico vergine può essere considerato identico al valore del modulo elastico inteso tradizionalmente. Per una correlazione con i risultati delle più comuni prove in sito si veda ad esempio Bowles (1988).

Il modulo di scarico-ricarico è da 3 a 10 volte maggiore nel caso di argille, mentre è in genere da 1.5 a 3 volte più grande nel caso di sabbie. Nel caso specifico si è comunque scelto di mantenerlo uguale a quello di carico vergine.

6.1.2.1 Profondità massima di scavo

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

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

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

6.2 Azioni variabili

6.2.1 Sovraccarichi

In fase di scavo provvisorio (prima della realizzazione del rivestimento interno) e in fase di esercizio, si adotta un sovraccarico pari a 10 kPa, dovuto ai mezzi di cantiere in fase provvisoria ed a mezzi agricoli in fase definitiva. Il sovraccarico è applicato in corrispondenza della strada interpodereale a valle della quali si realizzerà la paratia.

6.3 Azione sismica

6.3.1 Accelerazione equivalente di progetto

Come definito nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018), a meno di specifiche analisi dinamiche, è possibile svolgere le verifiche di sicurezza per l'opera di sostegno mediante analisi pseudostatiche o analisi agli spostamenti. Nello specifico, la valutazione dell'impatto dell'azione sismica sull'opera di sostegno è stata condotta mediante analisi pseudostatica come definito nei Paragrafi 7.11.6.2.1 e 7.11.6.3 della Normativa e tenendo in considerazione anche il manuale RFI (RFI DTC SI CS MA IFS 001 B par. 3.10.3.1).

Per le verifiche geotecniche delle paratie, le componenti dell'accelerazione equivalente k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono valutate come segue:

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max}$$

$$k_v = 0$$

essendo:

α coefficiente di deformabilità (si veda la Figura 3) = 0.39;

β coefficiente di spostamento (si veda la Figura 4) ≈ 0.694 – tale valore viene valutato iterativamente, iniziando l'analisi con valore unitario e aggiornato in base allo spostamento di volta in volta ottenuto, sino a convergenza.

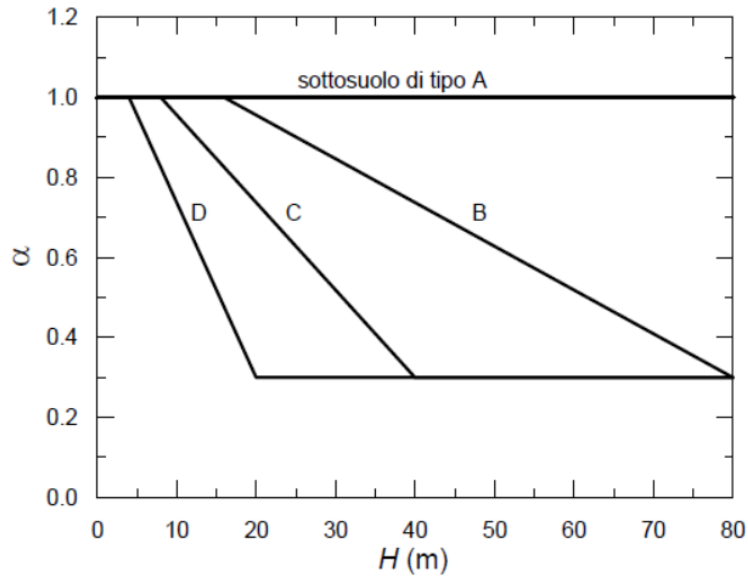


Figura 3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

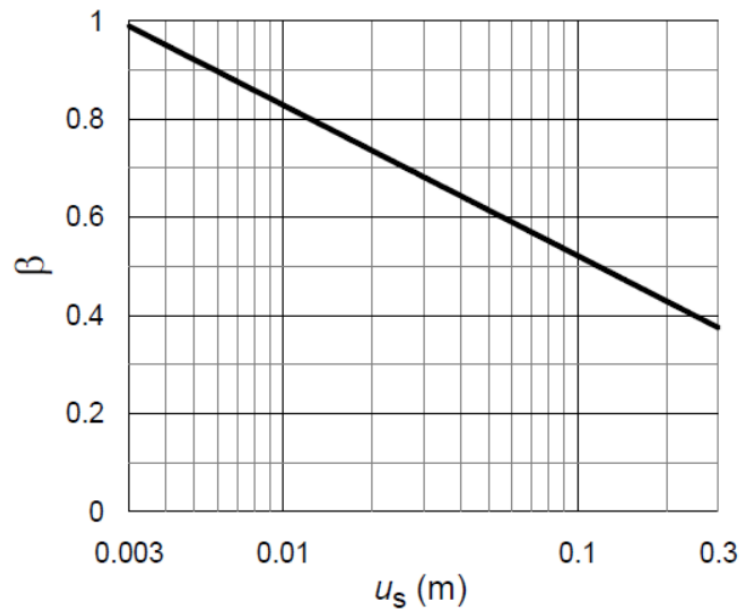


Figura 4 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

Nelle verifiche sismiche le azioni generate dal sisma ed agenti sulla struttura sono considerate come segue:

1. spinta sismica del terreno a tergo dell'opera;
2. forze d'inerzia orizzontali di muro e paratia.

6.3.2 Spinta sismica del terreno

Si applica una pressione pseudostatica sul paramento di paratia fuori scavo o sul muro, diretta da monte verso valle, secondo la teoria di Mononobe ed Okabe riportata di seguito:

per $\beta \leq \phi - \theta$:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

per $\beta > \phi - \theta$:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

in cui:

- ϕ angolo di resistenza al taglio del terreno
- β inclinazione del terreno a monte del muro rispetto all'orizzontale (positivo per terreno che sale allontanandosi dal muro)
- ψ inclinazione del muro rispetto all'orizzontale ($>90^\circ$ per parete inclinata verso valle)
- δ angolo di attrito muro-terreno
- θ angolo dipendente dalla accelerazione sismica e definito dalle seguenti espressioni:
- $\theta = \text{tg}^{-1} (k_h / (1 \pm k_v))$

essendo k_h e k_v rispettivamente i coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale (si veda il successivo par. § 6.4.1).

La spinta attiva risultante P_a è inclinata dell'angolo δ sull'orizzontale. Pertanto il valore della spinta orizzontale P_{AH} è pari a:

$$P_{AH} = P_a \cdot \cos \delta$$

mentre la componente verticale P_{AV} risulta:

$$P_{AV} = P_a \cdot \sin \delta$$

6.3.3 Forza d'inerzia

La forza di inerzia della paratia è valutata come:

$$F_p = k_h \cdot W$$

con W pari al peso della struttura considerata e parametri definiti come descritto nel capitolo 6.3.1. Tale azione è applicata nel baricentro della struttura.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

7. VERIFICHE AGLI STATI LIMITI

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

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

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

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

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

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti a lungo termine, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione sismica, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

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

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

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

| | | | | | | |
|---|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B | FOGLIO 23 di 79 |

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

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

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

In particolare sono stati verificati i seguenti stati limiti ultimi:

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

Per quest'ultimo meccanismo, la verifica deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 definita come segue, assumendo R2 pari a 1.1 in condizioni statiche ed a 1.2 in condizioni sismiche:

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

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

Tabella 8 Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

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

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

Tabella 9 - Coefficienti di combinazione delle azioni

| Azioni | | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole | Carico sul rilevato a tergo delle spalle | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| da traffico | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| | g_{f1} | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Gruppi di | g_{f2} | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | - |
| carico | g_{f3} | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | g_{f4} | 1,00 | 1,00 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Azioni del vento | F_{Wk} | 0,60 | 0,50 | 0,0 |
| Azioni da | in fase di esecuzione | 0,80 | 0,0 | 0,0 |
| neve | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azioni termiche | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |

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

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

Tabella 10 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
|--|---|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

8. METODO DI ANALISI

8.1 Modellazione numerica

Il calcolo agli elementi finiti delle paratie è stato effettuato utilizzando il codice PARATIE (versione 18.2) prodotto dalla “CeAs” – Milano – ITA. Gli effetti nelle opere di sostegno flessibile delle spinte del terreno e delle azioni concentrate offerte dalla eventuale tirantatura sono stati esaminati con l’ausilio del programma di calcolo per l’analisi di strutture di sostegno flessibili PARATIE.

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

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

La simulazione numerica utilizzata segue due differenti percorsi:

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

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

- Si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- La parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- Il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

- Si adotta un valore dell'angolo di attrito terreno paratia, (δ), pari a $0.5 \phi'$. In sismica tale valore è nullo;
- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

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

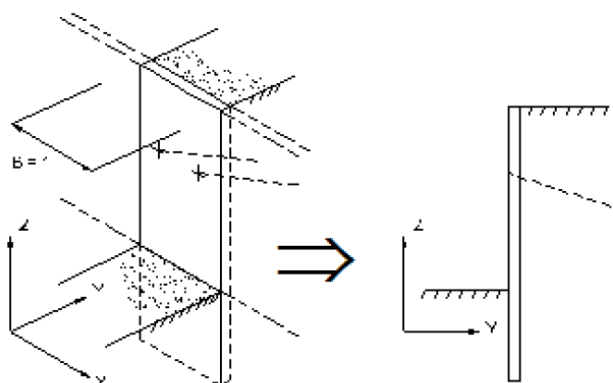


Figura 5 – Schema di modellazione piana effettuata per mezzo del software PARATIE

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

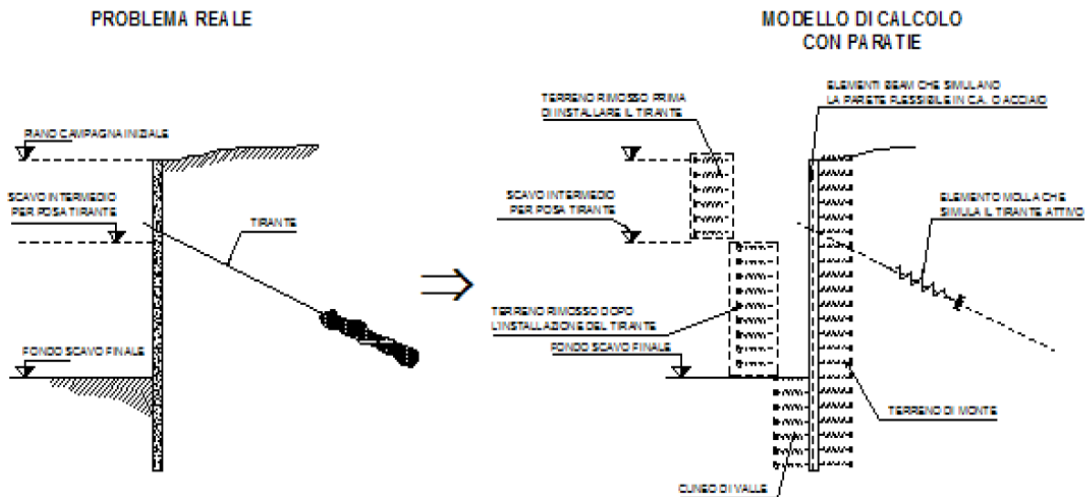


Figura 6 – Trave su suolo elastico: modellazione numerica della paratia e dei vincoli

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

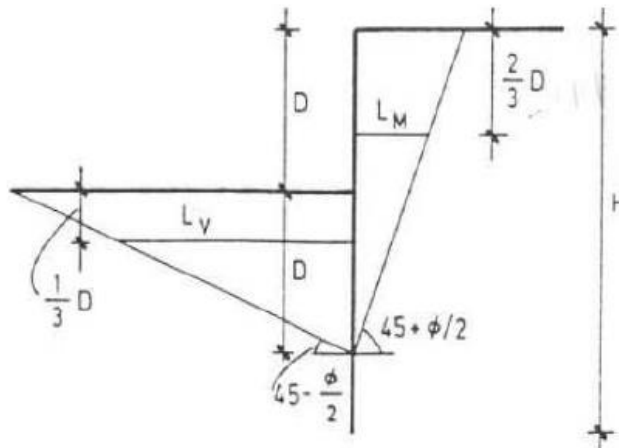
PARATIE calcola internamente e aggiorna costantemente tale parametro, sulla base del modulo elastico (Young) e la geometria del muro. In altre parole, ad ogni passo, la rigidità K della “molla” viene calcolata dalla seguente equazione:

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

dove

- a è un fattore di scala posto pari a 1;
- E_s è il modulo di Young del terreno;
- t è l’interasse della molla;
- L è un parametro geometrico che tiene conto della geometria del muro (v. capitolo 6.1.2).

Nella figura seguente viene riportato in via grafica il criterio per la definizione di L a monte ed a valle (L_M e L_V).



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

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

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

Ne consegue che con questo strumento non possono essere valutati:

- cedimenti o innalzamenti verticali del terreno in vicinanza dello scavo;
- condizioni di stabilità generale del complesso parete+terreno+tiranti.

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

8.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo è rappresentato in Figura 7 e costituito da una paratia di pali accostati $\phi 800$, di lunghezza (L_{pali}) pari a 18m e interasse pali uguale a 0.9m.

In fase di scavo provvisorio e in fase di esercizio, si adotta un sovraccarico pari a 10 kPa, dovuto ai mezzi di cantiere in fase provvisoria ed a mezzi agricoli in fase definitiva. Il sovraccarico è applicato in testa alla paratia di pali.

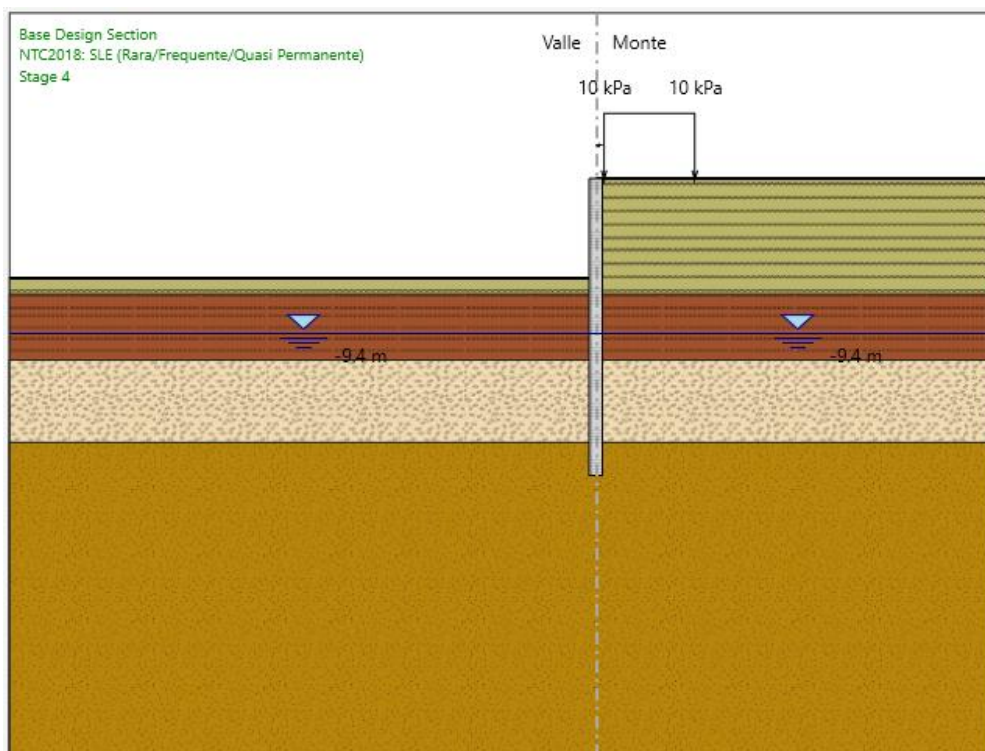


Figura 7 – Modello di calcolo: massima profondità di scavo

8.3 Fasi di costruzione

Il calcolo numerico è effettuato per fasi, al fine di consentire la valutazione delle azioni sulla paratia nelle differenti stadi di costruzione e di consentire la convergenza della soluzione. Nel seguito si riassumono le fasi di calcolo considerate nell'analisi.

FASE 0 - INIZIALIZZAZIONE

Paratia: -

Quota terreno lato monte: 0 m p.c.

Quota terreno lato valle: 0 m p.c.

Quota falda: 9.4 m p.c.

Sovraccarico = 10 kPa, variabile

Azione sismica: no

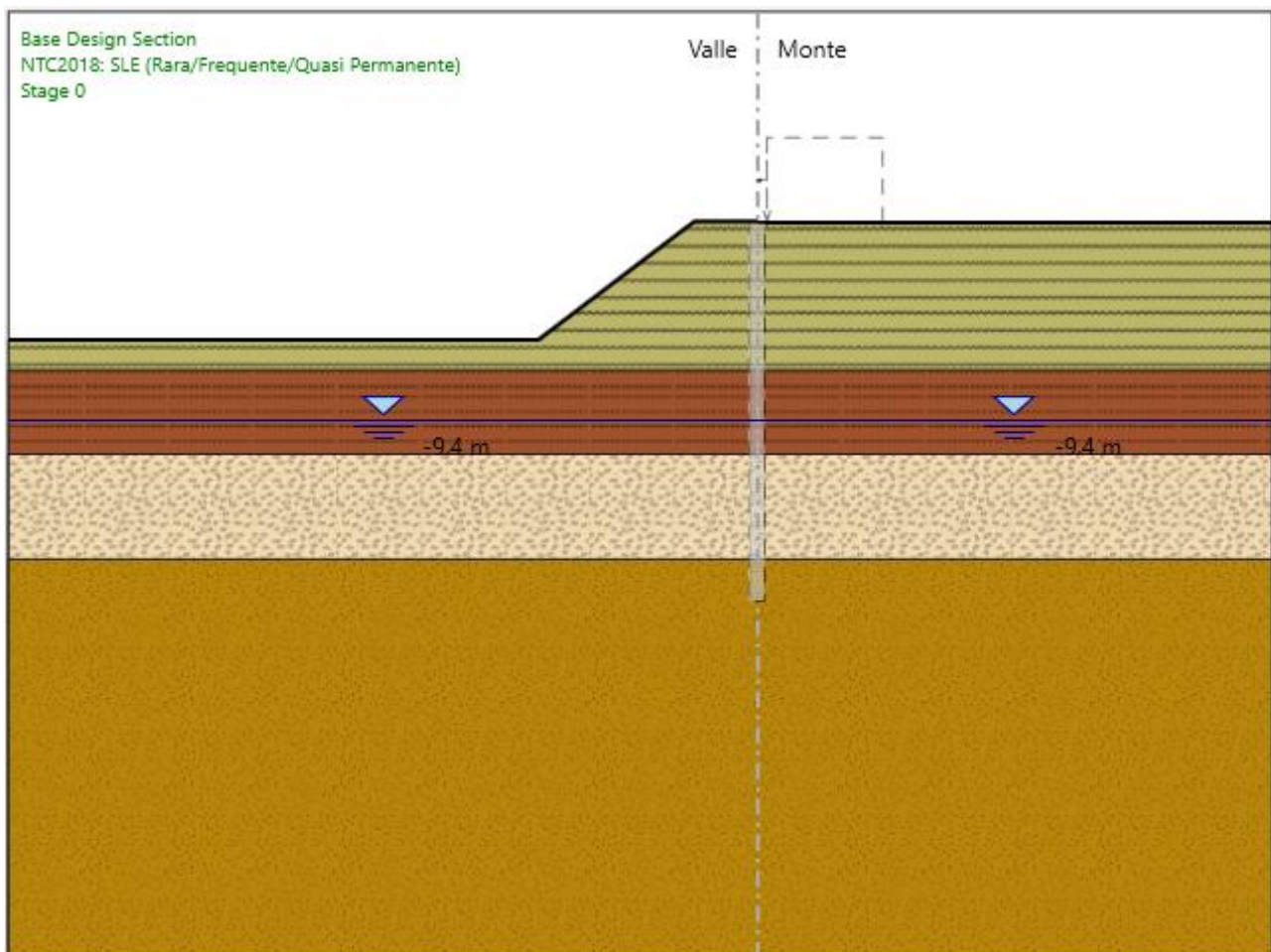


Figura 8 –Stage 0: stato di fatto, con sovraccarico di 10 kPa in corrispondenza della strada poderale

FASE 1 – COSTRUZIONE PARATIA

Paratia: pali accostati $\phi 800$, $L_{\text{pali}}=18\text{m}$, $\text{interasse}_{\text{pali}}=0.9\text{m}$

Quota terreno lato monte: 0 m p.c.

Quota terreno lato valle: 0 m p.c.

Quota falda: 9.4 m p.c.

Sovraccarico = 10 kPa, variabile

Azione sismica: no

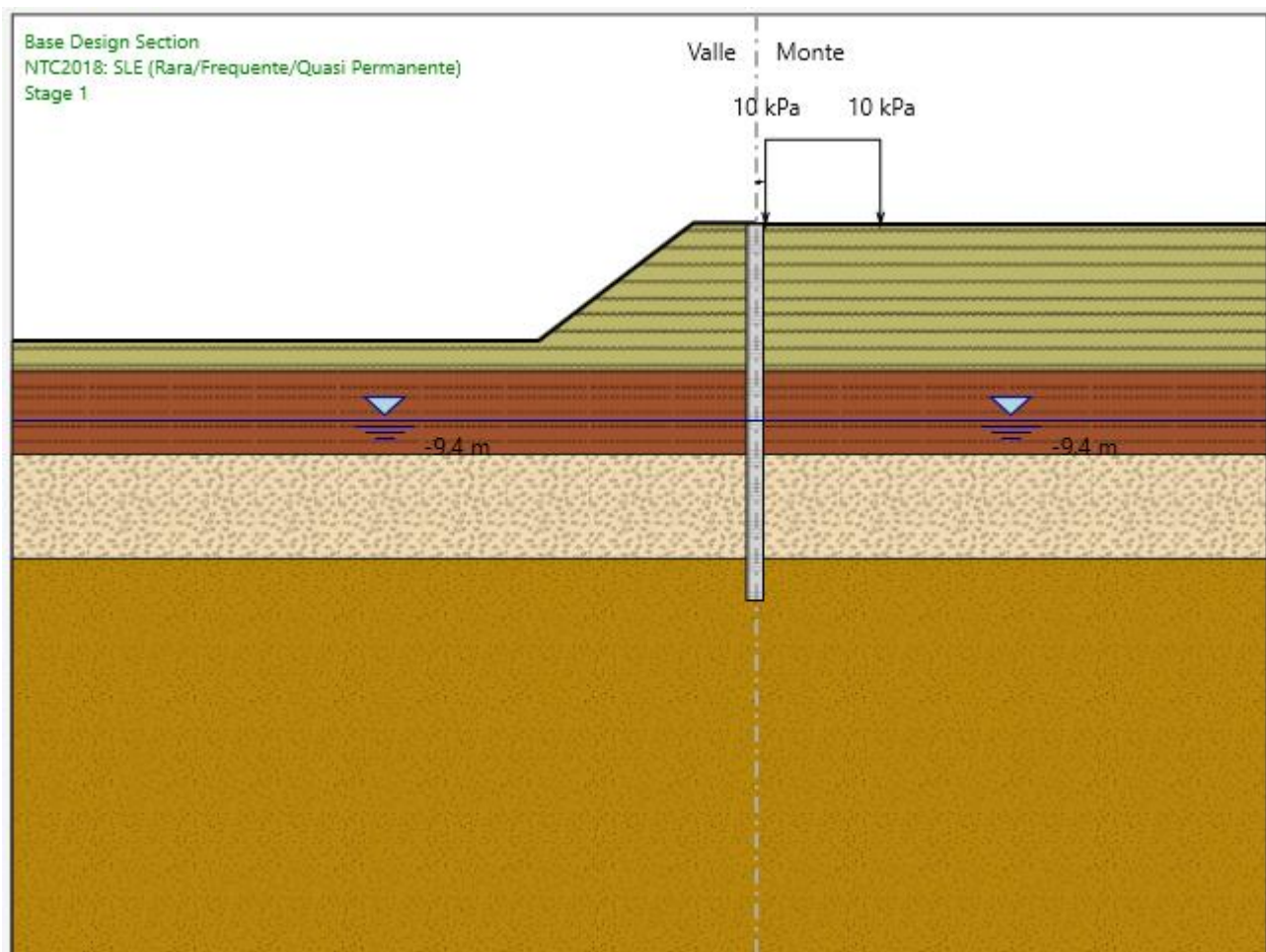


Figura 9 – Stage 1: costruzione paratia

FASE 2 – STEP SCAVO 1

Paratia: pali accostati $\phi 800$, $L_{\text{pali}}=18\text{m}$, $\text{interasse}_{\text{pali}}=0.9\text{m}$

Quota terreno lato monte: 0 m p.c.

Quota terreno lato valle: 2 m p.c.

Quota falda: 9.4 m p.c.

Sovraccarico = 10 kPa, variabile

Azione sismica: no

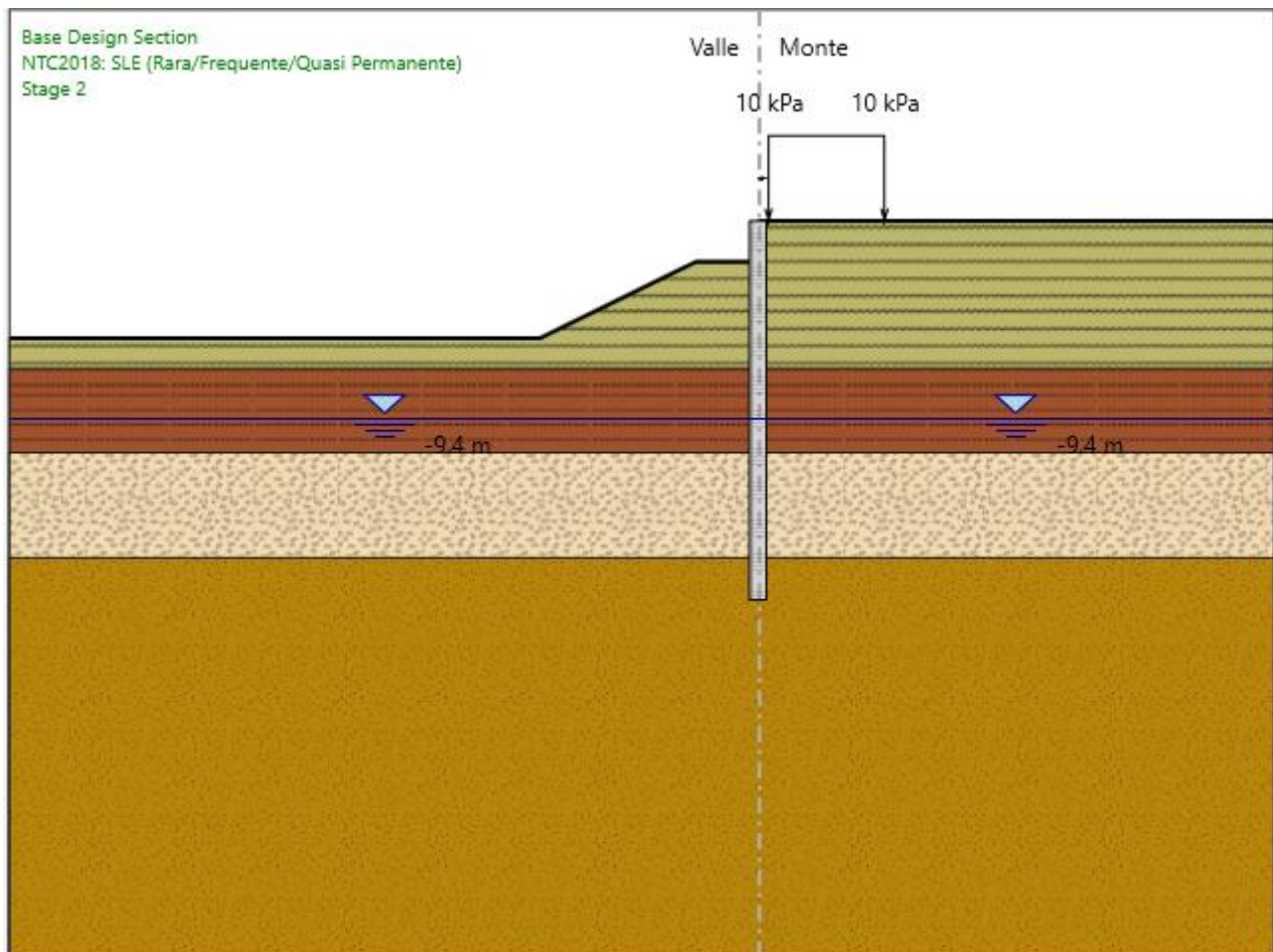


Figura 10 – Stage 2: scavo di 2m da piano campagna.

FASE 3 – SCAVO FINALE

Paratia: pali accostati $\phi 800$, $L_{\text{pali}}=18\text{m}$, $\text{interasse}_{\text{pali}}=0.9\text{m}$

Quota terreno lato monte: 0 m p.c.

Quota terreno lato valle: 6 m p.c.

Quota falda: 9.4 m p.c.

Sovraccarico = 10 kPa, variabile

Azione sismica: no

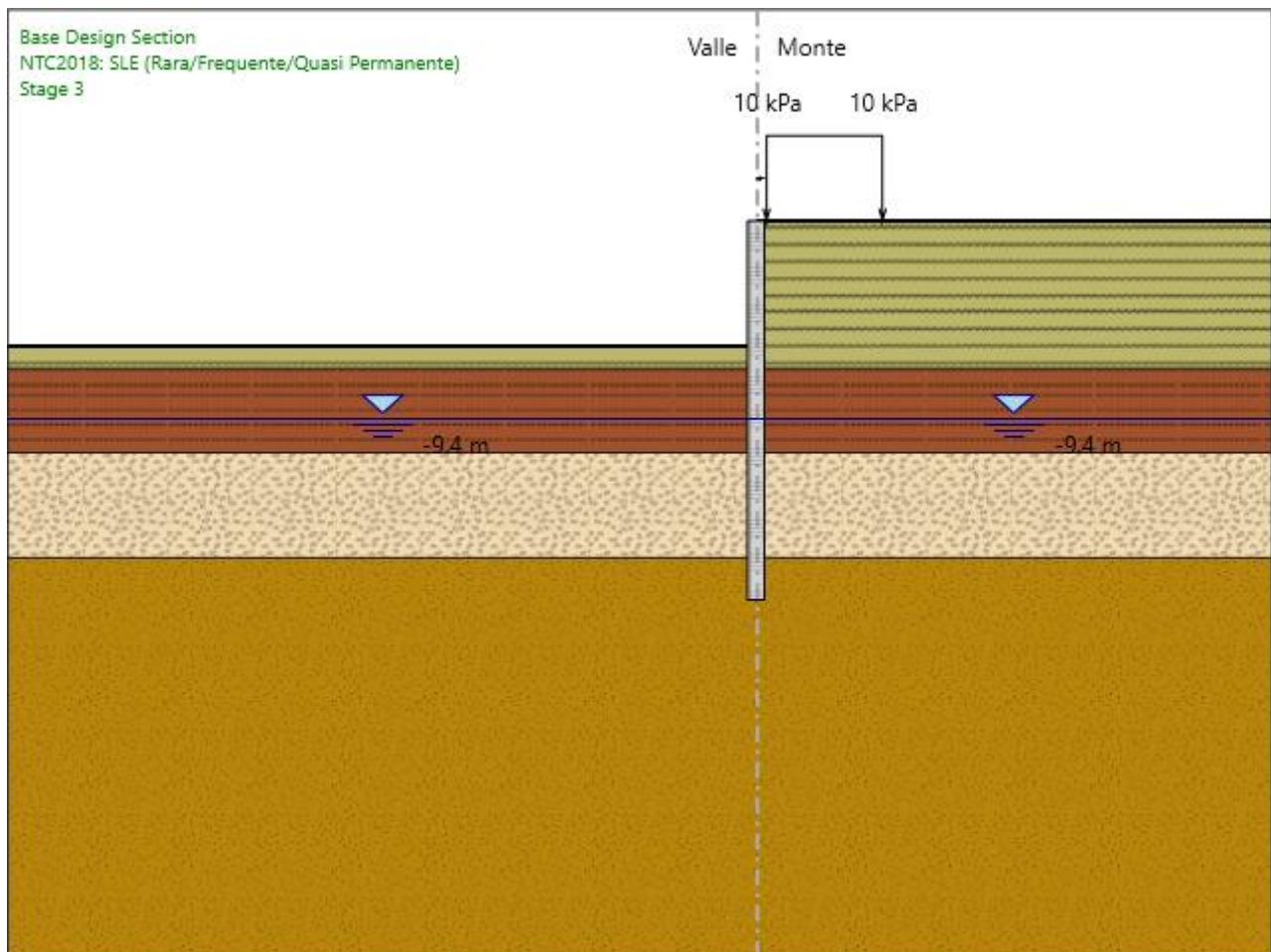


Figura 11 – Step 3: massima profondità di scavo.

FASE 4 – SISMA

Paratia: pali accostati $\phi 800$, $L_{\text{pali}}=18\text{m}$, $\text{interasse}_{\text{pali}}=0.9\text{m}$

Quota terreno lato monte: 0 m p.c.

Quota terreno lato valle: 6 m p.c. (si trascurano la presenza del ballast e dei carichi a valle della paratia)

Quota falda: 9.4 m p.c.

Sovraccarico = 0 kPa

Azione sismica: sì (v. capitolo 6.3)

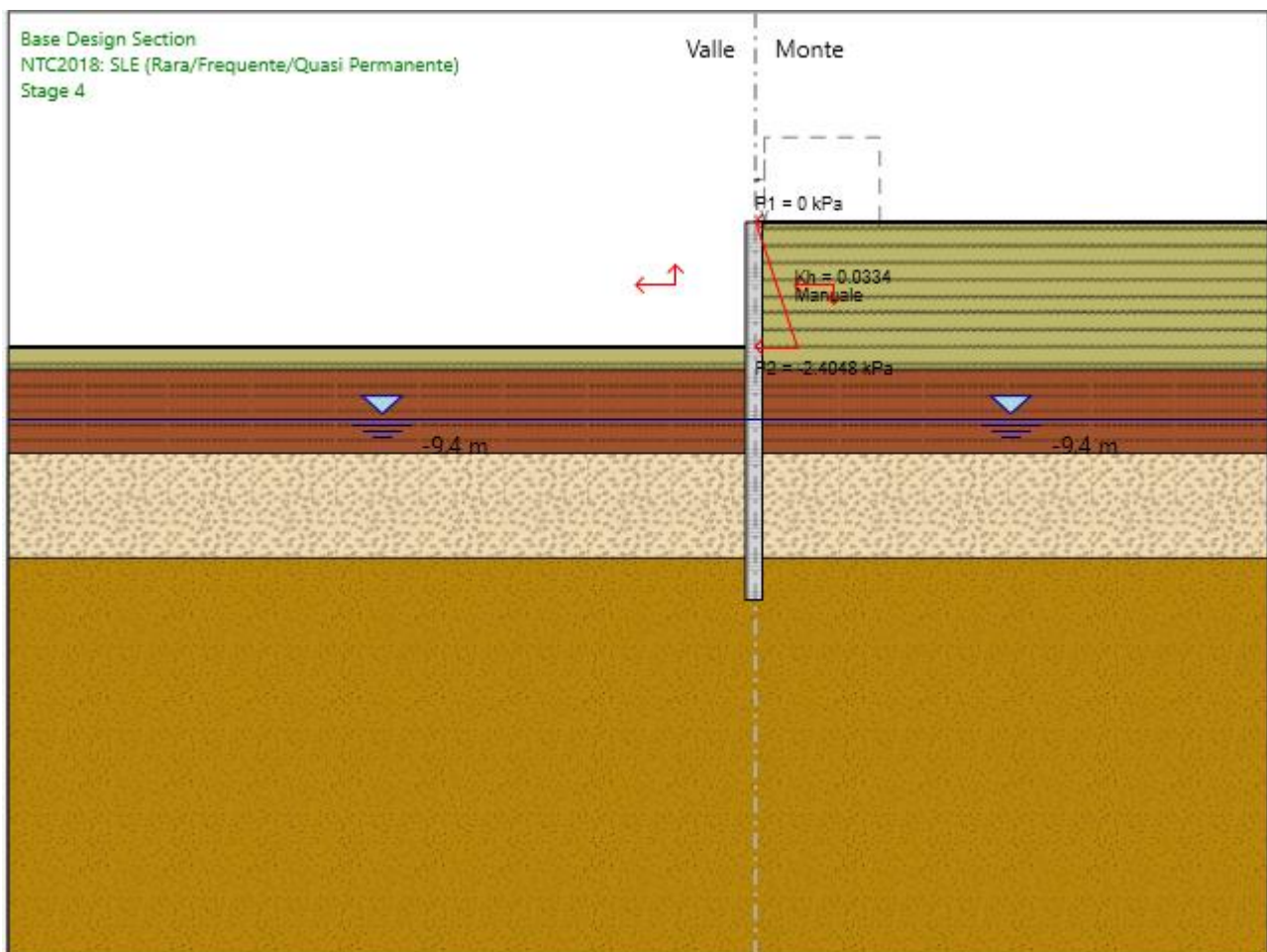


Figura 12 –Step 4: azione sismica

| | | | | | | |
|---|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B | FOGLIO 36 di 79 |

9. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

Coerentemente con quanto descritto nel capitolo 7, le verifiche agli Stati Limite Ultimo della paratia sono condotte con riferimento a tutti i meccanismi di rottura e instabilità che possono verificarsi e previsti da normativa tecnica. Le verifiche di esercizio sono, invece, finalizzate alla valutazione degli spostamenti e della loro compatibilità con la funzionalità delle strutture adiacenti, compresa la sede ferroviaria.

9.1 Verifica della massima spinta passiva mobilitata

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

9.2 Verifica degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti della berlinese è effettuato con PARATIE e secondo quanto previsto dalle NTC. Orientativamente, il valore limite degli spostamenti sarà pari ed accettabile 1/200 dell'altezza di scavo, per quanto riguarda il limite di spostamento agli SLE. Per quanto riguarda lo SLD, stato limite di danno al sisma, vale quanto riportato al punto 7.11.6.3.1 (metodo pseudostatico) della normativa vigente, dove si tollera uno spostamento di 1/200 sull'altezza totale della paratia (Htot). Nei casi in cui le situazioni al contorno ed i requisiti prestazionali della paratia lo consentano, è possibile ammettere spostamenti di entità lievemente superiore.

9.3 Altre verifiche

In considerazione della stratigrafia e delle condizioni di falda, per l'opera in oggetto si ritiene che non possano innescarsi meccanismi di instabilità relativi al sollevamento, al sifonamento o ad altri stati limite di tipo idraulico.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE | | | | | |
| | Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105 Relazione di calcolo | COMMESSA NR1J | LOTTO 01 D 29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO RI0005 001 | REV. B |

10. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

Le verifiche vengono condotte secondo quanto dichiarato nell'istruttoria RFI DTC INC PO SP IFS 001 A § 1.8.3.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

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

10.1 Criteri di verifica delle sezioni in c.a.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

10.2 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione vengono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza. Il calcolo viene effettuato mediante il software RC-SEC (GeoStru).

10.3 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dalle NTC2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\},$$

resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \alpha + \cot \vartheta) \cdot \sin \alpha,$$

valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento

$$V_{Rd,max} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\cot \alpha + \cot \vartheta) / (1 + \cot^2 \vartheta),$$

valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad \text{con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

dove:

A_{sl} area dell'armatura tesa;

b_w larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd},$$

dove:

N_{Ed} forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

A_c area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

dove:

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

A_{sw} area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

s passo delle staffe;

f_{ywd} tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$ resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;

$\alpha_{cw} = 1$ coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

10.4 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.55 f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si assume che le condizioni ambientali del sito in cui sorge l'opera siano aggressive e si verifica che il valore limite di apertura della fessura, calcolato per armature poco sensibili, sia al più pari ai seguenti valori nominali:

$w_1 = 0.2 \text{ mm}$ per condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, in particolare per le zone a permanente contatto con il terreno (comb. Frequente e quasi permanente).

11. RISULTATI

Nel presente capitolo si riassumono i risultati del calcolo effettuato assumendo una paratia di pali accostati avente le seguenti caratteristiche:

diametro pali= $\phi 800$

interasse_{pali}=0.9m

lunghezza pali=18m;

dimensione cordolo: 90x100 cm.

INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE

Nella figura che segue si illustra il momento flettente massimo calcolato per le combinazioni agli Stati Limite Ultimo e Stati Limite di salvaguardia della Vita.

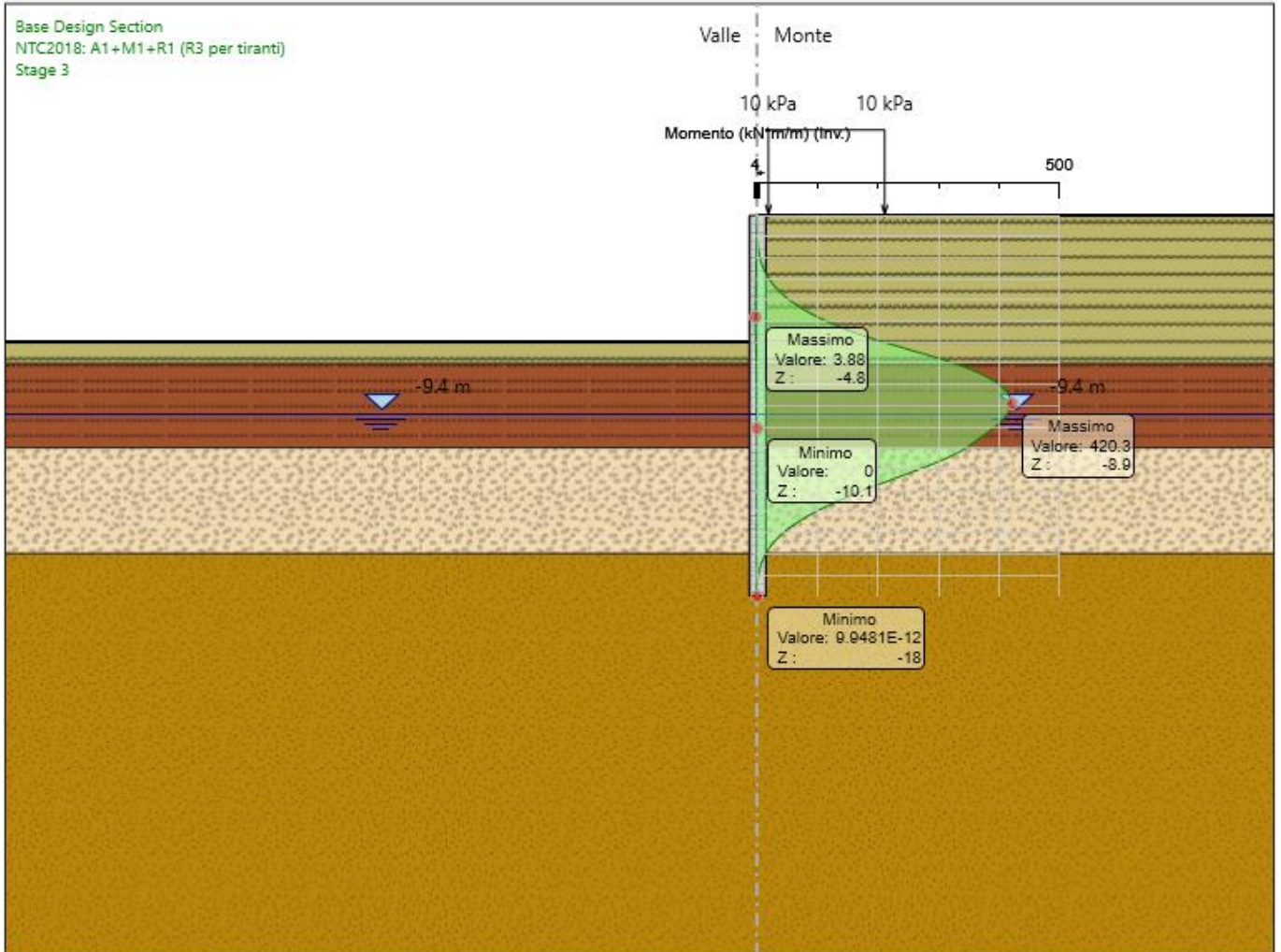


Figura 13 – Momento flettente massimo SLU/SLV

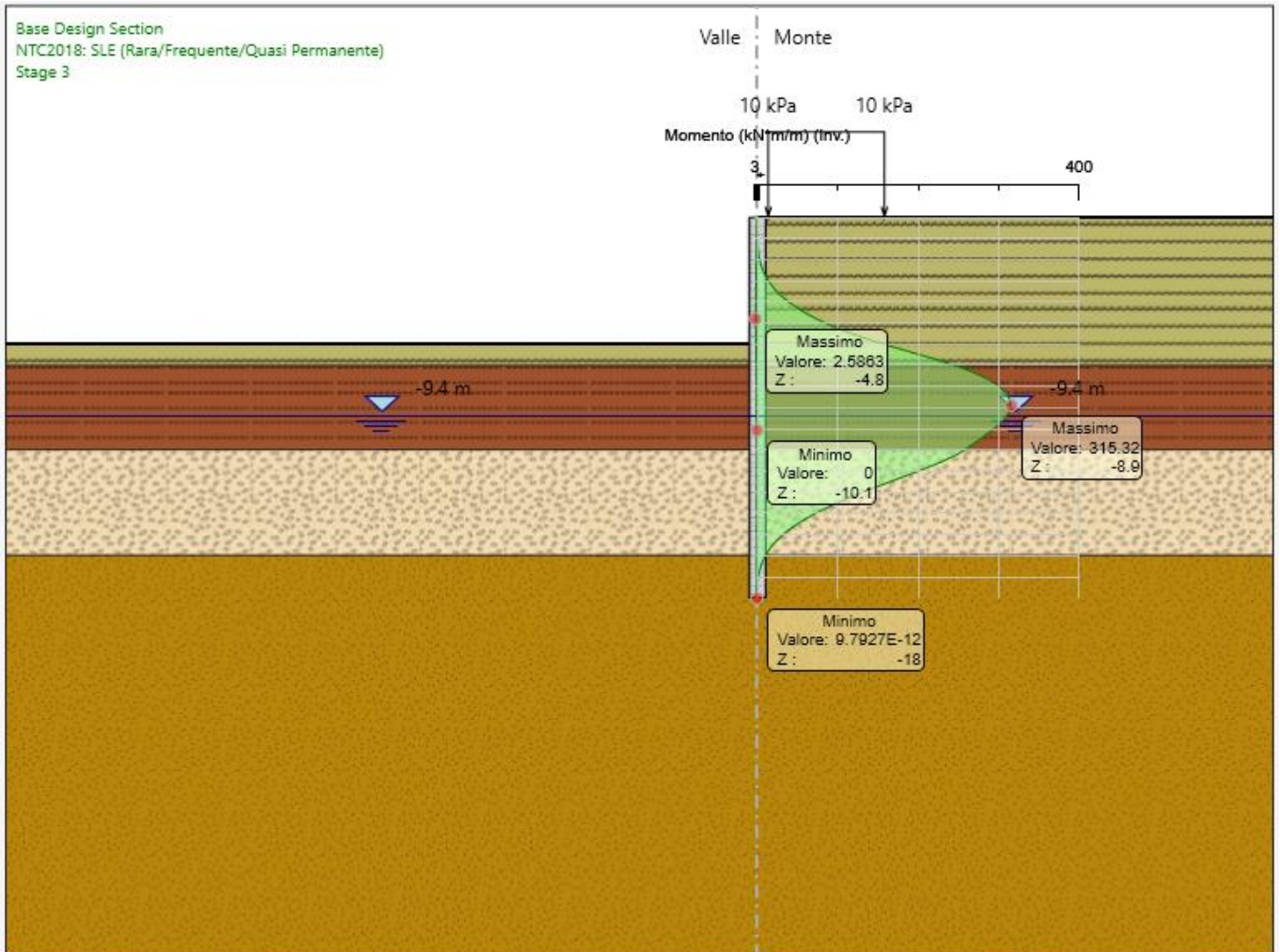


Figura 14 - Momento flettente massimo SLE

INVILUPPO AZIONE DI TAGLIO

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

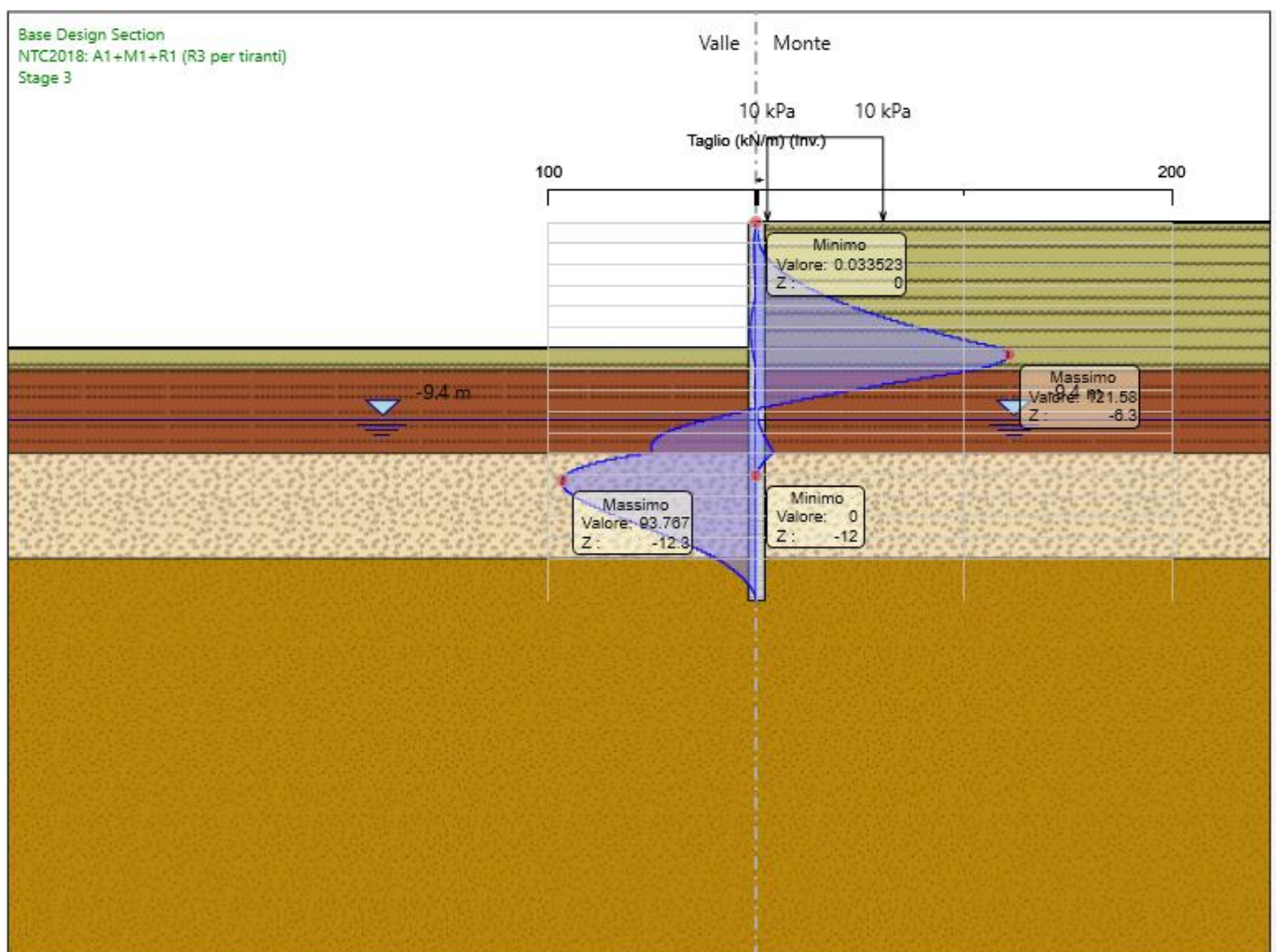


Figura 15 – Azione di taglio massima SLU/SLV

SPOSTAMENTO MASSIMO PARATIA

Nelle figure che seguono si illustrano gli spostamenti massimi calcolati negli Stati Limite di Esercizio e Stati Limite di Danno.

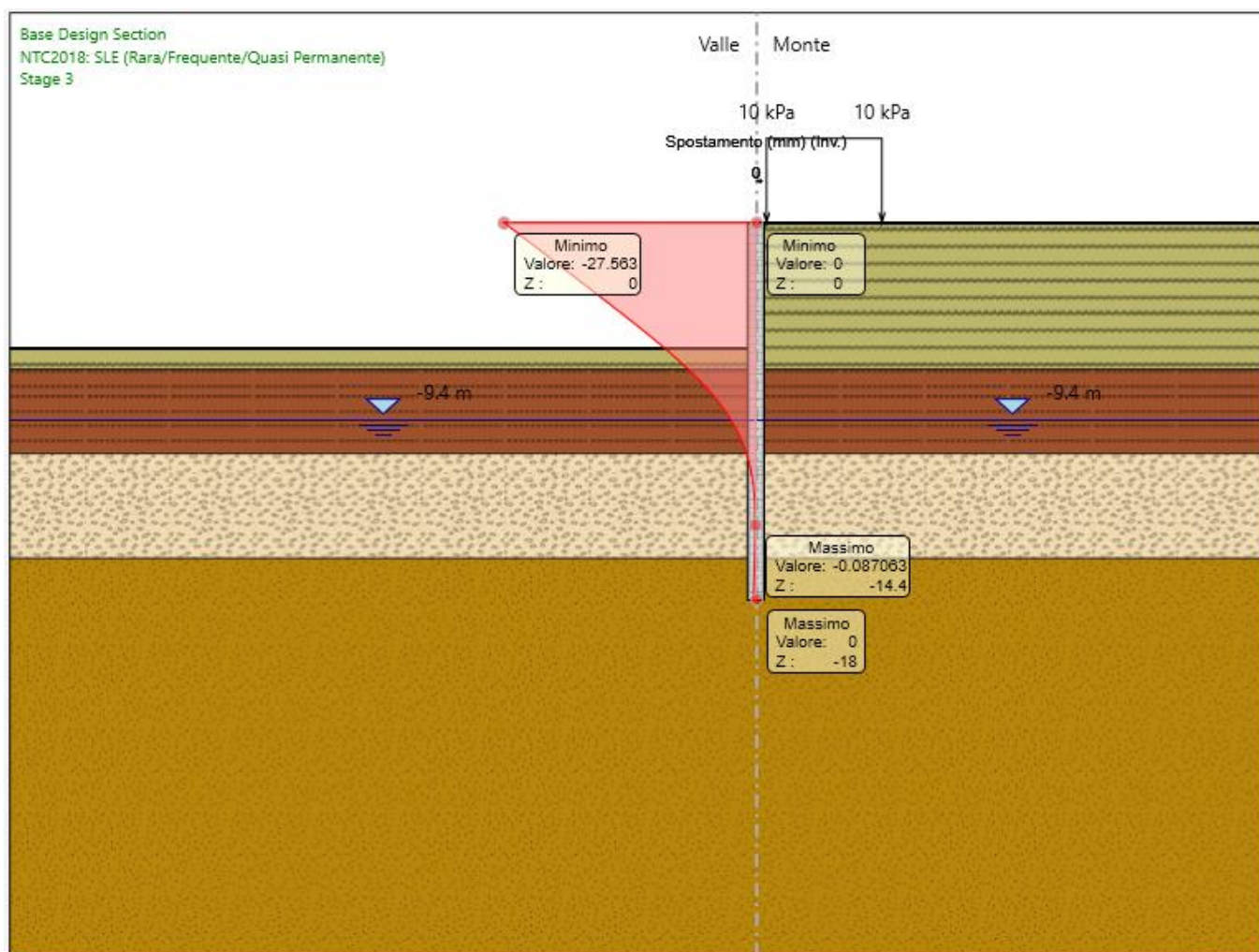


Figura 16 – Spostamento massimo SLE – Spostamento pari a 27.5 mm

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 45 di 79 |

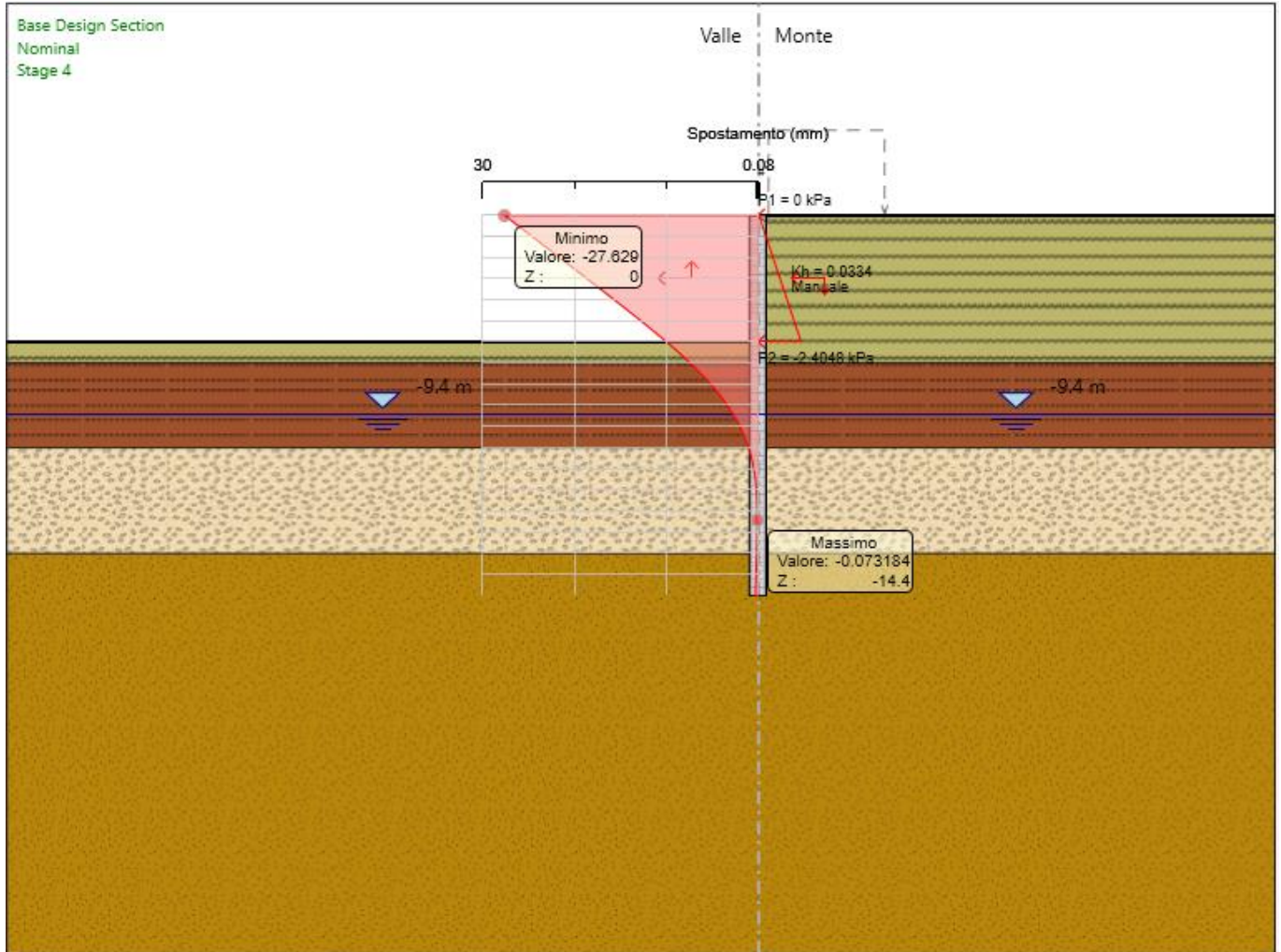


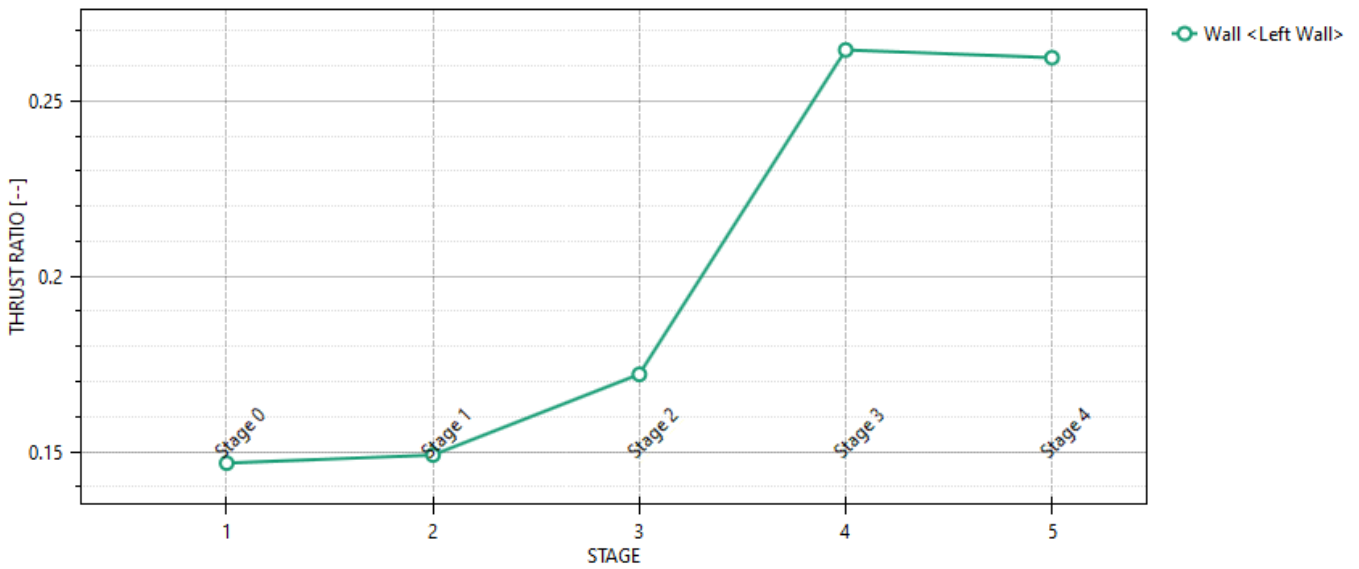
Figura 17 – Spostamento massimo SLD

SPINTA PASSIVA MOBILITATA

Tabella 11 - Inviluppo spinta reale efficace / Spinta passiva (Approccio 1 Combinazione 2)

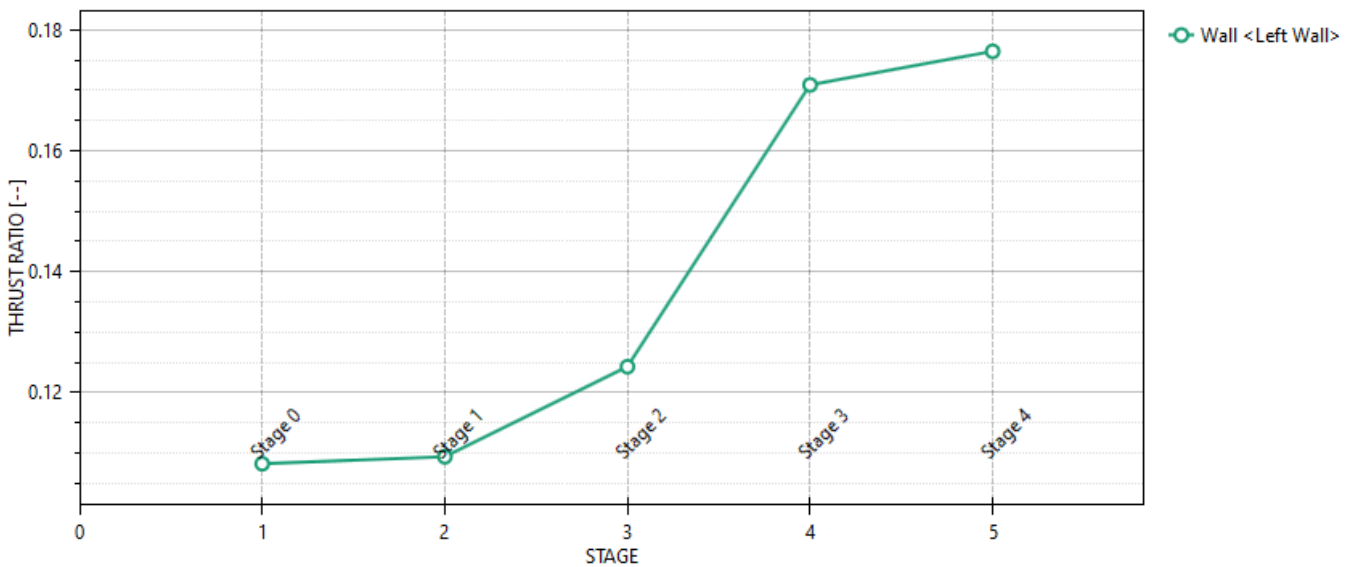
Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

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



Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <NTC2018: SISMICA GEO>



12. VERIFICHE

12.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

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

I fattori di sicurezza rappresentati in sono tali da garantire la stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Infine, gli spostamenti massimi negli Stati Limite SLE ed SLD (v. Figura 16 e Figura 17) sono compatibili con i requisiti prestazionali dell'opera di sostegno (v. capitolo 9.2).

12.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Le azioni massime agenti lungo i pali sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 12 – Azioni di progetto

| STATI LIMITE | M_{max} (kNm) | T_{max} (kN) |
|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| SLU/SLV | 378.27 | 109.4 |
| SLE | 283.8 | - |

Si sceglie, pertanto, di armare i pali come segue:

Copriferro: 60mm

Armatura longitudinale: 24 ϕ 22/

Spira: ϕ 12/20

Ferri circolari: ϕ 14/200

Il cordolo di testa sarà armato con:

Armatura longitudinale: ϕ 20/10

Armatura trasversale: ϕ 12/25

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | | |
|--|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 | |
| | Resis. compr. di progetto fcd: | 14.160 | MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 7.080 | MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo | |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 31475.0 | MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.560 | MPa |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 | |
| | ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| Resist. caratt. snervam. fyk: | | 450.00 | MPa |
| Resist. caratt. rottura ftk: | | 450.00 | MPa |
| Resist. snerv. di progetto fyd: | | 391.30 | MPa |
| Resist. ultima di progetto ftd: | | 391.30 | MPa |
| Deform. ultima di progetto Epu: | | 0.068 | |
| Modulo Elastico Ef | | 2000000 | daN/cm ² |
| Diagramma tensione-deformaz.: | | Bilineare finito | |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: | | 1.00 | |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | | 0.50 | |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 337.50 | MPa | |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 \emptyset Diametro [mm] della singola barra generata

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | \emptyset |
|--------|---------|---------|--------|---------|-------------|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 31.5 | 24 | 22 |

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 49 di 79 |

Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

| N°Comb. | N | Mx | Vy |
|---------|------|--------|--------|
| 1 | 0.00 | 378.27 | 109.40 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 283.80 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm
Copriferro netto minimo staffe: 6.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

| N°Comb | Ver | N | Mx | N Res | Mx Res | Mis.Sic. | As Totale |
|--------|-----|------|--------|-------|--------|----------|------------|
| 1 | S | 0.00 | 378.27 | 0.00 | 943.53 | 2.49 | 91.2(15.1) |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Ys max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | 0.0 | 40.0 | 0.00224 | 0.0 | 31.5 | -0.00711 | 0.0 | -31.5 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 50 di 79 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1 | 0.000000000 | 0.000148459 | -0.002438342 | | |

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = V_y ortogonale all'asse neutro
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved | Vcd | Vwd | d z | bw | Ctg | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------------|------|-------|-------|-----|-----------|
| 1 | S | 109.40 | 911.17 | 594.73 | 62.3 53.8 | 69.4 | 2.500 | 1.000 | 2.1 | 11.3(0.0) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1 | S | 6.63 | 0.0 | 0.0 | -160.2 | 0.0 | -31.5 | 806 | 19.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 Esito della verifica
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 51 di 79 |

k_4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 \emptyset Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\text{ eff}}$ [eq.(7.11)EC2]
 C_f Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 $e_{sm} - e_{cm}$ Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 $s_{r\text{ max}}$ Massima distanza tra le fessure [mm]
 w_k Apertura fessure in mm calcolata = $s_{r\text{ max}} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 $M_{x\text{ fess.}}$ Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 $M_{y\text{ fess.}}$ Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | e_1 | e_2 | k_2 | \emptyset | C_f | $e_{sm} - e_{cm}$ | $s_{r\text{ max}}$ | w_k | $M_{x\text{ fess}}$ | $M_{y\text{ fess}}$ |
|-------|-----|----------|-------|-------|-------------|-------|-------------------|--------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| 1 | S | -0.00096 | 0 | 0.500 | 22.0 | 74 | 0.00048 (0.00048) | 410 | 0.197 (0.20) | 172.13 | 0.00 |



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

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

**Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 52 di 79 |

ALLEGATI

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 54 di 79 |

Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Muro di sinistra

Sezione : Pali

Area equivalente : 0.558505360638185 m

Inerzia equivalente : 0.0223 m⁴/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

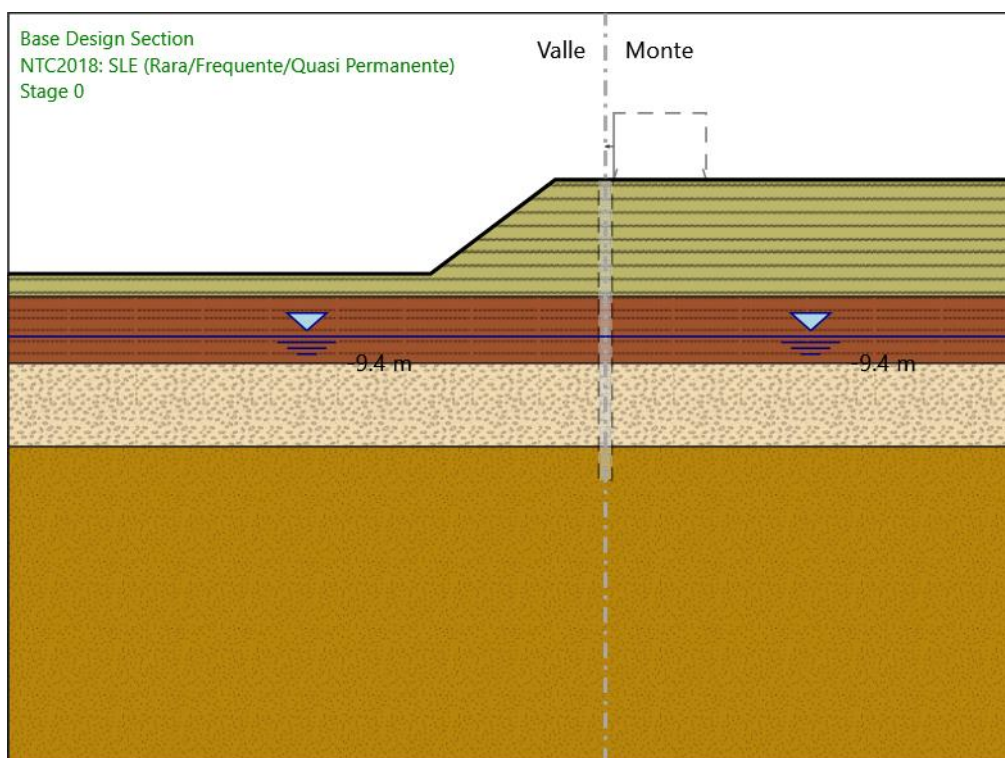
Spaziatura : 0.9 m

Diametro : 0.8 m

Efficacia : 1

Fasi di Calcolo

Stage 0



Stage 0

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-35.56;-5.64)

(-21.5;-5.64)

(-14;-5.64)



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

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 56 di 79 |

(-10.42;-5.64)

(-3;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

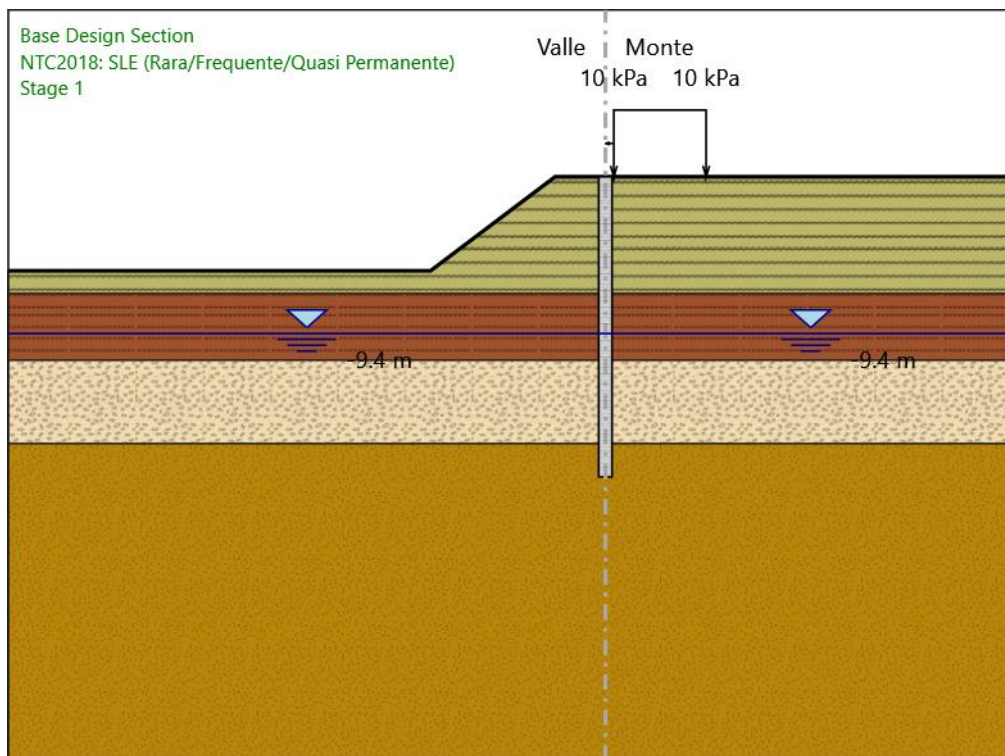
0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9.4 m

Falda di destra : -9.4 m

Stage 1



Stage 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-35.56;-5.64)

(-21.5;-5.64)

(-14;-5.64)

(-10.42;-5.64)

(-3;0)

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 58 di 79 |

(0;0)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9.4 m

Falda di destra : -9.4 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : 0.5 m

X finale : 6 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

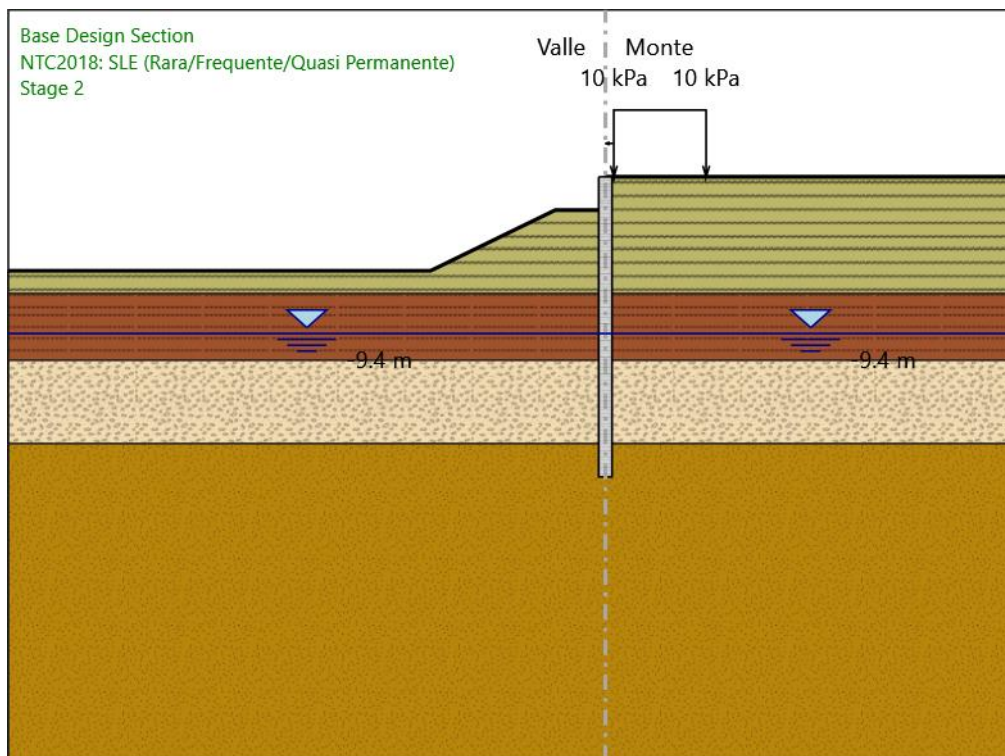
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Sezione : Pali

Stage 2



Stage 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -2 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-35.56;-5.64)

(-21.5;-5.64)

(-14;-5.64)

(-10.42;-5.64)

(-3;-2)

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 60 di 79 |

(0;-2)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9.4 m

Falda di destra : -9.4 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : 0.5 m

X finale : 6 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

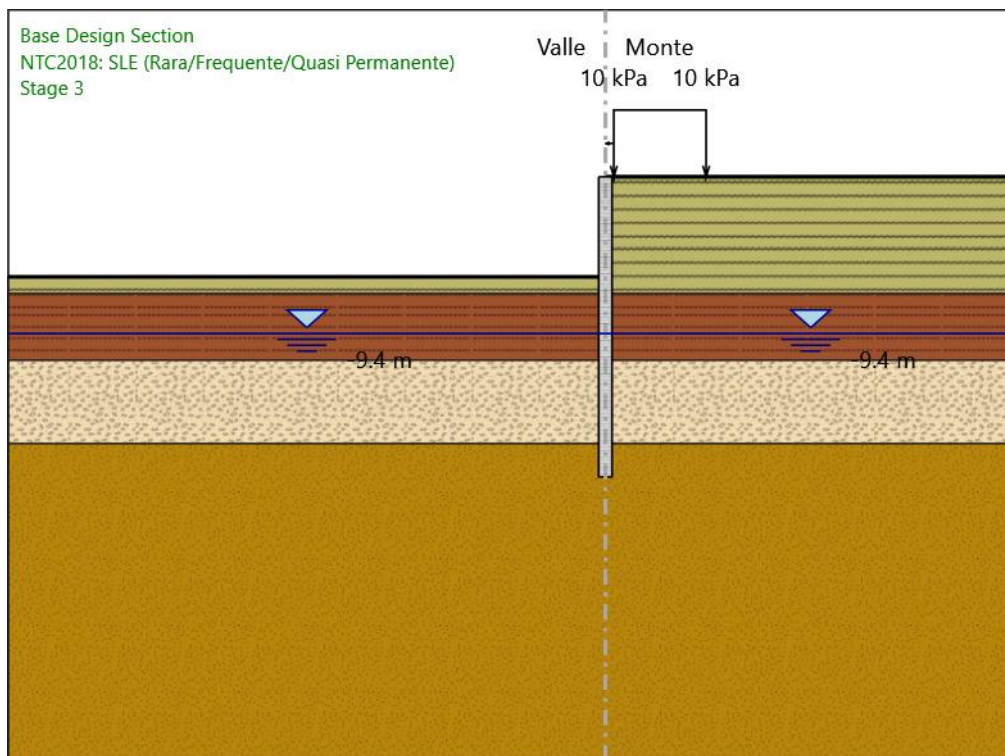
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Sezione : Pali

Stage 3



Stage 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -6 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-6 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 62 di 79 |

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9.4 m

Falda di destra : -9.4 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : 0.5 m

X finale : 6 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

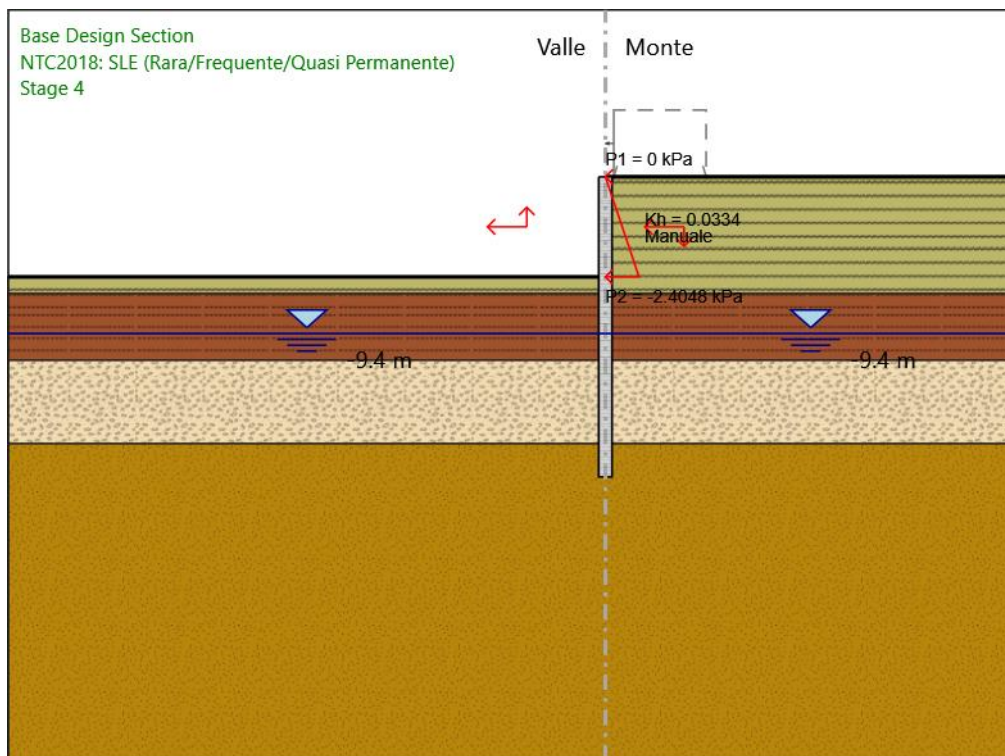
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Sezione : Pali

Stage 4



Stage 4

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -6 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-6 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m



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

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 64 di 79 |

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9.4 m

Falda di destra : -9.4 m

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

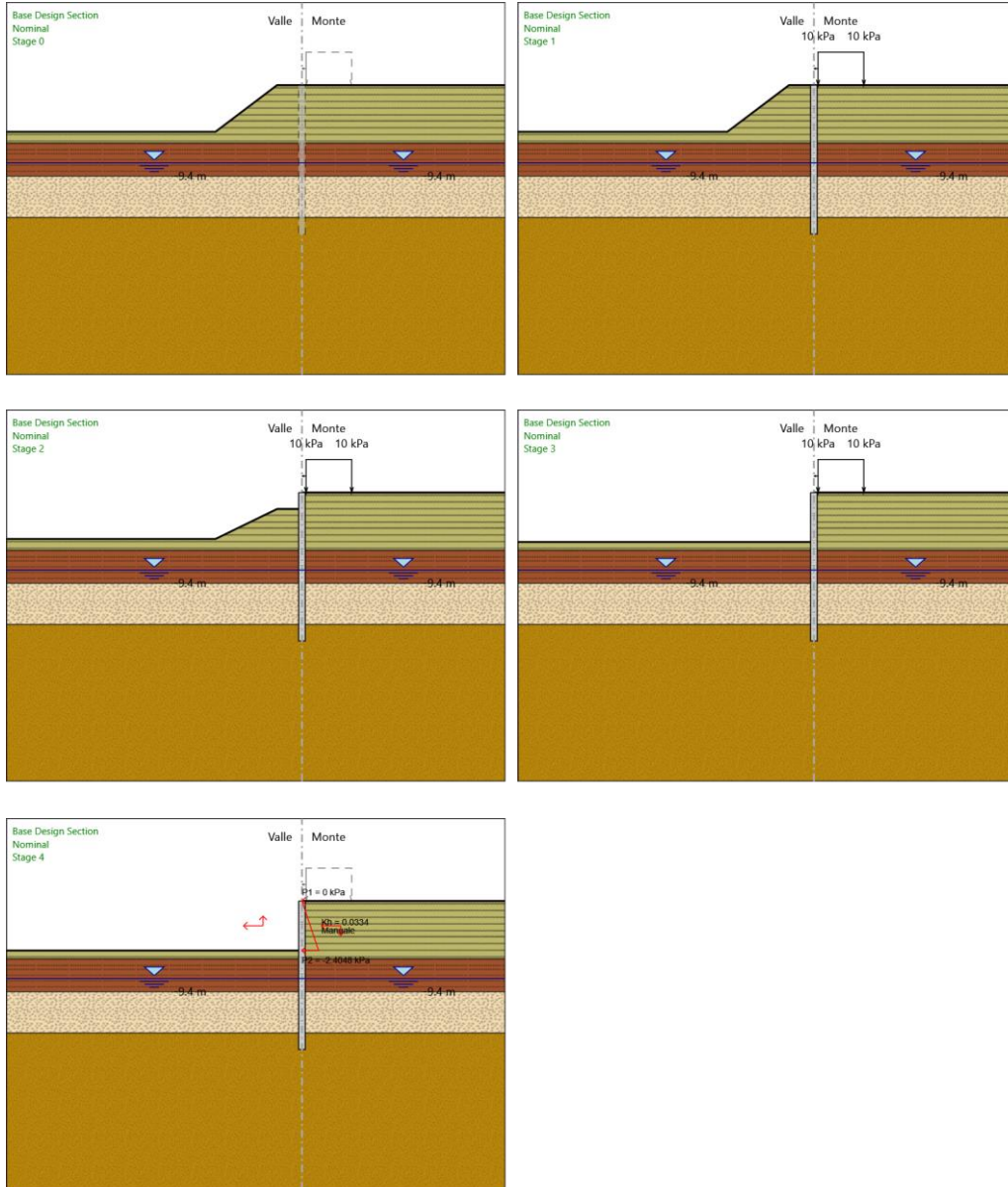
Quota di fondo : -18 m

Sezione : Pali

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 65 di 79 |

Tabella Configurazione Stage (Nominal)



Descrizione Coefficienti Design Assumption

| Nome | Carichi | Carichi | Carichi | Carichi | Carico | Pressio | Pressio | Carichi | Carichi | Carichi | Carichi | Carichi | Carichi |
|--|---|--|--|---|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---|--|--|--|--|
| | Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour) | Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour) | Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour) | Variabili Favorevoli (F_live_load_favour) | Sismico (F_seism_load) | ni Acqua Lato Monte (F_WaterDR) | ni Acqua Valle (F_WaterRes) | Permane nti Destabili (F_UPL_GDStab) | Perman enti Stabilizz anti (F_UPL_GDStab) | Variabili Destabilizzanti (F_UPL_QDStab) | Permane nti Destabilizzanti (F_HYD_GDStab) | Permane nti Stabilizzanti (F_HYD_GDStab) | Variabili Destabilizzanti (F_HYD_QDStab) |
| Simbolo | γ_G | γ_G | γ_Q | γ_Q | γ_{QE} | γ_G | γ_G | γ_{Gdst} | γ_{Gstb} | γ_{Qdst} | γ_{Gdst} | γ_{Gstb} | γ_{Qdst} |
| Nominal | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | 1.3 | 1 | 1.5 | 1 | 0 | 1.3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | 1 | 1 | 1.3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |
| NTC2018: SISMICA STR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: SISMICA GEO | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |

| Nome | Parziale su tan(ϕ') (F_Fr) | Parziale su c' (F_eff_cohes) | Parziale su Su (F_Su) | Parziale su qu (F_qu) | Parziale su peso specifico (F_gamma) |
|--|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | γ_ϕ | γ_c | γ_{cu} | γ_{qu} | γ_γ |
| Nominal | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | 1.25 | 1.25 | 1.4 | 1 | 1 |
| NTC2018: SISMICA STR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: SISMICA GEO | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| Nome | Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls) | Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P) | Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T) | Parziale elementi strutturali (F_wall) |
|--|---|---|---|--|
| | γ_{Re} | γ_{ap} | γ_{at} | |
| Nominal | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| NTC2018: SISMICA STR | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| NTC2018: SISMICA GEO | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 67 di 79 |

Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

Tabella Inviluppi Spostamento Left Wall

| Design Assumption: Nominal Inviluppi: Spostamento | | | Muro: LEFT |
|---|--------------------|------------------|------------|
| Z (m) | Lato sinistro (mm) | Lato destro (mm) | |
| 0 | -27.563 | 0 | |
| -0.1 | -27.265 | 0 | |
| -0.2 | -26.967 | 0 | |
| -0.3 | -26.668 | 0 | |
| -0.4 | -26.37 | 0 | |
| -0.5 | -26.071 | 0 | |
| -0.6 | -25.773 | 0 | |
| -0.7 | -25.474 | 0 | |
| -0.8 | -25.176 | 0 | |
| -0.9 | -24.878 | 0 | |
| -1 | -24.579 | 0 | |
| -1.1 | -24.281 | 0 | |
| -1.2 | -23.982 | 0 | |
| -1.3 | -23.684 | 0 | |
| -1.4 | -23.385 | 0 | |
| -1.5 | -23.087 | 0 | |
| -1.6 | -22.789 | 0 | |
| -1.7 | -22.49 | 0 | |
| -1.8 | -22.192 | 0 | |
| -1.9 | -21.893 | 0 | |
| -2 | -21.595 | 0 | |
| -2.1 | -21.297 | 0 | |
| -2.2 | -20.998 | 0 | |
| -2.3 | -20.7 | 0 | |
| -2.4 | -20.402 | 0 | |
| -2.5 | -20.104 | 0 | |
| -2.6 | -19.806 | 0 | |
| -2.7 | -19.508 | 0 | |
| -2.8 | -19.21 | 0 | |
| -2.9 | -18.912 | 0 | |
| -3 | -18.615 | 0 | |
| -3.1 | -18.317 | 0 | |
| -3.2 | -18.02 | 0 | |
| -3.3 | -17.723 | 0 | |
| -3.4 | -17.426 | 0 | |
| -3.5 | -17.13 | 0 | |
| -3.6 | -16.833 | 0 | |
| -3.7 | -16.538 | 0 | |
| -3.8 | -16.242 | 0 | |
| -3.9 | -15.947 | 0 | |
| -4 | -15.653 | 0 | |
| -4.1 | -15.359 | 0 | |
| -4.2 | -15.065 | 0 | |
| -4.3 | -14.772 | 0 | |
| -4.4 | -14.48 | 0 | |
| -4.5 | -14.189 | 0 | |
| -4.6 | -13.898 | 0 | |
| -4.7 | -13.608 | 0 | |
| -4.8 | -13.319 | 0 | |
| -4.9 | -13.031 | 0 | |
| -5 | -12.745 | 0 | |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 68 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Spostamento Muro: LEFT

| Z (m) | Lato sinistro (mm) | Lato destro (mm) |
|-------|--------------------|------------------|
| -5.1 | -12.459 | 0 |
| -5.2 | -12.175 | 0 |
| -5.3 | -11.892 | 0 |
| -5.4 | -11.61 | 0 |
| -5.5 | -11.33 | 0 |
| -5.6 | -11.051 | 0 |
| -5.7 | -10.775 | 0 |
| -5.8 | -10.5 | 0 |
| -5.9 | -10.227 | 0 |
| -6 | -9.956 | 0 |
| -6.1 | -9.687 | 0 |
| -6.2 | -9.421 | 0 |
| -6.3 | -9.157 | 0 |
| -6.4 | -8.896 | 0 |
| -6.5 | -8.637 | 0 |
| -6.6 | -8.381 | 0 |
| -6.7 | -8.129 | 0 |
| -6.8 | -7.879 | 0 |
| -6.9 | -7.632 | 0 |
| -7 | -7.389 | 0 |
| -7.1 | -7.15 | 0 |
| -7.2 | -6.914 | 0 |
| -7.3 | -6.681 | 0 |
| -7.4 | -6.452 | 0 |
| -7.5 | -6.228 | 0 |
| -7.6 | -6.007 | 0 |
| -7.7 | -5.79 | 0 |
| -7.8 | -5.577 | 0 |
| -7.9 | -5.369 | 0 |
| -8 | -5.164 | 0 |
| -8.1 | -4.964 | 0 |
| -8.2 | -4.769 | 0 |
| -8.3 | -4.577 | 0 |
| -8.4 | -4.39 | 0 |
| -8.5 | -4.208 | 0 |
| -8.6 | -4.029 | 0 |
| -8.7 | -3.856 | 0 |
| -8.8 | -3.687 | 0 |
| -8.9 | -3.522 | 0 |
| -9 | -3.362 | 0 |
| -9.1 | -3.206 | 0 |
| -9.2 | -3.055 | 0 |
| -9.3 | -2.908 | 0 |
| -9.4 | -2.765 | 0 |
| -9.5 | -2.627 | 0 |
| -9.6 | -2.494 | 0 |
| -9.7 | -2.365 | 0 |
| -9.8 | -2.24 | 0 |
| -9.9 | -2.119 | 0 |
| -10 | -2.003 | 0 |
| -10.1 | -1.891 | 0 |
| -10.2 | -1.783 | 0 |
| -10.3 | -1.679 | 0 |
| -10.4 | -1.579 | 0 |
| -10.5 | -1.483 | 0 |
| -10.6 | -1.391 | 0 |
| -10.7 | -1.303 | 0 |
| -10.8 | -1.219 | 0 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 69 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Spostamento Muro: LEFT

| Z (m) | Lato sinistro (mm) | Lato destro (mm) |
|-------|--------------------|------------------|
| -10.9 | -1.138 | 0 |
| -11 | -1.061 | 0 |
| -11.1 | -0.988 | 0 |
| -11.2 | -0.919 | 0 |
| -11.3 | -0.853 | 0 |
| -11.4 | -0.791 | 0 |
| -11.5 | -0.732 | 0 |
| -11.6 | -0.676 | 0 |
| -11.7 | -0.624 | 0 |
| -11.8 | -0.575 | 0 |
| -11.9 | -0.528 | 0 |
| -12 | -0.485 | 0 |
| -12.1 | -0.445 | 0 |
| -12.2 | -0.407 | 0 |
| -12.3 | -0.372 | 0 |
| -12.4 | -0.34 | 0 |
| -12.5 | -0.31 | 0 |
| -12.6 | -0.283 | 0 |
| -12.7 | -0.257 | 0 |
| -12.8 | -0.234 | 0 |
| -12.9 | -0.213 | 0 |
| -13 | -0.194 | 0 |
| -13.1 | -0.177 | 0 |
| -13.2 | -0.162 | 0 |
| -13.3 | -0.148 | 0 |
| -13.4 | -0.136 | 0 |
| -13.5 | -0.126 | 0 |
| -13.6 | -0.117 | 0 |
| -13.7 | -0.109 | 0 |
| -13.8 | -0.103 | 0 |
| -13.9 | -0.098 | 0 |
| -14 | -0.094 | 0 |
| -14.1 | -0.091 | 0 |
| -14.2 | -0.088 | 0 |
| -14.3 | -0.087 | 0 |
| -14.4 | -0.087 | 0 |
| -14.5 | -0.088 | 0 |
| -14.6 | -0.089 | 0 |
| -14.7 | -0.091 | 0 |
| -14.8 | -0.093 | 0 |
| -14.9 | -0.096 | 0 |
| -15 | -0.1 | 0 |
| -15.1 | -0.104 | 0 |
| -15.2 | -0.108 | 0 |
| -15.3 | -0.113 | 0 |
| -15.4 | -0.119 | 0 |
| -15.5 | -0.124 | 0 |
| -15.6 | -0.13 | 0 |
| -15.7 | -0.136 | 0 |
| -15.8 | -0.142 | 0 |
| -15.9 | -0.149 | 0 |
| -16 | -0.156 | 0 |
| -16.1 | -0.162 | 0 |
| -16.2 | -0.169 | 0 |
| -16.3 | -0.176 | 0 |
| -16.4 | -0.184 | 0 |
| -16.5 | -0.191 | 0 |
| -16.6 | -0.198 | 0 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 70 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Spostamento Muro: LEFT

| Z (m) | Lato sinistro (mm) | Lato destro (mm) |
|-------|--------------------|------------------|
| -16.7 | -0.206 | 0 |
| -16.8 | -0.213 | 0 |
| -16.9 | -0.221 | 0 |
| -17 | -0.228 | 0 |
| -17.1 | -0.236 | 0 |
| -17.2 | -0.243 | 0 |
| -17.3 | -0.251 | 0 |
| -17.4 | -0.259 | 0 |
| -17.5 | -0.266 | 0 |
| -17.6 | -0.274 | 0 |
| -17.7 | -0.281 | 0 |
| -17.8 | -0.289 | 0 |
| -17.9 | -0.297 | 0 |
| -18 | -0.304 | 0 |

Tabella Inviluppi Momento WallElement

| Design Assumption: Nominal | Inviluppi: Momento | Muro: WallElement |
|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| 0 | 0 | 0 |
| -0.1 | 0.003 | 0.005 |
| -0.2 | 0.028 | 0.027 |
| -0.3 | 0.073 | 0.065 |
| -0.4 | 0.139 | 0.12 |
| -0.5 | 0.223 | 0.191 |
| -0.6 | 0.324 | 0.279 |
| -0.7 | 0.439 | 0.384 |
| -0.8 | 0.567 | 0.506 |
| -0.9 | 0.702 | 0.644 |
| -1 | 0.843 | 0.8 |
| -1.1 | 0.985 | 0.997 |
| -1.2 | 1.13 | 1.263 |
| -1.3 | 1.276 | 1.587 |
| -1.4 | 1.42 | 1.977 |
| -1.5 | 1.562 | 2.441 |
| -1.6 | 1.702 | 2.988 |
| -1.7 | 1.838 | 3.625 |
| -1.8 | 1.972 | 4.359 |
| -1.9 | 2.101 | 5.198 |
| -2 | 2.226 | 6.151 |
| -2.1 | 2.347 | 7.225 |
| -2.2 | 2.462 | 8.427 |
| -2.3 | 2.573 | 9.766 |
| -2.4 | 2.679 | 11.249 |
| -2.5 | 2.781 | 12.884 |
| -2.6 | 2.878 | 14.678 |
| -2.7 | 2.969 | 16.639 |
| -2.8 | 3.056 | 18.774 |
| -2.9 | 3.139 | 21.091 |
| -3 | 3.217 | 23.598 |
| -3.1 | 3.291 | 26.302 |
| -3.2 | 3.359 | 29.211 |
| -3.3 | 3.423 | 32.333 |
| -3.4 | 3.483 | 35.674 |
| -3.5 | 3.539 | 39.242 |
| -3.6 | 3.591 | 43.046 |
| -3.7 | 3.638 | 47.092 |
| -3.8 | 3.681 | 51.388 |
| -3.9 | 3.719 | 55.941 |
| -4 | 3.754 | 60.759 |
| -4.1 | 3.785 | 65.849 |
| -4.2 | 3.812 | 71.219 |
| -4.3 | 3.834 | 76.876 |
| -4.4 | 3.852 | 82.829 |
| -4.5 | 3.866 | 89.083 |
| -4.6 | 3.875 | 95.647 |
| -4.7 | 3.88 | 102.528 |
| -4.8 | 3.88 | 109.733 |
| -4.9 | 3.875 | 117.27 |
| -5 | 3.866 | 125.147 |
| -5.1 | 3.852 | 133.37 |
| -5.2 | 3.832 | 141.947 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 72 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Momento Muro: WallElement

| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
|-------|------------------------|----------------------|
| -5.3 | 3.807 | 150.886 |
| -5.4 | 3.776 | 160.193 |
| -5.5 | 3.738 | 169.877 |
| -5.6 | 3.695 | 179.944 |
| -5.7 | 3.645 | 190.402 |
| -5.8 | 3.588 | 201.259 |
| -5.9 | 3.524 | 212.521 |
| -6 | 3.452 | 224.197 |
| -6.1 | 3.372 | 236.292 |
| -6.2 | 3.285 | 248.654 |
| -6.3 | 3.19 | 261.247 |
| -6.4 | 3.089 | 274.035 |
| -6.5 | 2.98 | 286.984 |
| -6.6 | 2.864 | 300.057 |
| -6.7 | 2.742 | 313.219 |
| -6.8 | 2.613 | 326.436 |
| -6.9 | 2.478 | 339.67 |
| -7 | 2.336 | 352.888 |
| -7.1 | 2.187 | 366.054 |
| -7.2 | 2.046 | 378.998 |
| -7.3 | 1.911 | 391.679 |
| -7.4 | 1.784 | 404.058 |
| -7.5 | 1.662 | 416.095 |
| -7.6 | 1.547 | 427.75 |
| -7.7 | 1.437 | 438.983 |
| -7.8 | 1.333 | 449.837 |
| -7.9 | 1.234 | 460.207 |
| -8 | 1.14 | 470.03 |
| -8.1 | 1.049 | 479.267 |
| -8.2 | 0.962 | 487.878 |
| -8.3 | 0.901 | 495.823 |
| -8.4 | 0.994 | 503.069 |
| -8.5 | 1.081 | 509.638 |
| -8.6 | 1.158 | 515.552 |
| -8.7 | 1.223 | 520.832 |
| -8.8 | 1.275 | 525.499 |
| -8.9 | 1.311 | 529.574 |
| -9 | 1.329 | 533.078 |
| -9.1 | 1.326 | 536.03 |
| -9.2 | 1.301 | 538.449 |
| -9.3 | 1.251 | 540.354 |
| -9.4 | 1.174 | 541.764 |
| -9.5 | 1.066 | 542.696 |
| -9.6 | 0.927 | 543.169 |
| -9.7 | 0.753 | 543.202 |
| -9.8 | 0.542 | 542.813 |
| -9.9 | 0.292 | 542.02 |
| -10 | 0.042 | 540.84 |
| -10.1 | 0 | 539.289 |
| -10.2 | 0 | 537.383 |
| -10.3 | 0 | 535.138 |
| -10.4 | 0 | 532.568 |
| -10.5 | 0 | 529.69 |
| -10.6 | 0 | 526.515 |
| -10.7 | 0 | 523.059 |
| -10.8 | 0 | 519.334 |
| -10.9 | 0 | 515.352 |
| -11 | 0 | 511.129 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 73 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Momento Muro: WallElement

| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
|-------|------------------------|----------------------|
| -11.1 | 0 | 506.211 |
| -11.2 | 0 | 500.632 |
| -11.3 | 0 | 494.425 |
| -11.4 | 0 | 487.622 |
| -11.5 | 0 | 480.252 |
| -11.6 | 0 | 472.346 |
| -11.7 | 0 | 463.929 |
| -11.8 | 0 | 455.029 |
| -11.9 | 0 | 445.671 |
| -12 | 0 | 435.877 |
| -12.1 | 0 | 425.671 |
| -12.2 | 0 | 415.074 |
| -12.3 | 0 | 404.105 |
| -12.4 | 0 | 392.784 |
| -12.5 | 0 | 381.135 |
| -12.6 | 0 | 369.215 |
| -12.7 | 0 | 357.081 |
| -12.8 | 0 | 344.786 |
| -12.9 | 0 | 332.381 |
| -13 | 0 | 319.912 |
| -13.1 | 0 | 307.423 |
| -13.2 | 0 | 294.955 |
| -13.3 | 0 | 282.544 |
| -13.4 | 0 | 270.224 |
| -13.5 | 0 | 258.028 |
| -13.6 | 0 | 245.984 |
| -13.7 | 0 | 234.12 |
| -13.8 | 0 | 222.458 |
| -13.9 | 0 | 211.02 |
| -14 | 0 | 199.825 |
| -14.1 | 0 | 188.892 |
| -14.2 | 0 | 178.234 |
| -14.3 | 0 | 167.866 |
| -14.4 | 0 | 157.799 |
| -14.5 | 0 | 148.041 |
| -14.6 | 0 | 138.6 |
| -14.7 | 0 | 129.482 |
| -14.8 | 0 | 120.692 |
| -14.9 | 0 | 112.234 |
| -15 | 0 | 104.112 |
| -15.1 | 0 | 96.327 |
| -15.2 | 0 | 88.881 |
| -15.3 | 0 | 81.775 |
| -15.4 | 0 | 75.007 |
| -15.5 | 0 | 68.577 |
| -15.6 | 0 | 62.482 |
| -15.7 | 0 | 56.72 |
| -15.8 | 0 | 51.289 |
| -15.9 | 0 | 46.184 |
| -16 | 0 | 41.402 |
| -16.1 | 0 | 36.92 |
| -16.2 | 0 | 32.733 |
| -16.3 | 0 | 28.834 |
| -16.4 | 0 | 25.218 |
| -16.5 | 0 | 21.878 |
| -16.6 | 0 | 18.808 |
| -16.7 | 0 | 15.999 |
| -16.8 | 0 | 13.447 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 74 di 79 |

| Design Assumption: Nominal | Inviluppi: Momento | Muro: WallElement |
|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| -16.9 | 0 | 11.142 |
| -17 | 0 | 9.078 |
| -17.1 | 0 | 7.247 |
| -17.2 | 0 | 5.642 |
| -17.3 | 0 | 4.255 |
| -17.4 | 0 | 3.078 |
| -17.5 | 0 | 2.104 |
| -17.6 | 0 | 1.325 |
| -17.7 | 0 | 0.733 |
| -17.8 | 0 | 0.319 |
| -17.9 | 0 | 0.078 |
| -18 | 0 | 0 |

Tabella Inviluppi Taglio WallElement

Design Assumption: Nominal Inviluppi: Taglio Muro: WallElement

| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
|-------|----------------------|--------------------|
| 0 | 0.034 | 0.051 |
| -0.1 | 0.244 | 0.216 |
| -0.2 | 0.455 | 0.382 |
| -0.3 | 0.656 | 0.548 |
| -0.4 | 0.841 | 0.714 |
| -0.5 | 1.008 | 0.881 |
| -0.6 | 1.156 | 1.049 |
| -0.7 | 1.276 | 1.217 |
| -0.8 | 1.355 | 1.392 |
| -0.9 | 1.403 | 1.732 |
| -1 | 1.426 | 2.156 |
| -1.1 | 1.449 | 2.656 |
| -1.2 | 1.454 | 3.238 |
| -1.3 | 1.454 | 3.901 |
| -1.4 | 1.445 | 4.644 |
| -1.5 | 1.423 | 5.466 |
| -1.6 | 1.392 | 6.364 |
| -1.7 | 1.367 | 7.341 |
| -1.8 | 1.334 | 8.395 |
| -1.9 | 1.295 | 9.528 |
| -2 | 1.252 | 10.739 |
| -2.1 | 1.204 | 12.027 |
| -2.2 | 1.153 | 13.389 |
| -2.3 | 1.11 | 14.829 |
| -2.4 | 1.064 | 16.346 |
| -2.5 | 1.016 | 17.939 |
| -2.6 | 0.966 | 19.609 |
| -2.7 | 0.915 | 21.353 |
| -2.8 | 0.872 | 23.173 |
| -2.9 | 0.827 | 25.069 |
| -3 | 0.781 | 27.042 |
| -3.1 | 0.735 | 29.09 |
| -3.2 | 0.688 | 31.214 |
| -3.3 | 0.64 | 33.412 |
| -3.4 | 0.599 | 35.685 |
| -3.5 | 0.557 | 38.034 |
| -3.6 | 0.702 | 40.459 |
| -3.7 | 0.997 | 42.958 |
| -3.8 | 1.276 | 45.531 |
| -3.9 | 1.532 | 48.18 |
| -4 | 1.766 | 50.903 |
| -4.1 | 1.978 | 53.701 |
| -4.2 | 2.168 | 56.574 |
| -4.3 | 2.355 | 59.537 |
| -4.4 | 2.604 | 62.632 |
| -4.5 | 2.825 | 65.804 |
| -4.6 | 3.019 | 69.053 |
| -4.7 | 3.187 | 72.379 |
| -4.8 | 3.328 | 75.781 |
| -4.9 | 3.448 | 79.256 |
| -5 | 3.543 | 82.807 |
| -5.1 | 3.613 | 86.435 |
| -5.2 | 3.66 | 90.139 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 76 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Taglio Muro: WallElement

| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
|-------|----------------------|--------------------|
| -5.3 | 3.684 | 93.92 |
| -5.4 | 3.685 | 97.776 |
| -5.5 | 3.685 | 101.706 |
| -5.6 | 3.668 | 105.712 |
| -5.7 | 3.629 | 109.795 |
| -5.8 | 3.569 | 113.953 |
| -5.9 | 3.488 | 118.187 |
| -6 | 3.386 | 122.495 |
| -6.1 | 3.268 | 125.147 |
| -6.2 | 3.137 | 127.446 |
| -6.3 | 2.993 | 129.392 |
| -6.4 | 2.837 | 130.984 |
| -6.5 | 2.667 | 132.224 |
| -6.6 | 2.486 | 133.111 |
| -6.7 | 2.292 | 133.645 |
| -6.8 | 2.086 | 133.827 |
| -6.9 | 1.868 | 133.827 |
| -7 | 1.639 | 133.656 |
| -7.1 | 1.52 | 133.132 |
| -7.2 | 1.626 | 130.842 |
| -7.3 | 1.715 | 128.155 |
| -7.4 | 1.786 | 125.071 |
| -7.5 | 1.841 | 121.59 |
| -7.6 | 1.879 | 117.712 |
| -7.7 | 1.9 | 113.437 |
| -7.8 | 1.905 | 108.765 |
| -7.9 | 1.905 | 103.696 |
| -8 | 1.893 | 98.231 |
| -8.1 | 1.864 | 92.369 |
| -8.2 | 1.819 | 86.11 |
| -8.3 | 1.757 | 79.454 |
| -8.4 | 1.678 | 72.46 |
| -8.5 | 1.583 | 65.688 |
| -8.6 | 1.471 | 59.136 |
| -8.7 | 1.343 | 52.8 |
| -8.8 | 1.198 | 46.674 |
| -8.9 | 3.254 | 40.755 |
| -9 | 7.932 | 35.037 |
| -9.1 | 12.514 | 29.517 |
| -9.2 | 16.959 | 24.19 |
| -9.3 | 21.271 | 19.051 |
| -9.4 | 25.455 | 14.096 |
| -9.5 | 29.482 | 9.319 |
| -9.6 | 33.241 | 4.733 |
| -9.7 | 36.596 | 2.109 |
| -9.8 | 39.562 | 2.503 |
| -9.9 | 42.15 | 2.923 |
| -10 | 44.373 | 3.367 |
| -10.1 | 46.245 | 3.836 |
| -10.2 | 47.777 | 4.33 |
| -10.3 | 48.983 | 4.848 |
| -10.4 | 49.875 | 5.392 |
| -10.5 | 50.464 | 5.96 |
| -10.6 | 50.763 | 6.553 |
| -10.7 | 50.783 | 7.17 |
| -10.8 | 50.783 | 7.811 |
| -10.9 | 50.538 | 8.475 |
| -11 | 56.36 | 8.475 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 77 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Taglio Muro: WallElement

| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
|-------|----------------------|--------------------|
| -11.1 | 62.523 | 7.342 |
| -11.2 | 68.015 | 6.282 |
| -11.3 | 72.871 | 5.293 |
| -11.4 | 77.123 | 4.374 |
| -11.5 | 80.804 | 3.523 |
| -11.6 | 84.282 | 2.737 |
| -11.7 | 89.019 | 2.013 |
| -11.8 | 93.585 | 1.35 |
| -11.9 | 97.934 | 0.744 |
| -12 | 102.06 | 0.197 |
| -12.1 | 105.974 | 0 |
| -12.2 | 109.688 | 0 |
| -12.3 | 113.215 | 0 |
| -12.4 | 116.482 | 0 |
| -12.5 | 119.2 | 0 |
| -12.6 | 121.343 | 0 |
| -12.7 | 122.949 | 0 |
| -12.8 | 124.052 | 0 |
| -12.9 | 124.688 | 0 |
| -13 | 124.889 | 0 |
| -13.1 | 124.889 | 0 |
| -13.2 | 124.686 | 0 |
| -13.3 | 124.111 | 0 |
| -13.4 | 123.192 | 0 |
| -13.5 | 121.957 | 0 |
| -13.6 | 120.433 | 0 |
| -13.7 | 118.646 | 0 |
| -13.8 | 116.621 | 0 |
| -13.9 | 114.379 | 0 |
| -14 | 111.944 | 0 |
| -14.1 | 109.336 | 0 |
| -14.2 | 106.574 | 0 |
| -14.3 | 103.679 | 0 |
| -14.4 | 100.673 | 0 |
| -14.5 | 97.58 | 0 |
| -14.6 | 94.412 | 0 |
| -14.7 | 91.182 | 0 |
| -14.8 | 87.9 | 0 |
| -14.9 | 84.577 | 0 |
| -15 | 81.224 | 0 |
| -15.1 | 77.848 | 0 |
| -15.2 | 74.458 | 0 |
| -15.3 | 71.064 | 0 |
| -15.4 | 67.677 | 0 |
| -15.5 | 64.303 | 0 |
| -15.6 | 60.948 | 0 |
| -15.7 | 57.617 | 0 |
| -15.8 | 54.316 | 0 |
| -15.9 | 51.048 | 0 |
| -16 | 47.817 | 0 |
| -16.1 | 44.817 | 0 |
| -16.2 | 41.872 | 0 |
| -16.3 | 38.985 | 0 |
| -16.4 | 36.16 | 0 |
| -16.5 | 33.4 | 0 |
| -16.6 | 30.706 | 0 |
| -16.7 | 28.082 | 0 |
| -16.8 | 25.528 | 0 |

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 78 di 79 |

Design Assumption: Nominal Involuppi: Taglio Muro: WallElement

| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
|-------|----------------------|--------------------|
| -16.9 | 23.047 | 0 |
| -17 | 20.64 | 0 |
| -17.1 | 18.308 | 0 |
| -17.2 | 16.051 | 0 |
| -17.3 | 13.871 | 0 |
| -17.4 | 11.767 | 0 |
| -17.5 | 9.741 | 0 |
| -17.6 | 7.793 | 0 |
| -17.7 | 5.923 | 0 |
| -17.8 | 4.13 | 0 |
| -17.9 | 2.416 | 0 |
| -18 | 0.779 | 0 |



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

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opera di sostegno BD – km 28+050 – 28+105
Relazione di calcolo

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR1J | 01 D 29 | CL | RI0005 001 | B | 79 di 79 |

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva % |
|-------------------|---------|-----------|-------|--|
| NTC2018: A2+M2+R1 | Stage 3 | Left Wall | LEFT | 26.45 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | Stage 0 | Left Wall | RIGHT | 14.68 |