

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA FERROVIA ROMA - VITERBO

RADDOPPIO TRATTA CESANO VIGNA DI VALLE

IN26 – TOMBINO

Relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-
---

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

N	R	1	J	0	0	D	2	9	C	L	I	N	2	6	0	0	0	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Serrau <i>F. Serrau</i>	05-2020	M. Monda <i>M. Monda</i>	05-2020	T. Paoletti <i>T. Paoletti</i>	05-2020	 F. Arduini 05-2020 ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Ufficio Centro Via F.lli. Arduini 00185 Roma

File: NR1J01D29CLIN2600002A

n. Elab.: 307.43

## INDICE

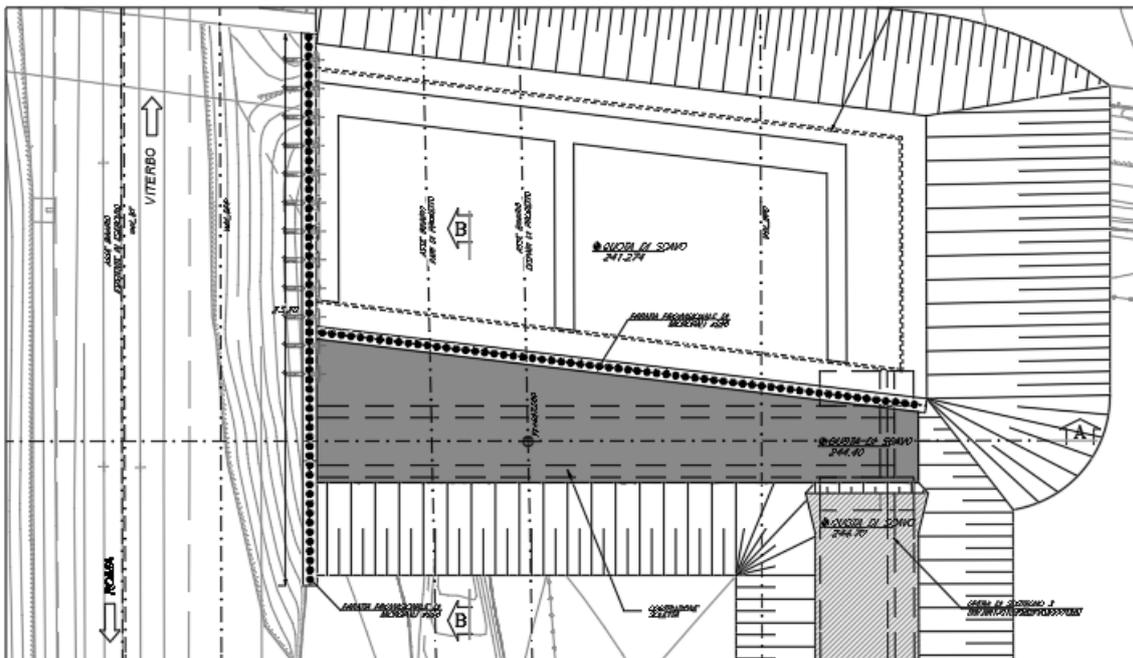
1.	PREMESSA .....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	6
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	7
2.3	SOFTWARE.....	7
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	8
3.1	CALCESTRUZZO .....	8
3.2	ACCIAIO DI ARMATURA - BARRE.....	8
3.3	CARPENTERIA METALLICA .....	9
4.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	10
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E MATERIALI ANTROPICI .....	11
6.	ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO .....	12
6.1	AZIONI PERMANENTI.....	12
6.1.1	<i>Peso proprio</i> .....	12
6.1.2	<i>Spinta delle terre</i> .....	12
6.1.3	<i>Sovraccarico permanente</i> .....	15
6.2	SOVRACCARICHI ACCIDENTALI.....	15
7.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITI.....	16
8.	METODO DI ANALISI.....	20

8.1	MODELLAZIONE NUMERICA .....	20
8.2	DESCRIZIONE OPERA E MODELLO DI CALCOLO.....	24
8.3	FASI DI COSTRUZIONE .....	25
9.	CRITERI DI VERIFICA .....	30
9.1	VERIFICA DEI MICROPALI.....	30
	<i>9.1.1 Verifiche geotecniche</i> .....	30
	<i>9.1.2 Verifiche strutturali</i> .....	31
10.	RISULTATI .....	32
11.	VERIFICHE.....	36
11.1	VERIFICA DEI MICROPALI.....	36
	<i>11.1.1 Verifiche geotecniche</i> .....	36
	<i>11.1.2 Verifiche strutturali</i> .....	36
	<i>11.1.3 Incidenza armatura cordolo</i> .....	38
	ALLEGATI - TABULATI DI PARATIE.....	39

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i calcoli per il dimensionamento della paratia provvisoria da realizzarsi per consentire la costruzione del tombino ferroviario IN26 (pk 38+627), nell'ambito degli interventi di raddoppio della linea Cesano-Vigna di Valle.

L'opera di sostegno provvisoria si posizionerà come illustrato in Figura 1 ed avrà le caratteristiche rappresentate in Figura 2.



*Figura 1 – Paratia provvisoria: inquadramento planimetrico*

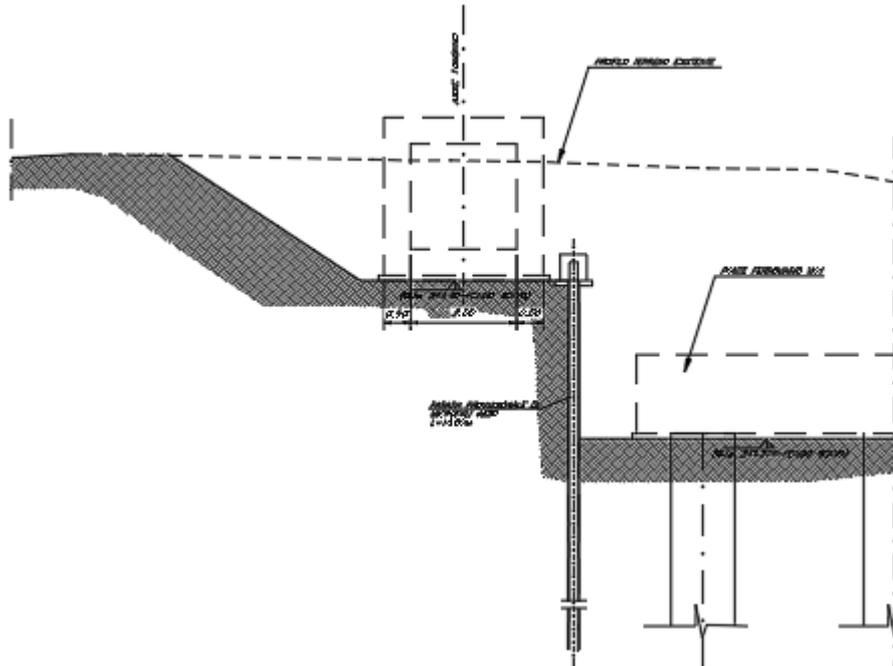


Figura 2 – Paratia provvisoria: sezione.

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 6 di 65

## 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”.
- [10] RFI DTC SI CS MA IFS 001 A – Manuale di progettazione delle opere civili – parte II Sezione 3 – Corpo Stradale
- [11] A.I.C.A.P. – “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni “, maggio 1993

## 2.2 Documentazione di progetto

- [12] Relazione geotecnica generale – Progetto Definitivo Doc.  
NR1J00D29GEGE0005001A
- [13] VI01 Ponte ferroviario al km 38+650 - Relazione tecnica descrittiva  
NR1J00D29ROVI0100001A
- [14] VI01 Ponte ferroviario al km 38+650 - Planimetria di progetto  
NR1J00D29P8VI0100001A
- [15] VI01 Ponte ferroviario al km 38+650 - Fasi costruttive  
NR1J00D29BZVI0100001A
- [16] VI01 Ponte ferroviario al km 38+650 - Pianta fondazioni, pianta impalcato, prospetto e  
sezione longitudinale NR1J00D29PZVI0100002A

## 2.3 Software

- [17] ParatiePlus 19.0.1 – Ceas Srl ([www.ceas.it](http://www.ceas.it))

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo

Elemento strutturale: cordoli di collegamento

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

#### 3.2 Acciaio di Armatura - Barre

Tipo acciaio	B 450 C
Peso specifico, $\gamma_a$	78,50 kN/mc
Tensione nominale di snervamento, $f_{y\ nom}$	450 N/mm <sup>2</sup>
Tensione nominale di rottura, $f_{t\ nom}$	540 N/mm <sup>2</sup>
Minima tensione caratteristica di snervamento, $f_{yk\ min}$	450 N/mm <sup>2</sup>
Minima tensione caratteristica di rottura, $f_{tk\ min}$	540 N/mm <sup>2</sup>
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, (fy/fy nom)k 1,25

Allungamento caratteristico sotto carico massimo, (Agt)k 7,5 %

Modulo di elasticità dell'acciaio, E 206000 N/mmq

### 3.3 Carpenteria metallica

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo saldati

Tipo EN 10025-2 S355 J2+N – per spessori nominali  $t \leq 40$  mm

Tipo EN 10025-2 S355 K2+N – per spessori nominali  $t > 40$  mm

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati

Tipo EN 10025-2 S355 J0+N

Acciaio in profili a sezione cava

Tipo EN 10210-1 S355 J0H+N

modulo elastico  $E_s = 210000$  MPa

resistenza caratteristica a rottura  $f_{tk} \geq 510$  MPa

resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} \geq 355$  MPa

resistenza di calcolo acciaio  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 338.1$  MPa

con  $\gamma_{M0} = 1.05$

#### **4. DESCRIZIONE DELL'OPERA**

Nel complesso l'opera sarà costituita da una berlinese avente le caratteristiche rappresentate in Figura 2. Trattasi di una fila di micropali con interasse pari a 0.4 m e realizzati con perforazioni del diametro di 220 mm fino alla profondità di 10 m ed iniezioni a gravità. Saranno armati con tubolari aventi diametro pari a 139.7 mm e spessore di 10 mm. Nei seguenti capitoli si descrivono in dettaglio il calcolo e la verifica dell'opera in oggetto.

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E MATERIALI ANTROPICI

Il modello geotecnico è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. rif. [12]). 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 compresa tra pk 38+000 e 39+150 e descritto in dettaglio nella Relazione Geotecnica. Nella Tabella 1 si riportano la stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto.

*Tabella 1 - Modello geotecnico di riferimento*

Modello 9a - Da pk 38+000 alla pk 39+150

Unità Geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da p.c.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio picco $\phi'$ (°)
P1	Depositi superficiali zona Lago Morto	0	4	4	2	17	GF/GG	30-40	26
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	4	8	4	2	17	GF/GG	50-60	28
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	8	30	22	11	17	GG	60-70	32

Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di consolidazione e cv (m <sup>2</sup> /s)	K rilevata (cm/s)	K media (cm/s)
25	10	40	18	36	25	36	$5 \cdot 10^{-3}$	-	-
24.5	10	60	26	52	40	54	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	-
27	5	-	35	70	50	-		$2,80 \cdot 10^{-4} / 3,76 \cdot 10^{-5}$	$2,02 \cdot 10^{-5}$

Dalle misure freaticometriche effettuate, la quota di falda risulta essere ad elevate profondità e non interferente con il volume significativo.

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 12 di 65

## 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  $\sigma'_h$  a quella verticale  $\sigma'_v$  attraverso la relazione:

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

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

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

dove

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

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $\text{OCR}=1$ ).  $\text{OCR}$  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  $\delta$  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  $\Delta$ , la rigidità di ogni molla è:

$$K = E \Delta / L$$

Il valore di  $\Delta$  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):

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

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 14 di 65

dove e 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.

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 rigidezza 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).

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 15 di 65

Il modulo di scarico-ricarico è da 3 a 10 volte maggiore nel caso di argille, mentre e 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.

#### 6.1.3 Sovraccarico permanente

Il peso del tombino è pari ad 125kN/m, che diviso la base dello dello stesso pari a 3.0m da una pressione di  $125/3 = 42$  kPa

#### 6.2 Sovraccarichi accidentali

Per tenere in conto della presenza dei mezzi d'opera si applica una carico distribuito di 10kPa.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01 D 29</td> <td>CL</td> <td>IN2600 002</td> <td>A</td> <td>16 di 65</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01 D 29	CL	IN2600 002	A	16 di 65
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01 D 29	CL	IN2600 002	A	16 di 65								

## 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  $\gamma_F$ ,  $\gamma_M$  e  $\gamma_R$  (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione  $\psi$  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);

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 17 di 65

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU).

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

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

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

In particolare sono stati verificati i seguenti stati limiti ultimi:

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

Per quest'ultimo meccanismo, la verifica deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 definita come segue, assumendo R2 pari a 1.1 in condizioni statiche 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 2 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU*

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ced}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

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

*Tabella 3 - Coefficienti di combinazione delle azioni*

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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
	$g_1$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$g_2$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$g_3$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione SLU e SLE	0,80	0,0	0,0
		0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

*Tabella 4 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 20 di 65

## 8. METODO DI ANALISI

### 8.1 Modellazione numerica

Il calcolo agli elementi finiti delle paratie è stato effettuato utilizzando il codice PARATIE (versione 19.0.1) 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:

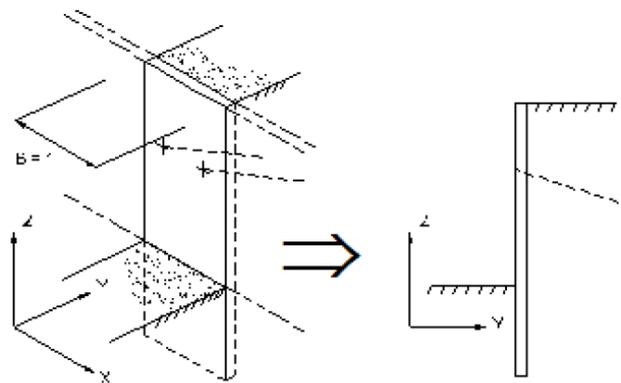
Analisi classica = viene eseguita una analisi all’equilibrio limite della singola o doppia paratia. Il calcolo delle sollecitazioni avviene per mezzo delle teorie classiche. Il calcolo degli spostamenti avviene tramite un’analisi elastica semplificata considerando lo schema di carico e di vincoli imposti 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;
- Si adotta un valore dell'angolo di attrito terreno paratia, ( $\delta$ ), 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 3 – Schema di modellazione piana effettuata per mezzo del software PARATIE*

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

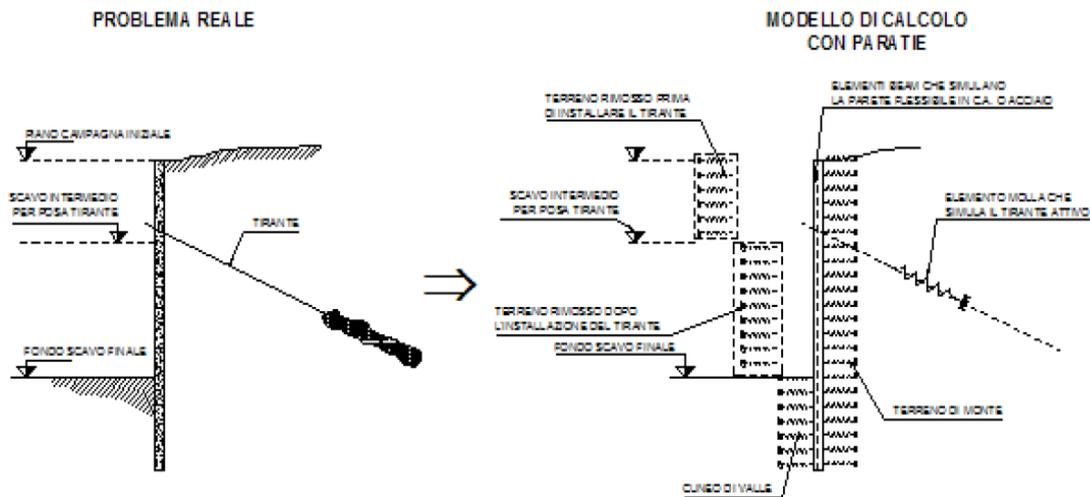


Figura 4 – Trave su suolo elastico: modellazione numerica della paratia e dei vincoli

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

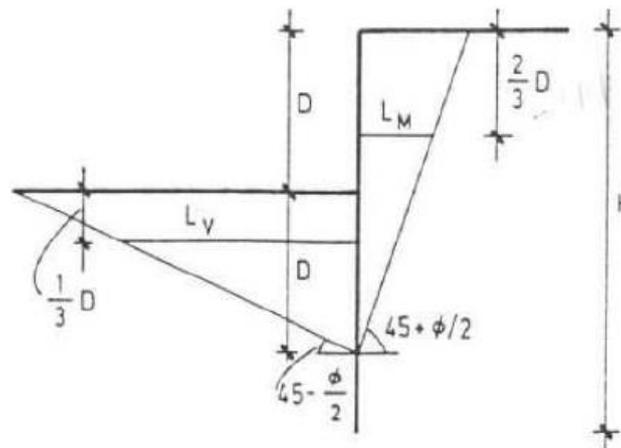
$a$  è un fattore di scala posto pari a 1;

$E_s$  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;

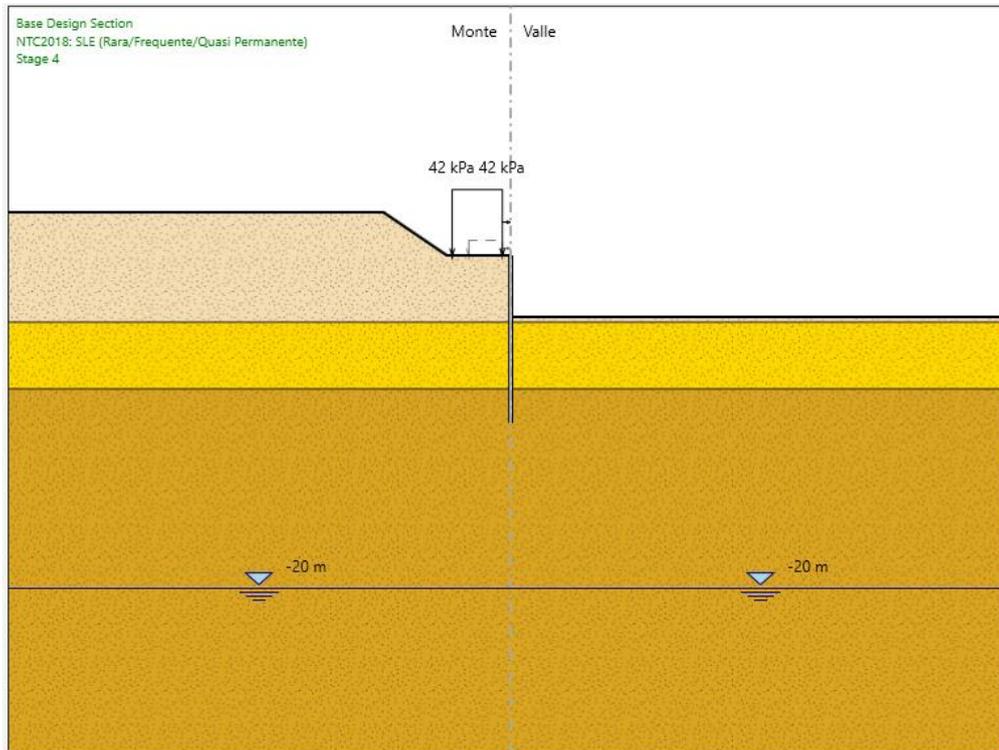
- condizioni di stabilità generale del complesso parete+terreno+tiranti.

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 Descrizione opera e modello di calcolo

Il modello di calcolo è rappresentato in Figura 5 ed è costituito da una berlinese. I micropali hanno le seguenti caratteristiche: tubo di armatura di diametro 139.7 mm e spessore 10 mm, diametro di perforazione 220 mm, lunghezza di 10 m, interasse 0.40 m. I micropali sono collegati in testa mediante un cordolo in c.a. di dimensioni 0.50x0.50 m.

	Terreni	c' [kPa]	φ' [°]
	P1 Sabbia / Ghiaia	10	28
	U1a Sabbia / Ghiaia	10	28
	U3b Sabbia / Ghiaia	5	32



*Figura 5 – Modello di calcolo: massima profondità di scavo*

### 8.3 Fasi di costruzione

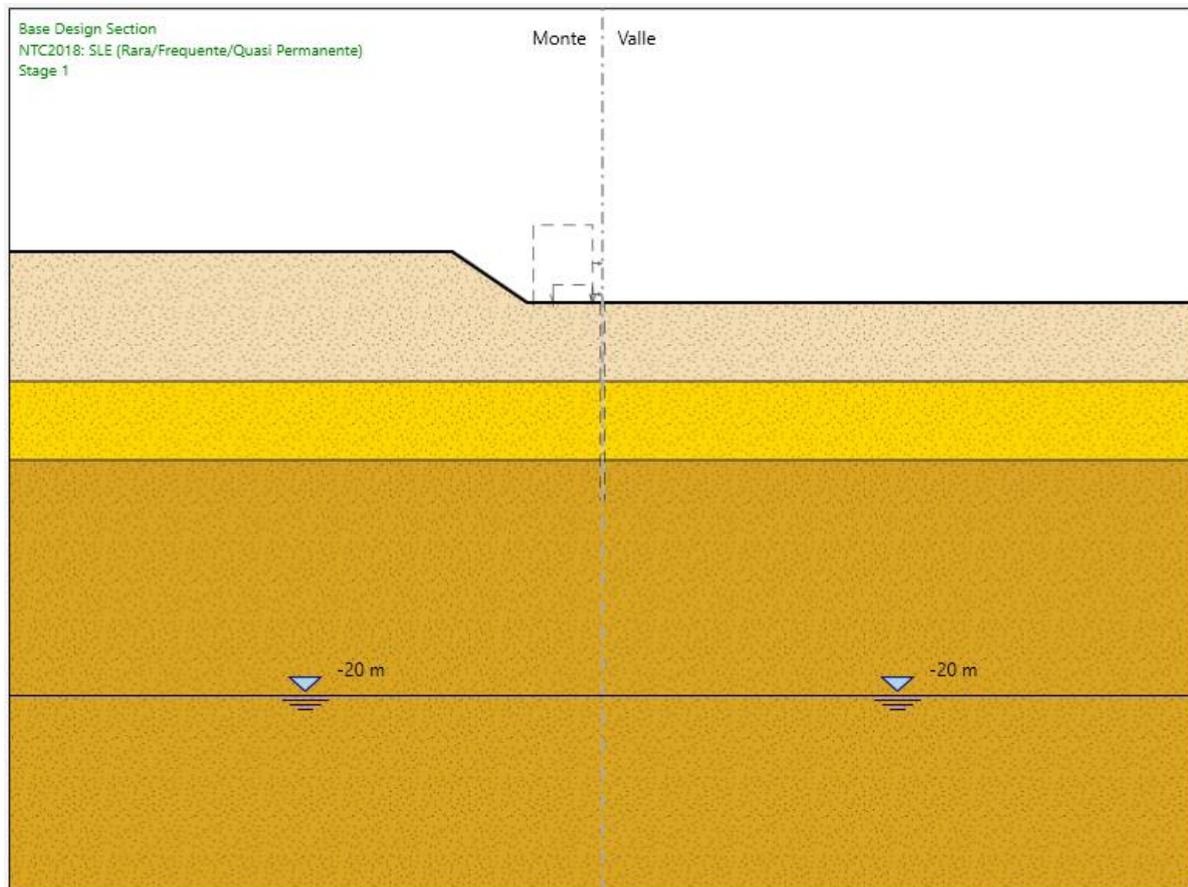
Il calcolo numerico è effettuato per fasi, al fine di consentire la valutazione delle azioni sulla paratia nelle differenti stadi di costruzione e di consentire la convergenza della soluzione. Nel seguito si riassumono le fasi di calcolo considerate nell'analisi.

FASE 1 - INIZIALIZZAZIONE

Paratia: -

Quota terreno lato monte: +2.6 m

Quota terreno lato valle: +0 m



*Figura 6 – Stage 1*

FASE 2 – COSTRUZIONE BERLINESE

Paratia: micropali

Quota terreno lato monte: +2.6 m

Quota terreno lato valle: +0 m

Sovraccarico = variabile 10 kPa (mezzi di cantiere).

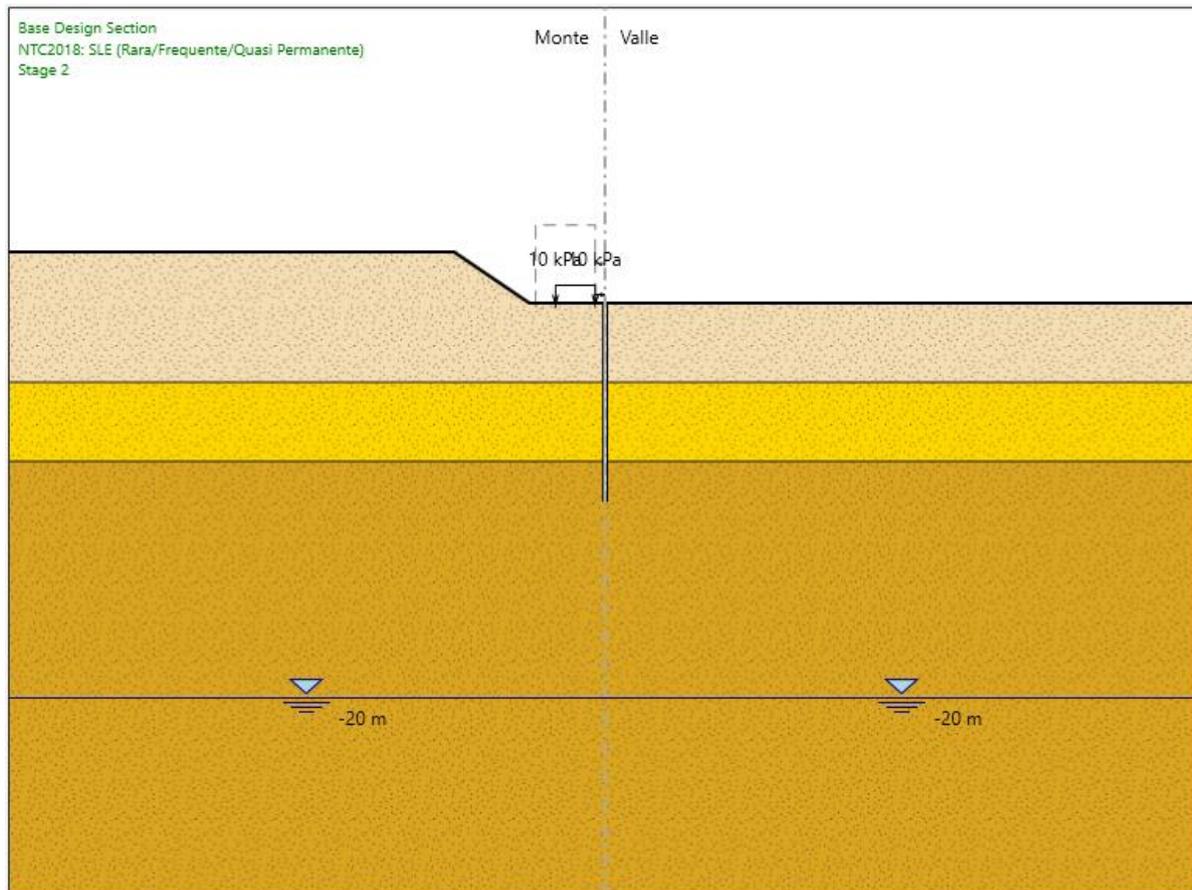


Figura 7 – Stage 2

FASE 3 – SCAVO DEFINITIVO E SOVRASCAVO

Paratia: micropali

Quota terreno lato monte: +2.6 m

Quota terreno lato valle: -3.7 m (=3.2m+0.5m)

Sovraccarico = variabile 10 kPa (mezzi di cantiere).

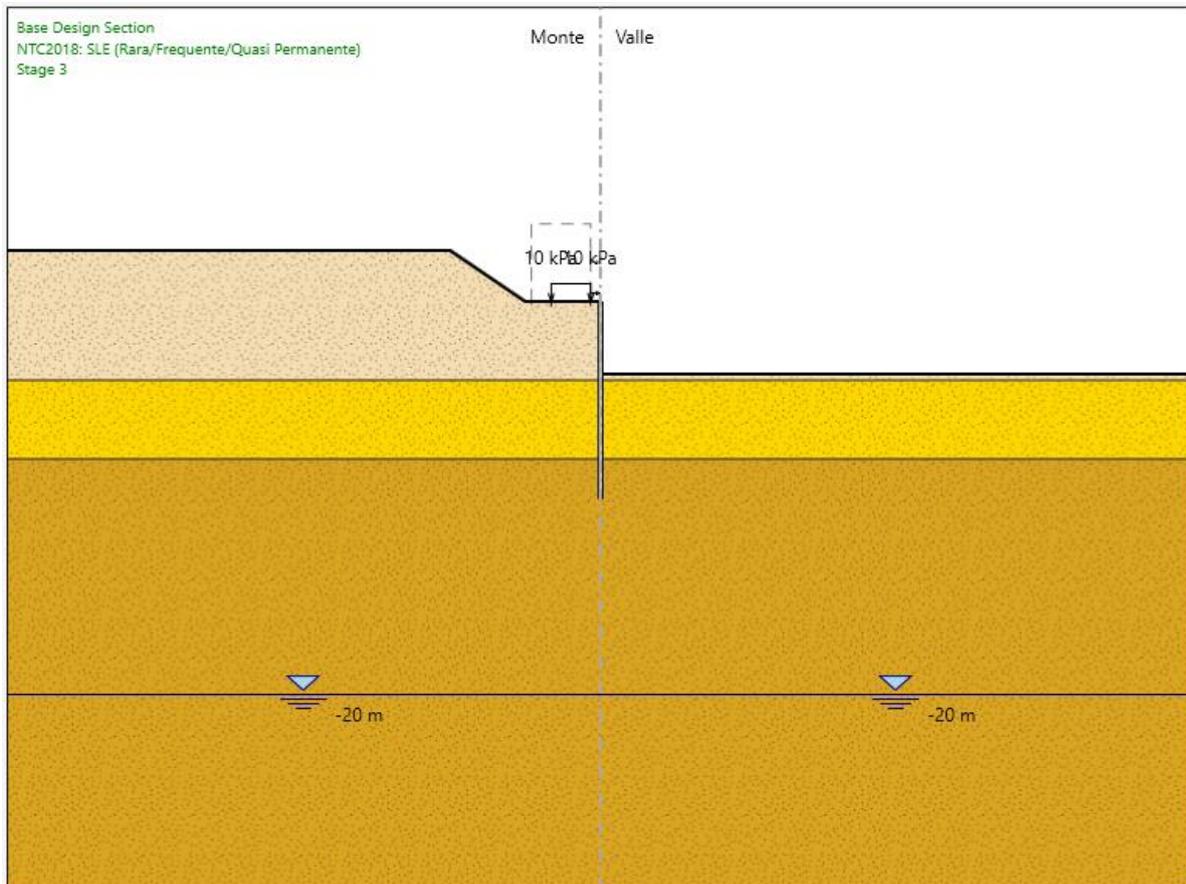


Figura 8 – Stage 3

FASE 4 – TOMBINO

Paratia: micropali

Quota terreno lato monte: +2.6 m

Quota terreno lato valle: -3.7 m

Sovraccarico = permanente 42 kPa (tombino).

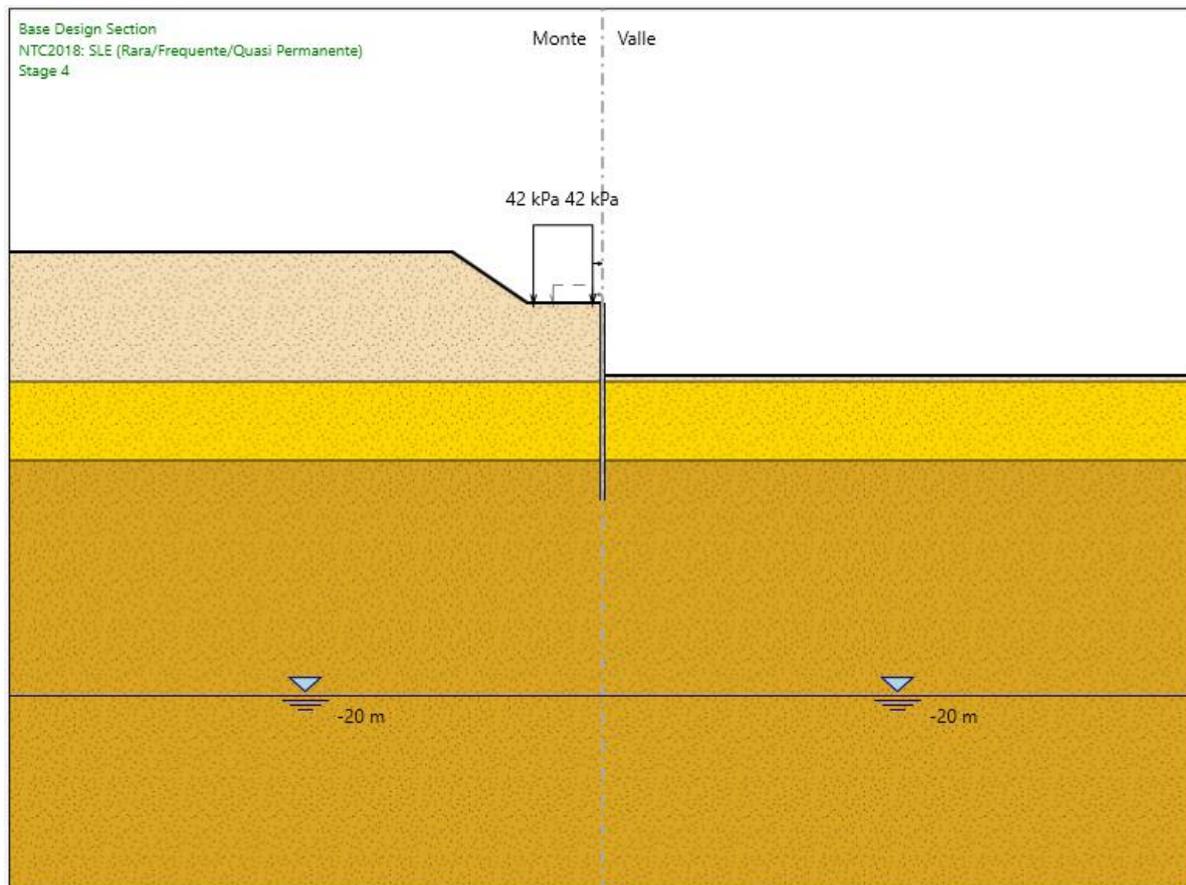


Figura 9 – Step 4.

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 30 di 65

## 9. CRITERI DI VERIFICA

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.

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.

### 9.1 Verifica dei micropali

#### 9.1.1 Verifiche geotecniche

##### 9.1.1.1 Verifica della massima spinta passiva mobilitata

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

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 31 di 65

### 9.1.1.2 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 sifondamento o ad altri stati limite di tipo idraulico.

## 9.1.2 Verifiche strutturali

### 9.1.2.1 Verifica dei tubi di armatura dei micropali

La verifica dei tubi di armatura dei micropali, sia verticali che inclinati, viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni tubolari compatte (classe 1 o 2) con il metodo plastico descritto nelle NTC. Le verifiche a flessione ed a taglio saranno effettuate con Paratie, in termini di coefficiente di sfruttamento.

## 10. RISULTATI

Nel presente capitolo si riassumono i risultati del calcolo effettuato sull'opera descritta nel capitolo 8.

### INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE

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

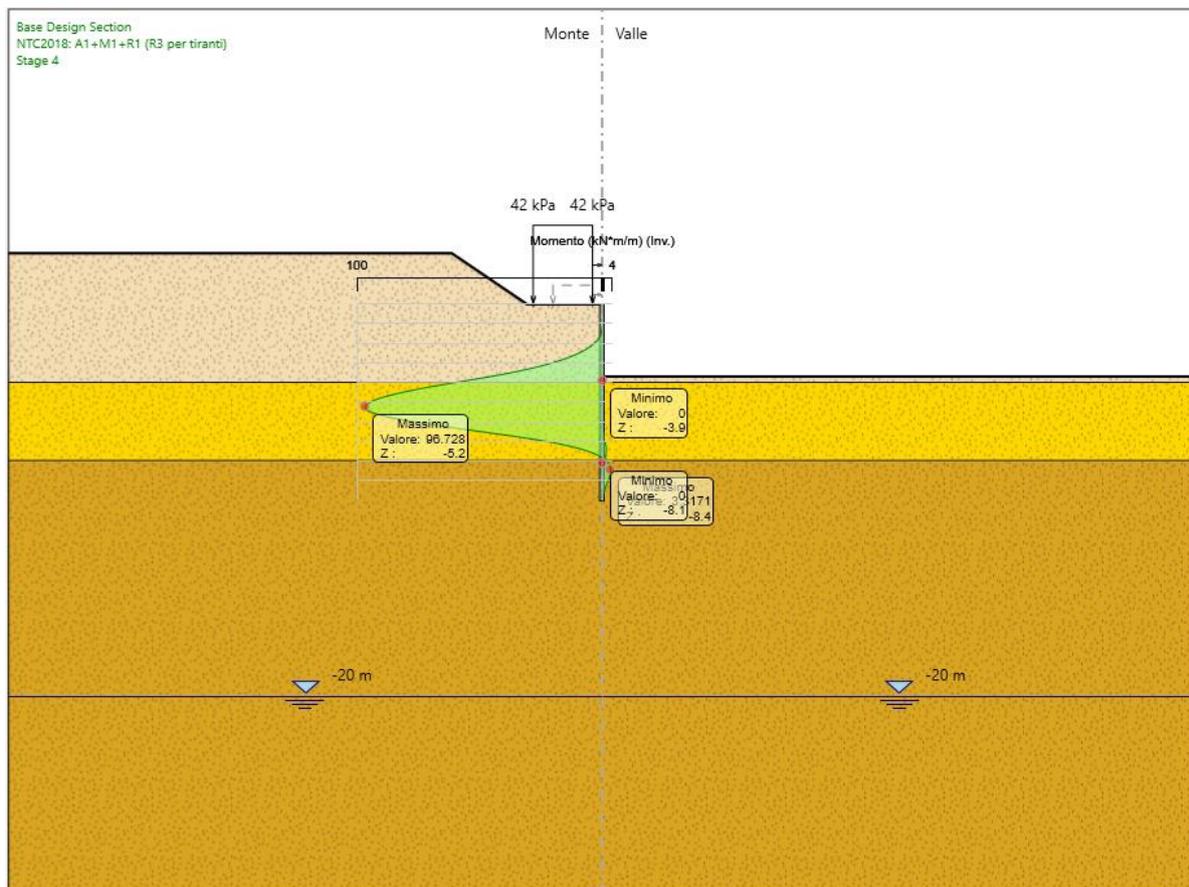
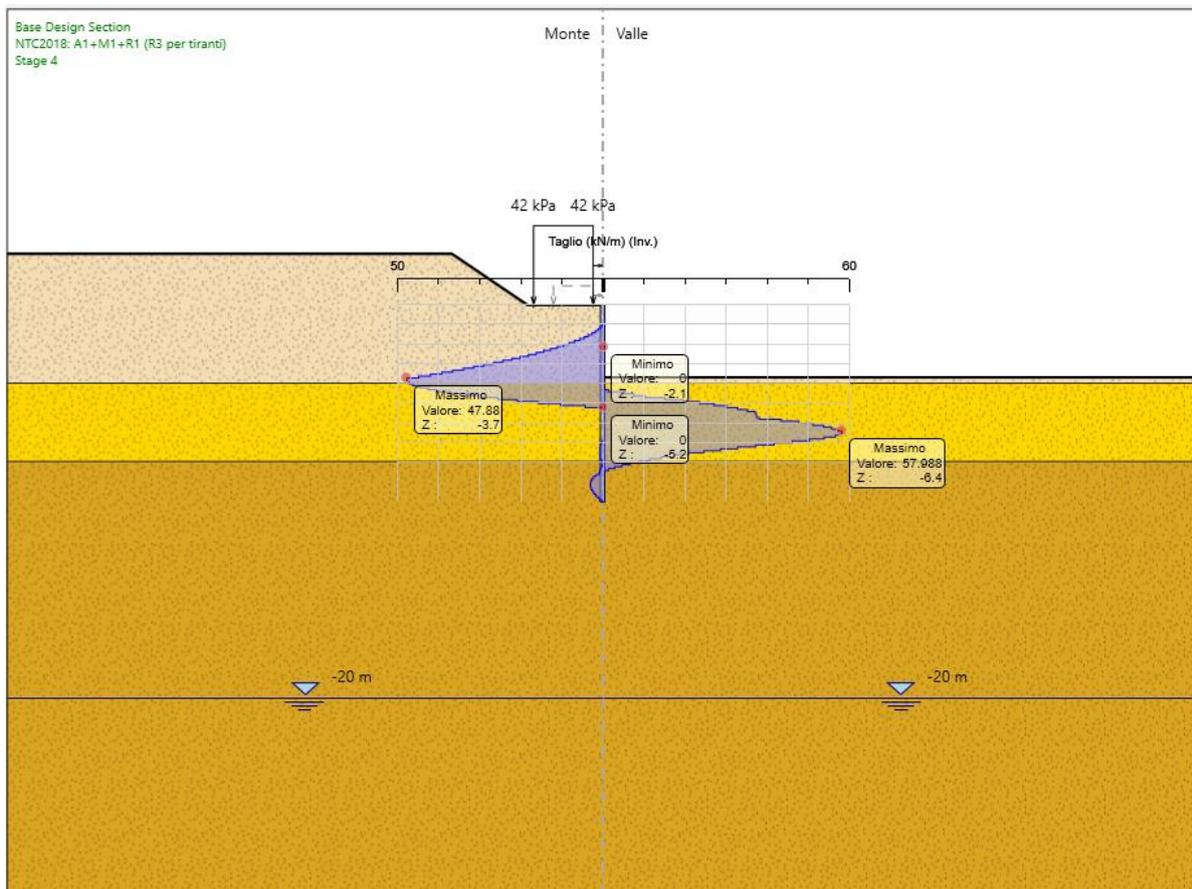


Figura 10 – Momento flettente massimo SLU ( $M_{max}=97 \text{ kNm/m}$ )

### INVILUPPO AZIONE DI TAGLIO

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



*Figura 11 – Azione di taglio massimo SLU ( $T_{max}=58$  kN/m)*

### SPOSTAMENTO MASSIMO PARATIA

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

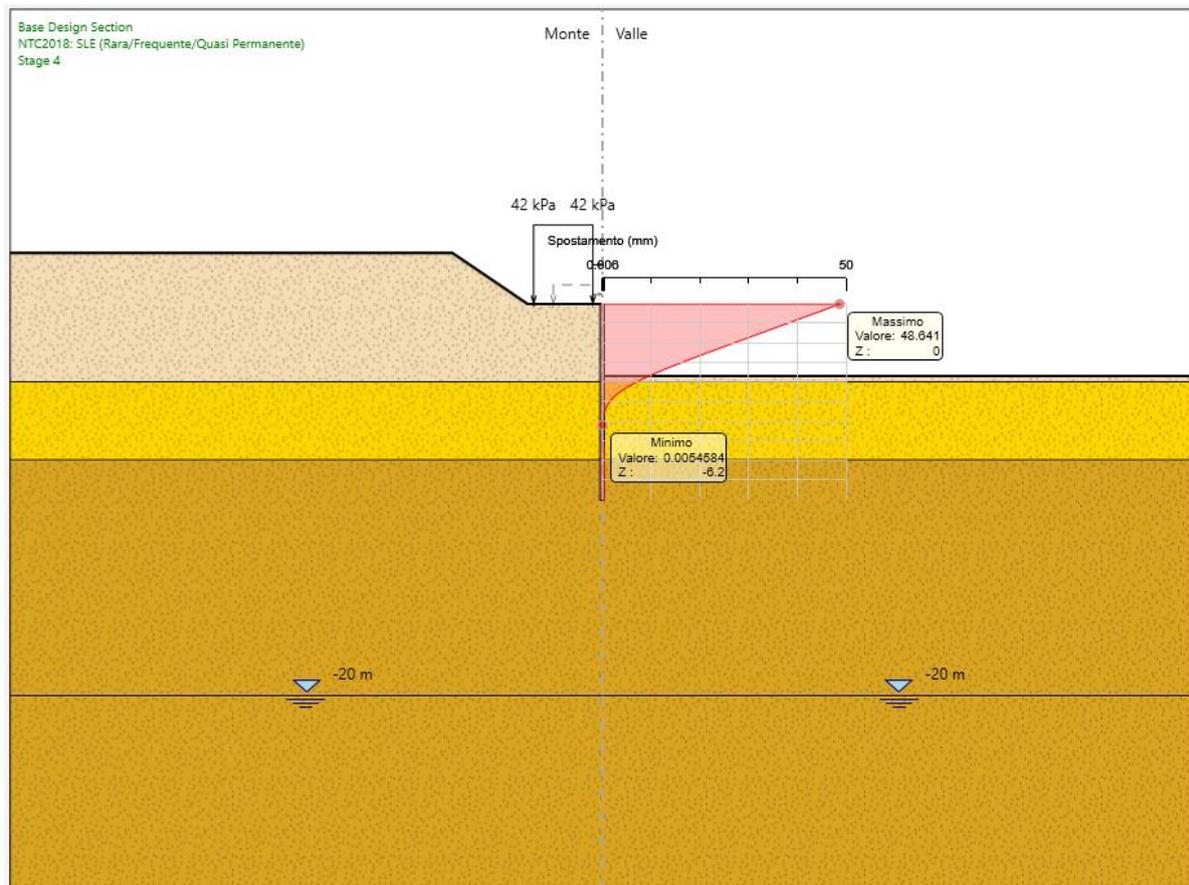
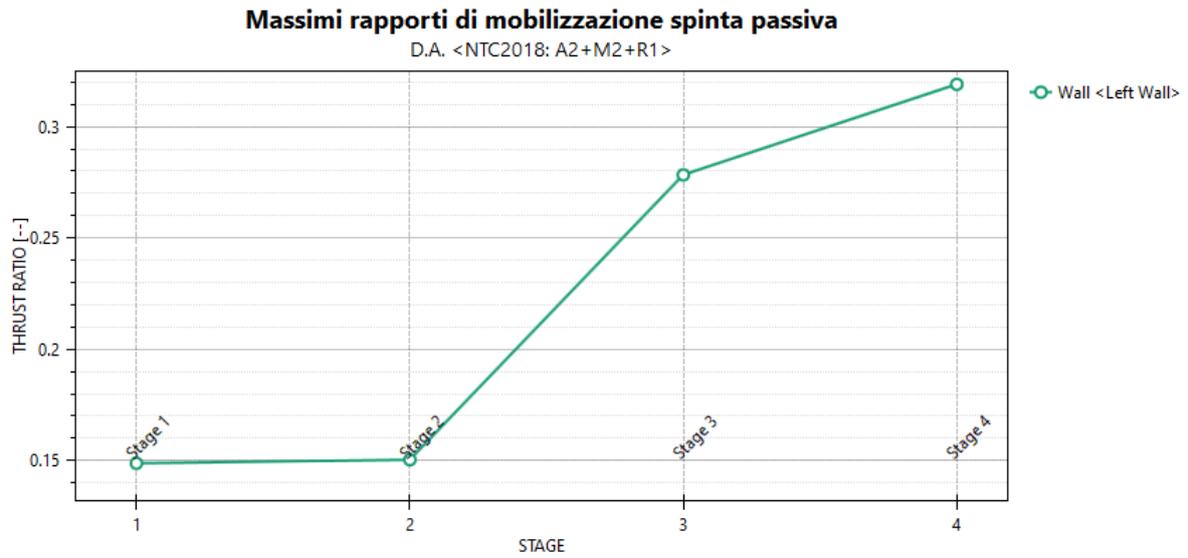


Figura 12 – Spostamento massimo SLE – Spostamento massimo in testa pari a 48.6mm

SPINTA PASSIVA MOBILITATA

Tabella 5 - Involuppo spinta reale efficace / Spinta passiva (Approccio 1 Combinazione 2)



	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IN26 – Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN2600 002	REV. A	FOGLIO 36 di 65

## 11. VERIFICHE

### 11.1 Verifica dei micropali

#### 11.1.1 Verifiche geotecniche

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

Inoltre, gli spostamenti calcolati e rappresentati in Figura 12 sono in grado di garantire i requisiti prestazionali dell'opera e, quindi, soddisfare le verifiche agli SLE.

#### 11.1.2 Verifiche strutturali

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

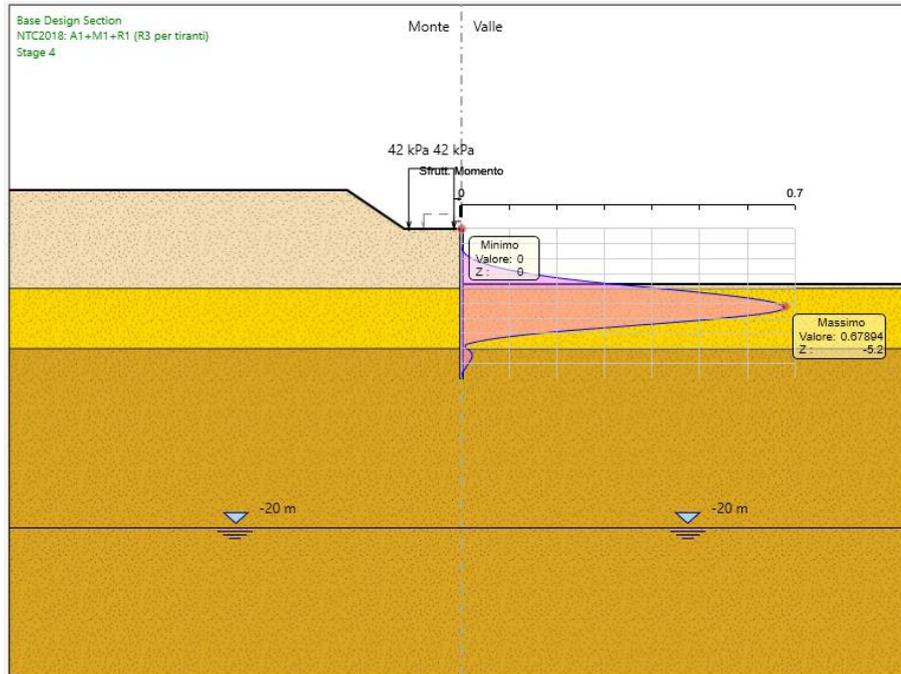


Figura 13 – Involuppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a flessione (SLU)

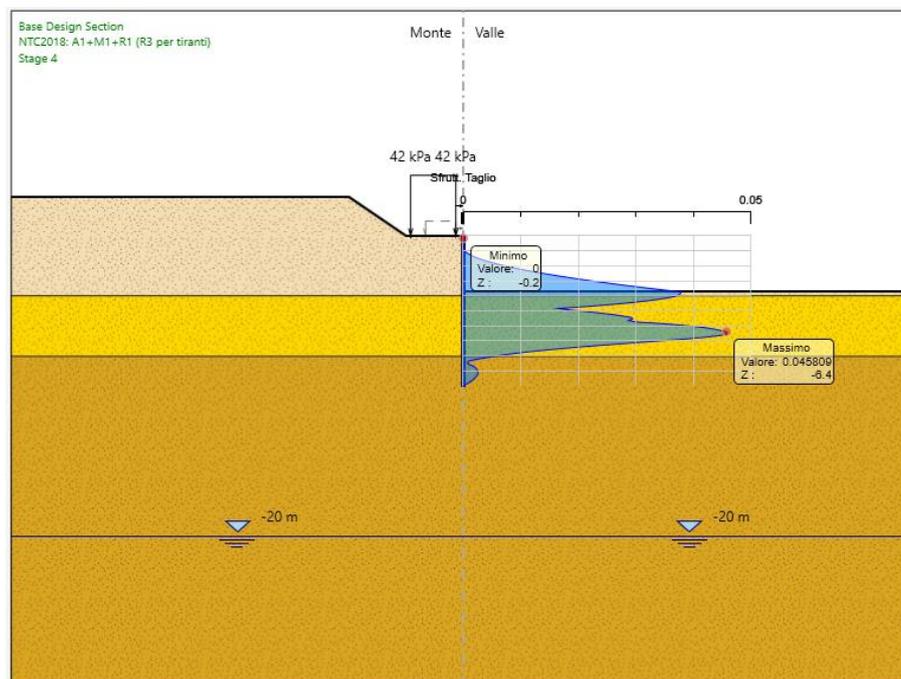


Figura 14 – Involuppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a taglio (SLU)

### 11.1.3 Incidenza armatura cordolo

Poiché il cordolo di collegamento dei micropali non risulta direttamente sollecitato (si veda Figura 10), è stata adottata l'armatura minima prescritta dalle NTC 2018.

Armatura longitudinale: n.4 + 4  $\varnothing$ 10

Staffe: n.2 bracci,  $\varnothing$ 10/20 cm

L'incidenza del cordolo in c.a. è di 60 kg/m<sup>3</sup>.

**ALLEGATI - TABULATI DI PARATIE**



## ***Descrizione Pareti***

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Muro di sinistra

Sezione : micropali

Area equivalente : 0.0157818085500266 m

Inerzia equivalente : 0 m<sup>4</sup>/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 0.4 m

Diametro : 0.22 m

Efficacia : 0.5

Materiale acciaio : S355

Sezione : CHS139.7\*10

Tipo sezione : O

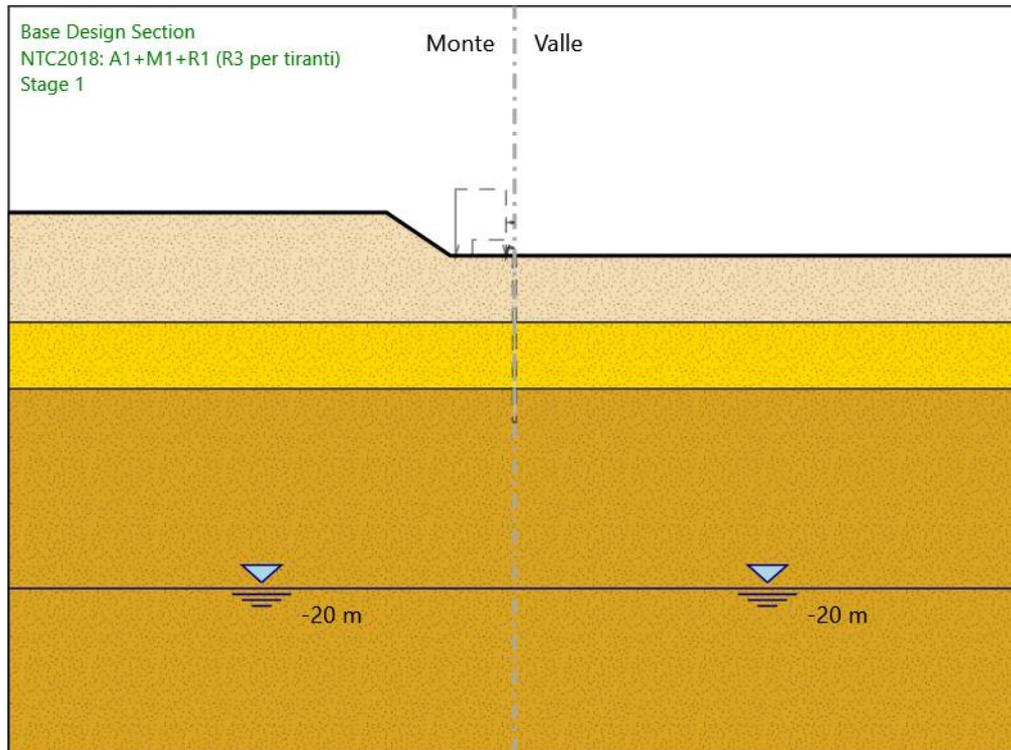
Spaziatura : 0.4 m

Spessore : 0.01 m

Diametro : 0.1397 m

## Fasi di Calcolo

### Stage 1



Stage 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;2.6)

(-7.6;2.6)

(-3.8;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)



**RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE**  
**PROGETTO DEFINITIVO**

**IN26 – Relazione di calcolo opere  
provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN2600 002	A	43 di 65

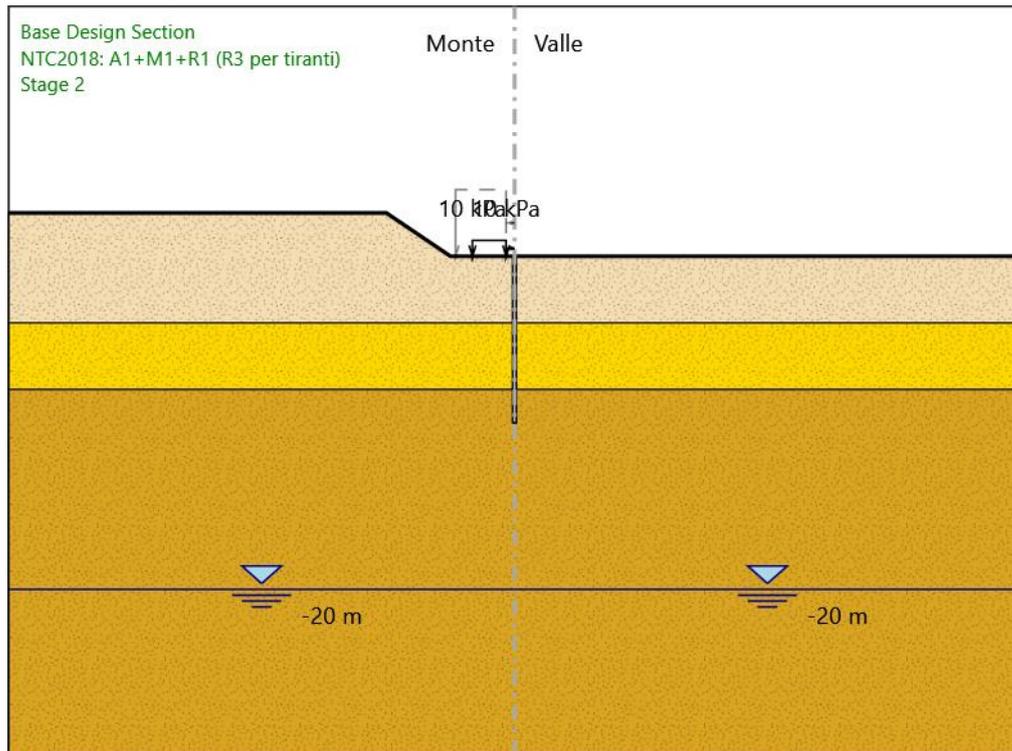
0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -20 m

Falda di destra : -20 m

## Stage 2



Stage 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;2.6)

(-7.6;2.6)

(-3.8;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -20 m

Falda di destra : -20 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -2.5 m

X finale : -0.5 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

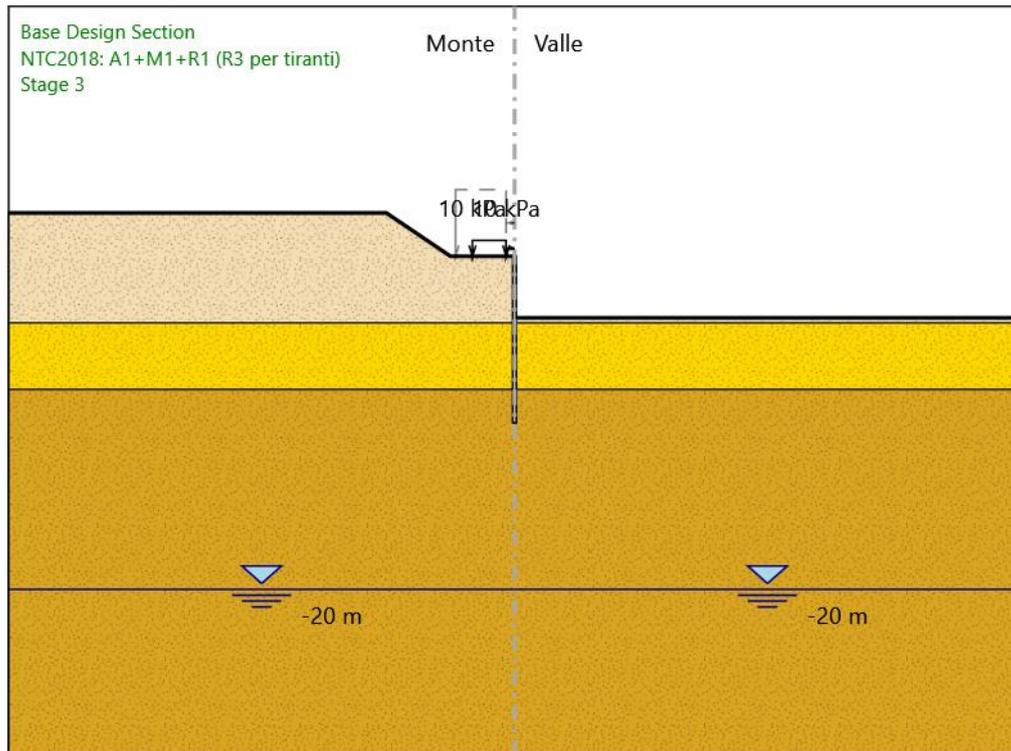
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Sezione : micropali

### Stage 3



Stage 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3.7 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;2.6)

(-7.6;2.6)

(-3.8;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3.7 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -20 m

Falda di destra : -20 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Treno

X iniziale : -2.5 m

X finale : -0.5 m

Pressione iniziale : 10 kPa

Pressione finale : 10 kPa

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

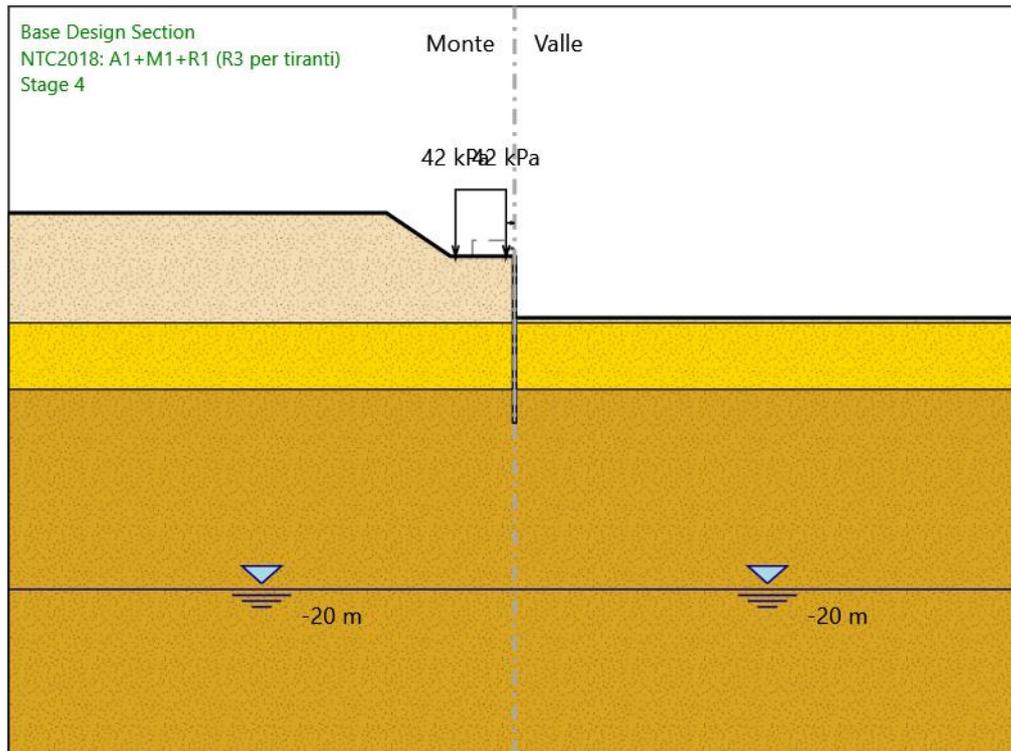
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Sezione : micropali

## Stage 4



Stage 4

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3.7 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-30;2.6)

(-7.6;2.6)

(-3.8;0)

(0;0)

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3.7 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -20 m

Falda di destra : -20 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -3.5 m

X finale : -0.5 m

Pressione iniziale : 42 kPa

Pressione finale : 42 kPa

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

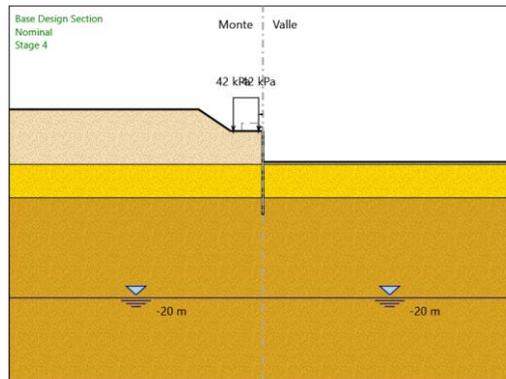
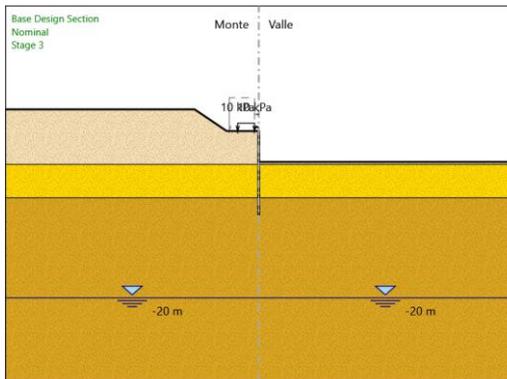
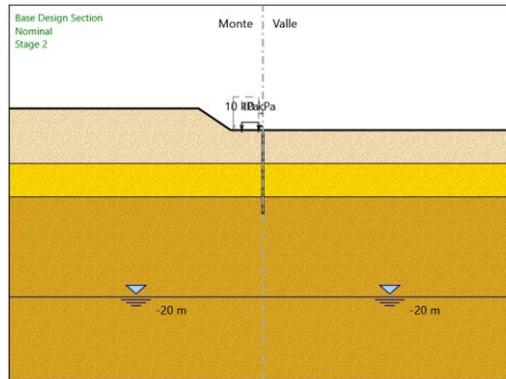
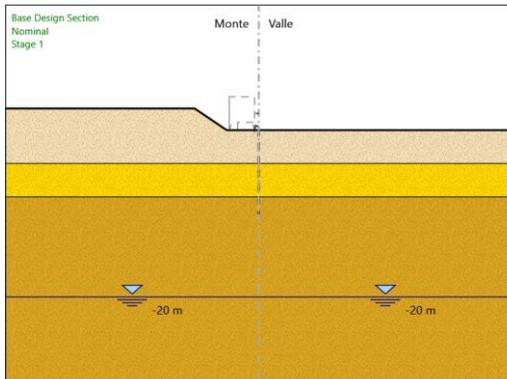
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -10 m

Sezione : micropali

### Tabella Configurazione Stage (Nominal)



## Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti (F_dead_loa d_unfavour)	Carichi Permanent i Favorevoli (F_dead_lo ad_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_loa d_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_lo ad_favour)	Carico Sismico (F_seis m_load)	Pressi Acqua Lato Mont (F_Wa terDR)	Pressi Acqua Lato Valle (F_Wa terRes)	Carichi Perman enti (F_UPL_ GStab)	Carichi Perma nenti (F_UPL_ GStab)	Carichi Variabili Destabil izzanti (F_UPL_ QDStab)	Carichi Perman enti (F_HYD_ GStab)	Carichi Perman enti (F_HYD_ GStab)	Carichi Variabili Destabil izzanti (F_HYD_ QDStab)
Simbolo	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_Q$	$\gamma_Q$	$\gamma_{QE}$	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Freq uente/Quas i Permanent e)	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

Nome	Parziale su $\tan(\phi)$ (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{ap}$	$\gamma_{at}$	
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

## **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	-0.001	48.641
-0.1	0	47.544
-0.2	0	46.447
-0.3	0	45.351
-0.4	0	44.254
-0.5	0	43.157
-0.6	0	42.061
-0.7	0	40.964
-0.8	0	39.867
-0.9	0	38.77
-1	0	37.674
-1.1	0	36.577
-1.2	0	35.48
-1.3	0	34.384
-1.4	0	33.287
-1.5	0	32.19
-1.6	0	31.094
-1.7	0	29.997
-1.8	0	28.902
-1.9	0	27.807
-2	0	26.713
-2.1	0	25.62
-2.2	0	24.53
-2.3	0	23.442
-2.4	0	22.358
-2.5	0	21.278
-2.6	0	20.203
-2.7	0	19.135
-2.8	0	18.074
-2.9	0	17.024
-3	0	15.984
-3.1	0	14.957
-3.2	0	13.945
-3.3	0	12.951
-3.4	0	11.976
-3.5	0	11.023
-3.6	0	10.096
-3.7	0	9.198
-3.8	0	8.331
-3.9	0	7.5
-4	0	6.708
-4.1	0	5.958
-4.2	0	5.253
-4.3	0	4.594
-4.4	0	3.984
-4.5	0	3.423
-4.6	0	2.911
-4.7	0	2.449
-4.8	0	2.035
-4.9	0	1.668

Design Assumption: Nominal Inviluppi: Spostamento Muro: LEFT		
Z (m)	Lato sinistro (mm)	Lato destro (mm)
-5	0	1.346
-5.1	0	1.068
-5.2	0	0.83
-5.3	0	0.63
-5.4	0	0.464
-5.5	0	0.33
-5.6	0	0.225
-5.7	0	0.144
-5.8	0	0.115
-5.9	0	0.118
-6	0	0.123
-6.1	0	0.13
-6.2	0	0.138
-6.3	0	0.146
-6.4	0	0.154
-6.5	0	0.161
-6.6	0	0.169
-6.7	0	0.176
-6.8	0	0.183
-6.9	0	0.189
-7	0	0.195
-7.1	0	0.201
-7.2	0	0.206
-7.3	0	0.21
-7.4	0	0.227
-7.5	0	0.243
-7.6	0	0.258
-7.7	0	0.271
-7.8	0	0.284
-7.9	0	0.295
-8	0	0.305
-8.1	0	0.314
-8.2	0	0.322
-8.3	0	0.329
-8.4	0	0.335
-8.5	0	0.34
-8.6	0	0.344
-8.7	0	0.347
-8.8	0	0.349
-8.9	0	0.351
-9	0	0.352
-9.1	0	0.353
-9.2	0	0.353
-9.3	0	0.353
-9.4	0	0.353
-9.5	0	0.352
-9.6	0	0.352
-9.7	0	0.351
-9.8	0	0.35
-9.9	0	0.35
-10	0	0.349

## Tabella Involuppi Momento Paratia

Design Assumption: Nominal	Involuppi: Momento	Muro: Paratia
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.1	0	0
-0.2	0.001	0
-0.3	0.001	0
-0.4	0	0.001
-0.5	0	0.004
-0.6	0	0.011
-0.7	0	0.019
-0.8	0	0.03
-0.9	0	0.041
-1	0.013	0.05
-1.1	0.053	0.057
-1.2	0.133	0.064
-1.3	0.268	0.069
-1.4	0.469	0.073
-1.5	0.747	0.076
-1.6	1.115	0.078
-1.7	1.584	0.08
-1.8	2.164	0.081
-1.9	2.865	0.081
-2	3.698	0.082
-2.1	4.672	0.082
-2.2	5.799	0.082
-2.3	7.086	0.081
-2.4	8.543	0.08
-2.5	10.181	0.077
-2.6	12.009	0.073
-2.7	14.034	0.068
-2.8	16.268	0.062
-2.9	18.718	0.056
-3	21.393	0.051
-3.1	24.304	0.046
-3.2	27.457	0.041
-3.3	30.863	0.037
-3.4	34.529	0.033
-3.5	38.466	0.029
-3.6	42.68	0.024
-3.7	47.178	0.018
-3.8	51.966	0.01
-3.9	56.744	0
-4	61.474	0
-4.1	66.117	0
-4.2	70.593	0
-4.3	74.86	0
-4.4	78.874	0
-4.5	82.592	0
-4.6	85.971	0
-4.7	88.969	0
-4.8	91.542	0
-4.9	93.647	0
-5	95.242	0
-5.1	96.283	0
-5.2	96.728	0
-5.3	96.534	0
-5.4	95.659	0
-5.5	94.059	0

Design Assumption: Nominal	Inviluppi: Momento	Muro: Paratia
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
-5.6	91.692	0
-5.7	88.547	0
-5.8	84.753	0
-5.9	80.428	0
-6	75.675	0
-6.1	70.582	0
-6.2	65.225	0
-6.3	59.671	0
-6.4	53.972	0.121
-6.5	48.173	0.318
-6.6	42.377	0.447
-6.7	36.734	0.52
-6.8	31.363	0.545
-6.9	26.351	0.533
-7	21.756	0.956
-7.1	17.606	1.25
-7.2	13.906	1.423
-7.3	10.646	1.499
-7.4	7.805	1.504
-7.5	5.363	1.459
-7.6	3.296	1.384
-7.7	1.575	1.298
-7.8	0.169	1.292
-7.9	0.005	1.278
-8	0.003	1.825
-8.1	0	2.477
-8.2	0	2.926
-8.3	0	3.198
-8.4	0	3.317
-8.5	0	3.311
-8.6	0	3.205
-8.7	0	3.022
-8.8	0	2.78
-8.9	0	2.498
-9	0	2.191
-9.1	0	1.872
-9.2	0	1.552
-9.3	0	1.242
-9.4	0	0.951
-9.5	0	0.687
-9.6	0	0.457
-9.7	0	0.266
-9.8	0	0.123
-9.9	0	0.032
-10	0	0

## Tabella Inviluppi Taglio Paratia

Design Assumption: Nominal	Inviluppi: Taglio	Muro: Paratia
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
0	0.004	0
-0.1	0.01	0
-0.2	0.01	0.001
-0.3	0	0.018
-0.4	0	0.04
-0.5	0	0.063
-0.6	0	0.086
-0.7	0	0.108
-0.8	0	0.108
-0.9	0.131	0.104
-1	0.4	0.09
-1.1	0.8	0.079
-1.2	1.347	0.066
-1.3	2.009	0.052
-1.4	2.783	0.04
-1.5	3.684	0.029
-1.6	4.688	0.021
-1.7	5.793	0.014
-1.8	7.014	0.01
-1.9	8.331	0.007
-2	9.743	0.005
-2.1	11.262	0.003
-2.2	12.874	0
-2.3	14.576	0
-2.4	16.38	0
-2.5	18.273	0
-2.6	20.255	0
-2.7	22.335	0
-2.8	24.501	0
-2.9	26.754	0
-3	29.103	0
-3.1	31.536	0
-3.2	34.055	0
-3.3	36.667	0
-3.4	39.363	0
-3.5	42.143	0
-3.6	44.981	0
-3.7	47.88	0
-3.8	47.88	0
-3.9	47.784	0
-4	47.299	0
-4.1	46.425	0
-4.2	44.762	0
-4.3	42.667	1.206
-4.4	40.14	4.389
-4.5	37.182	7.375
-4.6	33.794	10.194
-4.7	29.976	14.943
-4.8	25.729	19.439
-4.9	21.052	23.382
-5	15.947	26.845
-5.1	10.413	29.898
-5.2	4.452	32.607
-5.3	0	35.034
-5.4	0	36.892
-5.5	0	37.209

Design Assumption: Nominal	Inviluppi: Taglio	Muro: Paratia
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
-5.6	0	37.209
-5.7	0	37.935
-5.8	0	43.248
-5.9	0	47.536
-6	0	50.933
-6.1	0	53.564
-6.2	0	55.546
-6.3	0.002	56.988
-6.4	0.003	57.988
-6.5	0.005	57.988
-6.6	0.006	57.962
-6.7	0.007	56.426
-6.8	0.143	53.714
-6.9	0.41	50.121
-7	0.615	45.952
-7.1	0.742	41.493
-7.2	0.797	36.998
-7.3	0.797	32.605
-7.4	0.783	28.413
-7.5	0.75	24.418
-7.6	0.858	20.671
-7.7	0.858	17.21
-7.8	0.793	14.058
-7.9	0.57	11.226
-8	0.201	8.716
-8.1	0.333	6.52
-8.2	0.588	4.491
-8.3	0.776	2.716
-8.4	0.906	1.192
-8.5	1.058	0.104
-8.6	1.836	0
-8.7	2.416	0
-8.8	2.821	0
-8.9	3.073	0
-9	3.192	0
-9.1	3.195	0
-9.2	3.195	0
-9.3	3.097	0
-9.4	2.91	0
-9.5	2.643	0
-9.6	2.305	0
-9.7	1.901	0
-9.8	1.434	0
-9.9	0.908	0
-10	0.322	0

## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
NTC2018: A2+M2+R1 Stage 1 Left Wall	LEFT			11.95
NTC2018: A2+M2+R1 Stage 4 Left Wall	RIGHT			31.91

## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
NTC2018: A2+M2+R1 Stage 3 Left Wall		LEFT		10498.19
NTC2018: A2+M2+R1 Stage 1 Left Wall		RIGHT		14167.72

## ***Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali***

### **Normative Verifiche**

Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

### **Coefficienti per Verifica Tiranti**

GEO FS	1
$\xi_{a3}$	1.8
$\gamma_s$	1.15

## Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

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

## Risultati SteelWorld

### Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld : LEFT

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld		LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld	
0	0	
-0.1	0	
-0.2	0	
-0.3	0	
-0.4	0	
-0.5	0	
-0.6	0	
-0.7	0	
-0.8	0	
-0.9	0	
-1	0	
-1.1	0	
-1.2	0.001	
-1.3	0.002	
-1.4	0.003	
-1.5	0.005	
-1.6	0.008	
-1.7	0.011	
-1.8	0.015	
-1.9	0.02	
-2	0.026	
-2.1	0.033	
-2.2	0.041	
-2.3	0.05	
-2.4	0.06	
-2.5	0.071	
-2.6	0.084	
-2.7	0.099	
-2.8	0.114	
-2.9	0.131	
-3	0.15	
-3.1	0.171	
-3.2	0.193	
-3.3	0.217	
-3.4	0.242	
-3.5	0.27	
-3.6	0.3	
-3.7	0.331	
-3.8	0.365	
-3.9	0.398	
-4	0.431	
-4.1	0.464	
-4.2	0.495	
-4.3	0.525	
-4.4	0.554	
-4.5	0.58	
-4.6	0.603	
-4.7	0.624	
-4.8	0.643	
-4.9	0.657	
-5	0.669	
-5.1	0.676	
-5.2	0.679	

**Involupi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld**

**LEFT**

Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld
-5.3	0.678
-5.4	0.671
-5.5	0.66
-5.6	0.644
-5.7	0.622
-5.8	0.595
-5.9	0.565
-6	0.531
-6.1	0.495
-6.2	0.458
-6.3	0.419
-6.4	0.379
-6.5	0.338
-6.6	0.297
-6.7	0.258
-6.8	0.22
-6.9	0.185
-7	0.153
-7.1	0.124
-7.2	0.098
-7.3	0.075
-7.4	0.055
-7.5	0.038
-7.6	0.023
-7.7	0.011
-7.8	0.009
-7.9	0.009
-8	0.013
-8.1	0.017
-8.2	0.021
-8.3	0.022
-8.4	0.023
-8.5	0.023
-8.6	0.022
-8.7	0.021
-8.8	0.02
-8.9	0.018
-9	0.015
-9.1	0.013
-9.2	0.011
-9.3	0.009
-9.4	0.007
-9.5	0.005
-9.6	0.003
-9.7	0.002
-9.8	0.001
-9.9	0
-10	0

**Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld : LEFT**

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld		LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	
0	0	
-0.1	0	
-0.2	0	
-0.3	0	
-0.4	0	
-0.5	0	
-0.6	0	
-0.7	0	
-0.8	0	
-0.9	0	
-1	0	
-1.1	0.001	
-1.2	0.001	
-1.3	0.002	
-1.4	0.002	
-1.5	0.003	
-1.6	0.004	
-1.7	0.005	
-1.8	0.006	
-1.9	0.007	
-2	0.008	
-2.1	0.009	
-2.2	0.01	
-2.3	0.012	
-2.4	0.013	
-2.5	0.014	
-2.6	0.016	
-2.7	0.018	
-2.8	0.019	
-2.9	0.021	
-3	0.023	
-3.1	0.025	
-3.2	0.027	
-3.3	0.029	
-3.4	0.031	
-3.5	0.033	
-3.6	0.036	
-3.7	0.038	
-3.8	0.038	
-3.9	0.037	
-4	0.037	
-4.1	0.035	
-4.2	0.034	
-4.3	0.032	
-4.4	0.029	
-4.5	0.027	
-4.6	0.024	
-4.7	0.02	
-4.8	0.017	
-4.9	0.018	
-5	0.021	
-5.1	0.024	
-5.2	0.026	
-5.3	0.028	
-5.4	0.029	
-5.5	0.029	

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld		LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	
-5.6		0.029
-5.7		0.03
-5.8		0.034
-5.9		0.038
-6		0.04
-6.1		0.042
-6.2		0.044
-6.3		0.045
-6.4		0.046
-6.5		0.046
-6.6		0.045
-6.7		0.042
-6.8		0.04
-6.9		0.036
-7		0.033
-7.1		0.029
-7.2		0.026
-7.3		0.022
-7.4		0.019
-7.5		0.016
-7.6		0.014
-7.7		0.011
-7.8		0.009
-7.9		0.007
-8		0.005
-8.1		0.004
-8.2		0.002
-8.3		0.001
-8.4		0.001
-8.5		0.001
-8.6		0.001
-8.7		0.002
-8.8		0.002
-8.9		0.002
-9		0.003
-9.1		0.003
-9.2		0.002
-9.3		0.002
-9.4		0.002
-9.5		0.002
-9.6		0.002
-9.7		0.001
-9.8		0.001
-9.9		0
-10		0