

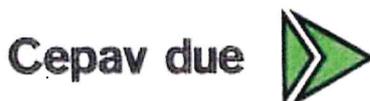
COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

### PROGETTO ESECUTIVO

**GA22 - GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B. P.**  
**DA PK 1+628.179 A PK 1+943.927**

### RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b> Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta) Data: _____	Valido per costruzione Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	C L	G A 2 2 0 1	0 0 1	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	Data
A	Emissione	GUILARTE	22/10/18	AIELLO	22/10/18	22/10/18	22/10/18
B							
C							



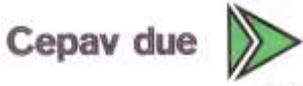
CIG. 751447334A      File: \NOI\1\EE2CLGA2201001A\_01.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H9100000008

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

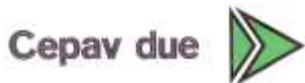
Rev.  
A

Foglio  
2 di 58

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	6
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	7
3.	CRITERI DI CALCOLO .....	8
3.1.	CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	8
3.2.	COMBINAZIONE DI CARICO .....	8
3.2.1.	<i>Combinazioni per la verifica allo SLU</i> .....	8
3.2.2.	<i>Combinazioni per la verifica allo SLE</i> .....	9
4.	CRITERI DI VERIFICA .....	10
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	11
5.1.	CALCESTRUZZO .....	11
5.2.	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO .....	11
5.3.	ACCIAIO STRUTTURALE .....	12
6.	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	13
6.1.	PARATIA TIPO 1 .....	13
6.2.	PARATIA TIPO 2 .....	13
6.3.	PARATIA TIPO 3 .....	14
6.4.	PARATIA TIPO 4 .....	15
6.5.	PARATIA DI PALI .....	15
7.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	16
7.1.	STRATIGRAFIA DI PROGETTO.....	16
7.2.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	16
7.3.	PROFONDITÀ DELLA FALDA .....	16
8.	ANALISI STRUTTURALE .....	17
8.1.	MODELLAZIONE STRUTTURALE .....	17
8.2.	APPROCCI DI PROGETTO E FATTORI DI COMBINAZIONE .....	17
9.	PARATIA TIPO 1 .....	19
9.1.	FASI DI SCAVO .....	19

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



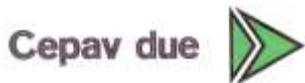
Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001Rev.  
AFoglio  
3 di 58

9.2.	DIAGRAMMI DI OUTPUT .....	24
9.2.1.	<i>Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE</i> .....	24
9.2.2.	<i>Diagramma momento flettente allo SLU-STR</i> .....	25
9.2.3.	<i>Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR</i> .....	25
9.2.4.	<i>Reazione tiranti</i> .....	26
9.3.	VERIFICHE GLOBALI DELLA PARATIA.....	26
9.4.	VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA MICROPALI .....	26
9.4.1.	<i>Verifiche a flessione</i> .....	27
9.4.2.	<i>Verifiche a taglio</i> .....	27
9.4.3.	<i>Verifiche tiranti</i> .....	27
9.5.	VERIFICHE TRAVI DI RIPARTIZIONE .....	28
9.5.1.	<i>Verifiche a flessione</i> .....	29
9.5.2.	<i>Verifiche a taglio</i> .....	29
10.	PARATIA TIPO 2 .....	30
10.1.	FASI DI SCAVO .....	30
10.2.	DIAGRAMMI DI OUTPUT .....	34
10.2.1.	<i>Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE</i> .....	34
10.2.2.	<i>Diagramma momento flettente allo SLU-STR</i> .....	35
10.2.3.	<i>Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR</i> .....	35
10.2.4.	<i>Reazione tiranti</i> .....	36
10.3.	VERIFICHE GLOBALI DELLA PARATIA.....	36
10.4.	VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA MICROPALI .....	36
10.4.1.	<i>Verifiche a flessione</i> .....	37
10.4.2.	<i>Verifiche a taglio</i> .....	37
10.4.3.	<i>Verifiche tiranti</i> .....	37
11.	PARATIA TIPO 3 .....	39
11.1.	FASI DI SCAVO .....	39
11.2.	DIAGRAMMI DI OUTPUT .....	42

11.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE.....	42
11.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR.....	43
11.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR.....	43
11.2.4. Reazione tiranti.....	44
11.3. VERIFICHE GLOBALI DELLA PARATIA.....	44
11.4. VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA MICROPALI.....	44
11.4.1. Verifiche a flessione.....	45
11.4.2. Verifiche a taglio.....	45
11.4.3. Verifiche tiranti.....	45
12. PARATIA TIPO 4.....	47
12.1. FASI DI SCAVO.....	47
12.2. DIAGRAMMI DI OUTPUT.....	49
12.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE.....	49
12.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR.....	50
12.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR.....	50
12.3. VERIFICHE GLOBALI DELLA PARATIA.....	51
12.4. VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA MICROPALI.....	51
12.4.1. Verifiche a flessione.....	51
12.4.2. Verifiche a taglio.....	51
13. PARATIA DI PALI.....	52
13.1. FASI DI SCAVO.....	52
13.2. DIAGRAMMI DI OUTPUT.....	54
13.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE.....	54
13.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR.....	55
13.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR.....	55
13.3. VERIFICHE GLOBALI DELLA PARATIA.....	56
13.4. VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA PALI.....	56
13.4.1. Verifiche a flessione.....	56

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

Rev.  
A

Foglio  
5 di 58

13.4.2. Verifiche a taglio ..... 57

14. RIFERIMENTI ..... 58

14.1. DOCUMENTI REFERENZIATI ..... 58

14.2. DOCUMENTI CORRELATI ..... 58

14.3. DOCUMENTI SUPERATI ..... 58

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione è relativa al calcolo delle opere provvisorie necessarie per la realizzazione dell'opera denominata "GA22 - GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B.P.", prevista nell'ambito dei lavori inerenti la linea A.V./A.C. TORINO – VENEZIA, tratta MILANO – VERONA, lotto funzionale Brescia – Verona.

La paratia è costituita da 3 micropali  $\phi 220$  a metro di lunghezza variabile da 4.0 a 18.0m armati con tubolari metallici  $\phi 152.40$  spessore 10.0mm, e da un cordolo di sommità in calcestruzzo di dimensioni 50x50cm.

In considerazione dell'altezza dello sbalzo, sono previsti tiranti il cui tiro nominale, la lunghezza libera e quella ancorata variano in funzione dell'ordine dei tiranti e dell'altezza della paratia.

La paratia, di sviluppo pari a 114.30m circa, è necessaria per il sostegno del rilevato ferroviario esistente durante la fase di realizzazione del tratto di galleria artificiale lato Brescia.

Poiché la lunghezza dei micropali varia in funzione dell'altezza di scavo, nel presente documento si riporta il calcolo delle seguenti tipologie di paratia:

- Paratia Tipo 1: paratia di micropali  $L=18.0m$  a tre ordini di tiranti, calcolata per un'altezza di scavo di 8.55m;
- Paratia Tipo 2: paratia di micropali  $L=14.0m$  a due ordini di tiranti, calcolata per un'altezza di scavo di 6.50m;
- Paratia Tipo 3: paratia di micropali  $L=9.0m$  a un ordine di tiranti, calcolata per un'altezza di scavo di 4.50m;
- Paratia Tipo 4: paratia di micropali  $L=4.0m$  calcolata per un'altezza di scavo di 1.50m;

Si prevede inoltre la realizzazione di una paratia di pali  $\phi 1000$  ad interasse 1.10m, di lunghezza  $L=20m$  e altezza di di 9.40m per un tratto di lunghezza pari a circa 25m.

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- UNI EN 11104 luglio 2016 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici”;
- UNI EN 1993-5 (Eurocodice 3) – Maggio 2007: “Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 5: Pali e Palancole”;
- D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- RFI DTC SI MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 A Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili.

### 3. CRITERI DI CALCOLO

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

#### 3.1. Criteri e definizione dell'azione sismica

Poiché le opere di sostegno in esame sono opere provvisoriale, l'azione sismica non viene considerata al fine del dimensionamento e della verifica strutturale.

#### 3.2. Combinazione di carico

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 delle N.T.C..

##### 3.2.1. Combinazioni per la verifica allo SLU

Gli stati limite ultimi delle opere interrato si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche strutturali agli stati limite ultimi sono eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU), collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR), raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche vengono condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e le relative combinazioni previste:

- combinazione 1 (A1+M1+R1) STR;
- combinazione 2 (A2+M2+R2) GEO.

Le combinazioni di carico di tipo A1 STR e A2 GEO vengono effettuate adottando i gruppi di azioni indicati in tabella 5.2.IV delle N.T.C. con i coefficienti parziali di sicurezza ferroviari indicati in tabella 5.1.V e i coefficienti di combinazione dei carichi stradali della tabella 5.1.VI, presenti al capitolo 5.1.3.12 delle N.T.C.

Per quanto riguarda i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, si fa riferimento alla tabella 6.2.II delle N.T.C. mentre per quanto riguarda i coefficienti parziali per le verifiche agli stati limiti ultimi ( $\gamma_R$ ) si fa riferimento alla tabella 6.5.I delle N.T.C..

Ai fini delle verifiche degli stati limiti ultimi si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limiti ultimi SLU:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d^2 = \Phi_k^2)$$

### 3.2.2. Combinazioni per la verifica allo SLE

Le combinazioni di carico allo SLE vengono effettuate adottando i gruppi di azioni indicati in tabella 5.2.IV delle N.T.C. con i coefficienti di combinazione dei carichi ferroviari della tabella 5.2.VI delle N.T.C. presenti al capitolo 5.2.3.3.2 della norma.

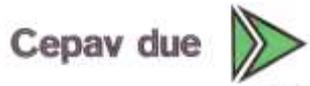
Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Quasi permanente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$$

$$\text{Frequente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{1i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$$

$$\text{Rara} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$$

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

Rev.  
A

Foglio  
10 di 58

#### 4. CRITERI DI VERIFICA

I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite, applicando il combinato D. M.14.01.2008 con l'UNI EN 1993-5 (Eurocodice 3 Parte 5: Pali e palancole).

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali:

### 5.1. Calcestruzzo

Per la realizzazione dei pali, dei micropali e dei cordoli di sommità, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ ) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)  $\rightarrow f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a compressione  $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico  $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione  $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione media  $\rightarrow f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione  $\rightarrow f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione di calcolo  $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 13.69 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)  $\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 9.96 \text{ N/mm}^2$

### 5.2. Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C saldabile, controllato in stabilimento e che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento $f_y$	$\geq 450 \text{ MPa}$
Limite di rottura $f_t$	$\geq 540 \text{ MPa}$
Allungamento totale al carico massimo $A_{gt}$	$\geq 7.5\%$
Rapporto $f_t/f_y$	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y \text{ misurato}}/f_{y \text{ nom}}$	$\leq 1,25$

- Tensione di snervamento caratteristica  $\rightarrow f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura  $\rightarrow f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_s = 0.80 \times f_{yk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio  $\rightarrow \gamma_s = 1.15$
- Resistenza a trazione di calcolo  $\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2$

### 5.3. Acciaio strutturale

Per i tubolari che costituiscono l'armatura dei micropali si adotta un acciaio S275, che presenta le seguenti caratteristiche:

- Tensione di snervamento caratteristica  $\rightarrow f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura  $\rightarrow f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico  $\rightarrow E = 210000 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio  $\rightarrow \gamma_{M0} = 1.05$
- Resistenza a trazione di calcolo  $\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 261.90 \text{ N/mm}^2$

## 6. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

### 6.1. Paratia Tipo 1

La berlinese è costituita da 3 micropali al metro  $\phi 220$  con tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm; la lunghezza dei tubi è pari a 18.00 m e l'altezza di scavo è pari a 8.55m

Si riporta di seguito le caratteristiche geometriche del tubo in acciaio:

	W [cm <sup>3</sup> /m]	I [cm <sup>4</sup> /m]	A [cm <sup>2</sup> /m]
<b>Tubo <math>\phi 152.4</math></b>	448.56	3418	134.21

Si riportano di seguito le caratteristiche dei tiranti:

- diametro di perforazione 150 mm
- diametro trefoli 0.6''
- diametro nominale trefolo 15.20 mm
- sezione nominale trefolo 140.0 mm<sup>2</sup>
- inclinazione sull'orizzontale 15°
- forza tiro per trefolo massimo (fc) 140.60 kN
- n° ordini di tirante 3
- tiro nominale 1° ordine 300 kN
- lunghezza libera 1° ordine 9 m
- lunghezza bulbo 1° ordine 4 m
- interasse 3.0 m
- tiro nominale 2° ordine 450 kN
- lunghezza libera 2° ordine 8 m
- lunghezza bulbo 2° ordine 7 m
- interasse 3.0 m
- tiro nominale 3° ordine 600 kN
- lunghezza libera 3° ordine 7 m
- lunghezza bulbo 3° ordine 8 m
- interasse 3.0 m

I tiranti sono di tipo IRS, ossia ad iniezione ripetute e selettive, con un numero di valvole previsto di 1 al metro lineare.

### 6.2. Paratia Tipo 2

La berlinese è costituita da 3 micropali al metro  $\phi 220$  con tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm; la lunghezza dei tubi è pari a 14.00 m e l'altezza di scavo è pari a 6.50m

Si riporta di seguito le caratteristiche geometriche del tubo in acciaio:

	W [cm <sup>3</sup> /m]	I [cm <sup>4</sup> /m]	A [cm <sup>2</sup> /m]
<b>Tubo <math>\phi</math>152.4</b>	448.56	3418	134.21

Si riportano di seguito le caratteristiche dei tiranti:

- diametro di perforazione 150 mm
- diametro trefoli 0.6''
- diametro nominale trefolo 15.20 mm
- sezione nominale trefolo 140.0 mm<sup>2</sup>
- inclinazione sull'orizzontale 15°
- forza tiro per trefolo massimo (fc) 140.60 kN
- n° ordini di tirante 2
- tiro nominale 1° ordine 300 kN
- lunghezza libera 1° ordine 6 m
- lunghezza bulbo 1° ordine 4 m
- interasse 3.0 m
- tiro nominale 2° ordine 450 kN
- lunghezza libera 2° ordine 5 m
- lunghezza bulbo 2° ordine 6 m
- interasse 3.0 m

I tiranti sono di tipo IRS, ossia ad iniezione ripetute e selettive, con un numero di valvole previsto di 1 al metro lineare.

### 6.3. Paratia Tipo 3

La berlinese è costituita da 3 micropali al metro  $\phi$ 220 con tubo  $\phi$ 152.40 di spessore 10mm; la lunghezza dei tubi è pari a 9.00 m e l'altezza di scavo è pari a 4.50m

Si riporta di seguito le caratteristiche geometriche del tubo in acciaio:

	W [cm <sup>3</sup> /m]	I [cm <sup>4</sup> /m]	A [cm <sup>2</sup> /m]
<b>Tubo <math>\phi</math>152.4</b>	448.56	3418	134.21

Si riportano di seguito le caratteristiche dei tiranti:

- diametro di perforazione 150 mm
- diametro trefoli 0.6''
- diametro nominale trefolo 15.20 mm
- sezione nominale trefolo 140.0 mm<sup>2</sup>
- inclinazione sull'orizzontale 15°
- forza tiro per trefolo massimo (fc) 140.60 kN

- |                              |        |
|------------------------------|--------|
| - n° ordini di tirante       | 1      |
| - tiro nominale 1° ordine    | 300 kN |
| - lunghezza libera 1° ordine | 4 m    |
| - lunghezza bulbo 1° ordine  | 3 m    |
| - interasse                  | 3.0 m  |

I tiranti sono di tipo IRS, ossia ad iniezione ripetute e selettive, con un numero di valvole previsto di 1 al metro lineare.

#### 6.4. Paratia Tipo 4

La berlinese è costituita da 3 micropali al metro  $\phi 220$  con tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm; la lunghezza dei tubi è pari a 4.00 m e l'altezza di scavo è pari a 1.50m

Si riporta di seguito le caratteristiche geometriche del tubo in acciaio:

	W [cm <sup>3</sup> /m]	I [cm <sup>4</sup> /m]	A [cm <sup>2</sup> /m]
<b>Tubo <math>\phi 152.4</math></b>	448.56	3418	134.21

#### 6.5. Paratia di pali

La paratia è costituita da pali D1000 ad interasse 110cm di lunghezza pari a 20.00m e l'altezza di scavo è pari a 9.40m. Nella seguente tabella si riportano le proprietà strutturali dei pali:

Diametro pali [m]	Interasse [m]	I [cm <sup>4</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]
1.00	1.10	4908739	7853.98

## 7. PARAMETRI GEOTECNICI

Si riporta di seguito la stratigrafia e la caratterizzazione del terreno in situ; per ulteriori dettagli si rimanda allo specifica Relazione Geotecnica (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

### 7.1. Stratigrafia di progetto

Si riporta di seguito la stratigrafia del terreno in corrispondenza dell'opera a partire da una quota di piano campagna posta circa a +83÷84 m s.l.m.m.:

- Strato 1 – terreno vegetale: da piano campagna fino a circa 0.50 m circa dal p.c.;
- Strato 2 – ghiaia sabbiosa/ sabbia ghiaiosa: oltre 0.50 m dal p.c..

### 7.2. Caratterizzazione geotecnica

I valori caratteristici dei principali parametri geotecnici del terreno sono caratterizzati come segue:

#### Strato 2

- |   |                       |                          |
|---|-----------------------|--------------------------|
| • peso di volume naturale                     | $\gamma_k$            | = 19.0 kN/m <sup>3</sup> |
| • peso di volume sommerso                     | $\gamma'_{k}$         | = 9.0 kN/m <sup>3</sup>  |
| • angolo di attrito di picco                  | $\phi'_{p,k}$         | = 37°                    |
| • angolo di attrito operativo                 | $\phi'_{operativo,k}$ | = 36°                    |
| • angolo di attrito a volume costante         | $\phi'_{cv,k}$        | = 35°                    |
| • coesione in termini di sforzi efficaci      | $c'_{operativo,k}$    | = 0 kPa                  |
| • coefficiente di spinta del terreno a riposo | $k_{0,k}$             | = 0.5                    |
| • Modulo di taglio                            | $G_0$                 | = 285 MPa                |
| • Modulo elastico                             | $E_{vc}$              | = 71 MPa                 |

### 7.3. Profondità della falda

Si assumono i seguenti valori del livello di falda:

- quota falda di progetto in fase di esercizio +51.61 m s.l.m.m.;
- quota falda di progetto in fase di cantiere +51.61 m s.l.m.m..

La falda è da ritenersi non interferente con le opere in oggetto, sia in fase di costruzione che in esercizio.

## 8. ANALISI STRUTTURALE

### 8.1. Modellazione strutturale

Per il calcolo delle sollecitazioni nelle opere di sostegno è stato utilizzato un programma di calcolo automatico agli elementi finiti che risolve paratie (Paratie Plus 18.0.2 di CeAS) con uno o più ordini di puntoni.

La verifica di resistenza della paratia viene condotta nella sezione più significativa, determinando le sollecitazioni lungo il fusto per una fascia di larghezza unitaria. La determinazione del complesso delle sollecitazioni è ricavata discretizzando la fascia di paratia in un certo numero di elementi finiti monodimensionali caratterizzati dalla propria rigidità trasversale.

Lo stato di deformazione di ogni elemento finito risulta funzione dell'ipotesi di conservazione delle proprietà elastiche del materiale costituente.

La paratia, così schematizzata, è soggetta alle azioni derivanti dalla variazione delle pressioni litostatiche per effetto delle diverse fasi di scavo e dalla differenza delle pressioni idrostatiche.

Le azioni e le reazioni offerte dal terreno tengono conto della successione delle fasi esecutive, e discendono dall'ipotesi di comportamento elasto - plastico del materiale.

Il problema d'interazione terreno-struttura di contenimento viene affrontato discretizzando il terreno in strati elementari indipendenti, corrispondenti alla suddivisione della struttura in elementi finiti.

### 8.2. Approcci di progetto e fattori di combinazione

#### Combinazioni SLU

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali di Tab. 6.2.I delle N.T.C., e i coefficienti  $\Psi$  di Tab. 5.1.VI delle N.T.C. per il sovraccarico stradale.

Design Code Name	Design Case	F(tan fr)	F (c')	F(perm load)	F(temp load)	F Earth (Dstab)	F Earth (stab)
DM08_ITA	1: A1+M1+R1	1	1	1.3	1.5	1.3	1

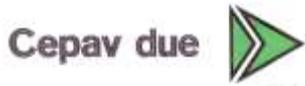
Design Code Name	Design Case	F(tan fr)	F (c')	F(perm load)	F(temp load)	F Earth (Dstab)	F Earth (stab)
DM08_ITA	2: A2+M2+R1	1.25	1.25	1	1.3	1	1

#### Combinazioni SLE

Viene effettuata solamente la combinazione SLE Caratteristica per le verifiche di deformabilità e tensione in esercizio. Non saranno effettuate le verifiche di fessurazione in quanto l'opera è provvisoria.

Design Code Name	Design Case	F(tan fr)	F (c')	F(perm load)	F(temp load)	F Earth (Dstab)	F Earth (stab)
Default	Service Factors	1	1	1	1	1	1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

Rev.  
A

Foglio  
18 di 58

- Stage = Fase di scavo
- Design Code = Codice di verifica
- Ftan fr = fattore moltiplicatore tangente angolo di attrito
- F C' = fattore moltiplicatore coesione efficace
- F perm load = fattore moltiplicatore carichi permanenti
- F temp load = fattore moltiplicatore carichi accidentali/variabili
- F earth Dstab = fattore moltiplicatore per spinta attiva nel caso sfavorevole
- F earth stab = fattore moltiplicatore per spinta attiva nel caso favorevole

## 9. PARATIA TIPO 1

La paratia tipo 1 è costituita da 3 micropali  $\phi 220$  a metro con tubolare  $\phi 152.40$  di spessore 10mm, di lunghezza pari a 18.0m, e le cui fasi realizzative sono descritte qui di seguito.

### 9.1. Fasi di scavo

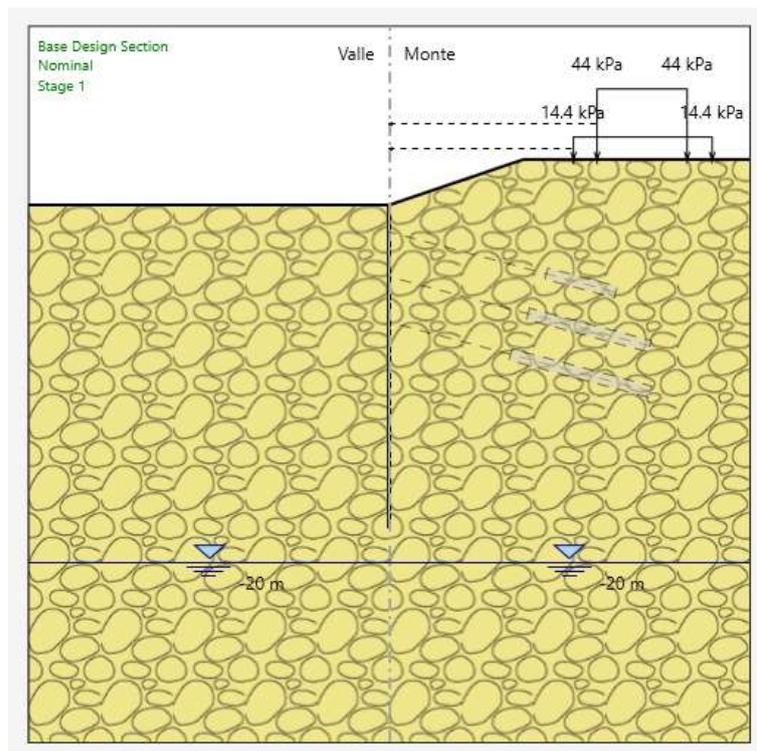
Si riportano di seguito le fasi di scavo dell'opera:

- **STAGE 0:** situazione iniziale
- **STAGE 1:** scavo di sbancamento e realizzazione micropali (q.ta sommità +0.00m);
- **STAGE 2:** scavo a quota -2.00m;
- **STAGE 3:** posa 1° ordine di tiranti a quota -1.50m e pretiro  $T_i=50$  kN/m;
- **STAGE 4:** scavo a quota -4.50m;
- **STAGE 5:** posa 2° ordine di tiranti a quota -4.00m e pretiro  $T_i=100$  kN/m;
- **STAGE 6:** scavo a quota -7.00m;
- **STAGE 7:** posa 3° ordine di tiranti a quota -6.50m e pretiro  $T_i=100$  kN/m;
- **STAGE 8:** scavo a quota -8.55m.

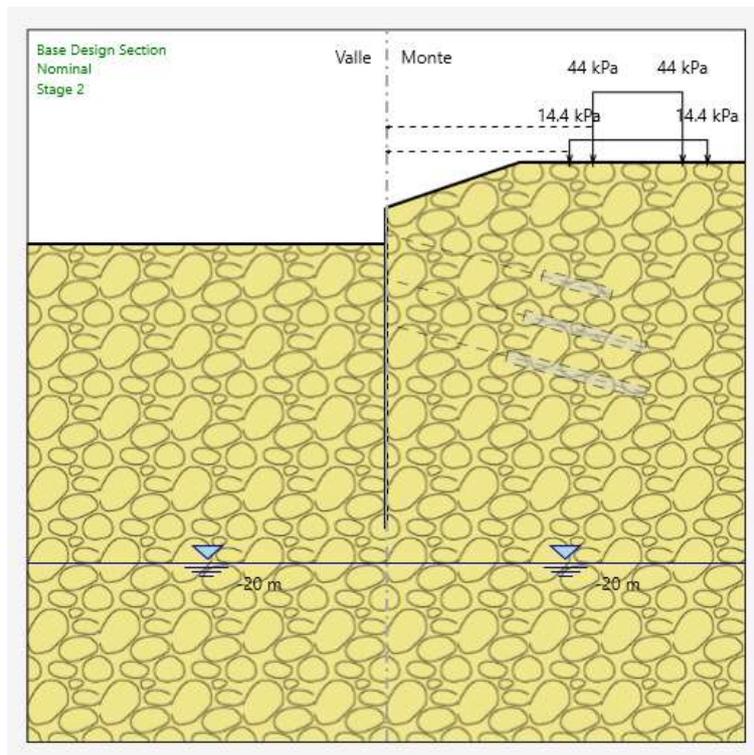
In tutti gli stage, a monte della paratia, viene applicato un sovraccarico accidentale di intensità  $44$  kN/m<sup>2</sup>, rappresentativo sovraccarico ferroviario e un sovraccarico permanente di intensità  $14.4$  kN/m<sup>2</sup>, della sovrastruttura ferroviaria.

Si riportano di seguito le immagine rappresentative di ciascun stage.

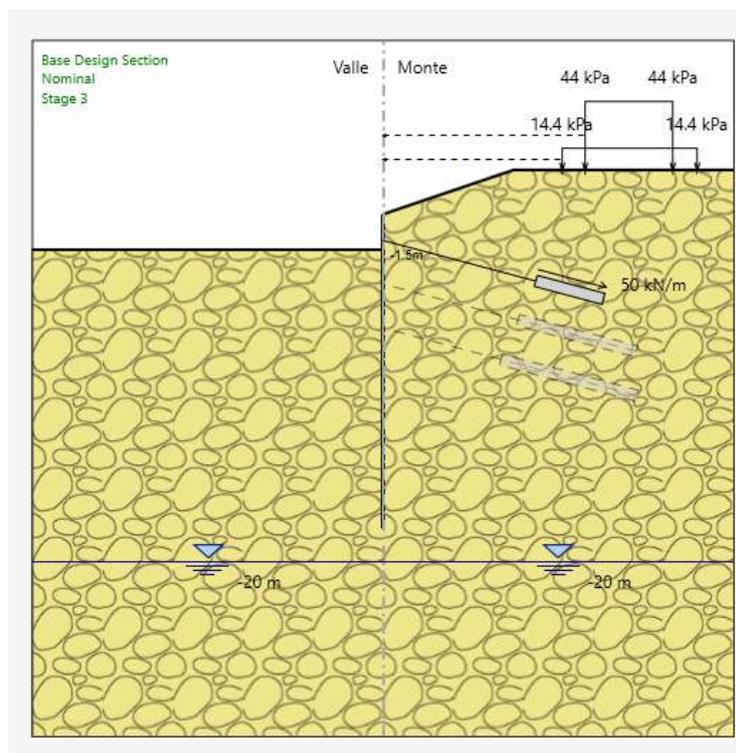
- **STAGE 1**



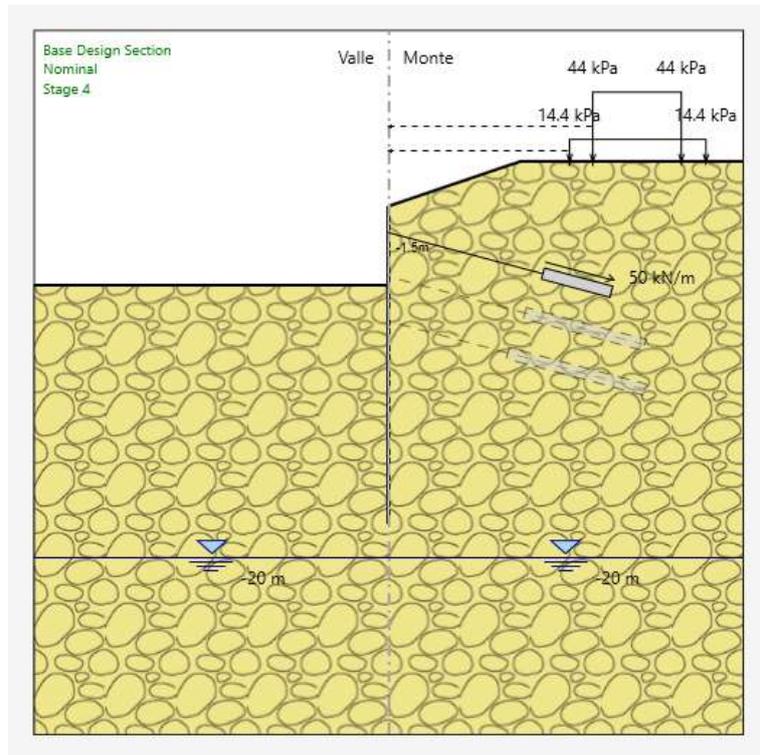
• **STAGE 2**



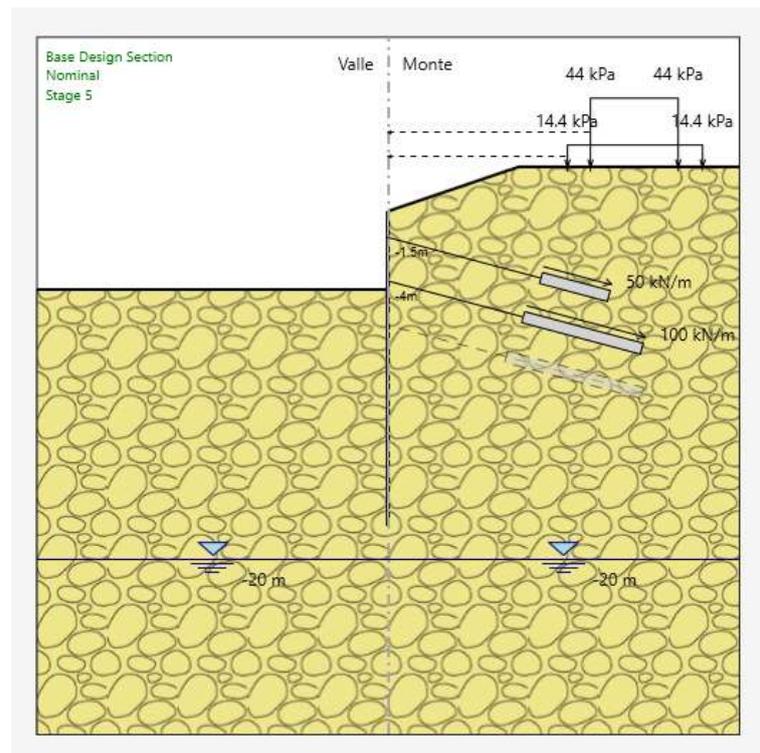
• **STAGE 3**



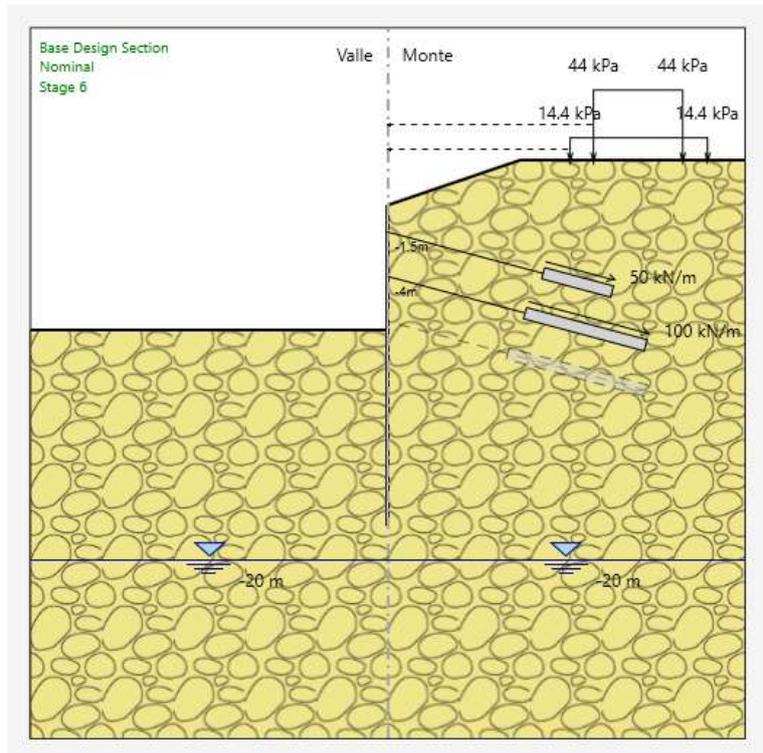
• **STAGE 4**



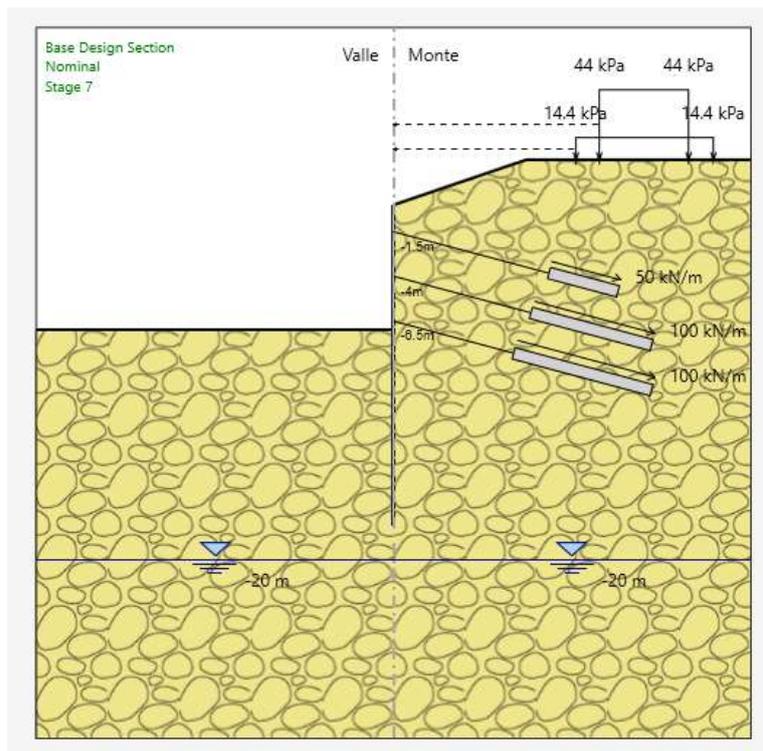
• **STAGE 5**



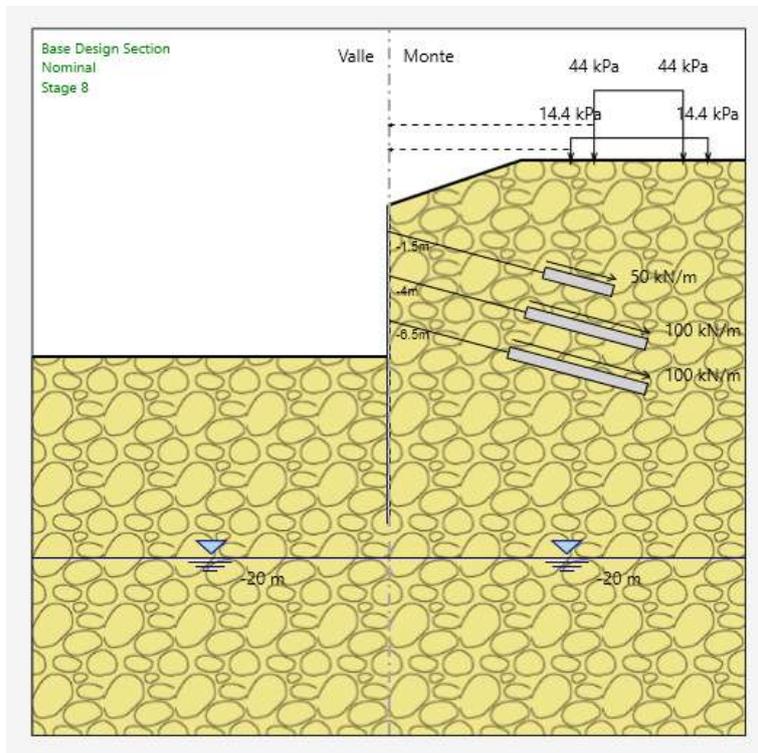
• **STAGE 6**



• **STAGE 7**

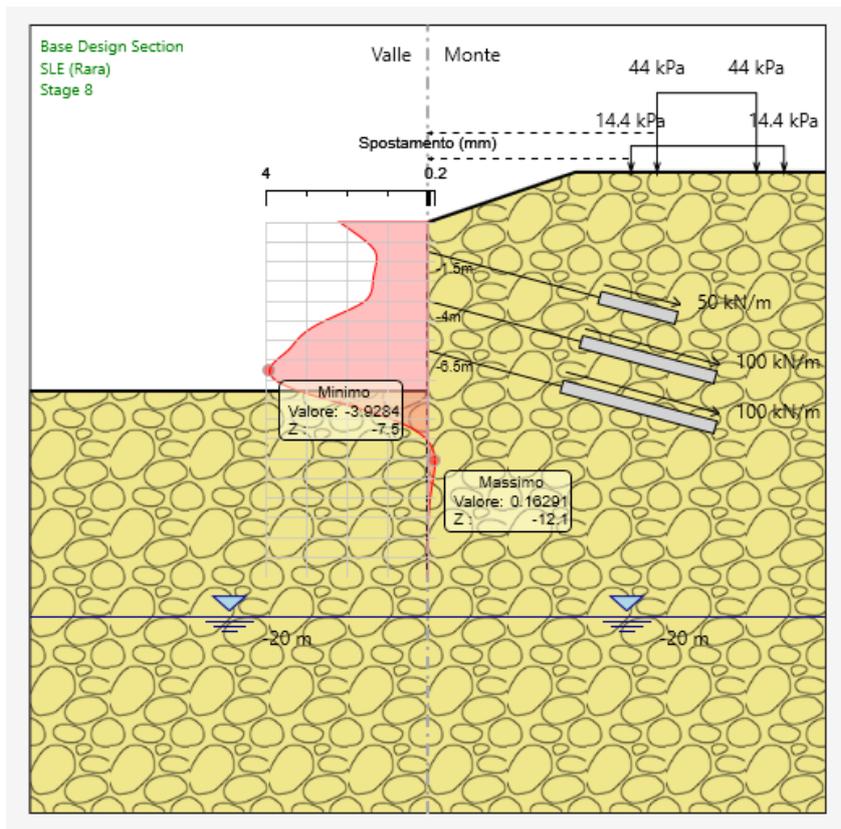


• **STAGE 8**

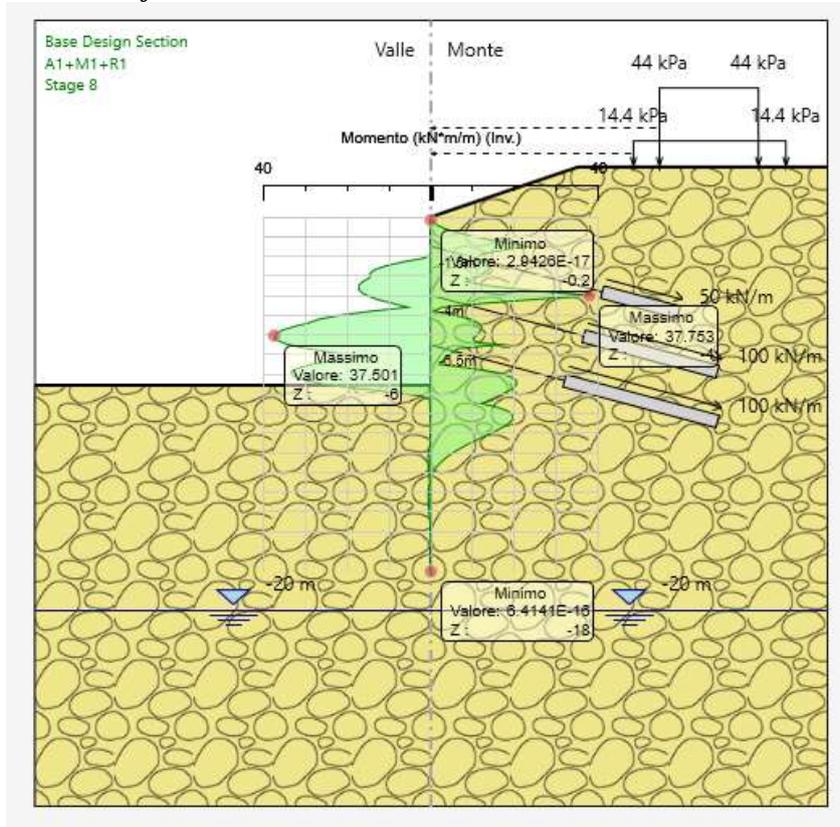


## 9.2. Diagrammi di output

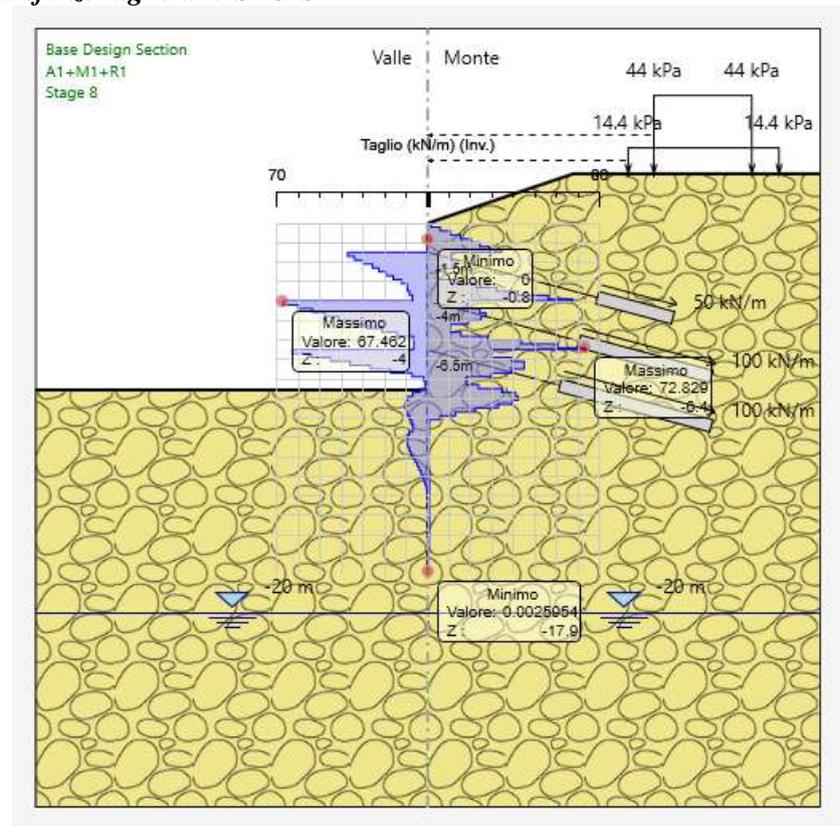
### 9.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE



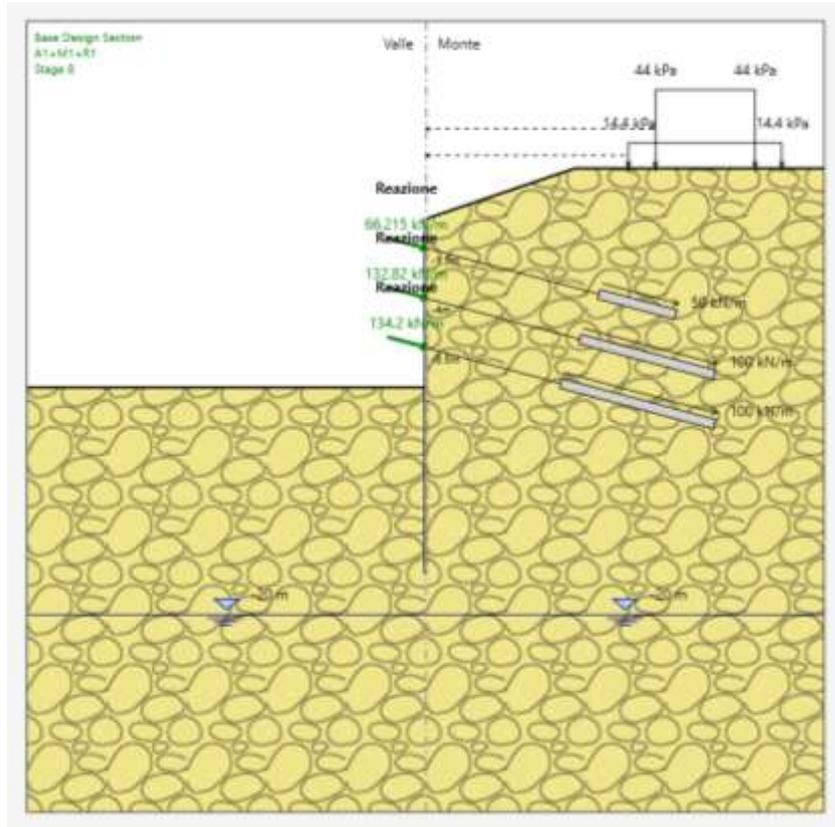
**9.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR**



**9.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR**



### 9.2.4. Reazione tiranti



### 9.3. Verifiche globali della paratia

Si riporta di seguito il valore minimo del fattore di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo a collasso per rotazione (stabilità al piede della paratia), espresso come rapporto tra la resistenza passiva disponibile sotto lo scavo e la reazione passiva del terreno mobilitata sotto lo scavo (GEO). I valori sono riferiti all'approccio A2+M2+R2 in quanto risulta il più sfavorevole.

$$FS \text{ Rotazione} = 2.94$$

### 9.4. Verifiche di resistenza ultima micropali

La sezione del tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- $A = 44.7 \text{ cm}^2$
- $I_{yy} = 1139.5 \text{ cm}^4$
- $W_{el,yy} = 149.5 \text{ cm}^3$

Si verifica la classe del profilo secondo quanto previsto dalla tabella 4.2.III delle NTC per profili tubolari:

$$\varepsilon = (235/f_{yk})^{0.5} = (235/275)^{0.5} = 0.924$$

$$(d/t) = 15.24 < 50 \varepsilon^2 = 42.73$$

Il profilo ricade in classe 1. Essendo l'opera di tipo provvisoria, le verifiche vengono comunque svolte adottando il modulo resistente elastico.

**9.4.1. Verifiche a flessione**

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$M_{Ed} = 37.75 / 3.0 = 12.58 \text{ kNm}$$

Azioni resistenti:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 149.5 \times 1000 \times 275 / 1.05 = 39.15 \times 10^6 \text{ Nmm} = 39.15 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

**9.4.2. Verifiche a taglio**

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$V_{Ed} = 72.83 / 3.0 = 24.28 \text{ kN}$$

Azioni resistenti:

$$A_v = 2 A / \pi = 2845 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \times f_y / (3^{0.5} \times \gamma_{M0}) = 2845 \times 275 / (3^{0.5} \times 1.05) = 430195 \text{ N} = 430 \text{ kN} \gg V_{Ed}$$

**9.4.3. Verifiche tiranti**

Verifica resistenza strutturale trefoli (A1+M1+R1)

$$TSF = R_{Ed} / F_d < 1$$

Dove:

 $R_{Ed}$  azione sollecitante del tirante

 $F_d = (f_{p(1)k} / \gamma_s) \times A_{trefoli}$  azione resistente a trazione trefoli

$$\gamma_s = 1.15$$

	Comb.	$R_{Ed}$ (kN/m)	$F_d$ (kN/m)	TSF
1° ordine	A1+M1+R1	66.22	134.57	0.49
2° ordine	A1+M1+R1	132.82	201.85	0.66
3° ordine	A1+M1+R1	134.20	269.14	0.50

Verifica filamento ancoraggi (A1+M1+R3)

$$TSF = R_{Ed} / F_d < 1.0$$

Dove:

$R_{Ed}$	azione sollecitante del tirante
$F_d = R_{cm} / \gamma_t = (\pi \times D \times q_s \times L_{bulbo}) / \gamma_R$	azione resistente a sfilamento,
$q_s = 0.20 \text{ MPa}$	aderenza limite unitaria lungo la superficie di contatto terreno-bulbo
$D = 140 \text{ mm}$	diametro medio del bulbo di ancoraggio
$\gamma_R = 1.20$	coeff. R3 per tiranti di tipo permanente

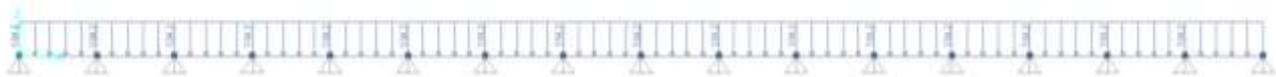
	Comb.	$L_{bulbo} \text{ (m)}$	$R_{Ed} \text{ (kN/m)}$	$F_d \text{ (kN/m)}$	TSF
1° ordine	A1+M1+R3	4	66.22	293.22	0.23
2° ordine	A1+M1+R3	7	132.82	513.13	0.26
3° ordine	A1+M1+R3	8	134.20	586.43	0.23

### 9.5. Verifiche travi di ripartizione

Le travi di ripartizione sono costituite da 2 profili HEB220.

Per il calcolo si adotta uno schema di trave su otto appoggi ad interasse 3.00m, per una lunghezza totale pari a 48.00m, sollecitata dal carico uniformemente distribuito pari alla reazione del tirante maggiormente sollecitato nella combinazione A1+M1+R1, corrispondente al 3° ordine, e pari a  $R = 134.20 \text{ kN/m}$  (combinazione SLU – STR).

#### Schema trave



#### Caratteristiche geometriche della sezione

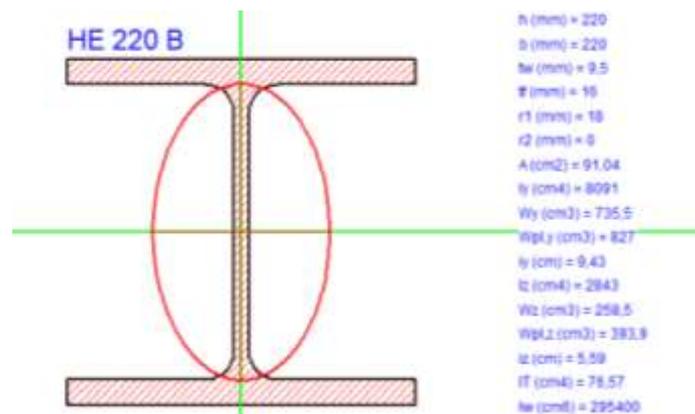


Diagramma momento flettenteDiagramma taglio**9.5.1. Verifiche a flessione**

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

 $M_{Ed} = 125.00 \text{ kNm/m}$ 

Azioni resistenti:

 $M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 735.5 \times 2 \times 1000 \times 275 / 1.05 = 385.3 \times 10^6 \text{ Nmm} = 385.3 \text{ kNm} > M_{Ed}$ **9.5.2. Verifiche a taglio**

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

 $V_{Ed} = 242.97 \text{ kN/m}$ 

Azioni resistenti:

 $A_v = t_w \times h = 9.5 \times 220 \times 2 = 4180 \text{ mm}^2$  $V_{pl,Rd} = A_v \times f_y / (3^{0.5} \times \gamma_{M0}) = 4180 \times 275 / (3^{0.5} \times 1.05) = 632061 \text{ N/m} = 632.06 \text{ kN/m} > V_{Ed}$

## 10. PARATIA TIPO 2

La paratia tipo 2 è costituita da 3 micropali  $\phi 220$  a metro con tubolare  $\phi 152.40$  di spessore 10mm, di lunghezza pari a 14.0m, e le cui fasi realizzative sono descritte qui di seguito.

### 10.1. Fasi di scavo

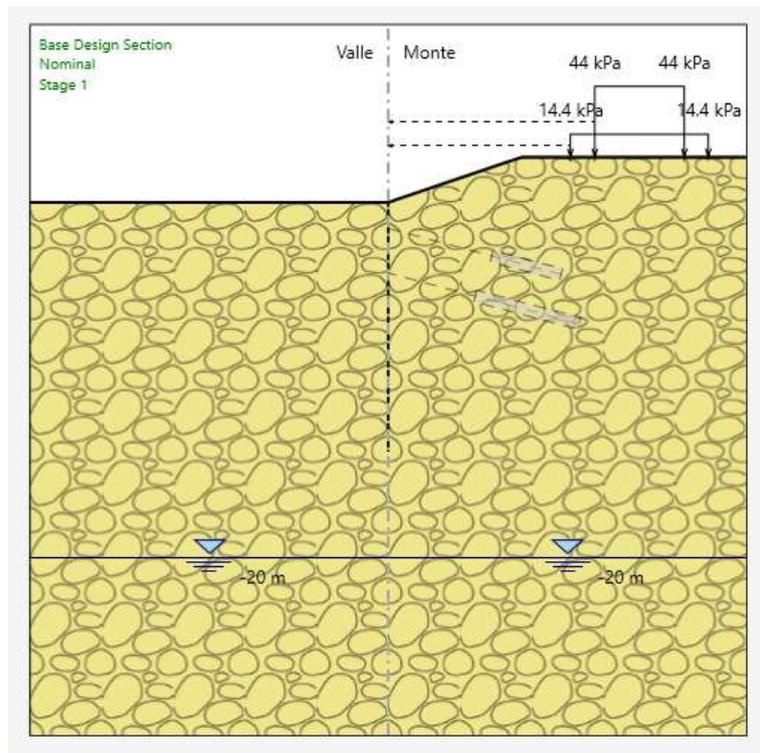
Si riportano di seguito le fasi di scavo dell'opera:

- **STAGE 0:** situazione iniziale
- **STAGE 1:** scavo di sbancamento e realizzazione micropali (q.ta sommità +0.00m);
- **STAGE 2:** scavo a quota -2.00m;
- **STAGE 3:** posa 1° ordine di tiranti a quota -1.50m e pretiro  $T_i=50$  kN/m;
- **STAGE 4:** scavo a quota -4.50m;
- **STAGE 5:** posa 2° ordine di tiranti a quota -4.00m e pretiro  $T_i=100$  kN/m;
- **STAGE 6:** scavo a quota -6.50m;

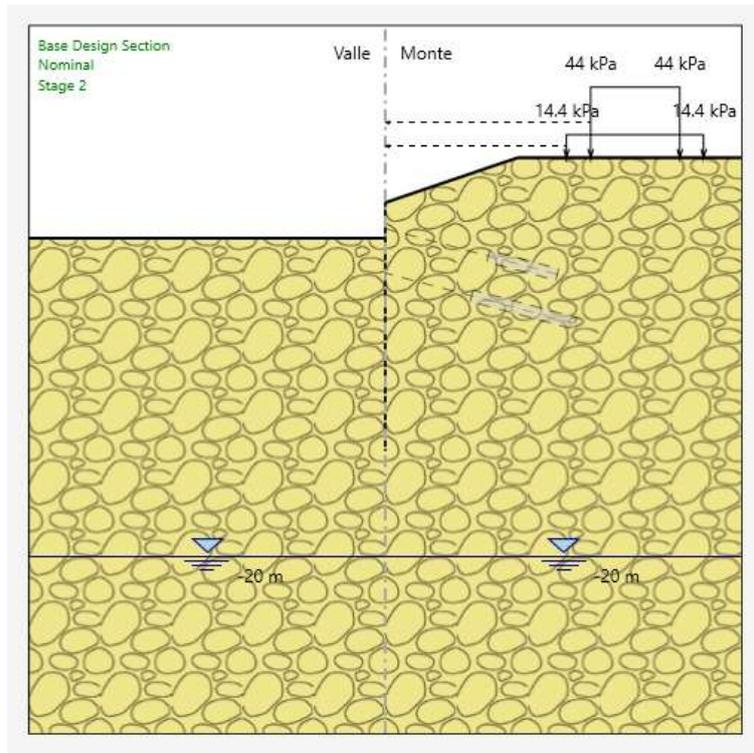
In tutti gli stage, a monte della paratia, viene applicato un sovraccarico accidentale di intensità  $44 \text{ kN/m}^2$ , rappresentativo sovraccarico ferroviario e un sovraccarico permanente di intensità  $14.4 \text{ kN/m}^2$ , della sovrastruttura ferroviaria.

Si riportano di seguito le immagine rappresentative di ciascun stage.

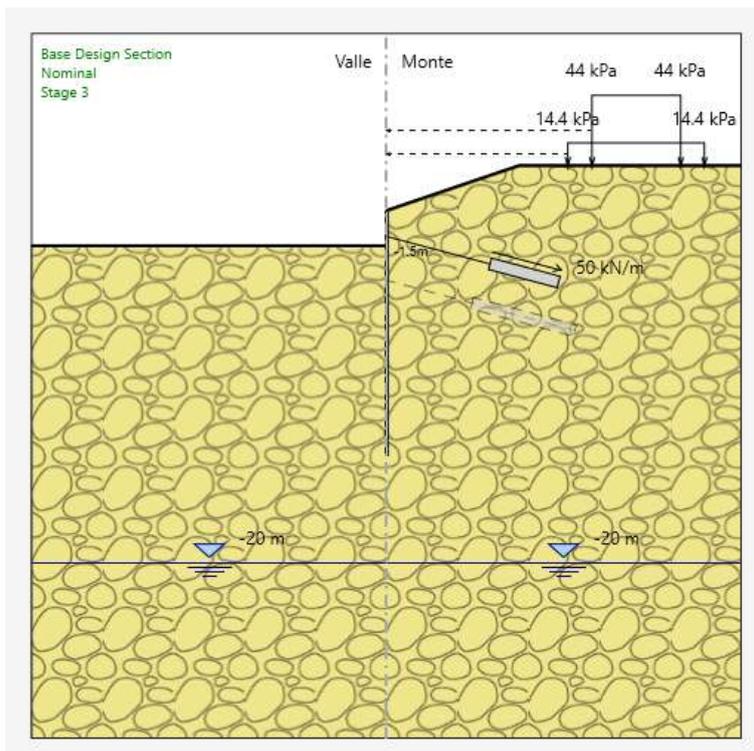
- **STAGE 1**



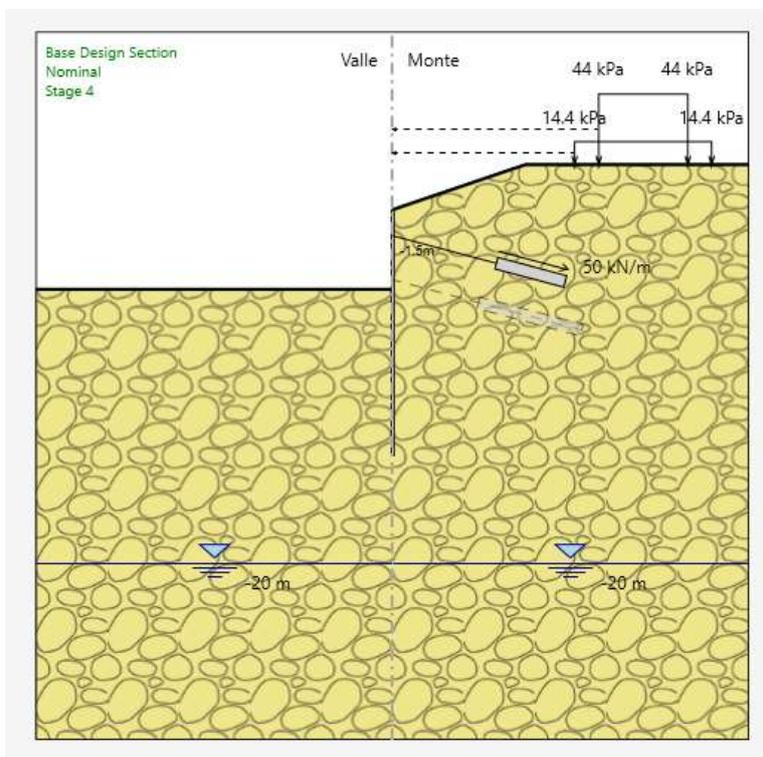
• **STAGE 2**



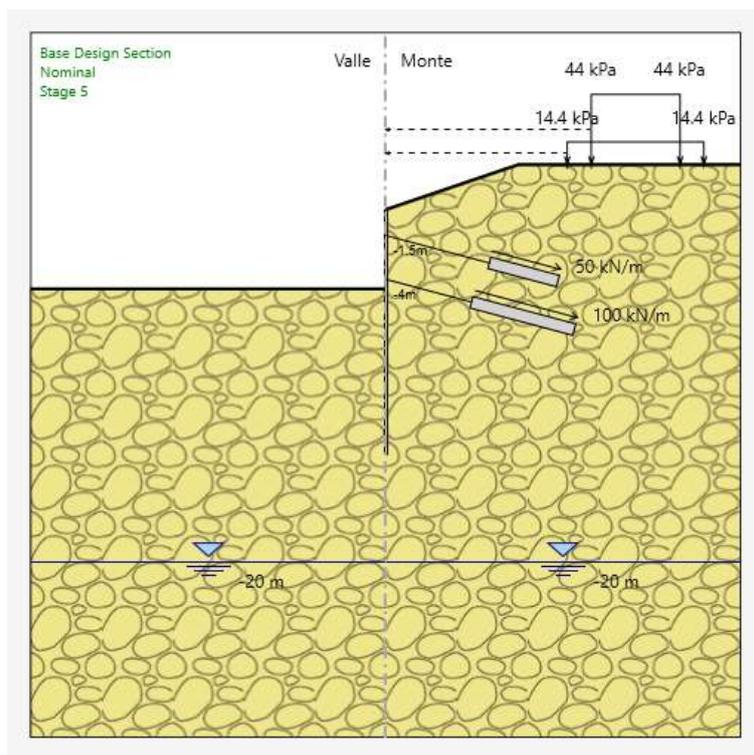
• **STAGE 3**



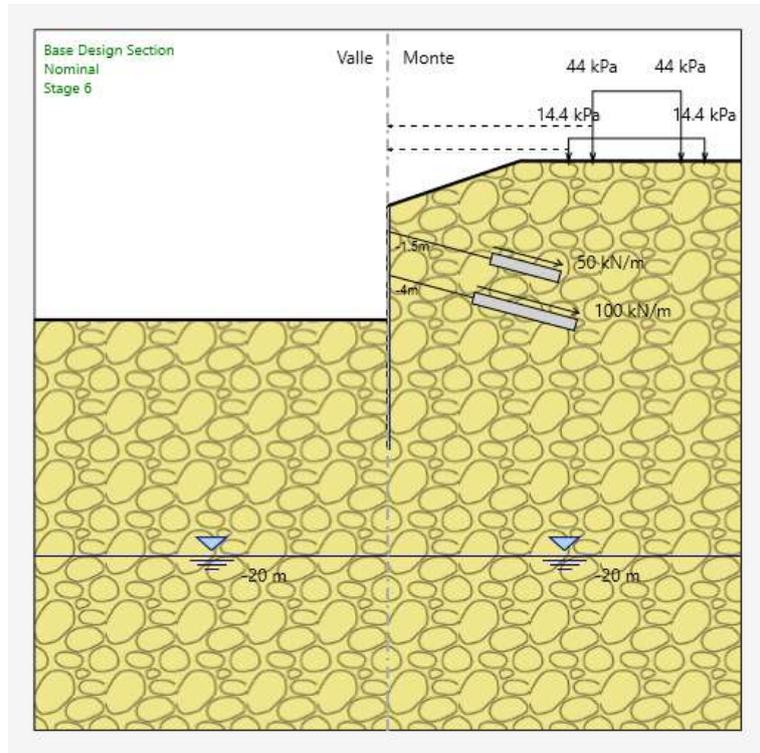
• **STAGE 4**

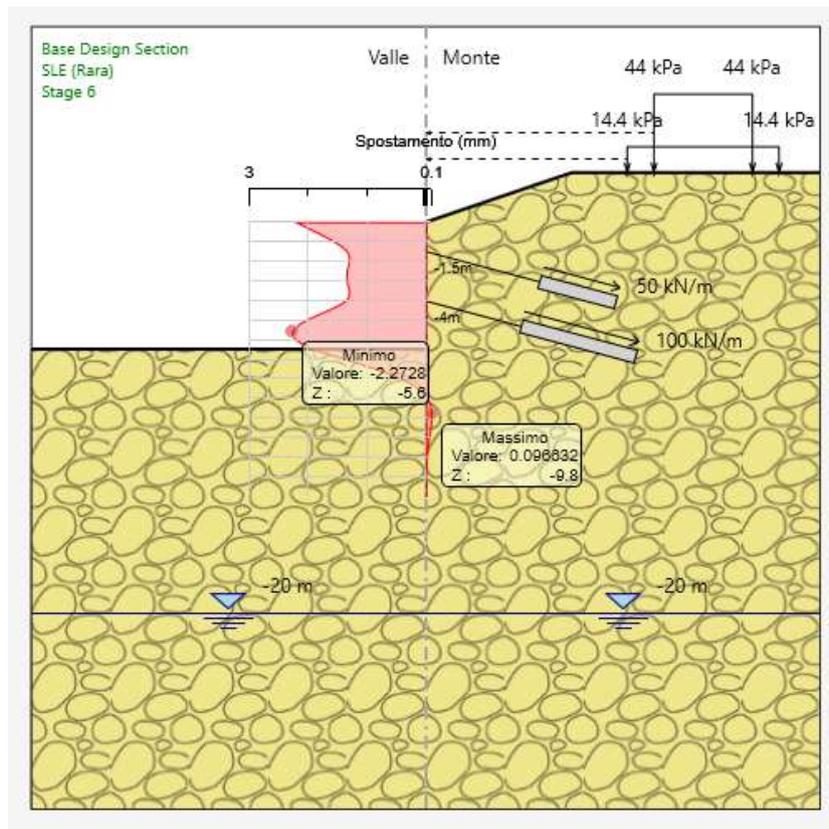


• **STAGE 5**

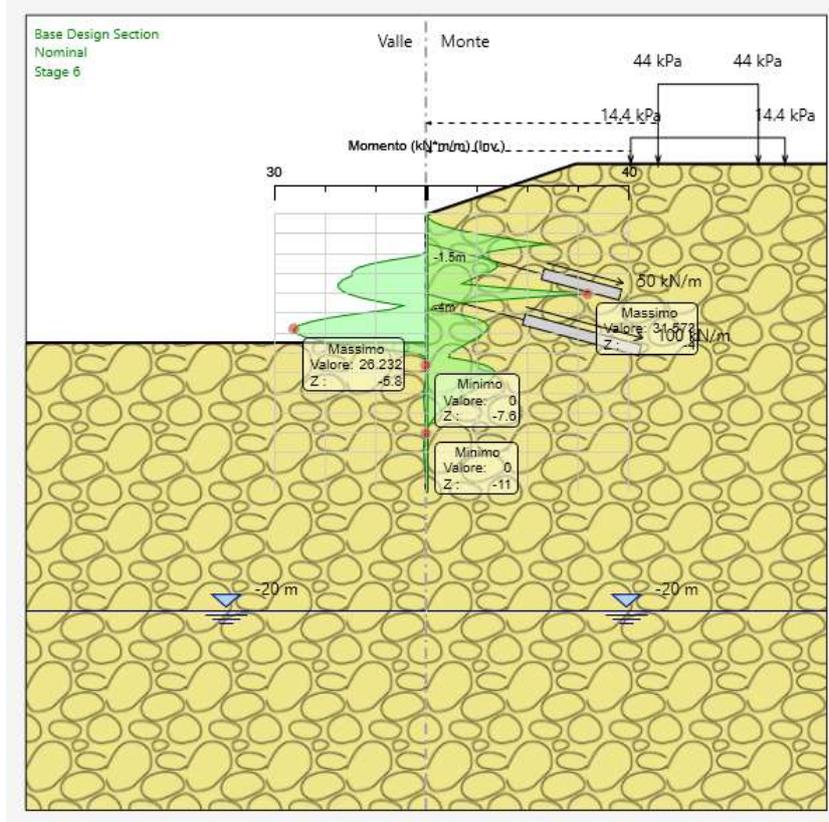


• **STAGE 6**

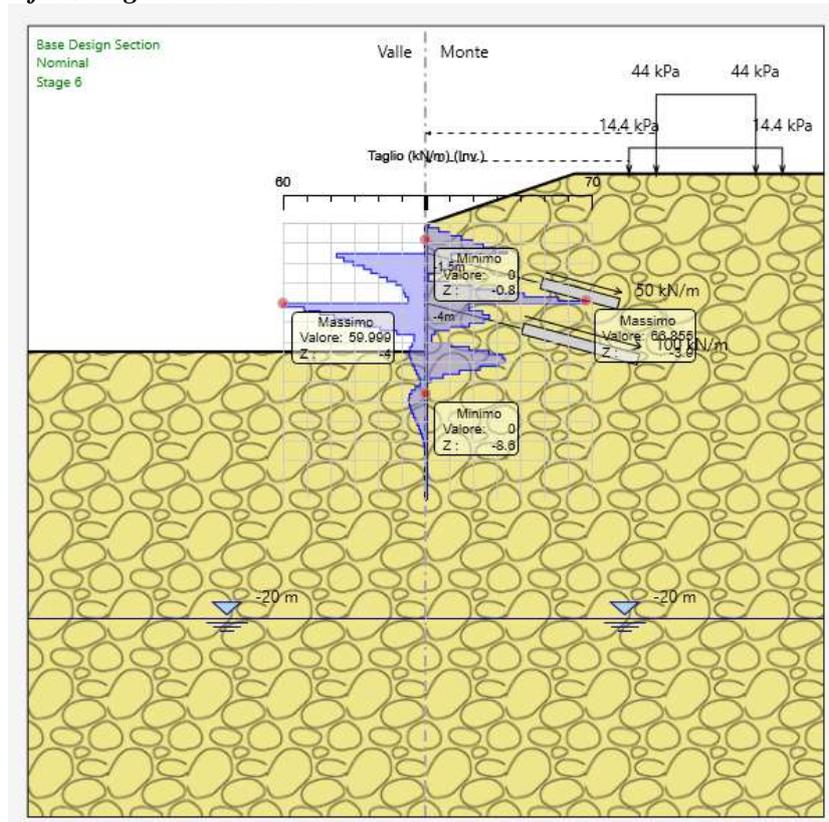


**10.2. Diagrammi di output****10.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE**

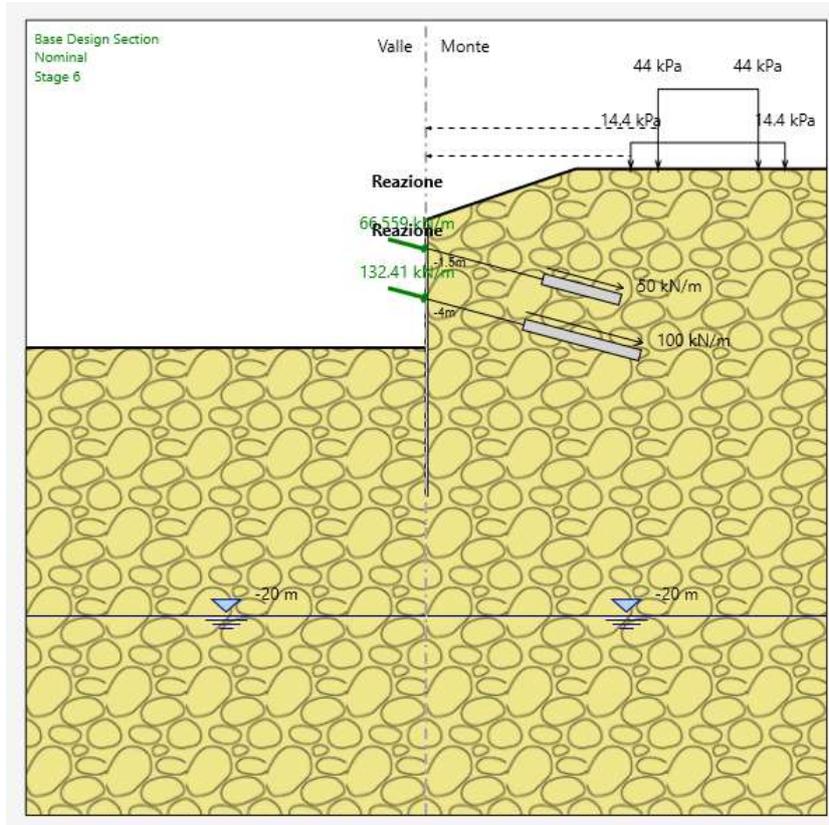
**10.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR**



**10.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR**



### 10.2.4. Reazione tiranti



### 10.3. Verifiche globali della paratia

Si riporta di seguito il valore minimo del fattore di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo a collasso per rotazione (stabilità al piede della paratia), espresso come rapporto tra la resistenza passiva disponibile sotto lo scavo e la reazione passiva del terreno mobilitata sotto lo scavo (GEO). I valori sono riferiti all'approccio A2+M2+R2 in quanto risulta il più sfavorevole.

$$FS \text{ Rotazione} = 2.94$$

### 10.4. Verifiche di resistenza ultima micropali

La sezione del tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- $A = 44.7 \text{ cm}^2$
- $I_{yy} = 1139.5 \text{ cm}^4$
- $W_{el,yy} = 149.5 \text{ cm}^3$

Si verifica la classe del profilo secondo quanto previsto dalla tabella 4.2.III delle NTC per profili tubolari:

$$\varepsilon = (235/f_{yk})^{0.5} = (235/275)^{0.5} = 0.924$$

$$(d/t) = 15.24 < 50 \varepsilon^2 = 42.73$$

Il profilo ricade in classe 1. Essendo l'opera di tipo provvisoria, le verifiche vengono comunque svolte adottando il modulo resistente elastico.

**10.4.1. Verifiche a flessione**

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$M_{Ed} = 31.57 / 3.0 = 10.52 \text{ kNm}$$

Azioni resistenti:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 149.5 \times 1000 \times 275 / 1.05 = 39.15 \times 10^6 \text{ Nmm} = 39.15 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

**10.4.2. Verifiche a taglio**

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$V_{Ed} = 66.86 / 3.0 = 22.29 \text{ kN}$$

Azioni resistenti:

$$A_v = 2 A / \pi = 2845 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \times f_y / (3^{0.5} \times \gamma_{M0}) = 2845 \times 275 / (3^{0.5} \times 1.05) = 430195 \text{ N} = 430 \text{ kN} \gg V_{Ed}$$

**10.4.3. Verifiche tiranti**

Verifica resistenza strutturale trefoli (A1+M1+R1)

$$TSF = R_{Ed} / F_d < 1$$

Dove:

 $R_{Ed}$  azione sollecitante del tirante

 $F_d = (f_{p(1)k} / \gamma_s) \times A_{trefoli}$  azione resistente a trazione trefoli

$$\gamma_s = 1.15$$

	Comb.	$R_{Ed}$ (kN/m)	$F_d$ (kN/m)	TSF
1° ordine	A1+M1+R1	66.56	134.57	0.50
2° ordine	A1+M1+R1	132.41	201.85	0.66

Verifica sfilamento ancoraggi (A1+M1+R3)

$$TSF = R_{Ed} / F_d < 1.0$$

Dove:

 $R_{Ed}$  azione sollecitante del tirante

$$F_d = R_{cm} / \gamma_t = (\pi \times D \times q_s \times L_{bulbo}) / \gamma_R$$

$$q_s = 0.20 \text{ MPa}$$

$$D = 140 \text{ mm}$$

$$\gamma_R = 1.20$$

azione resistente a sfilamento,

aderenza limite unitaria lungo la superficie di contatto

terreno-bulbo

diametro medio del bulbo di ancoraggio

coeff. R3 per tiranti di tipo permanente

	Comb.	$L_{bulbo}$ (m)	$R_{Ed}$ (kN/m)	$F_d$ (kN/m)	TSF
1° ordine	A1+M1+R3	4	66.56	293.22	0.23
2° ordine	A1+M1+R3	6	132.41	439.82	0.30

## 11. PARATIA TIPO 3

La berlinese è costituita da 3 micropali al metro  $\phi 220$  con tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm; la lunghezza dei tubi è pari a 9.00 m e l'altezza di scavo è pari a 4.50m

### 11.1. Fasi di scavo

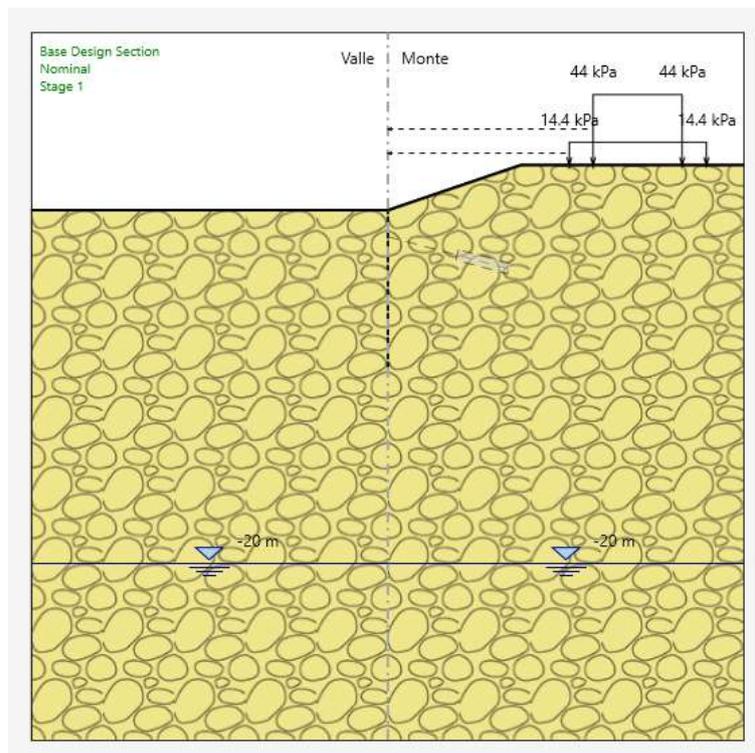
Si riportano di seguito le fasi di scavo dell'opera:

- **STAGE 0:** situazione iniziale
- **STAGE 1:** scavo di sbancamento e realizzazione micropali (q.ta sommità +0.00m);
- **STAGE 2:** scavo a quota -2.00m;
- **STAGE 3:** posa 1° ordine di tiranti a quota -1.50m e pretiro  $T_i=50$  kN/m;
- **STAGE 4:** scavo a quota -4.50m.

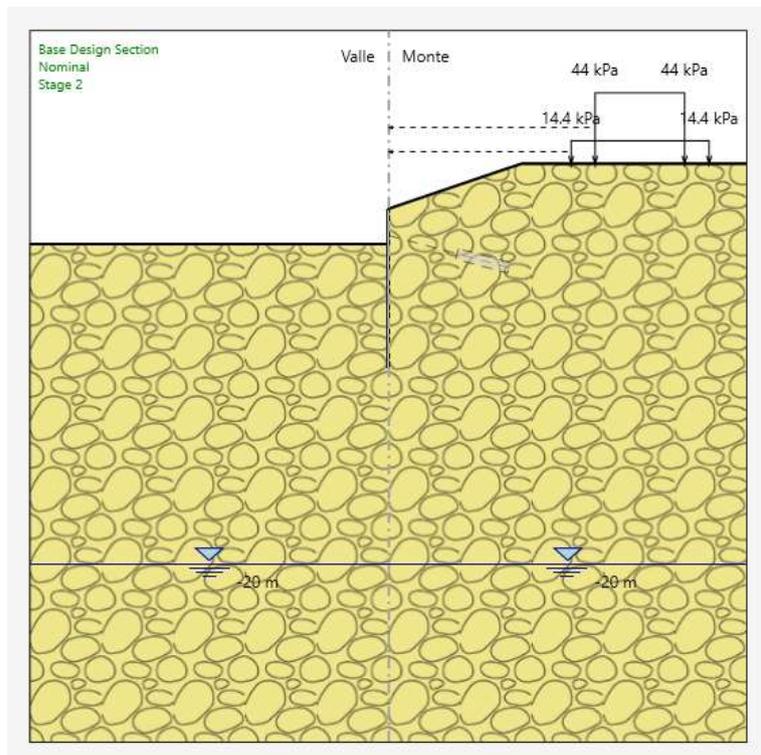
In tutti gli stage, a monte della paratia, viene applicato un sovraccarico accidentale di intensità  $44$  kN/m<sup>2</sup>, rappresentativo sovraccarico ferroviario e un sovraccarico permanente di intensità  $14.4$  kN/m<sup>2</sup>, della sovrastruttura ferroviaria.

Si riportano di seguito le immagine rappresentative di ciascun stage.

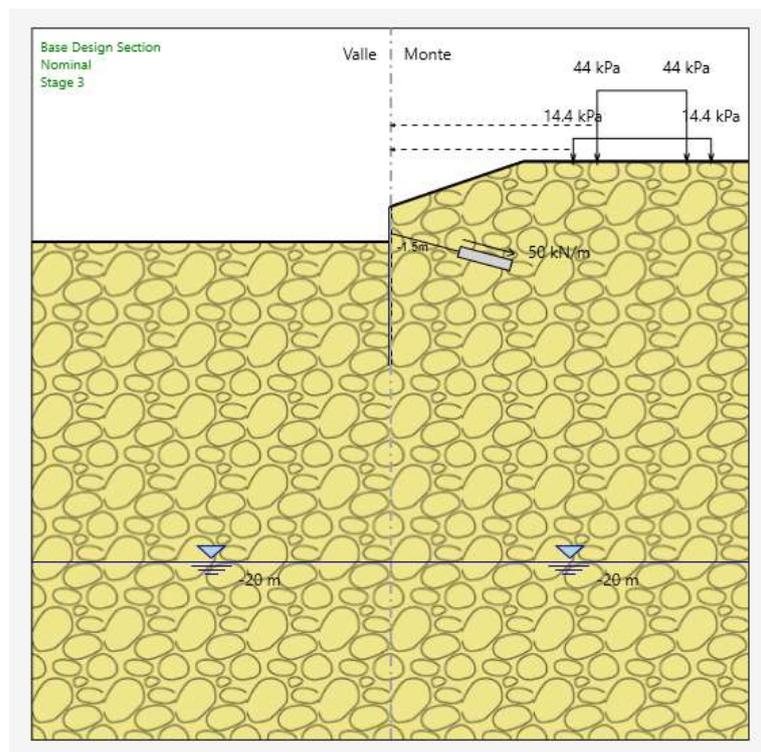
- **STAGE 1**



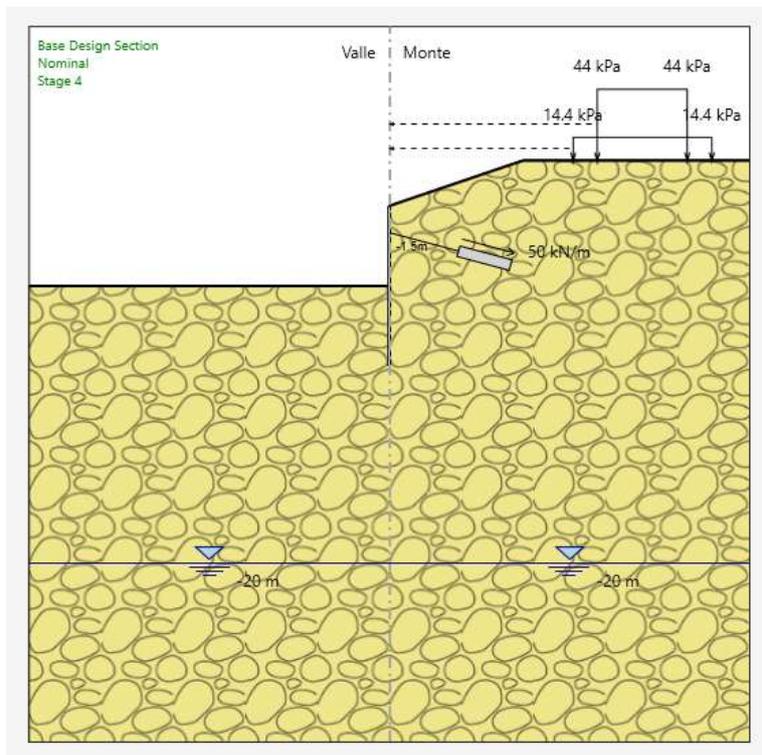
• **STAGE 2**



• **STAGE 3**

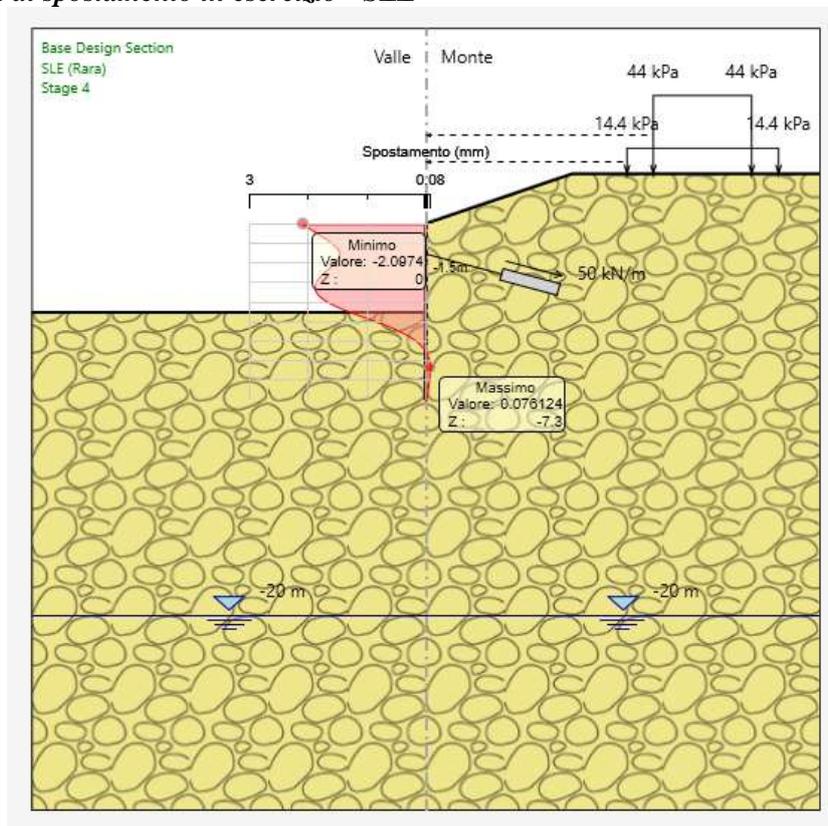


• **STAGE 4**

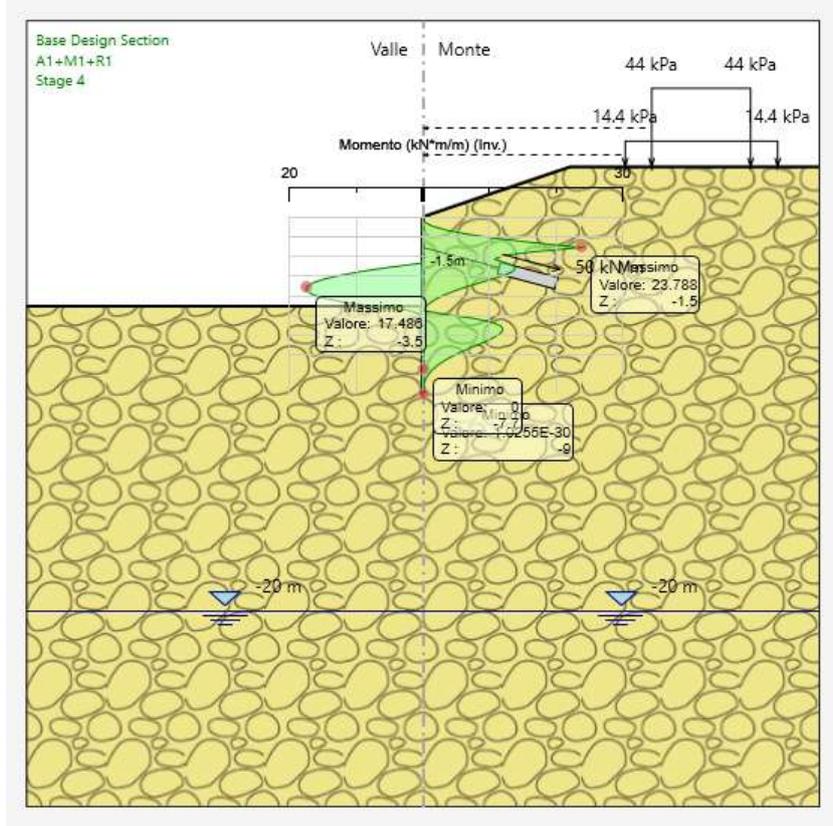


## 11.2. Diagrammi di output

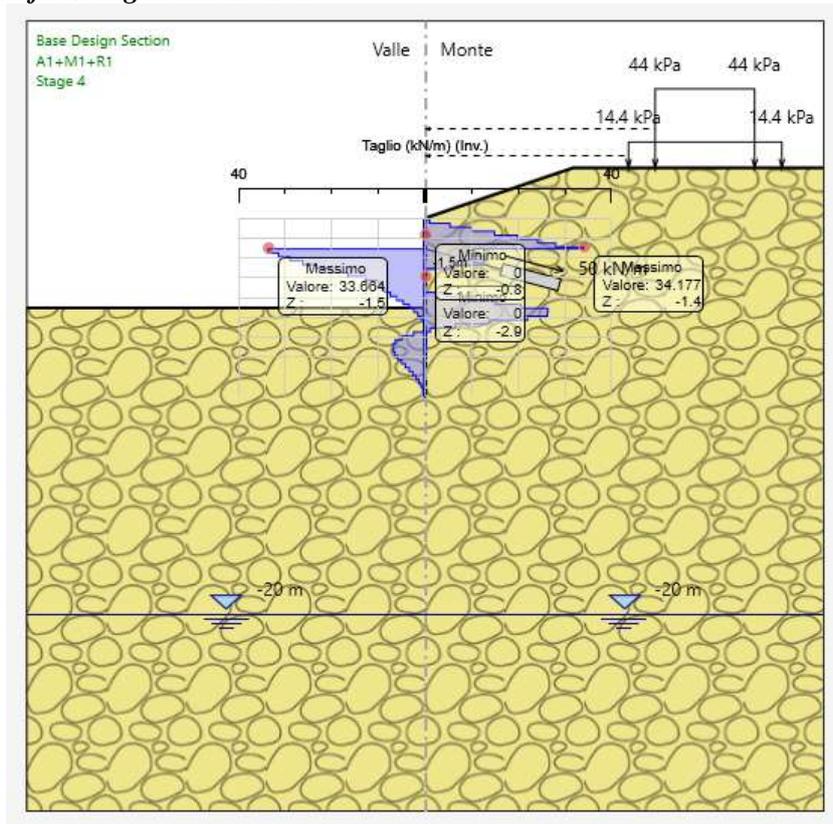
### 11.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE



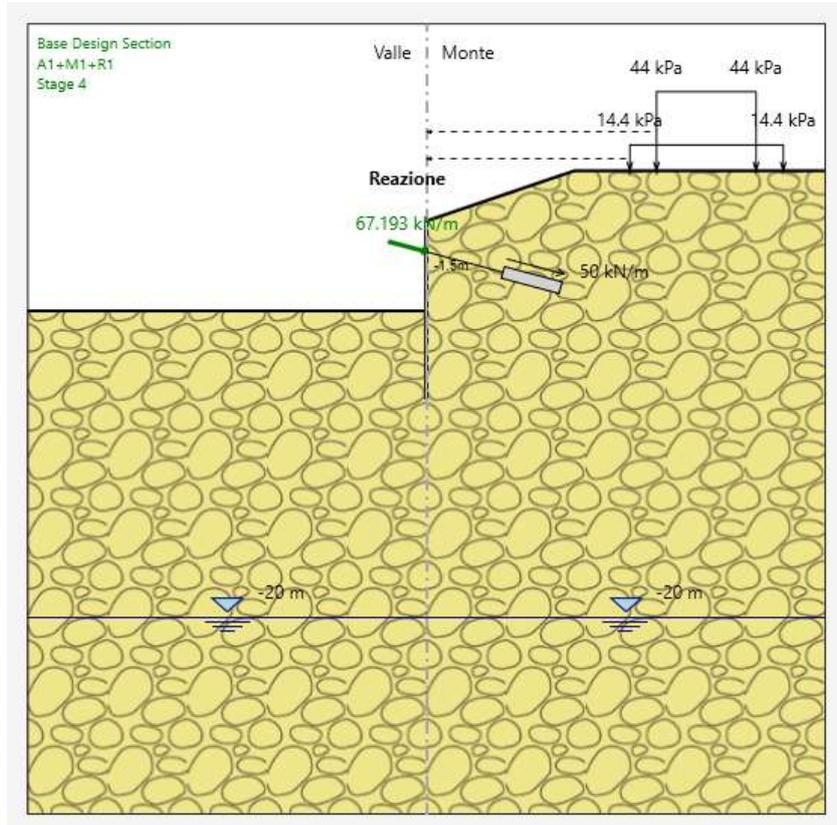
**11.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR**



**11.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR**



### 11.2.4. Reazione tiranti



### 11.3. Verifiche globali della paratia

Si riporta di seguito il valore minimo del fattore di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo a collasso per rotazione (stabilità al piede della paratia), espresso come rapporto tra la resistenza passiva disponibile sotto lo scavo e la reazione passiva del terreno mobilitata sotto lo scavo (GEO). I valori sono riferiti all'approccio A2+M2+R2 in quanto risulta il più sfavorevole.

FS Rotazione = 2.44

### 11.4. Verifiche di resistenza ultima micropali

La sezione del tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- $A = 44.7 \text{ cm}^2$
- $I_{yy} = 1139.5 \text{ cm}^4$
- $W_{el,yy} = 149.5 \text{ cm}^3$

Si verifica la classe del profilo secondo quanto previsto dalla tabella 4.2.III delle NTC per profili tubolari:

$$\varepsilon = (235/f_{yk})^{0.5} = (235/275)^{0.5} = 0.924$$

$$(d/t) = 15.24 < 50 \varepsilon^2 = 42.73$$

Il profilo ricade in classe 1. Essendo l'opera di tipo provvisoria, le verifiche vengono comunque svolte adottando il modulo resistente elastico.

### 11.4.1. Verifiche a flessione

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$M_{Ed} = 23.79 / 3.0 = 7.93 \text{ kNm}$$

Azioni resistenti:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 149.5 \times 1000 \times 275 / 1.05 = 39.15 \times 10^6 \text{ Nmm} = 39.15 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

### 11.4.2. Verifiche a taglio

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$V_{Ed} = 34.18 / 3.0 = 11.39 \text{ kN}$$

Azioni resistenti:

$$A_v = 2 A / \pi = 2845 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \times f_y / (3^{0.5} \times \gamma_{M0}) = 2845 \times 275 / (3^{0.5} \times 1.05) = 430195 \text{ N} = 430 \text{ kN} \gg V_{Ed}$$

### 11.4.3. Verifiche tiranti

Verifica resistenza strutturale trefoli (A1+M1+R1)

$$TSF = R_{Ed} / F_d < 1$$

Dove:

$R_{Ed}$  azione sollecitante del tirante

$F_d = (f_{p(1)k} / \gamma_s) \times A_{trefoli}$  azione resistente a trazione trefoli

$$\gamma_s = 1.15$$

	Comb.	$R_{Ed}$ (kN/m)	$F_d$ (kN/m)	TSF
1° ordine	A1+M1+R1	67.19	134.57	0.50

Verifica sfilamento ancoraggi (A1+M1+R3)

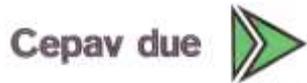
$$TSF = R_{Ed} / F_d < 1.0$$

Dove:

$R_{Ed}$  azione sollecitante del tirante

$F_d = R_{cm} / \gamma_t = (\pi \times D \times q_s \times L_{bulbo}) / \gamma_R$  azione resistente a sfilamento,

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

Rev.  
A

Foglio  
46 di 58

$q_s = 0.20 \text{ MPa}$

aderenza limite unitaria lungo la superficie di contatto

terreno-bulbo

$D = 140 \text{ mm}$

diametro medio del bulbo di ancoraggio

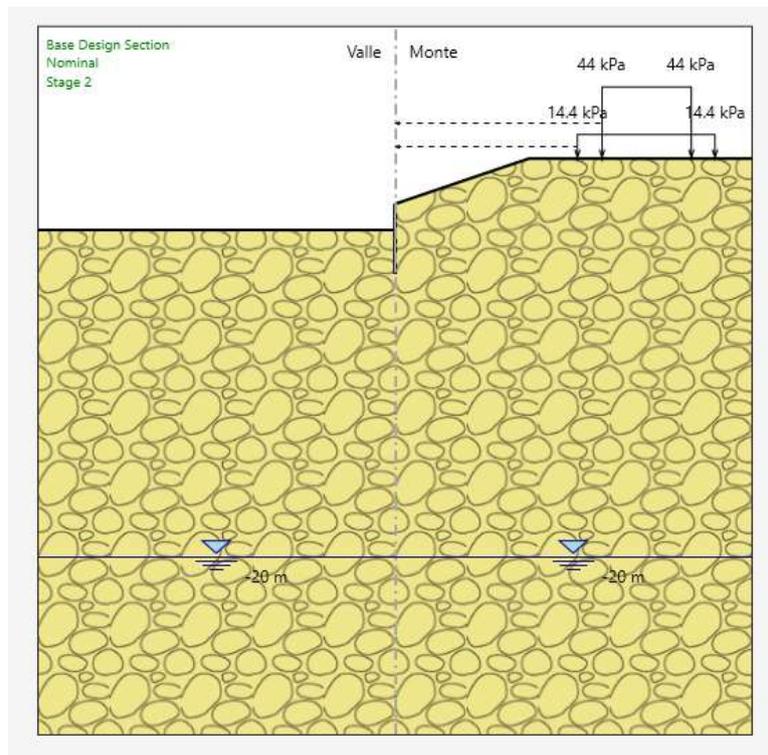
$\gamma_R = 1.20$

coeff. R3 per tiranti di tipo permanente

	Comb.	$L_{\text{bulbo}}$ (m)	$R_{Ed}$ (kN/m)	$F_d$ (kN/m)	TSF
1° ordine	A1+M1+R3	3	67.19	219.92	0.31

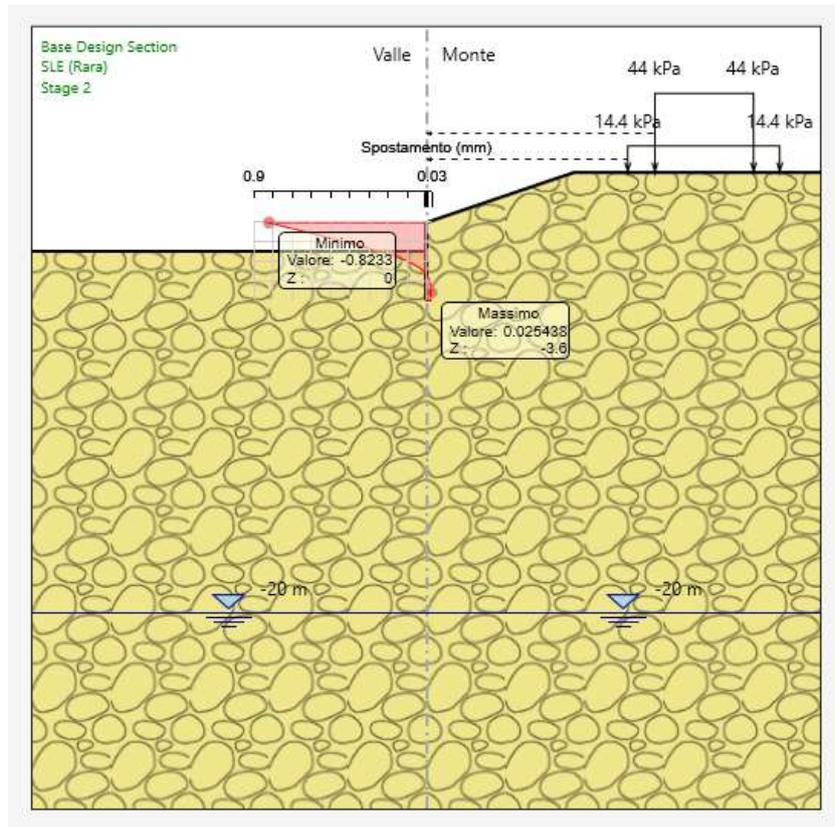


• **STAGE 2**

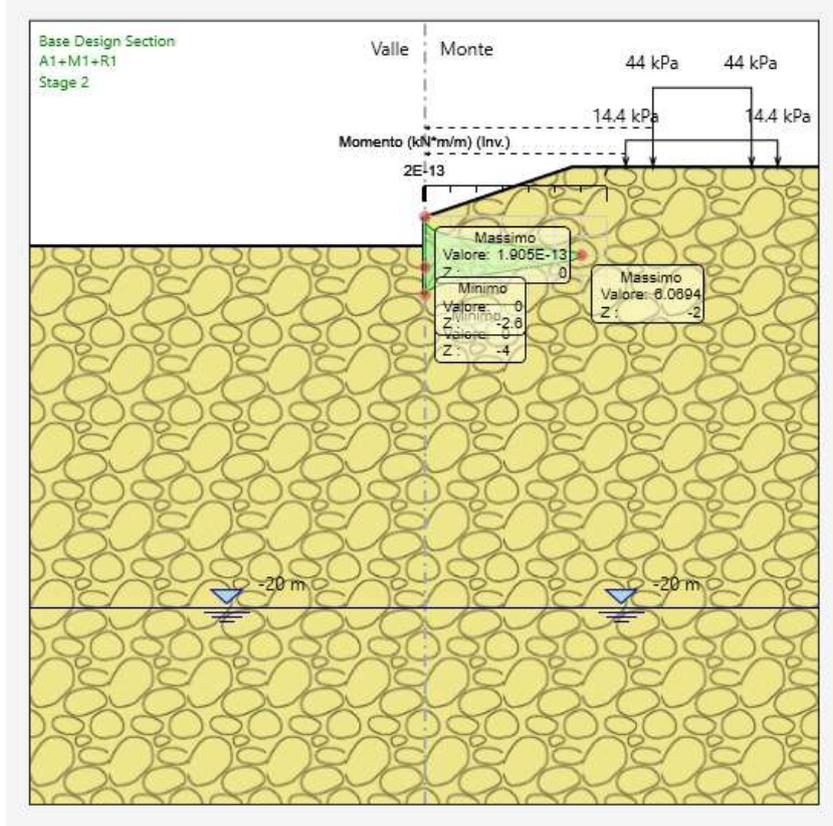


## 12.2. Diagrammi di output

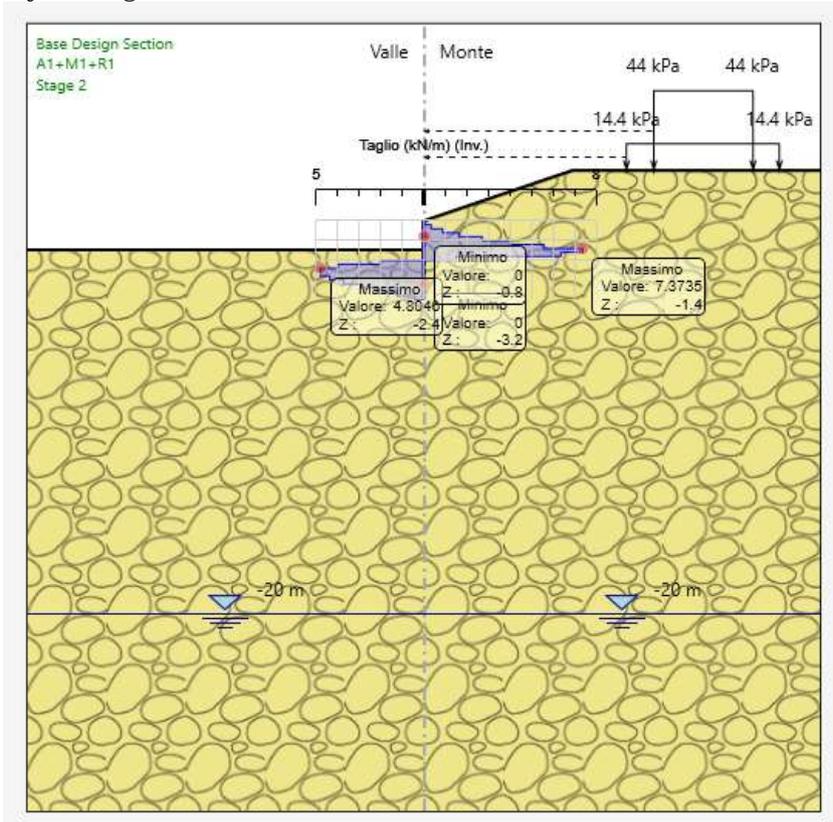
### 12.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE



**12.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR**



**12.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR**



### 12.3. Verifiche globali della paratia

Si riporta di seguito il valore minimo del fattore di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo a collasso per rotazione (stabilità al piede della paratia), espresso come rapporto tra la resistenza passiva disponibile sotto lo scavo e la reazione passiva del terreno mobilitata sotto lo scavo (GEO). I valori sono riferiti all'approccio A2+M2+R2 in quanto risulta il più sfavorevole.

$$FS \text{ Rotazione} = 2.50$$

### 12.4. Verifiche di resistenza ultima micropali

La sezione del tubo  $\phi 152.40$  di spessore 10mm ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- $A = 44.7 \text{ cm}^2$
- $I_{yy} = 1139.5 \text{ cm}^4$
- $W_{el,yy} = 149.5 \text{ cm}^3$

Si verifica la classe del profilo secondo quanto previsto dalla tabella 4.2.III delle NTC per profili tubolari:

$$\varepsilon = (235/f_{yk})^{0.5} = (235/275)^{0.5} = 0.924$$

$$(d/t) = 15.24 < 50 \varepsilon^2 = 42.73$$

Il profilo ricade in classe 1. Essendo l'opera di tipo provvisoria, le verifiche vengono comunque svolte adottando il modulo resistente elastico.

#### 12.4.1. Verifiche a flessione

*Azioni sollecitanti:*

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$M_{Ed} = 6.07 / 3.0 = 2.02 \text{ kNm}$$

*Azioni resistenti:*

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 149.5 \times 1000 \times 275 / 1.05 = 39.15 \times 10^6 \text{ Nmm} = 39.15 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

#### 12.4.2. Verifiche a taglio

*Azioni sollecitanti:*

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$V_{Ed} = 7.37 / 3.0 = 2.46 \text{ kN}$$

*Azioni resistenti:*

$$A_v = 2 A / \pi = 2845 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \times f_y / (3^{0.5} \times \gamma_{M0}) = 2845 \times 275 / (3^{0.5} \times 1.05) = 430195 \text{ N} = 430 \text{ kN} \gg V_{Ed}$$

### 13. PARATIA DI PALI

La paratia di pali è costituita da pali  $\phi 1000/110\text{cm}$  di lunghezza 20m con altezza media di scavo pari a 9.40m, e le cui fasi realizzative sono di seguito descritte.

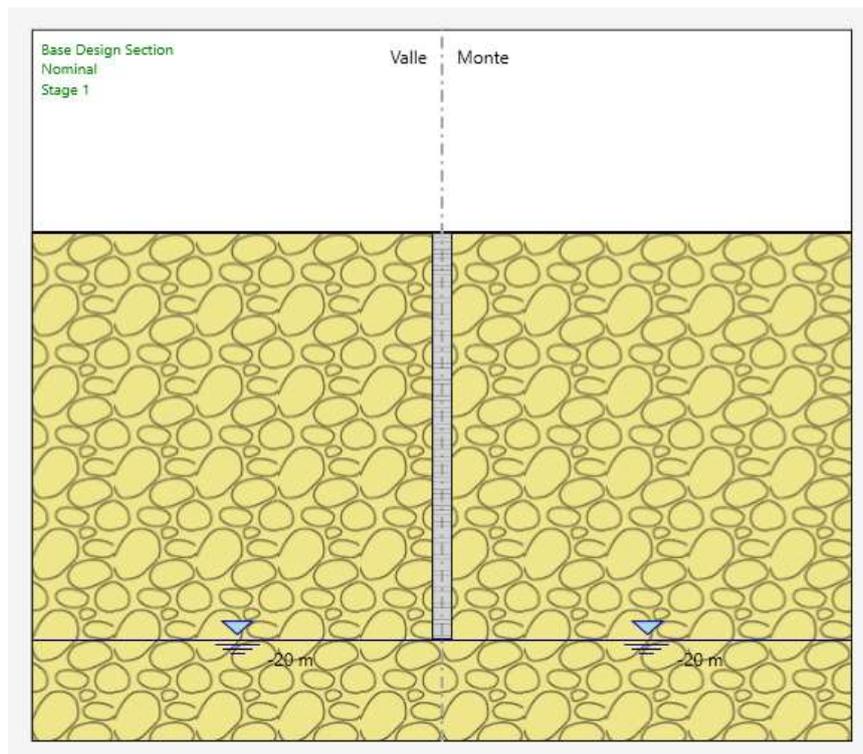
#### 13.1. Fasi di scavo

Si riportano di seguito le fasi di scavo dell'opera:

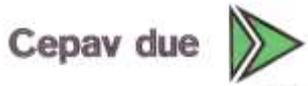
- **STAGE 0:** situazione iniziale
- **STAGE 1:** scavo di sbancamento e realizzazione pali (q.ta sommità +0.00m);
- **STAGE 2:** scavo a quota -9.40m.

Si riportano di seguito le immagine rappresentative di ciascun stage.

- **STAGE 1**



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

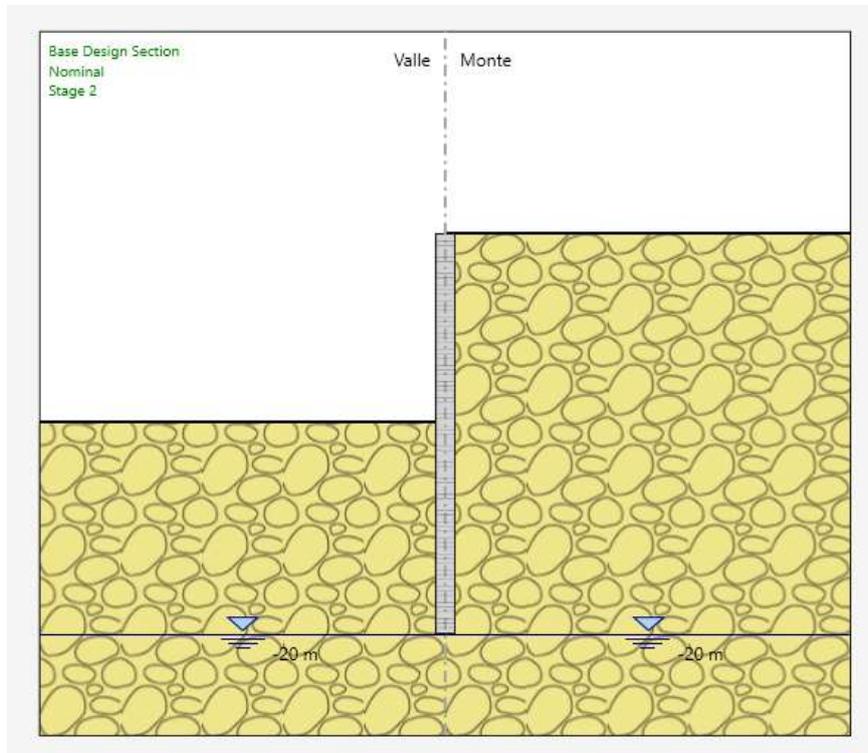
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

Rev.  
A

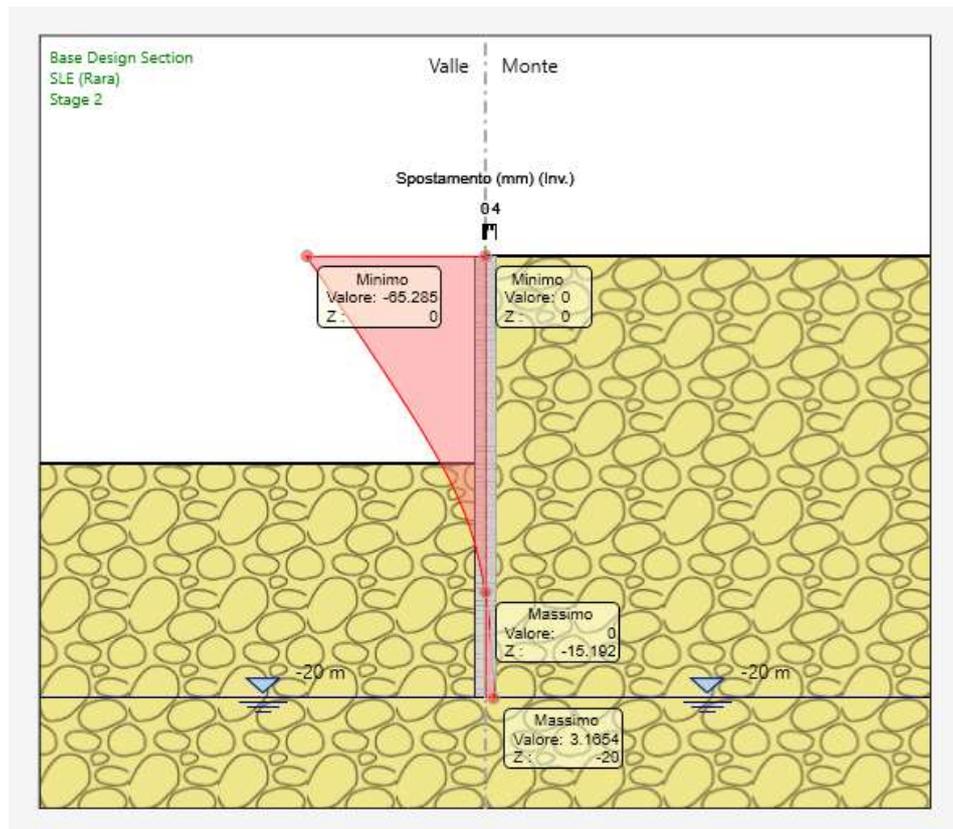
Foglio  
53 di 58

- **STAGE 2**

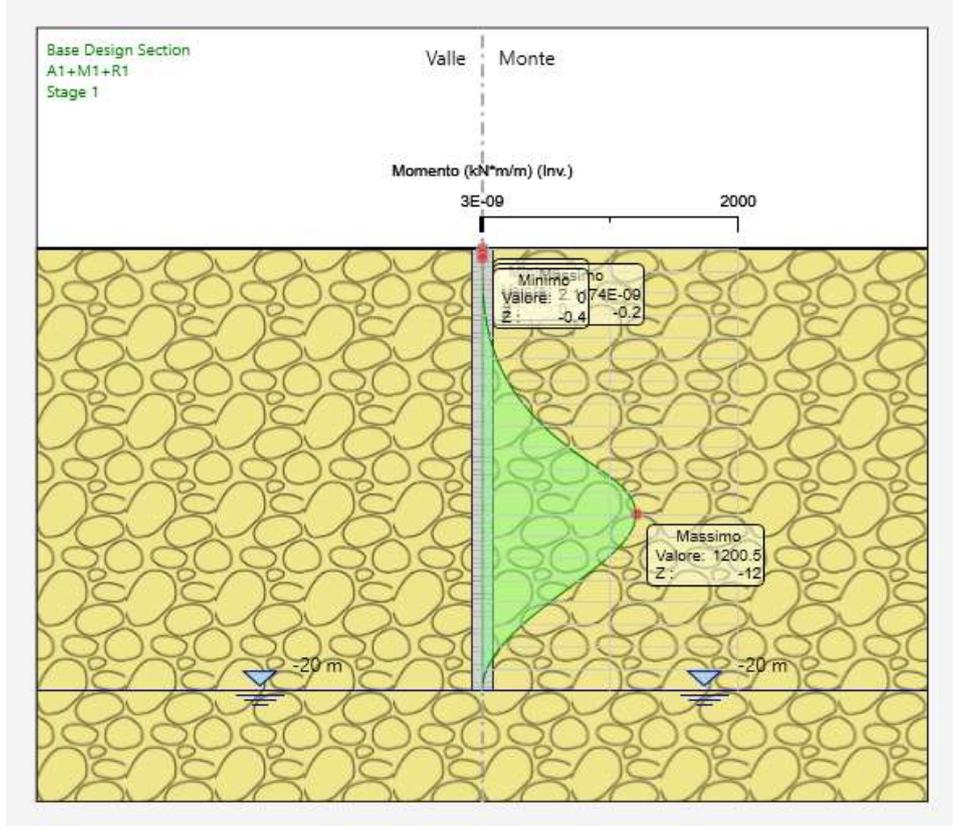


## 13.2. Diagrammi di output

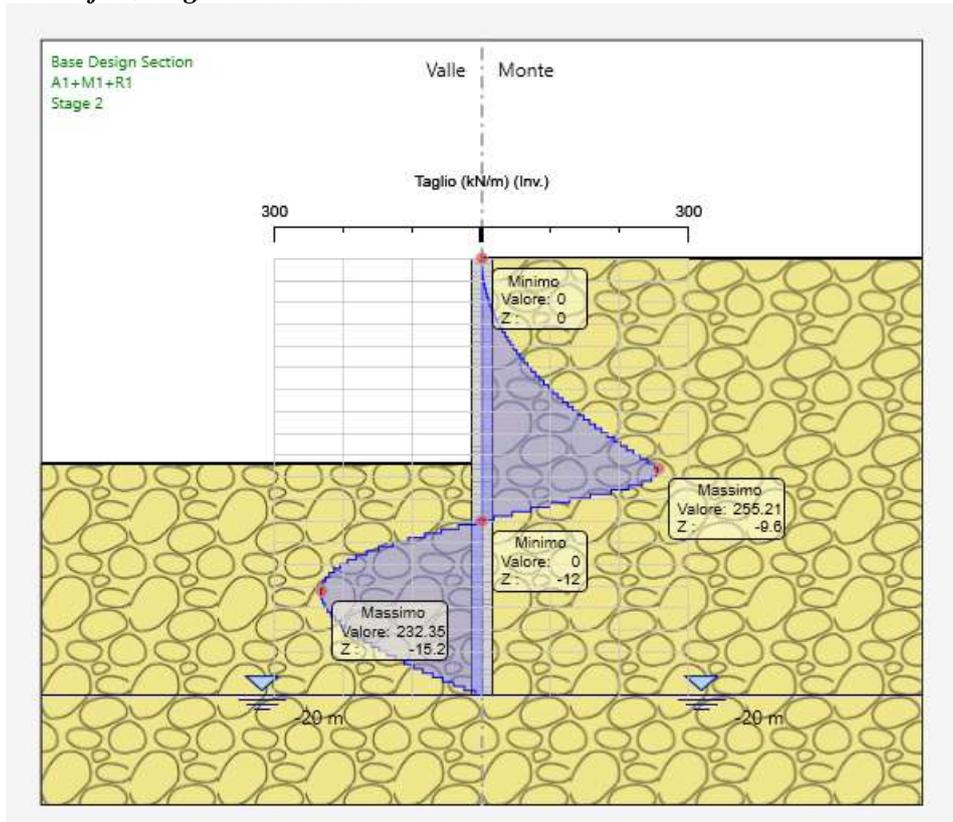
### 13.2.1. Diagrammi di spostamento in esercizio - SLE



**13.2.2. Diagramma momento flettente allo SLU-STR**



**13.2.3. Diagramma sforzo taglio allo SLU-STR**



### 13.3. Verifiche globali della paratia

Si riporta di seguito il valore minimo del fattore di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo a collasso per rotazione (stabilità al piede della paratia), espresso come rapporto tra la resistenza passiva disponibile sotto lo scavo e la reazione passiva del terreno mobilitata sotto lo scavo (GEO). I valori sono riferiti all'approccio A2+M2+R2 in quanto risulta il più sfavorevole.

FS Rotazione = 2.94

### 13.4. Verifiche di resistenza ultima pali

Caratteristiche geometriche della sezione:

Diametro palo	100	cm
Armatura verticale, $A_a$ ( $cm^2$ ) (1°strato)	18 $\phi$ 26 =	95.57 $cm^2$
Copriferro (cm)	5.2 + $\phi$ /2 =	6.5 cm
Armatura elicoidale, $A_a$ ( $cm^2$ )	1 $\phi$ 12/20" =	1.13 $cm^2$
Copriferro	4.0 + $\phi$ /2 =	4.6 cm

Le verifiche sono svolte trascurando, a favore di sicurezza, le azioni normali di compressione.

#### 13.4.1. Verifiche a flessione

Azioni sollecitanti:

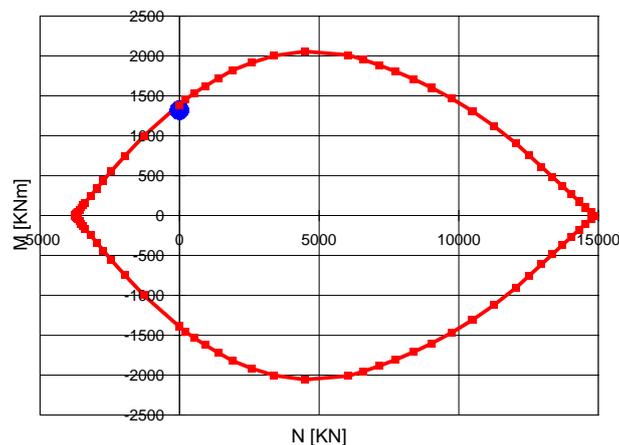
Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$M_{Ed} = 1200.50 \times 1.1 = 1320.55$  kNm

$N_{Ed} = 0.00$  kN

Azioni resistenti:

$M_{Rd} = 1394.00$  kNm



### 13.4.2. Verifiche a taglio

Azioni sollecitanti:

Load Case: A1+M1+R1 (STR)

$$V_{Ed} = 255.21 \times 1.1 = 280.73 \text{ kN}$$

La verifica a taglio della sezione circolare viene svolta considerando una sezione rettangolare equivalente di dimensioni:

$$b = 0.9 \times D = 0.9 \times 1000 = 900 \text{ mm}$$

$$h = 0.45 \times D + 0.64 \times (d - D/2) = 0.45 \times 1000 + 0.64 \times (1000 - 65 - 500) = 728 \text{ mm}$$

GEOMETRIA SEZIONE C.A.				
Base	b	900 mm		
Altezza	h	728 mm		
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]
strato1		4	26	65
strato2		0	0	0
strato3		0	0	0
strato4		0	0	0
strato5		0	0	0
Area barre tese	A <sub>s</sub>	2124 mm <sup>2</sup>		
Posizione della barra equivalente	c*	65 mm		

SOLLECITAZIONI		
Load Case		
Frame		
Azione assiale (+ di compressione)	N <sub>Ed</sub>	0 kN
Taglio	V <sub>Ed</sub>	280,73 kN

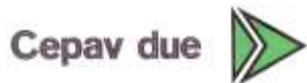
VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	663 mm
Coefficiente	k	1,55
Rapporto di armatura longitudinale	ρ <sub>l</sub>	0,36%
Tensione assiale media	σ <sub>cp</sub>	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	0.2 x f <sub>cd</sub>	2,82 N/mm <sup>2</sup>
	v <sub>min</sub>	0,34 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza al taglio minima	V <sub>rd,min</sub>	200,96 kN
<b>Resistenza al taglio senza armatura</b>	<b>V<sub>rd</sub></b>	<b>229,56 kN</b>
Verifica		<b>1,22 E' necessario prevedere armatura a taglio</b>

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	φ	12 mm
Numero braccia	n	2
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	40 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ <sub>min</sub>	21,80 °

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE CON ARMATURA A TAGLIO		
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v <sub>1</sub>	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f <sub>cd</sub>	14,11 N/mm <sup>2</sup>
Area armatura a taglio	A <sub>st</sub>	226,19 mm <sup>2</sup>
	σ <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub>	0
Coefficiente di interazione	α <sub>cw</sub>	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V <sub>rd,s</sub>	314,71 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V <sub>rd,c</sub>	1865,59 kN
<b>Resistenza al taglio</b>	<b>V<sub>rd</sub></b>	<b>314,71 kN</b>
Verifica		<b>0,89 Verifica soddisfatta</b>

E' necessario prevedere armatura a taglio costituita da una spirale ø12/20 cm.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL GA22 01 001

Rev.  
A

Foglio  
58 di 58

## 14. RIFERIMENTI

### 14.1. Documenti referenziati

Rif. [1] Cepav due, documento n° INOR 11 E E2 RB GA22 00 001, intitolato “RELAZIONE GEOTECNICA GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B. P. DA PK 1+628.179 A PK 1+946.927”.

Rif. [2] Cepav due, documento n° INOR 11 E E2 CL GA22 01 002, intitolato “GA22 – GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B. P. DA PK 1+628.179 A PK 1+946.927 – ALLEGATO ALLA RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI – TABULATI DI CALCOLO”.

### 14.2. Documenti correlati

Non sono presenti documenti correlati.

### 14.3. Documenti superati

Non sono presenti documenti superati.