

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. OPERE GEOTECNICHE

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA**  
**NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA**  
**LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA**  
**LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA**

GALLERIE ARTIFICIALI

Elaborati generali

Relazione di predimensionamento delle gallerie artificiali

SCALA:

-

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

RC2A C1 R 11 CL GA0000 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	E.Sellari 	Dic-2021	L. Gianni-G. Spasserra 	Dic-2021	I. D'Amore 	Dic-2021	L. Berardi Lug-2023
B	Emissione esecutiva	E.Sellari 	Gen-2022	L. Gianni-G. Spasserra 	Gen-2022	I. D'Amore 	Gen-2022	
C	Emissione esecutiva	E.Sellari 	Lug-2023	L. Gianni-G. Spasserra 	Lug-2023	I. D'Amore 	Lug-2023	

File: RC2A.C.1.R.11.CL.GA.00.0.0.001.C

n. Elab.:

## INDICE

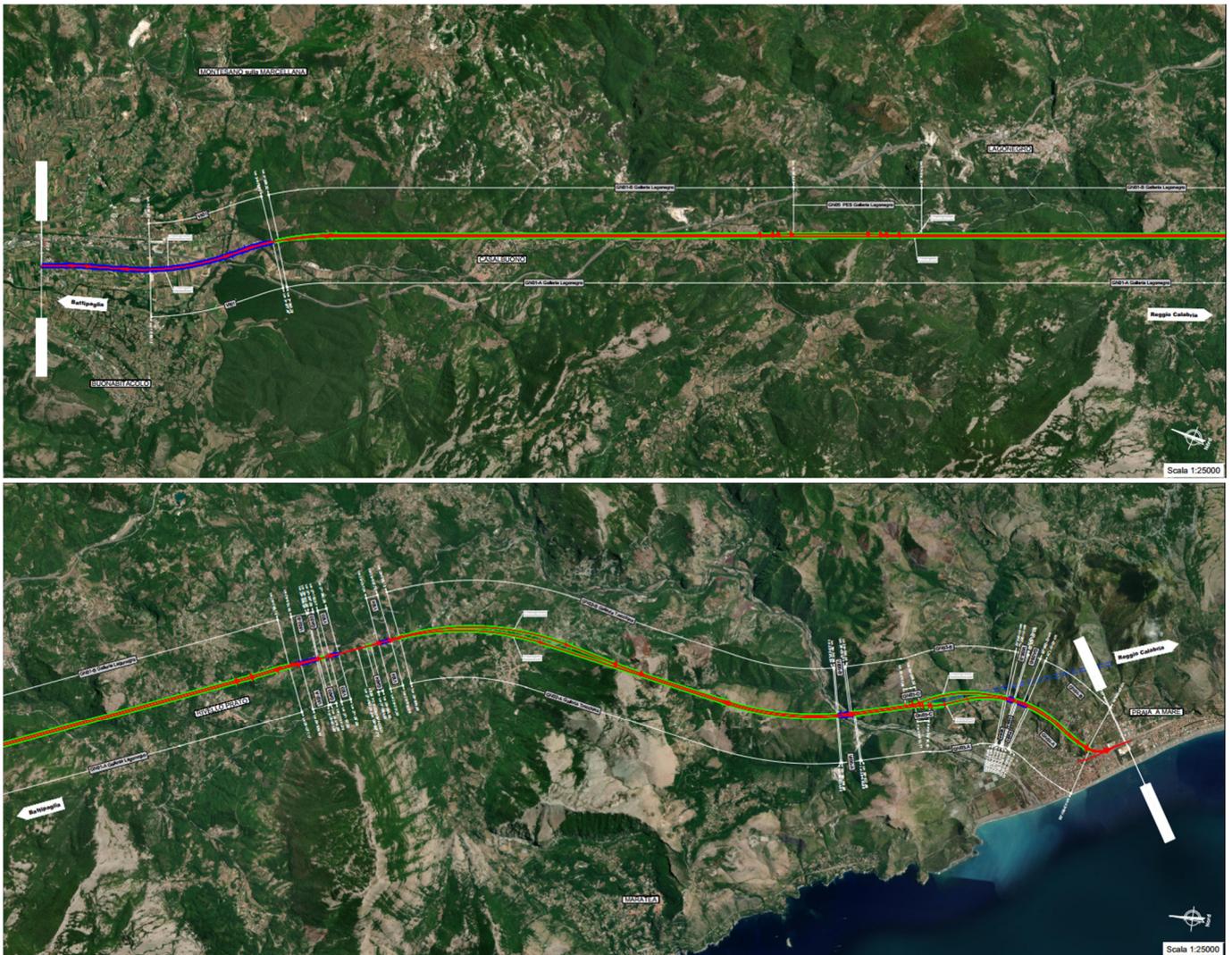
1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	5
5	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	7
6	SOFTWARE UTILIZZATI.....	9
6.1	PARAMETRI DI SPINTA DEL TERRENO.....	9
6.2	PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ DEL TERRENO .....	10
7	ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO GA03 – DA PK 26+916 A PK 27+041.....	11
7.1	MODELLO GEOTECNICO.....	11
7.2	ANALISI DEI CARICHI.....	12
7.2.1	<i>Peso proprio</i> .....	12
7.2.2	<i>Spinta del terreno</i> .....	12
7.2.3	<i>Carichi permanenti</i> .....	12
7.2.4	<i>Azione sismica</i> .....	12
7.3	FASI DI CALCOLO.....	13
7.4	RISULTATI DELLE ANALISI.....	18
7.4.1	<i>Spinte GEO</i> .....	18
7.4.2	<i>Spostamenti orizzontali SLE</i> .....	19
7.4.3	<i>Involuppo sollecitazioni SLU</i> .....	20
8	ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO TRINCEA CON MURO AD U E PARATIA DI PALI.....	23
8.1	MODELLO GEOTECNICO.....	23
8.2	ANALISI DEI CARICHI.....	24
8.2.1	<i>Peso proprio</i> .....	24

8.2.2	<i>Spinta del terreno</i> .....	24
8.2.3	<i>Carichi variabili</i> .....	24
8.2.4	<i>Azione sismica</i> .....	24
8.3	FASI DI CALCOLO .....	26
8.3.1	<i>Risultati delle analisi</i> .....	29
9	CONCLUSIONI .....	33

## 1 PREMESSA

La presente progettazione di fattibilità tecnica ed economica ha ad oggetto il **lotto 1c Buonabitacolo – Praia** della nuova Linea AV Salerno – Reggio Calabria.

In particolare, l’oggetto della presente relazione è il predimensionamento di alcune gallerie artificiali.



**Figura 1 Lotto 1c Buonabitacolo – Praia. Corografia dell'intervento**

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 1) L. n. 64 del 2/2/1974: Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- 2) L. n. 1086 del 5/11/197: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- 3) D.M. 17.01.2018: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- 4) Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7: Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018;
- 5) EN 1992-1-1-1:2004: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules of building;
- 6) RFI DTC SI PS MA IFS 001: Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture (2021);
- 7) RFI DTC SI CS MA IFS 001: Manuale di progettazione delle opere civili- Parte II - Sezione 3 corpo stradale (2021);
- 8) RFI DTC SI SP IFS 001: Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili (2021);
- 9) EC08: Eurocodice 8;
- 10) EC07: Eurocodice 7;
- 11) Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) 2019/776 della Commissione Europea del 16 maggio 2019: Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea;
- 12) UNI EN 206-1:2006: Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità;
- 13) UNI 11104: Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1.

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Relazione geotecnica opere all'aperto (RC2A.C.1.R.11.GE.GE.00.0.6.001)
- Planoprofilo geotecnico - Tav. 2 di 4 (RC2A.C.1.R.11.L5.GE.00.0.6.002)
- Planoprofilo geotecnico - Tav. 4 di 4 (RC2A.C.1.R.11.L5.GE.00.0.6.004)
- Relazione tecnico-descrittiva delle gallerie artificiali (RC2A.C.1.R.11.RH.GA.00.0.0.001)
- GA03 - Pianta, prospetto e sezione (RC2A.C.1.R.11.PZ.GA.03.0.0.001)
- GA03 - Planimetria di inquadramento galleria artificiale (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.03.0.0.002)
- GA03 - Tavola delle fasi (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.03.0.0.003)
- GA04 - Pianta, prospetto e sezione (RC2A.C.1.R.11.PZ.GA.04.0.0.001)
- GA04 - Planimetria di inquadramento galleria artificiale (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.04.0.0.002)
- GA04 - Tavola delle fasi (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.04.0.0.003)
- GA09 - BP - Pianta, prospetto e sezione (RC2A.C.1.R.11.PZ.GA.09.0.0.001)
- GA09 - BP - Planimetria di inquadramento galleria artificiale (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.09.0.0.002)

### 4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Oggetto di questa relazione sono le 2 gallerie artificiali denominate GA03 e GA04 che verranno realizzate con il metodo Milano:

- prescavo con pendenza 2:3 o sostenuto da opere di sostegno provvisorie (paratie di micropali pluritirantate)
- realizzazione dei pali  $\phi 1200$  di lunghezza 20.00 m ad interasse 1.30 m e della soletta di copertura;
- scavo fino a quota intradosso soletta di base;
- realizzazione della soletta di base (spessore 1.50 m);
- realizzazione delle pareti del muro ad U di rivestimento (spessore 1.00 m per GA03 e 0.60 m per GA04);
- ricoprimento della soletta superiore (altezza massima 7.00 m).

Nel caso della galleria GA03, poiché la larghezza interna varia da 14.50 m a 18.20 m, è stato ritenuto opportuno impiegare soletta di copertura di altezza H 2.90 m costituite da alleggerimenti intervallati da travi IPE 290.

E' stata dimensionata solo la GA03 che presenta le condizioni più gravose, perciò i risultati ottenuti dall'analisi di questa galleria sono validi anche per la GA04.

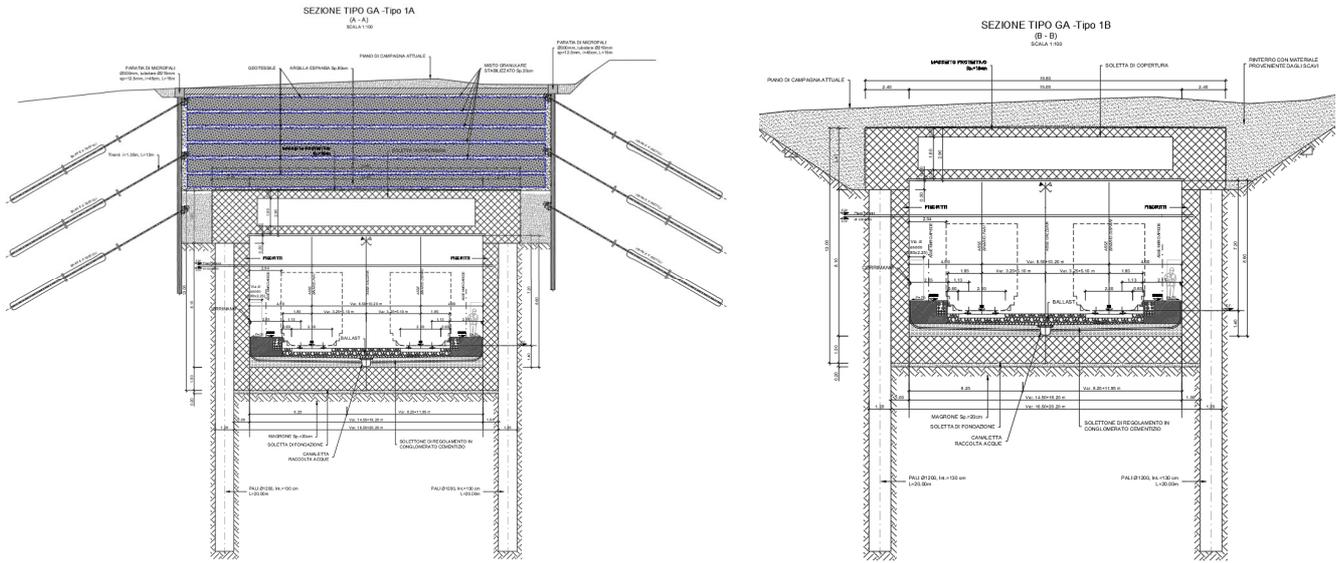


Figura 4-1 GA03

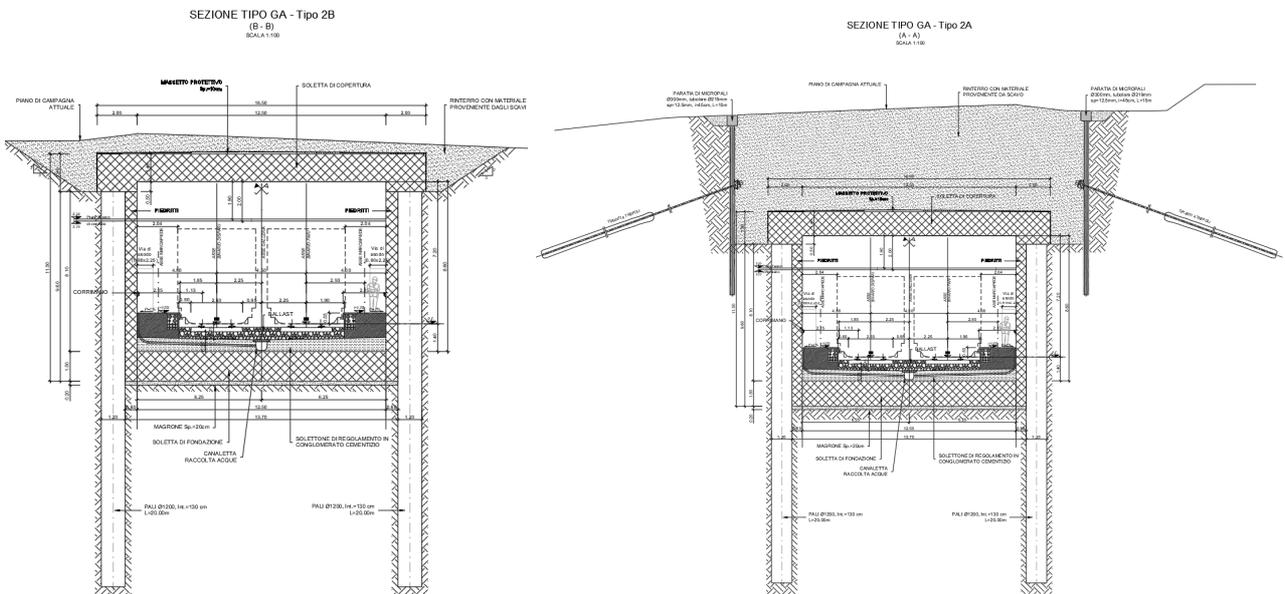


Figura 4-2 GA04

## 5 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Le analisi di verifica delle gallerie artificiali sono state effettuate secondo le NTC 2018 tenendo conto di possibili SLU di tipo geotecnico e di tipo strutturale. Nello specifico sono state effettuate le verifiche dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico;
- SLU di tipo strutturale (STR).

Le verifiche per il dimensionamento strutturale vanno effettuate con la combinazione 1 (A1+M1+R1) che prevede coefficienti unitari sui parametri del terreno e sulle resistenze globali del sistema, mentre vengono amplificate le azioni permanenti e variabili con i coefficienti del gruppo A1.

Le verifiche relative al dimensionamento geotecnico vanno effettuate con la combinazione 2 (A2+M2+R1) che prevede l'amplificazione delle azioni variabili e permanenti e la riduzione dei parametri di resistenza a taglio, mentre risultano unitari i coefficienti  $\gamma_R$  sulla resistenza globale del terreno.

Nelle successive tabelle sono riportati i coefficienti parziali previsti dalle norme per le combinazioni di carico e per i parametri geotecnici.

**Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		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 di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_f$	1,0	1,0

## 6 SOFTWARE UTILIZZATI

Al fine di rappresentare il comportamento delle gallerie artificiali durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o inserimento degli elementi di contrasto) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Allo scopo si impiega il programma di calcolo "PARATIEPLUS" della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

I parametri che caratterizzano il modello dunque possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno che compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

### 6.1 Parametri di spinta del terreno

I parametri di spinta sono:

pressione a riposo:  $P'_0 = K_0 \cdot \sigma'_v$

con:  $K_0 =$  coefficiente di spinta a riposo

$\sigma'_v =$  tensione verticale efficace

pressione attiva:  $P'_A = K_A \cdot \sigma'_v - c' \cdot K_{AC}$

con:  $K_A =$  coefficiente di spinta attiva, funzione di  $\varphi'$  e  $\delta_A$

$K_{AC} = 2 \cdot (K_A)^{0.5}$

$\delta_A =$  angolo di attrito terreno-paratia

pressione passiva:  $P'_P = K_P \cdot \sigma'_v + c' \cdot K_{PC}$

con:  $K_P =$  coefficiente di spinta passiva, funzione di  $\varphi'$  e  $\delta_P$

$K_{PC} = 2 \cdot (K_P)^{0.5}$

$\delta_p$  = attrito terreno-paratia;

Il coefficiente di spinta a riposo è stato calcolato con la relazione di Mayne & Kulhavy, mentre i coefficienti di spinta attiva e passiva sono stati calcolati con la relazione di Lancellotta (2002) considerando un valore dell'angolo di attrito parete-terreno pari a  $1/3$  di  $\varphi'$ .

## 6.2 Parametri di deformabilità del terreno

Per la definizione del modulo di Young si utilizza il modello elasto-plastico inserendo il valore di E manualmente. Il programma provvede automaticamente a calcolare le costanti di sottofondo per ogni fase di scavo come:

$$K_{monte} = \frac{E_m \cdot \Delta}{B_m} \quad e \quad K_{valle} = \frac{E_v \cdot \Delta}{B_v}$$

Dove  $\Delta$  è il valore fornito dalla schematizzazione agli elementi finiti e  $B_m$  e  $B_v$  sono rispettivamente le estensioni laterali del cuneo di spinta attiva e passiva del terreno alla quota del baricentro del cuneo stesso, per ogni fase di scavo:

$$B_m = \frac{2}{3} \cdot A \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right)$$

$$B_v = \frac{2}{3} \cdot (A - H) \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

Con:

$$A = \min(2H_{scavo}; H_{paratia})$$

Il valore del modulo in fase incrudente si assume pari a due volte il modulo di primo carico:

$$E_{ur} = 2 \cdot E_{vc}$$

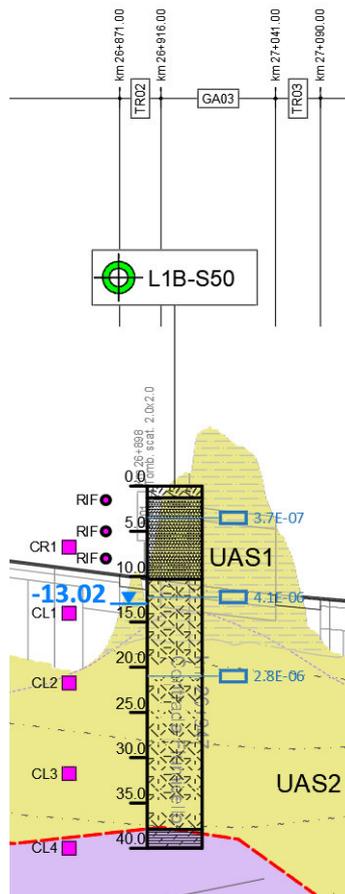
## 7 ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO GA03 – DA PK 26+916 A PK 27+041

### 7.1 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica (RC2A.C.1.R.11.GE.GE.00.0.6.001) e nel Profilo Geotecnico (RC2A.C.1.R.11.L5.GE.00.0.6.002), allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo e uno stralcio del profilo geotecnico in corrispondenza della GA03.

Unità Geotecnica	da	a	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	E
	(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(°)	(kPa)	(MPa)
UAS1	0	-24.5	19.0	22	15	30
UAS2	-24.5	-	24.5	22	80	150

Il livello di falda si trova a -21.5 m da p.c.



**Figura 7-1 Stralcio profilo geotecnico**

## 7.2 Analisi dei carichi

### 7.2.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ , acciaio  $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$ .

### 7.2.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati dal programma in accordo con quanto riportato nel paragrafo 6.1.

### 7.2.3 Carichi permanenti

La fase di ricoprimento della galleria è stata modellata tramite l'applicazione di carichi permanenti. Il rinterro viene realizzato con un rilevato alleggerito per il quale si assume un peso specifico pari a  $10 \text{ kN/m}^3$ ; alla soletta di copertura è stato applicato pertanto un carico permanente uniformemente distribuito pari a:  $10 \cdot 7.0 = 70 \text{ kN/m}^2$ , dove 7m è la differenza tra lo scavo di 10.40 m e lo spessore del cordolo di 3.40 m.

### 7.2.4 Azione sismica

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k.

La forza sismica è pertanto la seguente:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h \cdot W$

Ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo le NTC2018 si è assegnata all'opera una vita nominale  $V_N=100$  anni ed una classe d'uso IV ( $C_U=2.0$ ), che danno luogo ad un periodo di riferimento  $V_R=V_N \cdot C_U=200$  anni.

A seguito di tale assunzione si ha allo stato limite ultimo SLV, in funzione del sito in esame ( $40^\circ 03' 08.0'' \text{N}$   $15^\circ 46' 40.8'' \text{E}$ ), un valore dell'accelerazione pari a  $a_g=0.391 \text{ g}$ .

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

$S_S=1.02$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica (categoria di sottosuolo B)

$S_T=1.20$  Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{\max}=1,02 \cdot 1,2 \cdot 0,391 \text{ g} = 0,477 \text{ g}$$

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} / \text{g} = 0,477$$

dove:

$\alpha = 1$ , coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera;

$\beta = 1$ , coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti.

La spinta sismica del terreno è stata determinata con la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinata con la seguente espressione:

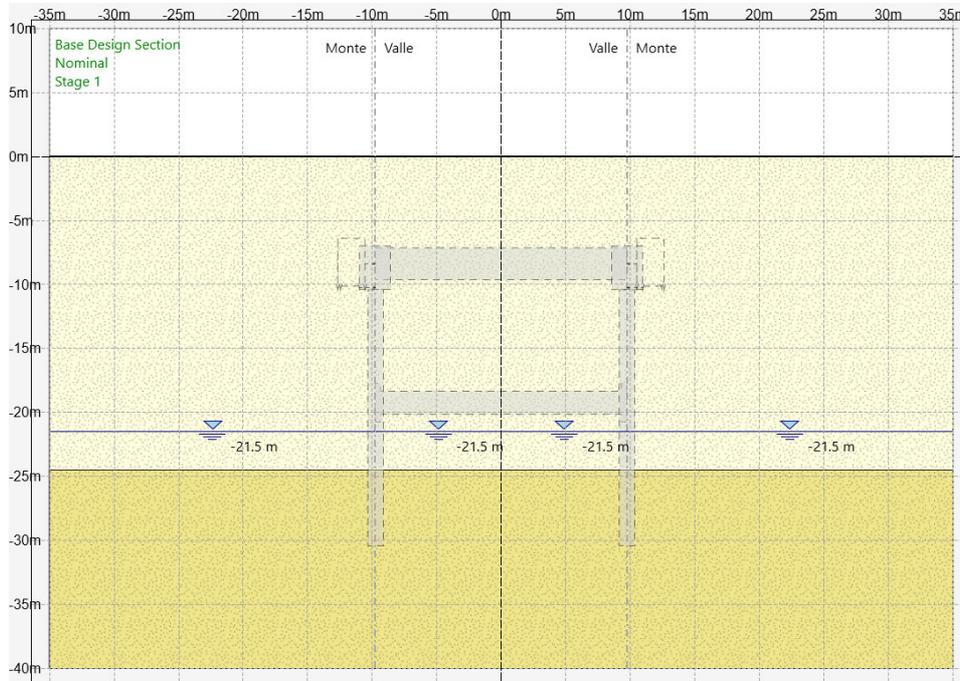
$$\Delta S_E = k_h \cdot \gamma \cdot H^2$$

Tale risultante è applicata ad un'altezza pari ad H/2, dove nel caso in esame H è la distanza tra l'estradosso del cordolo e il fondo scavo.

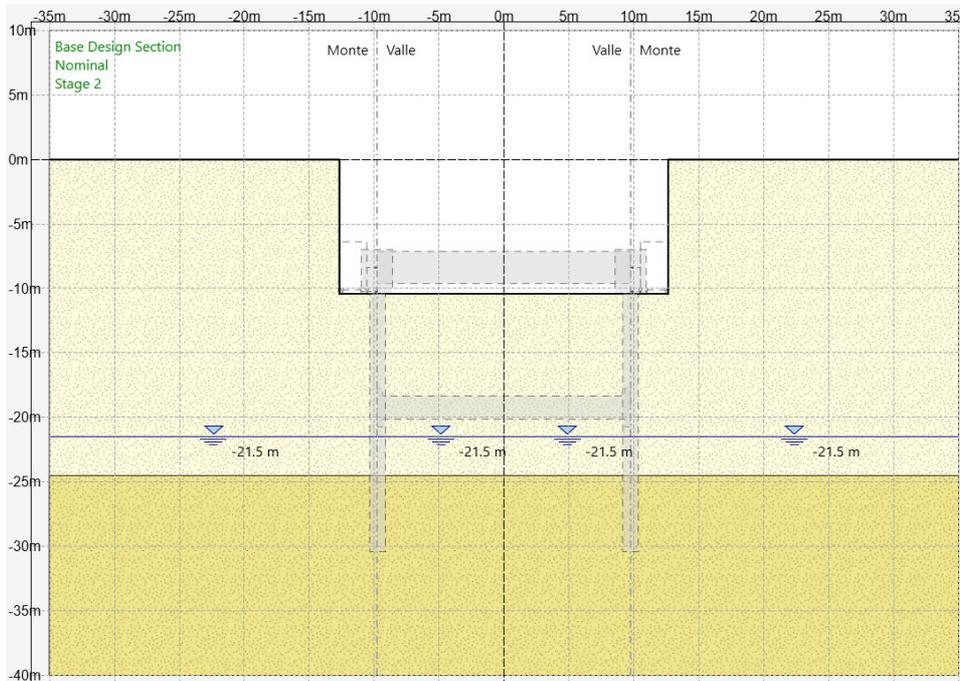
### 7.3 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 7 fasi di calcolo:

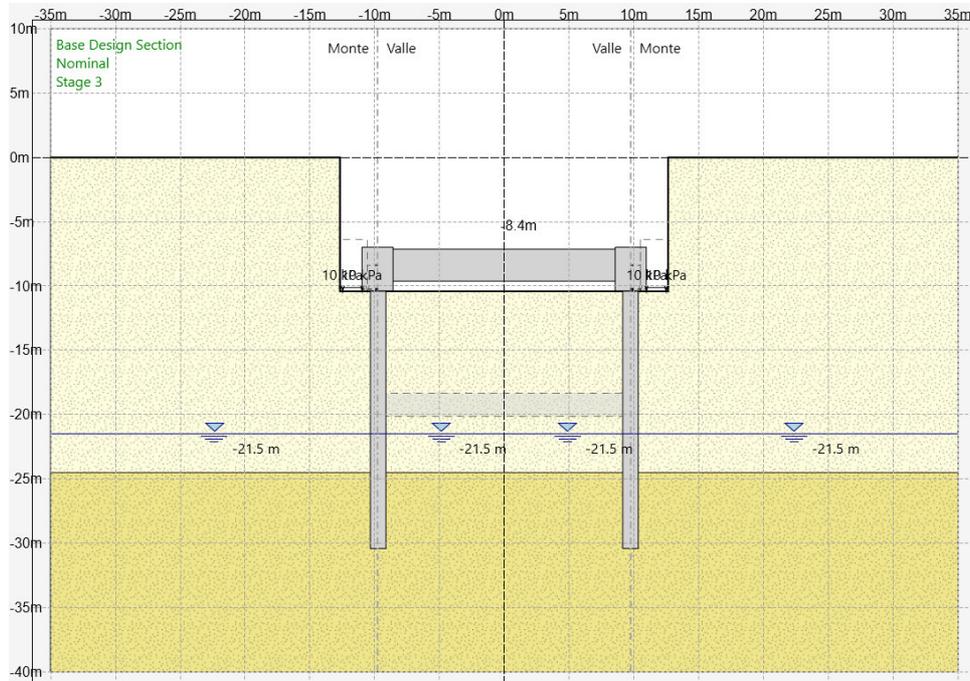
1. Condizione ante operam Figura 7-2;
2. Prescavo di 10.4 m sostenuto da paratie di micropali tirantate. La presenza dell'opera provvisoria viene tenuta in conto a vantaggio di sicurezza mantenendo il terreno verticale;
3. Esecuzione diaframmi e soletta superiore, inserimento carico di cantiere ( $q=10 \text{ kN/m}^2$ ) - Figura 7-4;
4. Scavo di calcolo (scavo di progetto di 9.80 m da testa pali (20.20 m da p.c.) + extrascavo di 0.50 m ai sensi del §6.5.2.2 delle NTC2018, per un totale di 10.30 m da testa pali (20.70 m da p.c.)) - Figura 7-5;
5. Realizzazione soletta di fondazione - Figura 7-6;
6. Ricoprimento della GA - Figura 7-7;
7. Azione sismica - Figura 7-8.



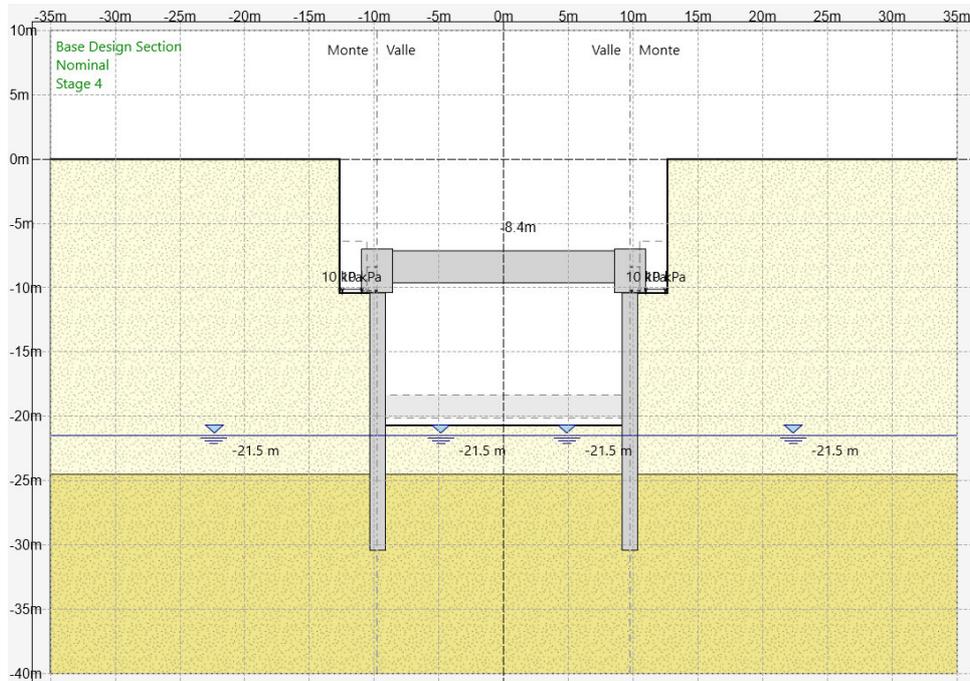
**Figura 7-2 Fase 1**



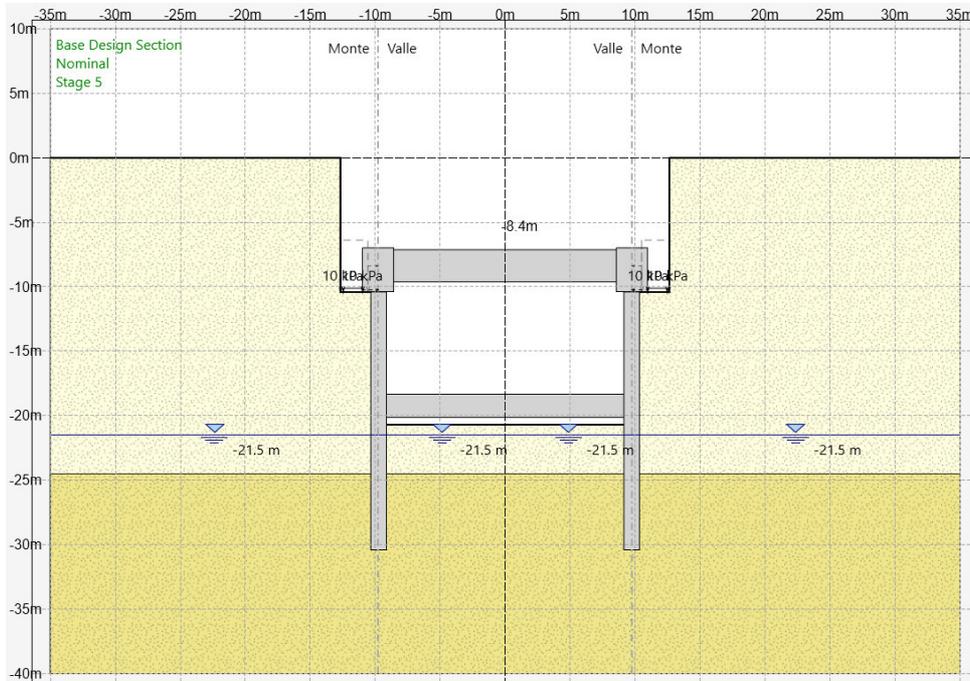
**Figura 7-3 Fase 2**



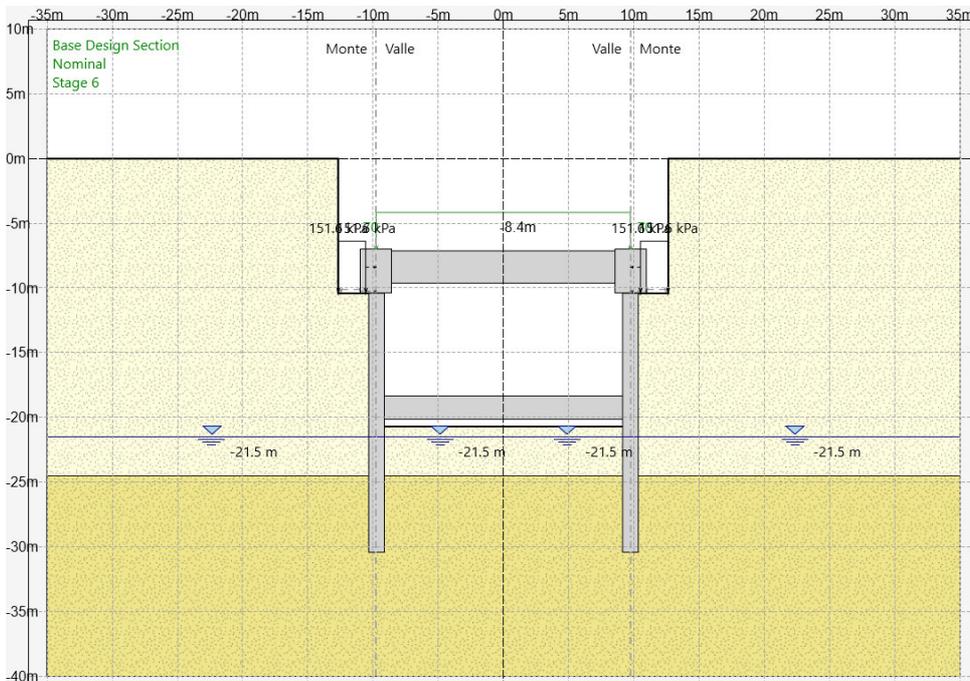
**Figura 7-4 Fase 3**



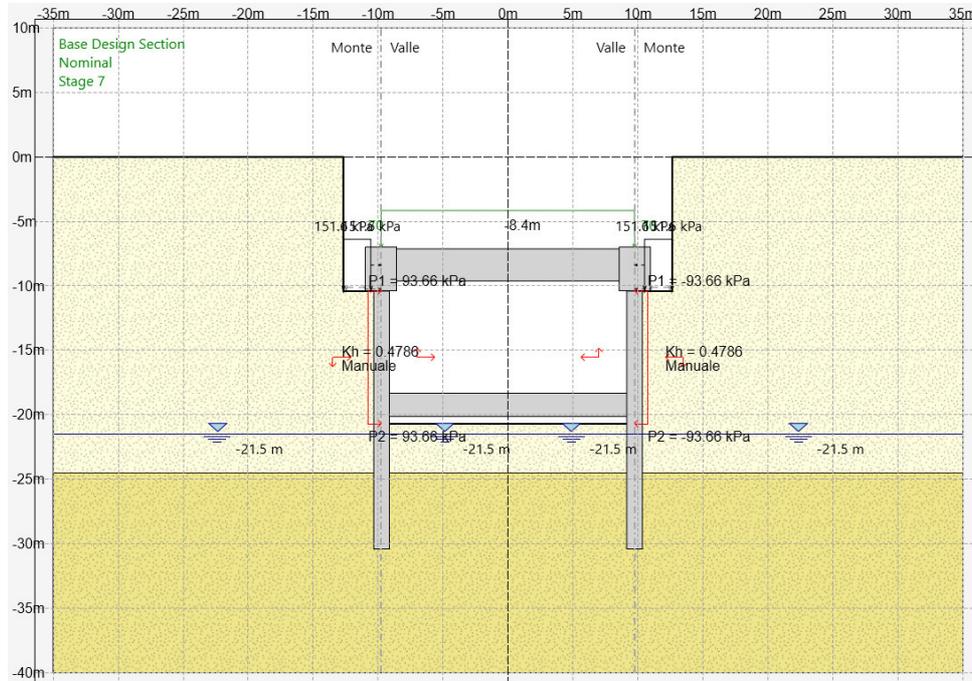
**Figura 7-5 Fase 4**



**Figura 7-6 Fase 5**



**Figura 7-7 Fase 6**

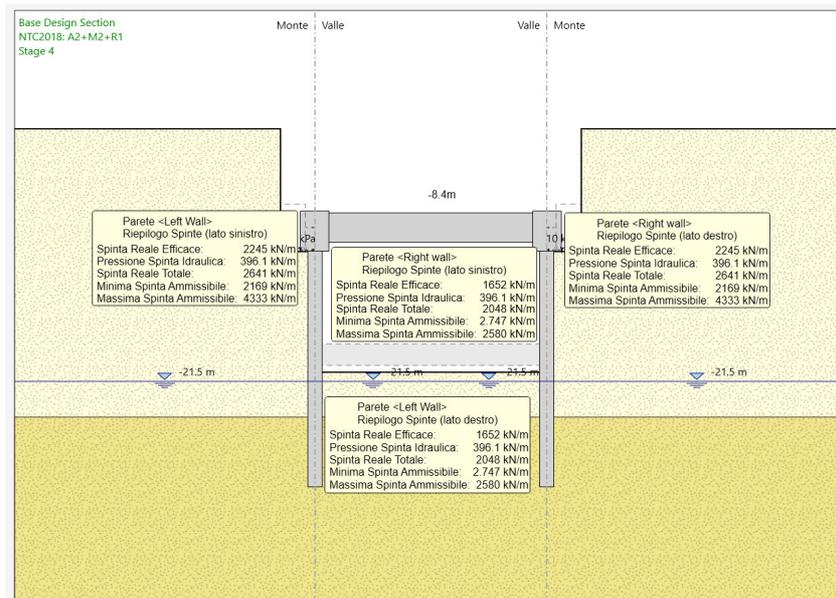


**Figura 7-8 Fase 7**

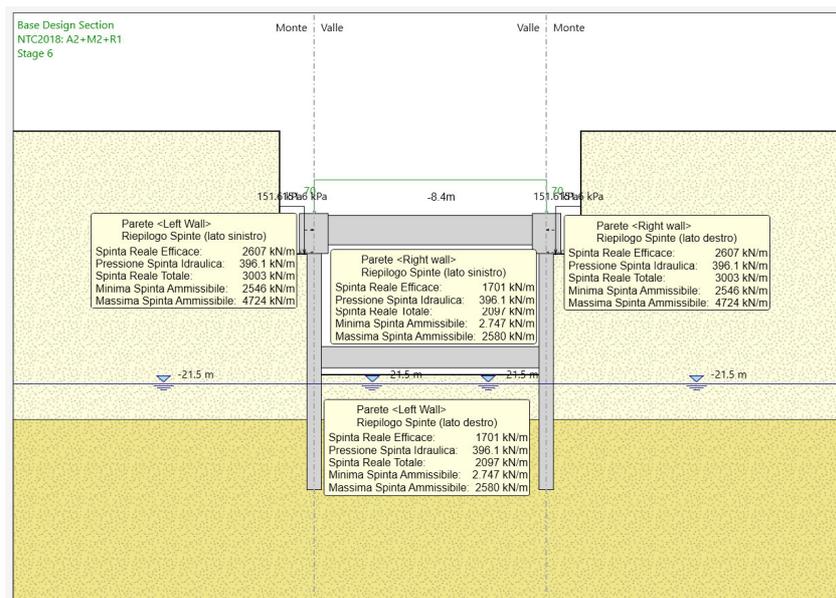
## 7.4 Risultati delle analisi

### 7.4.1 Spinte GEO

Di seguito si riportano le spinte sull'opera nelle fasi più significative.



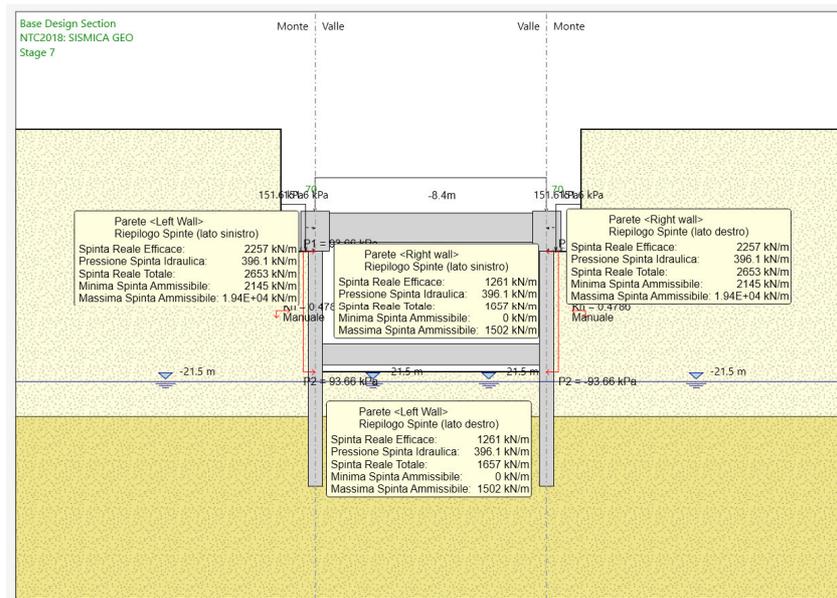
**Figura 7-9 Riepilogo spinte GEO – Fase 4**



**Figura 7-10 Riepilogo spinte GEO – Fase 6**

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.61 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 3)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.66 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 7)



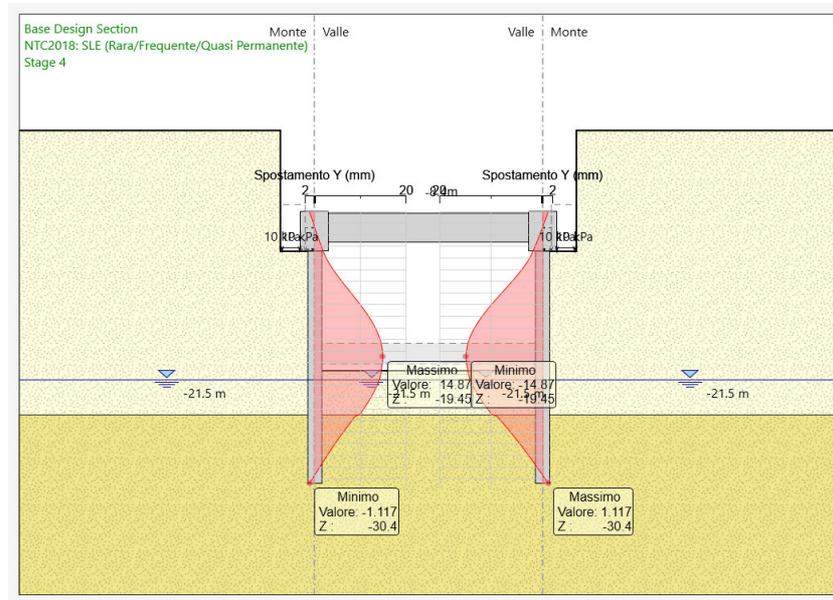
**Figura 7-11 Riepilogo spinte SISMICA GEO – Fase 7**

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.26 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 3)

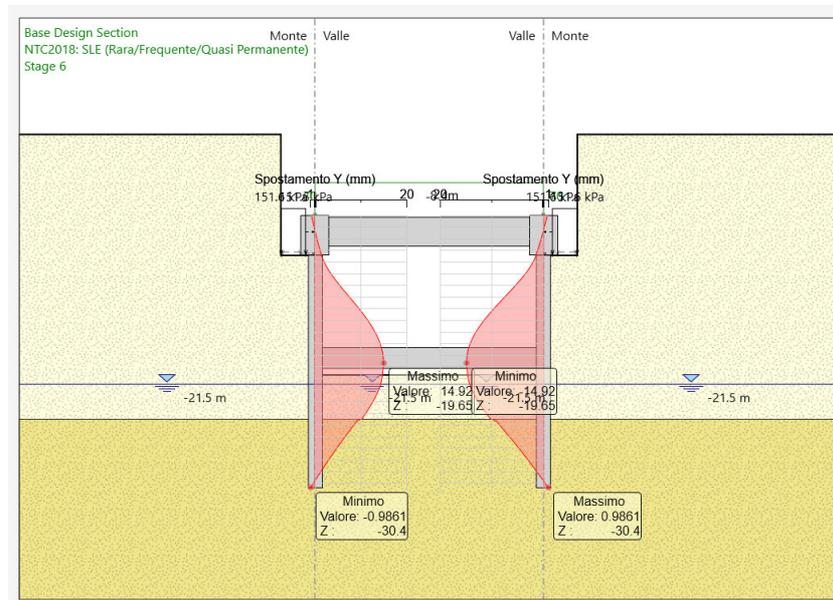
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.84 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 7)

#### 7.4.2 Spostamenti orizzontali SLE

Di seguito si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera nelle fasi più significative. Ne risulta che il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a 1.50 cm ottenuto nella fase 6.



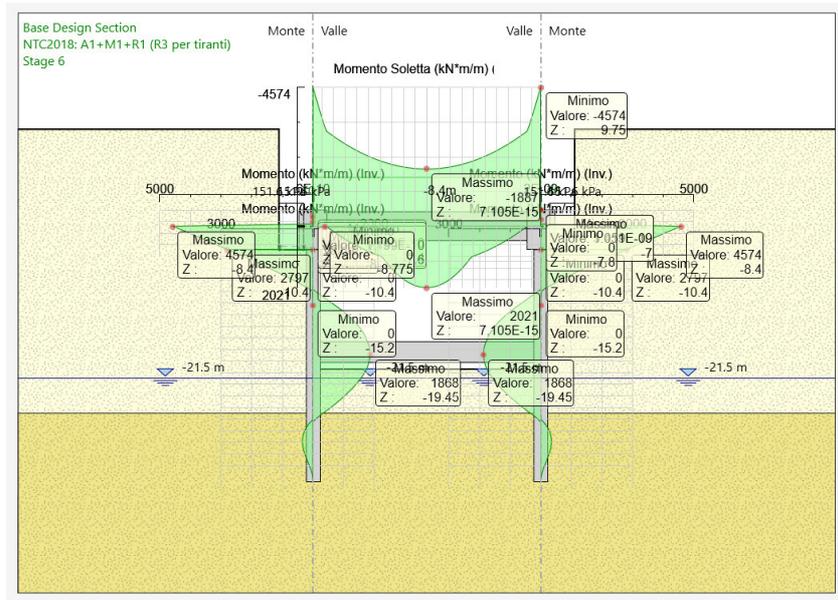
**Figura 7-12 Spostamenti orizzontali SLE – Fase 4**



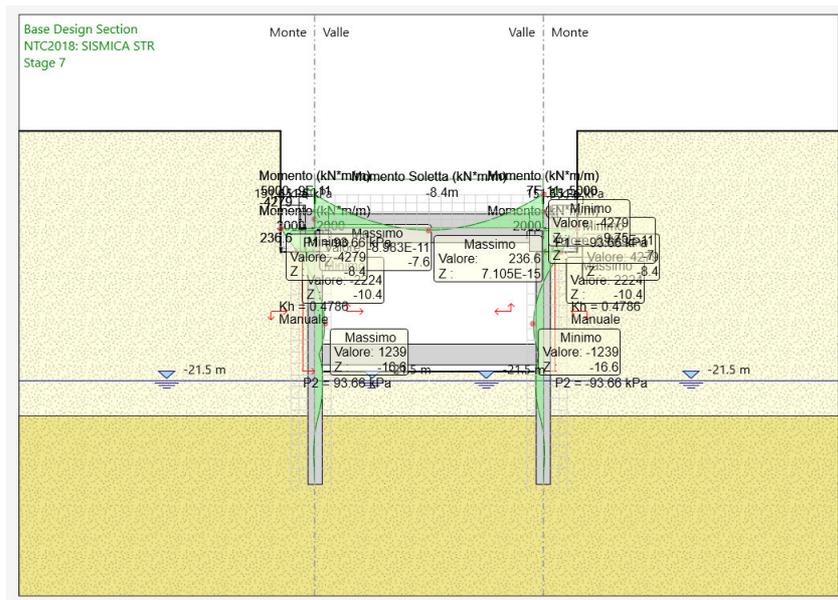
**Figura 7-13 Spostamenti orizzontali SLE – Fase 6**

### 7.4.3 Involuppo sollecitazioni SLU

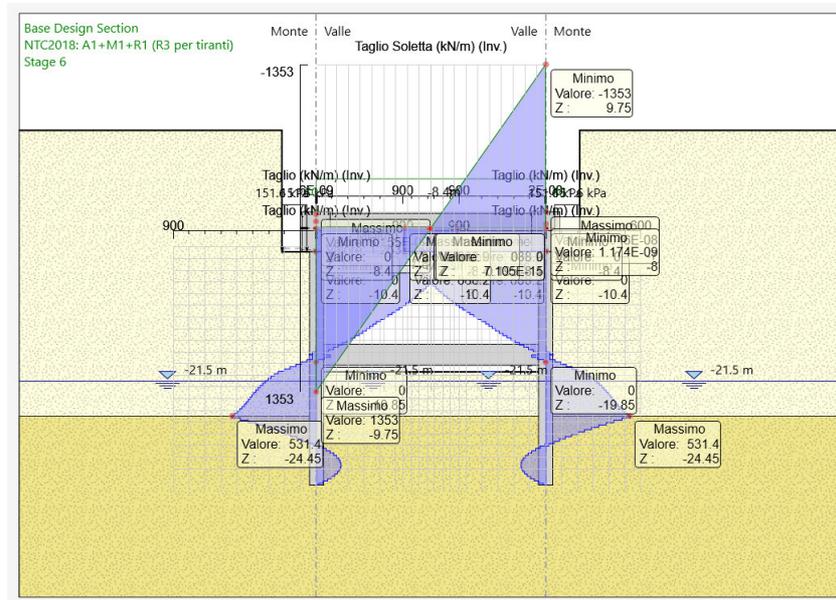
Di seguito si riportano le sollecitazioni statiche e sismiche (momento flettente e taglio) agenti sull'opera. Ne risulta che il massimo momento flettente è pari a 4574 kNm/m ottenuto nella fase 6 (combinazione A1+M1+R1). Il massimo taglio è pari a 1353 kN/m ottenuto nella fase 6 (combinazione A1+M1+R1).



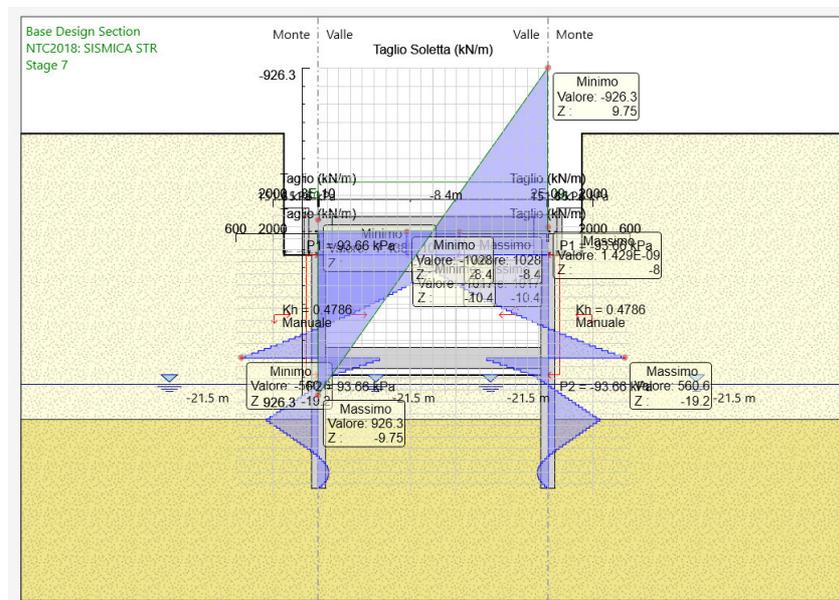
**Figura 7-14 Momento flettente: involucro A1+M1+R1**



**Figura 7-15 Momento flettente: condizione sismica**



**Figura 7-16 Taglio: involuppo A1+M1+R1**



**Figura 7-17 Taglio: condizione sismica**

Le sollecitazioni sono compatibili con la resistenza tipica delle sezioni adottate nel calcolo.

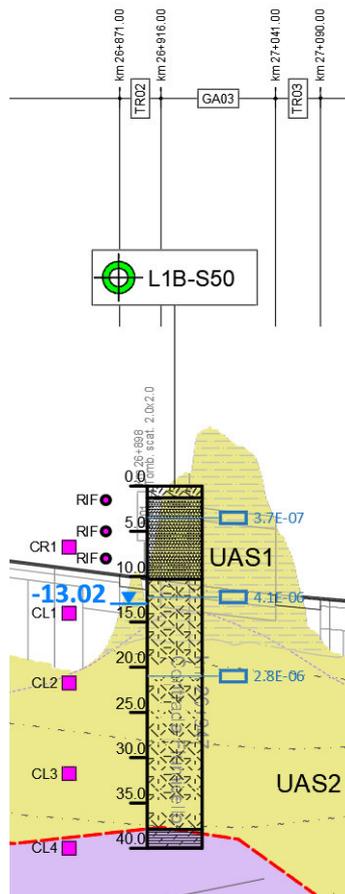
## 8 ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO TRINCEA CON MURO AD U E PARATIA DI PALI

### 8.1 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica (RC2A.C.1.R.11.GE.GE.00.0.6.001) e nel Profilo Geotecnico (RC2A.C.1.R.11.L5.GE.00.0.6.002), allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo e uno stralcio del profilo geotecnico della trincea TR03 che presenta le condizioni più gravose.

Unità Geotecnica	da	a	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	E
	(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(°)	(kPa)	(MPa)
UAS1	0	-24.5	19.0	22	15	30
UAS2	-24.5	-	24.5	22	80	150

Il livello di falda si trova a -12.5 m da p.c.



**Figura 8-1** Stralcio profilo geotecnico

## 8.2 Analisi dei carichi

### 8.2.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ , acciaio  $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$ .

### 8.2.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati dal programma in accordo con quanto riportato nel paragrafo 6.1.

### 8.2.3 Carichi variabili

Il carico accidentale è stato considerato pari a  $10 \text{ kN/m}^2$ .

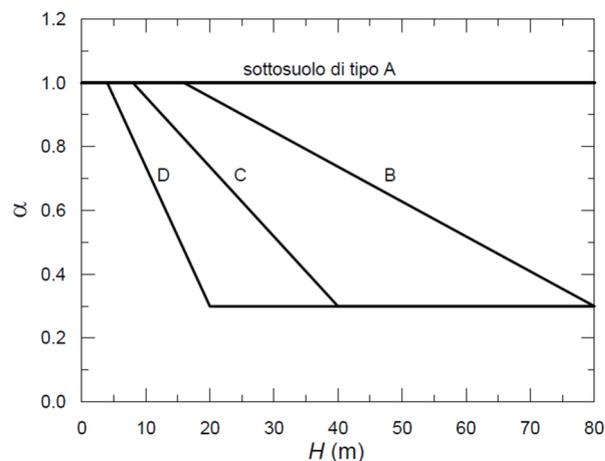
### 8.2.4 Azione sismica

In accordo con le NTC2018, per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente.

Il valore dell'accelerazione  $a_h$  può essere espresso come:

$$a_h = k_h * g = \alpha * \beta * a_{max}$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.



**Figura 8-2 Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$**

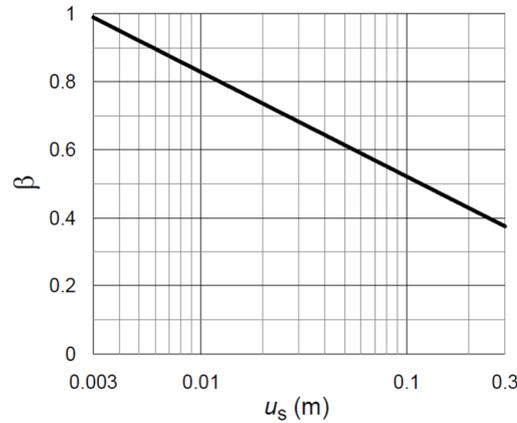


Figura 8-3 Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$

Per l'opera in esame, assumendo  $u_s = 5$  cm, si ha:

- $\alpha = 1.0000$ ;
- $\beta = 0.6125$ .

L'accelerazione di picco  $a_{\max}$  è valutata come:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove  $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), ed  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Si è assegnata all'opera una vita nominale  $V_N=100$  anni ed una classe d'uso IV ( $C_U=2.0$ ), che danno luogo ad un periodo di riferimento  $V_R=V_N \cdot C_U=200$  anni. A seguito di tale assunzione si hanno allo stato limite ultimo SLV, in funzione del sito in esame ( $40^\circ 03' 08.0'' N$   $15^\circ 46' 40.8'' E$ ) e della categoria di terreno in esame (terreno tipo B), i seguenti parametri:

$$a_g = 0.391 \text{ g}$$

$$S_S = 1.02$$

$$S_T = 1.20$$

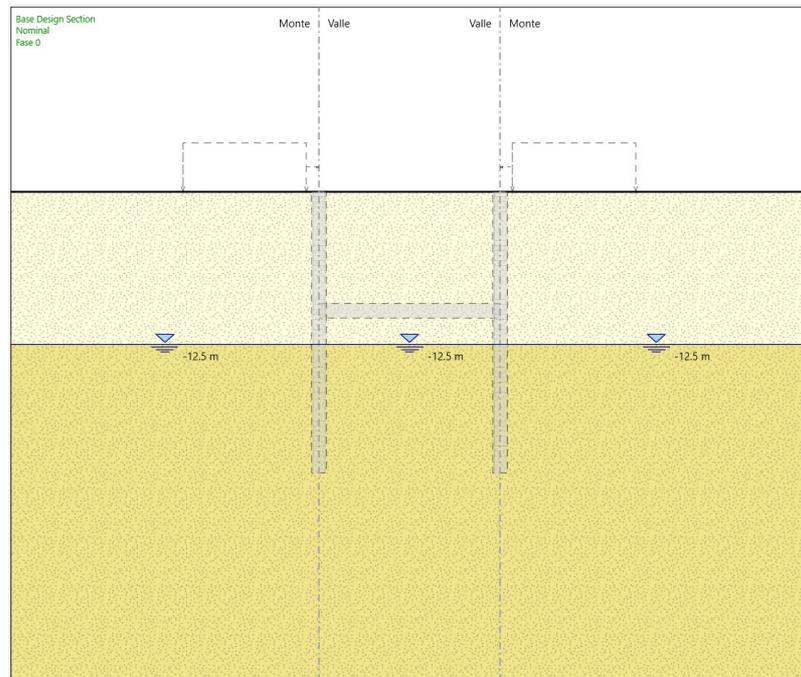
Di conseguenza, il valore dell'accelerazione  $a_h$  è pari a:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1 \cdot 0.6125 \cdot 1.02 \cdot 1.20 \cdot 0.391 \text{ g} = 0.2931 \text{ g}$$

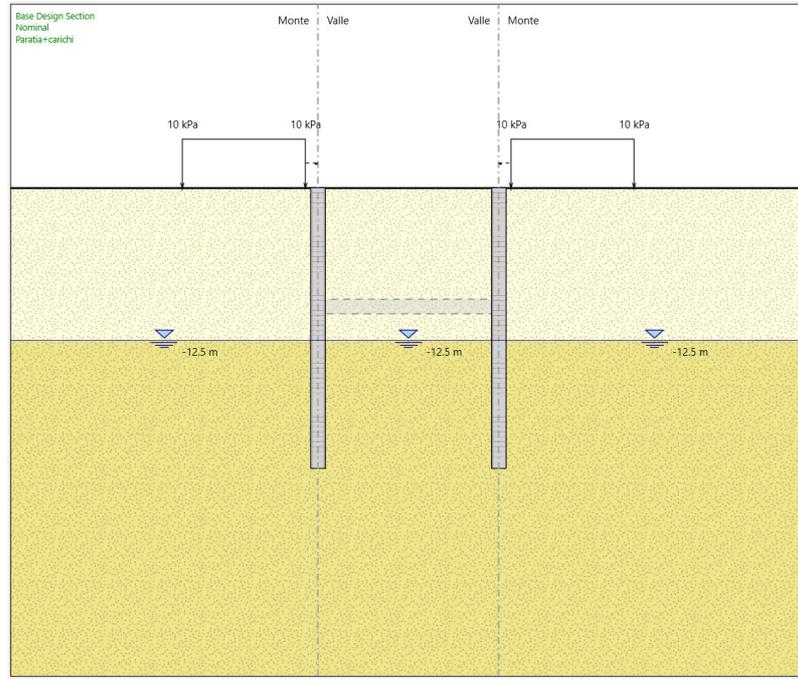
### 8.3 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 5 fasi di calcolo:

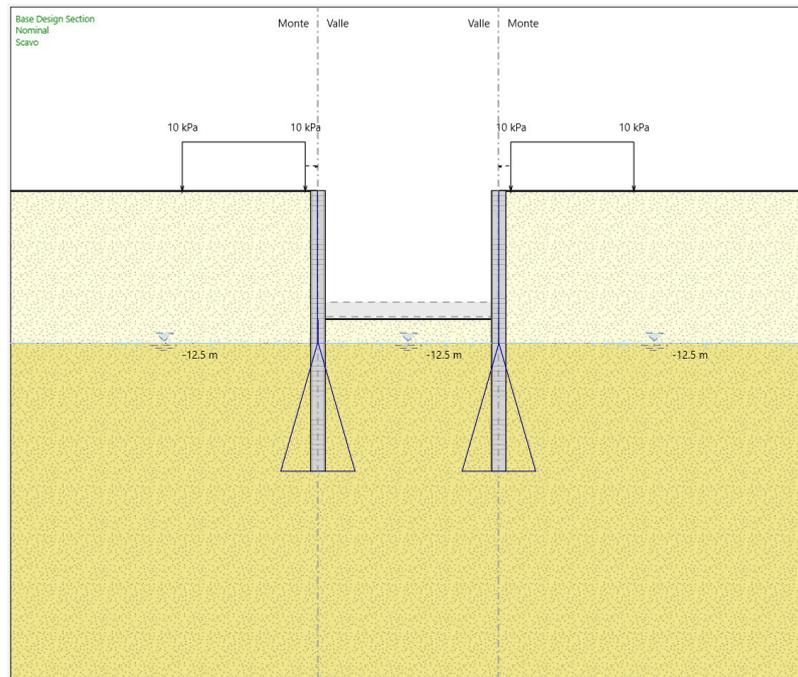
1. Condizione stato di fatto - Figura 8-4;
2. Esecuzione diaframmi e inserimento carico di cantiere ( $q=10 \text{ kN/m}^2$ ) - Figura 8-5;
3. Scavo di calcolo (scavo di progetto di 10 m + extrascavo di 0.5 m ai sensi del §6.5.2.2 delle NTC2018, per un totale di 10.50 m) - Figura 8-6;
4. Realizzazione soletta di fondazione - Figura 8-7;
5. Azione sismica - Figura 8-8.



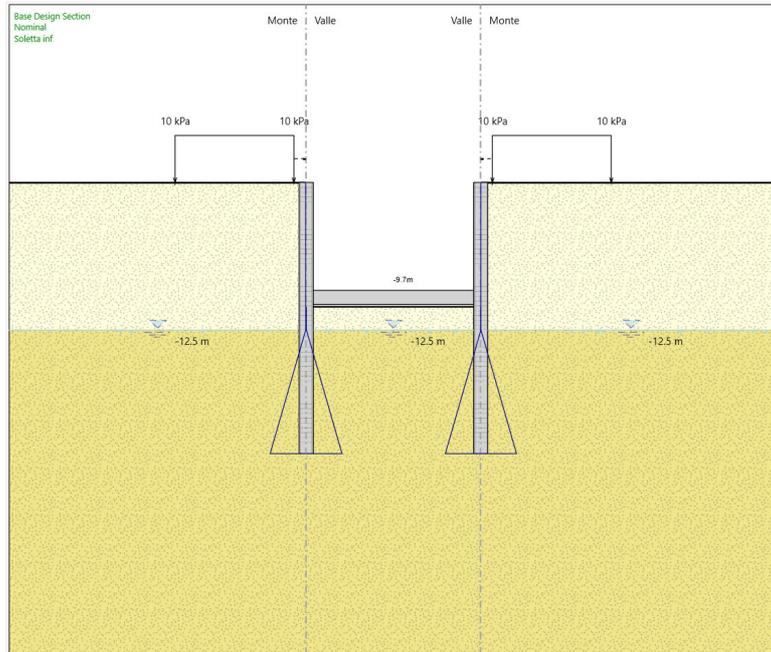
**Figura 8-4 Fase 1**



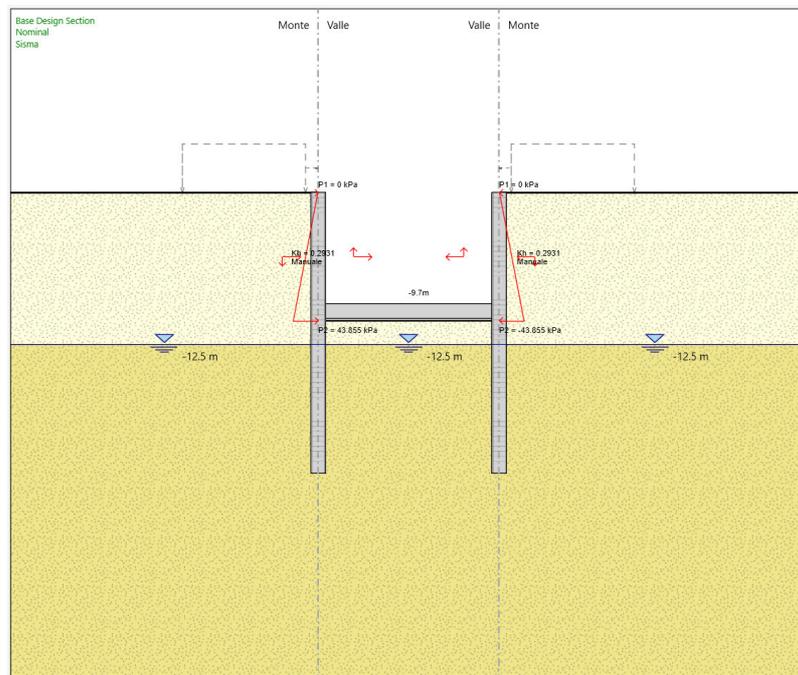
**Figura 8-5 Fase 2**



**Figura 8-6 Fase 3**



**Figura 8-7 Fase 4**

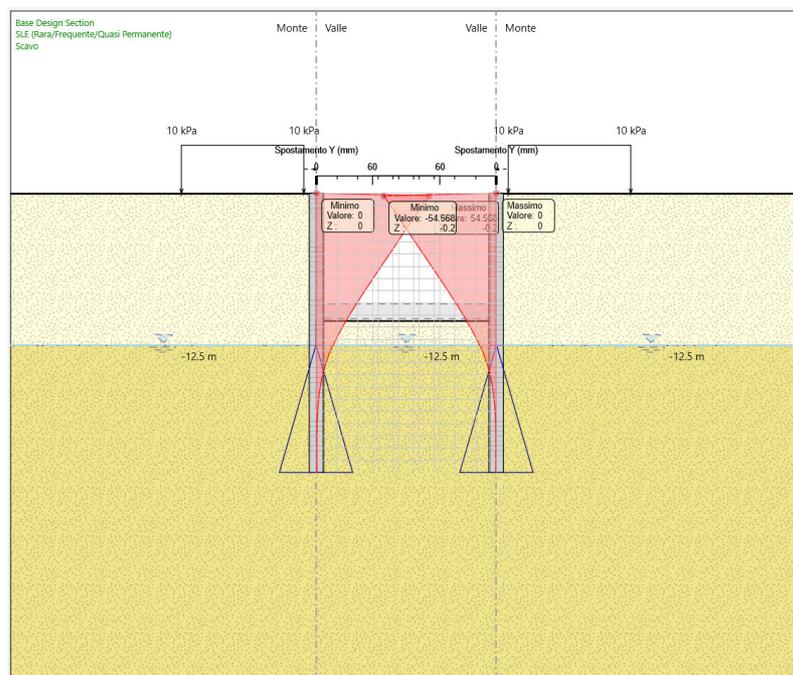


**Figura 8-8 Fase 5**

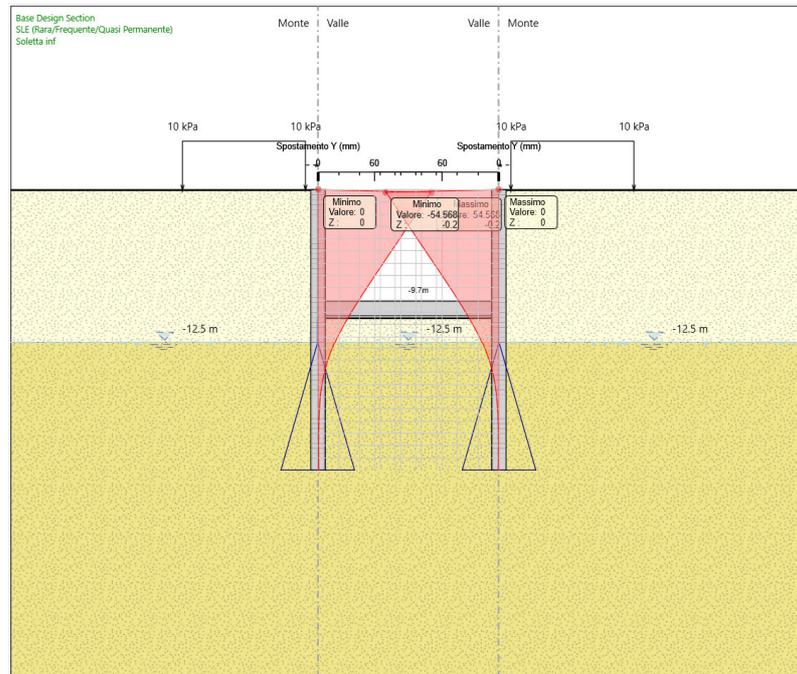
### 8.3.1 Risultati delle analisi

#### 8.3.1.1 Spostamenti orizzontali SLE

Di seguito si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera nelle fasi più significative. Ne risulta che il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a 54.6 mm ottenuto nella fase 3 e 4.



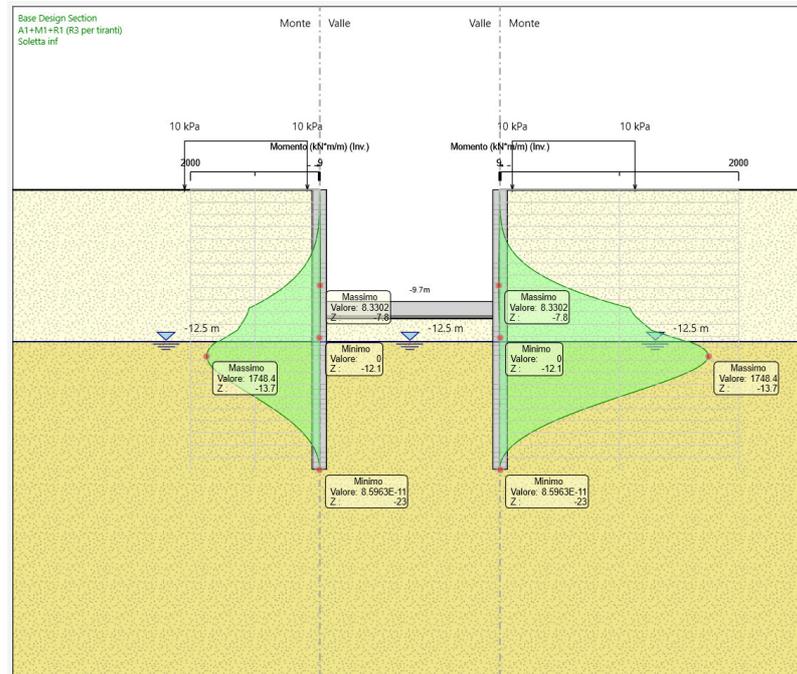
**Figura 8-9 Spostamenti orizzontali SLE – Fase 3**



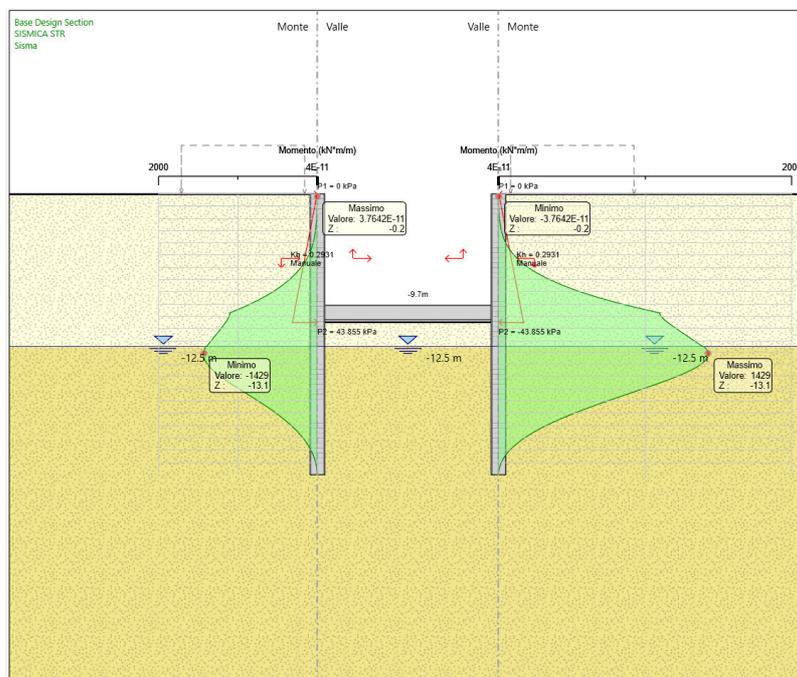
**Figura 8-10 Spostamenti orizzontali SLE – Fase 4**

### 8.3.1.2 Involuppo sollecitazioni SLU

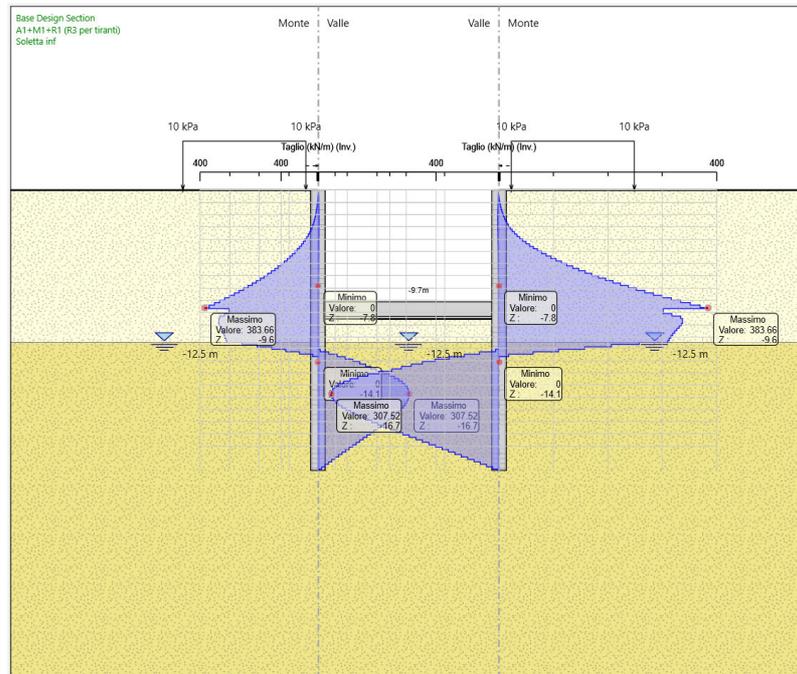
Di seguito si riportano le sollecitazioni statiche e sismiche (momento flettente e taglio) agenti sull'opera. Ne risulta che il massimo momento flettente è pari a 1748.4 kNm/m ottenuto nella fase 4 (combinazione A1+M1+R1). Il massimo taglio è pari a 383.66 kN/m.



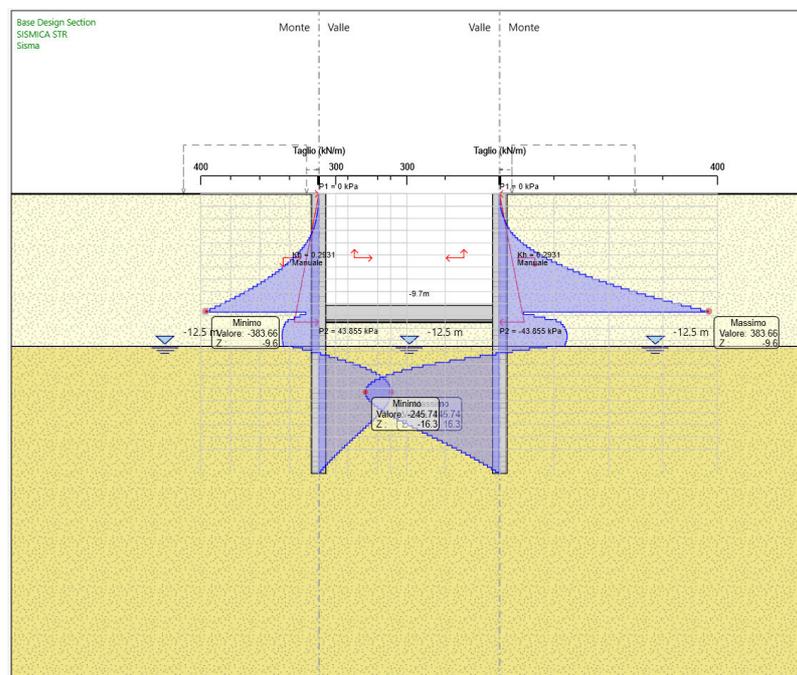
**Figura 8-11 Momento flettente: involucro A1+M1+R1**



**Figura 8-12 Momento flettente: condizione sismica**



**Figura 8-13 Taglio: involuppo A1+M1+R1**



**Figura 8-14 Taglio: condizione sismica**

Le sollecitazioni sono compatibili con la resistenza delle sezioni scelte.

## 9 CONCLUSIONI

Alla luce di quanto riportato nei paragrafi precedenti, le sollecitazioni sulle opere sono compatibili con la resistenza delle sezioni scelte. Per quanto riguarda le caratteristiche inerziali, gli spostamenti in esercizio sono compatibili con l'utilizzo previsto per le opere.