

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

### NODO DI ROMA

### PRG DI ROMA TUSCOLANA

GA01-Galleria artificiale da km 0+625.00 a km 0+819.00 VI e VII binario

Elaborati Generali

Relazione tecnico descrittiva

SCALA:

-

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

NR2E 00 R 78 RH GA0100 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	M.Vescarelli	Apr-2021	G. Giustino	Apr-2021	T. Paoletti	Apr-2021	D. Tiberti Apr-2021

ITALEFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Tecnica  
UO Infrastruttura Sud  
Dott. Ing. Donato Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

NR2E.0.0.R.78.RH.GA.01.0.0.001.A

n. Elab.:

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	3
<b>2</b>	<b>NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	<b>6</b>
3.1	CALCESTRUZZO .....	6
3.1.1	Calcestruzzo per diaframmi e pali .....	6
3.1.2	Calcestruzzo fodera interna.....	7
3.2	ACCIAIO .....	7
3.2.1	Acciaio per cemento armato .....	7
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO</b> .....	<b>10</b>
5.1	vita nominale e classe d'uso .....	10
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	11
<b>6</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA PARATIE</b> .....	<b>12</b>
6.1	VERIFICHE SLU.....	12
6.2	VERIFICHE GEOTECNICHE SLE .....	12
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>14</b>
7.1	SPINTA DEL TERRENO .....	14
7.2	CARICHI PERMANENTI .....	15
7.3	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO .....	15
7.4	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	16
<b>8</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI</b> .....	<b>18</b>
9.1	FASI DI CALCOLO .....	19
9.2	RISULTATI GEO .....	24
9.3	RISULTATI STR .....	28

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	2 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 1 PREMESSA

Oggetto del presente Progetto di Fattibilità Tecnica Economica è il PRG di Roma Tuscolana.

Il progetto ha lo scopo di realizzare un nuovo collegamento ferroviario tra le Stazioni di Roma Tuscolana e Roma Tiburtina con allaccio alla linea indipendente Roma Tiburtina – Roma Casilina per il traffico merci /viaggiatori, e di ridefinire il flusso transitante nella Stazione Tuscolana al fine di ridurre e / o evitare interferenze con il flusso proveniente dai seguenti collegamenti:

- Roma Ostiense – Roma Tiburtina;
- Roma Ostiense – Roma Casilina;
- Roma Ostiense – Roma Termini.



Figura 1 – Ortofoto di inquadramento dell'intervento (da cambiare).

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	3 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria artificiale GA01 ospita i binari 6 e 7 e si estende dalla progressiva 0+625.00 km alla 0+819.95 km, per uno sviluppo complessivo di circa 195 m, con altezze di scavo di circa 10 m. Per la realizzazione sono previste paratie di pali di diametro 1200 mm e interasse di 1.40 m, con lunghezze di 18 m e lo scavo fino alla quota necessaria per la successiva realizzazione della soletta di fondo (quest'ultima di spessore  $s = 1.20$  m) e delle pareti interne, per la configurazione definitiva. La larghezza interna dell'opera è di 10.20 m mentre l'altezza netta è pari a 7.30m. Lato sinistra dell'opera è presente il binario 8 che sarà attivato nelle prime fasi di realizzazione della GA01, lato destra è presente un doppio binario rappresentativo del 4 e 5 (binari merci) che saranno attivati al termine della realizzazione della GA01.

Si riportano di seguito la pianta, il profilo, e le sezioni rappresentative dell'opera, come stralci grafici estratti dello specifico elaborato:

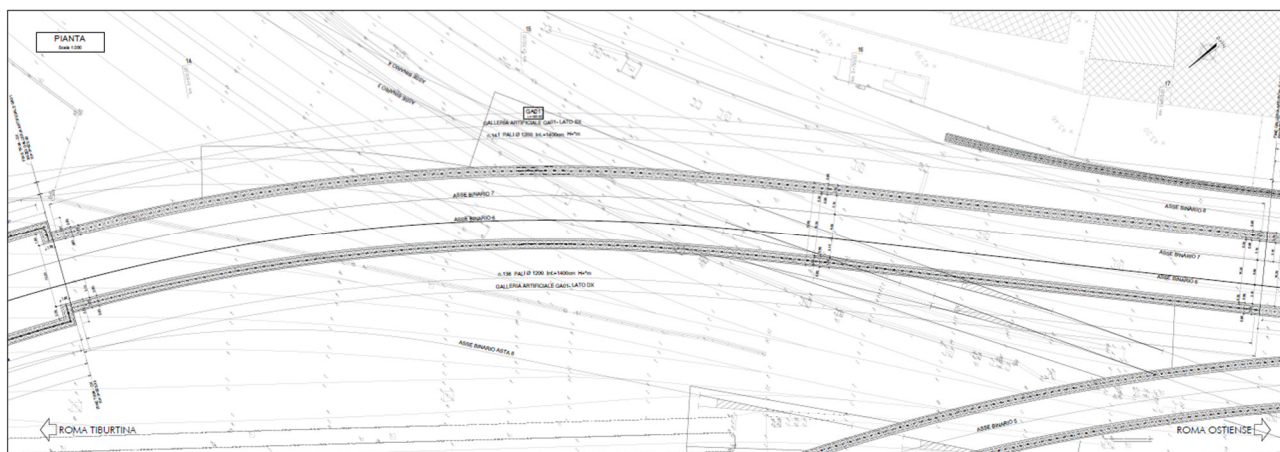


Figura 2 - Pianta GA01.

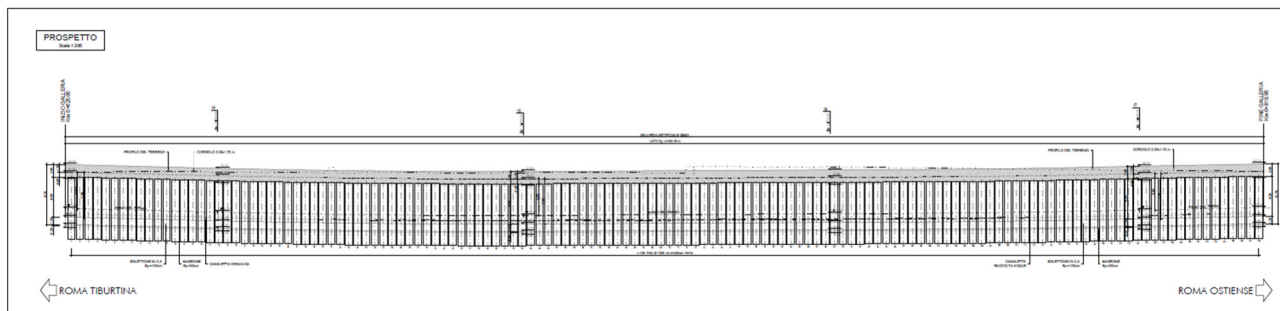


Figura 3 - Profilo GA01.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	4 di 30

Relazione tecnico descrittiva

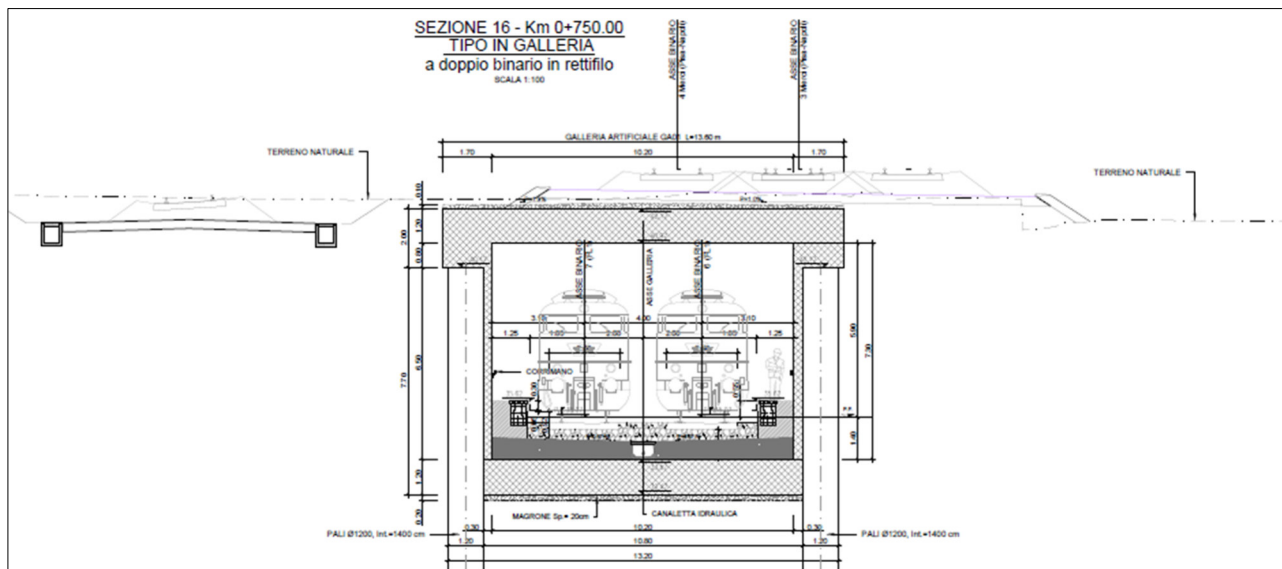


Figura 4 - Sezioni GA01.

Per la realizzazione della GA01 si è adottata una soluzione costruttiva tra paratie con l'applicazione del metodo Milano in "top-down". Nel dettaglio, successivamente alla realizzazione delle paratie di pali, le fasi comprendono:

1. un prescavo fino a quota cordolo per la realizzazione della soletta superiore di spessore 1.20 m;
2. lo scavo fino a quota finale del fondo scavo e realizzazione della soletta di fondo della galleria in c.a. gettato in opera di spessore 1.20 m;
3. l'esecuzione delle fodere (in c.a. gettato in opera) della struttura interna fino a quota della soletta superiore per raggiungere la configurazione definitiva.

L'impermeabilizzazione della galleria è prevista con doppia guaina 4+4 e cappa di protezione di spessore min 10 cm sulla soletta superiore e con telo in pVC tra tnt ai lati delle fodere e al di sotto della fondazione.

	<b>PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA – OPERE CIVILI</b>					
GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO  Relazione tecnico descrittiva	COMMESSA  NR2E	LOTTO  00	CODIFICA  R 78	DOCUMENTO  RHGA0100001	REV.  A	FOGLIO  5 di 30

## 2 **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzio per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [N.3]. 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, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2;
- [N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 E Dicembre 2020 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

### 2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [D.1.] Manuale di progettazione delle opere civili – Documento RFIDTCSIPSMAIFS001E dicembre 2020
- [D.2.] Delibera della giunta regionale Regione Lazio n.793 del 5 novembre 2020

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel presente capitolo vengono riportate le principali caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione delle strutture.

#### 3.1 CALCESTRUZZO

##### 3.1.1 Calcestruzzo per diaframmi e pali

- Classe di resistenza C25/30:
- Copriferro 60 mm
- $R_{ck} = 30$  MPa Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 14.11$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.55$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.03$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 2.68$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9$  N/mm<sup>2</sup> Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 31447.16$  N/mm<sup>2</sup> Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 13.69$  N/mm<sup>2</sup> Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 5.64$  N/mm<sup>2</sup> Tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	7 di 30

Relazione tecnico descrittiva

### 3.1.2 Calcestruzzo fodera interna

- Classe di resistenza C30/37:
- Copriferro 40 mm
- $R_{ck} = 37 \text{ MPa}$  Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 17.40 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.94 \text{ N/mm}^2$  Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.05 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.63 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3.08 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ N/mm}^2$  Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 33019.43 \text{ N/mm}^2$  Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 16.89 \text{ N/mm}^2$  Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 6.96 \text{ N/mm}^2$  Tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm

## 3.2 ACCIAIO

### 3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- acciaio B450C
- tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ ;
- tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ ;
- resistenza di calcolo a trazione  $f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$ ;
- modulo elastico  $E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2$ ;
- tensione massima di esercizio per l'acciai  $\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 337,50 \text{ N/mm}^2$ .



GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
 0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	8 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire uno stralcio del citato profilo e la tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo. La falda si trova ad una profondità di circa 12 m da piano campagna, quindi non interferisce con lo scavo.

Unità	Profondità da p.c. (m) da – a	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$E_{op}$ (MPa)
UG1-a	0-5	Piroclastite alterata sabbiosa con ghiaie poligeniche	18	0	30	30
UG1-b	5-24	Piroclastite semi-litoide sabbiosa medio-fine, limosa	18	0	36	150
UG2-a	24-36	Argille e limo	18.5	30	25	160
UG2-b	36-42	Ghiaia con sabbia	19	0	40	250
UG3	42-50	Limi argillosi	19	0	40	500

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	9 di 30

Relazione tecnico descrittiva

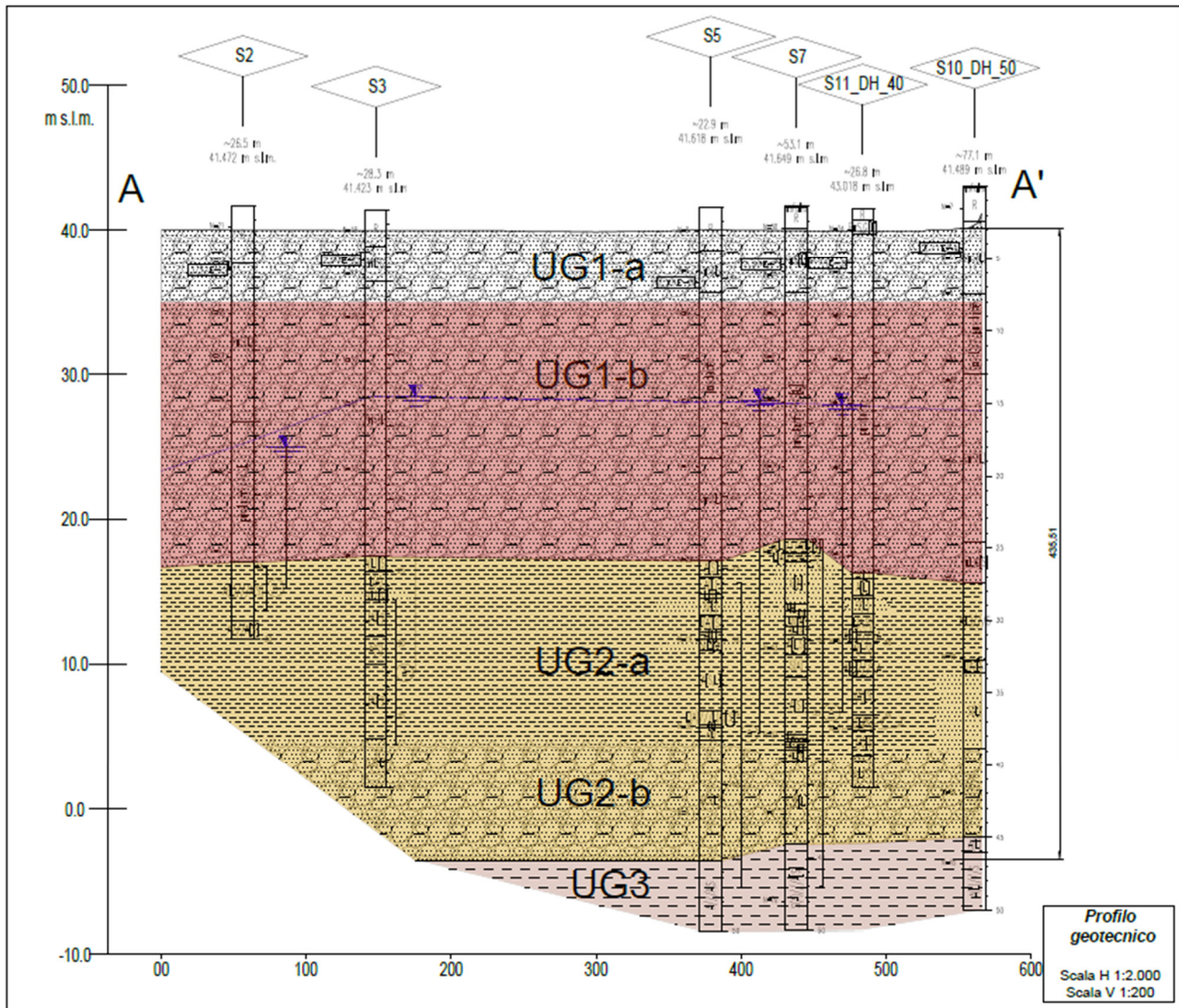


Figura 5 – Profilo geotecnico.



**PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA'  
TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA –  
OPERE CIVILI**

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	10 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

### 5.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 75$  anni. Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe IV a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_U = 2$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75 \times 2 = 150$  anni.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	11 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 5.2 PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo C.

I valori delle caratteristiche sismiche ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$ ) per gli stati limite di normativa sono dunque:

### Stati limite



Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...



Vita Nominale

75



Interpolazione

Media ponderata

**CU = 2**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T^*c$ [s]
Operatività (SLO)	90	0.073	2.497	0.280
Danno (SLD)	151	0.089	2.541	0.282
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0.184	2.573	0.303
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.217	2.549	0.311
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	150			

### Coefficienti sismici

Tipo		Paratie NTC 2018			
<input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.					
H (m)		us (m)			
10		0.05			
Cat. Sottosuolo		C			
Cat. Topografica		T1			
		SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica		1,50	1,50	1,42	1,37
CC Coeff. funz categoria		1,60	1,59	1,56	1,54
ST Amplificazione topografica		1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]					
				0.6	
Coefficienti		SLO	SLD	SLV	SLC
kh		0.064	0.078	0.153	0.174
kv		--	--	--	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]		1.073	1.302	2.563	2.910
Beta		0.612	0.612	0.612	0.612

$a_g$  → accelerazione orizzontale massima del terreno, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0$  → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*c$  → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

S → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

	<b>PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA – OPERE CIVILI</b>					
GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO  Relazione tecnico descrittiva	COMMessa  NR2E	LOTTO  00	CODIFICA  R 78	DOCUMENTO  RHGA0100001	REV.  A	FOGLIO  12 di 30

## 6 CRITERI DI VERIFICA PARATIE

### 6.1 VERIFICHE SLU

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

- collasso del complesso opera-terreno;
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1), mentre per le verifiche strutturali l'analisi è stata condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1). È stata altresì considerato anche il caso sismico.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus2018, un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da una paratia e permette di valutare il comportamento delle pareti durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (§6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita della quantità prevista, per opere vincolate:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui  $\Delta t$  è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

La verifica strutturale è stata condotta in maniera speditiva, per assicurarsi il corretto funzionamento dell'elemento strutturale. Tali verifiche sono cautelative e conservative, in quanto non si è considerato il contributo delle pareti interne.

### 6.2 VERIFICHE GEOTECNICHE SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo  $E_d$  e  $C_d$  rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, dovranno essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti.

Per le sezioni che lo richiedessero, si è proceduto alla valutazione dei cedimenti indotti sui binari in esercizio, verificando il valore dello sghembo stimato.

In particolare, tali cedimenti sono valutati applicando la correlazione di Boone & Westland (2006), implementata nel codice di calcolo Paratie Plus, che consente di stimare i cedimenti verticali per diverse configurazioni di opera di sostegno con una serie di equazioni in forma chiusa.

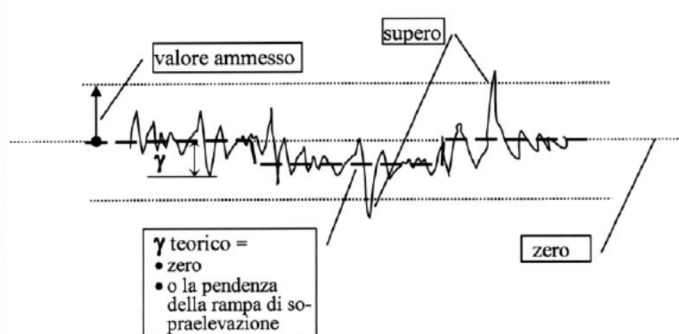
GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	13 di 30

Relazione tecnico descrittiva

Lo sghembo  $\gamma$  è l'inclinazione espressa in % relativa di una fila di rotaia rispetto all'altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale XL fra due sezioni di binario poste a una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa.

Sul grafico si valutano i valori dalla linea dello zero ai picchi superiori o inferiori come da grafico di seguito; i superi sono gli scostamenti rispetto allo zero che eccedono il valore ammesso.



Il valore ammesso si applica rispetto allo zero, lo sghembo effettivo è comprensivo della pendenza dell'eventuale rampa di sopraelevazione.

Di seguito si riportano i valori limite per i quali deve essere istituito un rallentamento secondo quanto riportato nel documento "Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h "RFI TCAR ST AR 01 001".

	$\gamma$ base 3 m	$\gamma$ base 9 m
Se la velocità del tratto di linea è <b>200 &lt; V ≤ 300 km/h</b>	se $\gamma_{3m} \geq 5$ $V_{ral} \leq 200$ km/h	se $\gamma_{9m} \geq 3,5$ $V_{ral} \leq 200$ km/h
<b>Valori limite di esercizio</b> In caso di superamento, interruzione della circolazione e ripristino solo dopo correzione	$\gamma_{3m} = 6,5$	$\gamma_{9m} = 4,5$
ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s. ATTENZIONE ai deviatoti inseriti in curva		

## 7 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

### 7.1 SPINTA DEL TERRENO

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie Plus, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

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:

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

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

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

Dove

-  $K_{0,NC} = 1 - \tan \phi'$  è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $OCR=1$ ),

-  $OCR$  è il grado di sovraconsolidazione e  $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

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

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

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

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	15 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 7.2 CARICHI PERMANENTI

Si considera un carico permanente a monte dell'opera pari a 14.40 kPa, rappresentante il carico esercitato dalla presenza di 0.8 m di spessore di ballast ( $\gamma = 18$  m).

## 7.3 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO

Nei modelli di calcolo si applica il carico verticale dovuto al treno di carico SW2 uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano campagna. Il treno di carico SW2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Il treno di carico SW2 è schematizzato nella figura seguente.

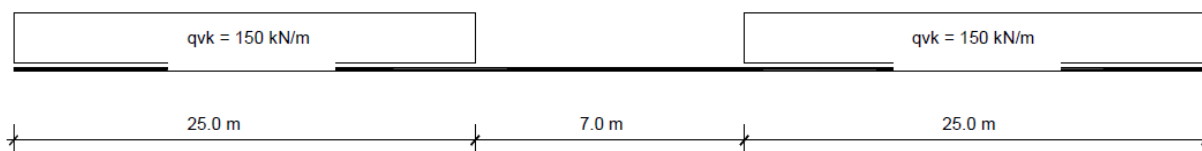


Figura 6 – Treno di carico SW2.

Per la ripartizione si considera:

$$B_t = 2.40 + 2 \times 0.4 \times 1/4 = 2.60 \text{ m.}$$

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente  $\alpha$  che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 7 – Coefficienti  $\alpha$  per modelli di carico.

Il valore considerato di carico distribuito in corrispondenza della zona sopra la soletta, risulta dunque:

$$Q = 150 \text{ kN} \quad q_{\text{var}} = (150/2.60\text{m}) \cdot 1.0 = 57.7 \text{ kN/m}^2.$$

In sinistra l'azione del treno (binario 8) viene applicato dalla prima fase esecutiva, mentre in destra (binario 3 e 4) vengono attivati successivamente alla realizzazione della GA01.

I carichi utilizzati per il predimensionamento della galleria sono conformi ai requisiti previsti delle STI ed alle NTC2018 e Manuale di Progettazione RFI come riportato nella relazione tecnica generale.





**PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA'  
TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA –  
OPERE CIVILI**

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	16 di 30

Relazione tecnico descrittiva

## 7.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per l'opera in esame si è considerata una vita nominale di 75 anni e una classe d'uso IV ( $C_U = 2$ ), pertanto si ottiene una vita di riferimento pari a  $V_R = 150$  anni.

Considerando una Categoria di sottosuolo C e una categoria topografica pari a T1, si ottengono i parametri sismici riportati al Paragrafo 5.2, quindi con  $a_{max} = a_g \cdot S = 0.184 \cdot 1.42 = 0.261$  g.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla sola configurazione finale dell'opera. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all'unità. Si adotta il metodo pseudo-statico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right)$$

In cui  $\alpha$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Considerando l'opera nella configurazione finale come struttura rigida che non ammette spostamenti, l'incremento di spinta del terreno dovuto all'azione sismica è stato calcolato attraverso la trattazione di Wood valida per pareti che accettano piccoli spostamenti e come una sollecitazione uniformemente distribuita:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H^2$$

È opportuno evidenziare che, a favore di sicurezza, è stato completamente trascurato l'effetto delle pareti interne della struttura nella sua configurazione definitiva.

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

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, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.1]
  - Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.2]
  - Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.3]
  - Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.4]
  - Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.5]
  - Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  
 $G_1 + G_2 + P + A_1 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.6]
- Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:
- $$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$
- [2.5.7]

Per le verifiche si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	17 di 30

Relazione tecnico descrittiva

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_f$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tabella 1 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

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

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

Come da NTC18 al par 2.5.3, le combinazioni sismiche sono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con gli opportuni coefficienti parziali  $\gamma_R$ .

## 9 PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI

La paratia di pali è costituita da pali di diametro pari a 1200 mm e interasse 1.40 m, con lunghezza di 18 m.



I principali dati di input sono riassunti nella tabella seguente nella quale si evidenzia anche il valore dell'altezza di scavo di calcolo  $H_1$  che tiene conto delle indicazioni di normativa sull'incremento da assumere secondo il par. 6.5.2.2., è stato inoltre adoperato un valore  $\delta = \varphi/2$ .

Tipologia struttura di sostegno	Paratia di pali $D = 1200$ mm, $i = 1.40$ m
Altezza totale diaframma	$H_{tot} = 18$ m
Altezza di scavo	$H = 9.5$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 10$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	$0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0^\circ$
Sovraccarichi permanenti destra	$g = 14.4$ kPa (ballast) a lungo termine
Sovraccarichi permanenti sinistra	$g = 14.4$ kPa (ballast)
Sovraccarichi accidentali destra	$q = 57.7$ kPa (treno) a lungo termine
Sovraccarichi accidentali sinistra	$q = 57.7$ kPa (treno)

Tabella 3 – Caratteristiche generali relative all'opera.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

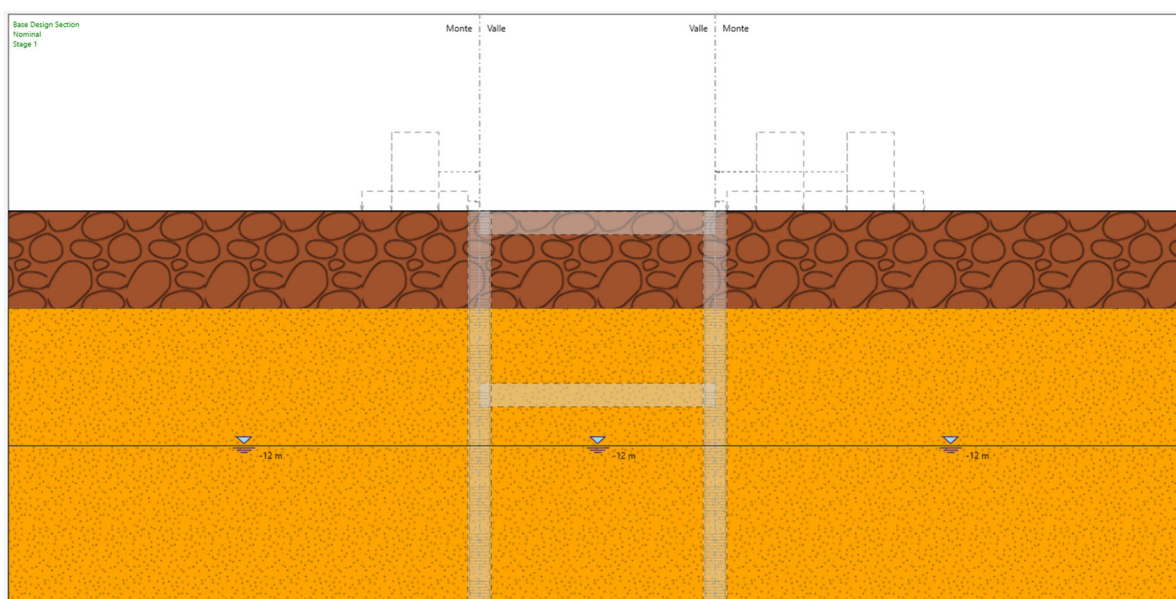
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	19 di 30

Relazione tecnico descrittiva

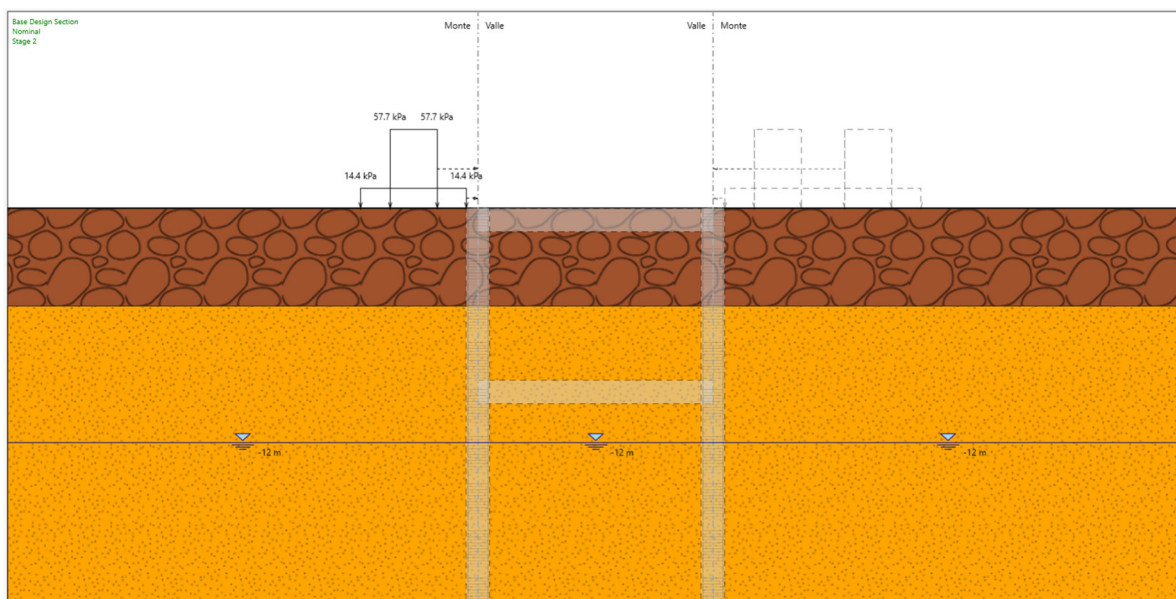
## 9.1 FASI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo vengono brevemente descritte e indicate in forma grafica le fasi assunte nel calcolo, nella fattispecie gli step prevedono:

a) Condizione iniziale;



b) Applicazione del carico permanente a monte associato al peso del ballast (14.40 kPa) e del sovraccarico accidentale relativo all'azione ferroviaria in esercizio sul singolo binario (binario 8 = 57.7 kPa);

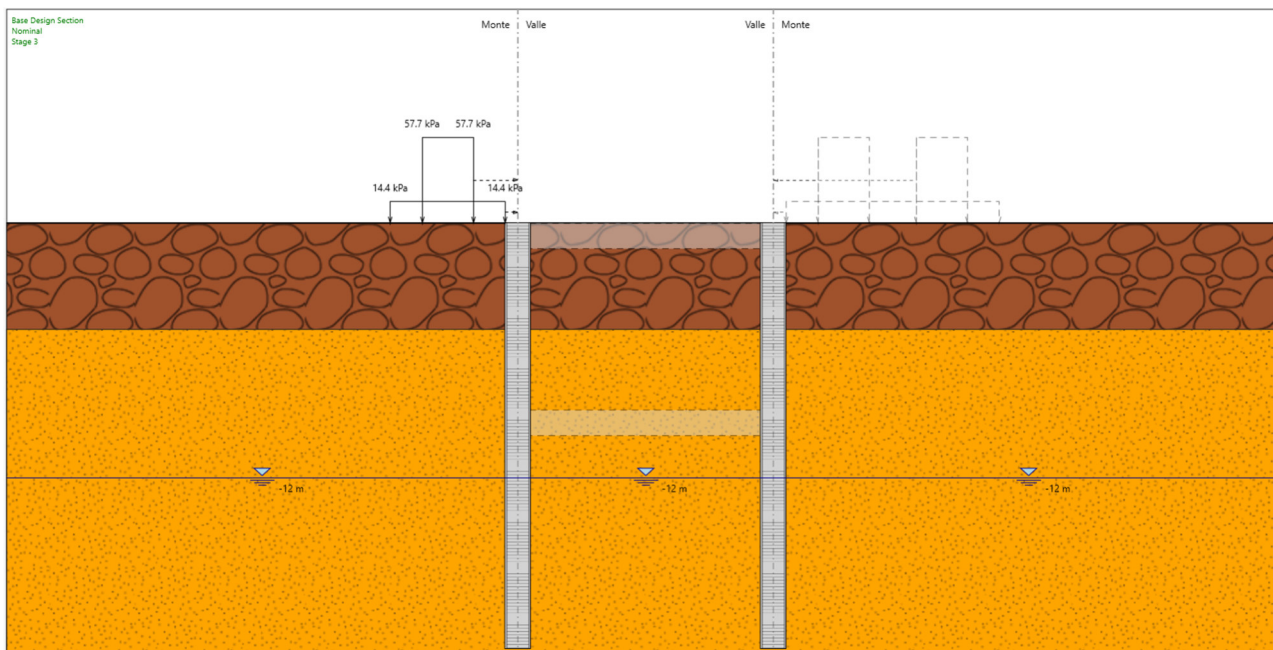


GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

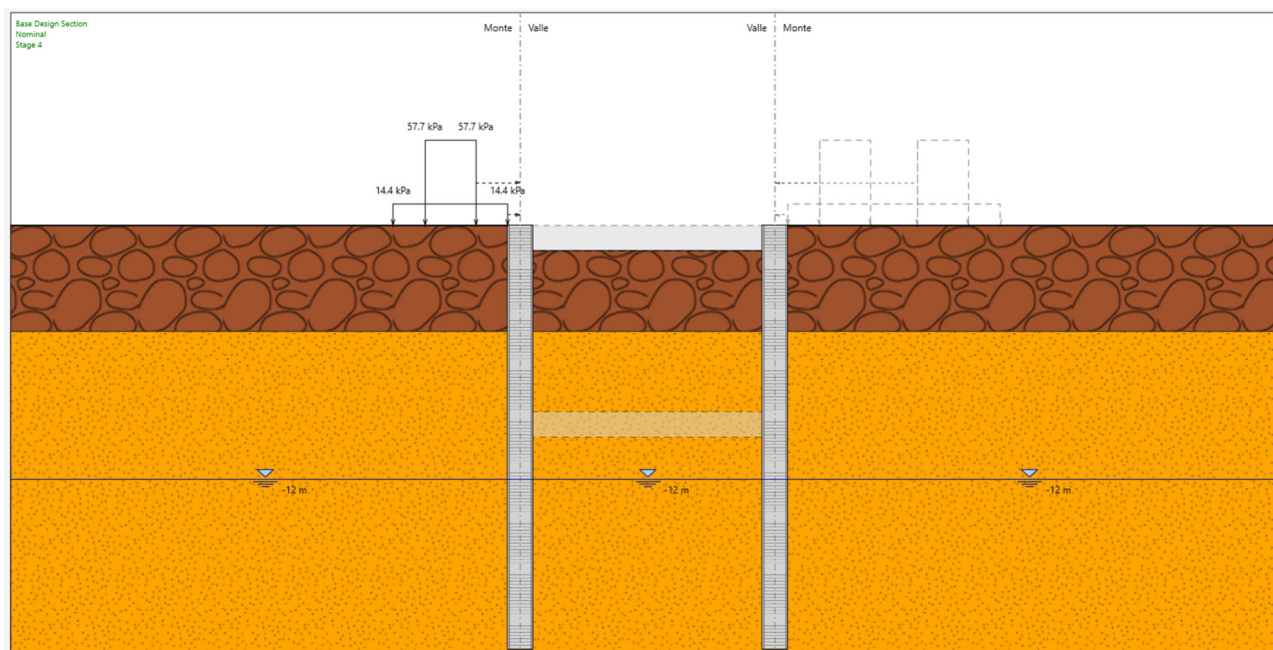
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	20 di 30

Relazione tecnico descrittiva

c) Realizzazione paratia di pali  $\phi$  1200 interasse 1.40 m e lunghezza  $L = 18$  m;



d) Scavo fino a quota -1.20 m da p.c.;

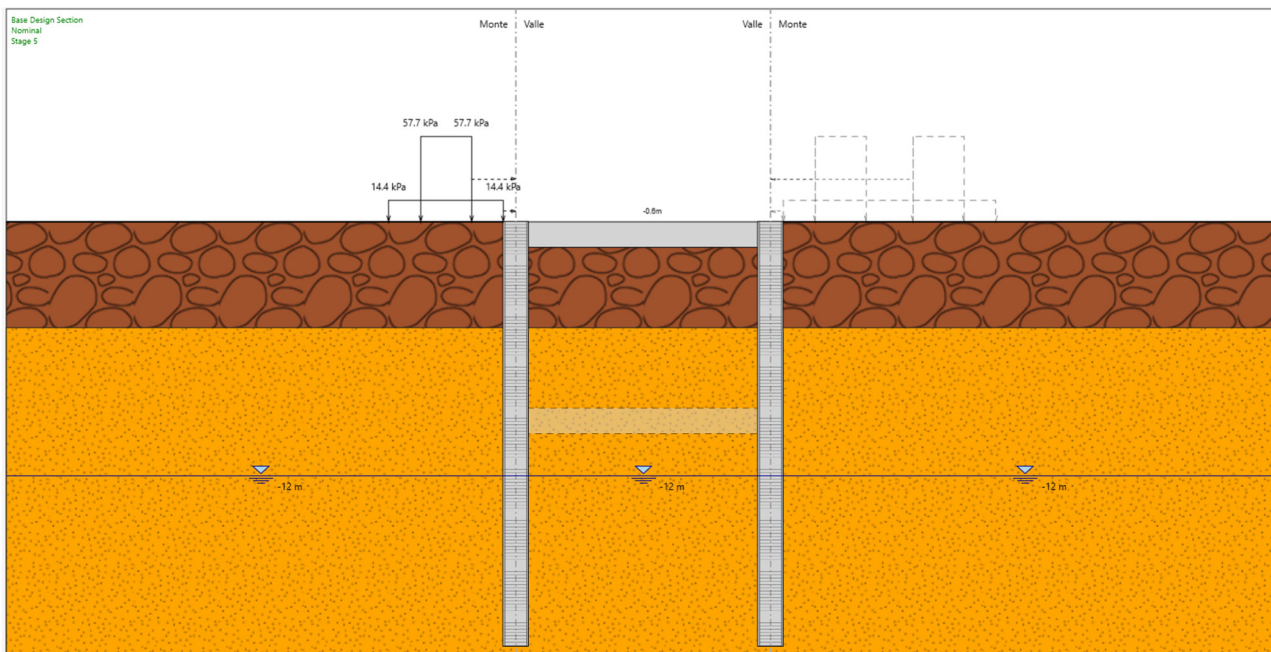


GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

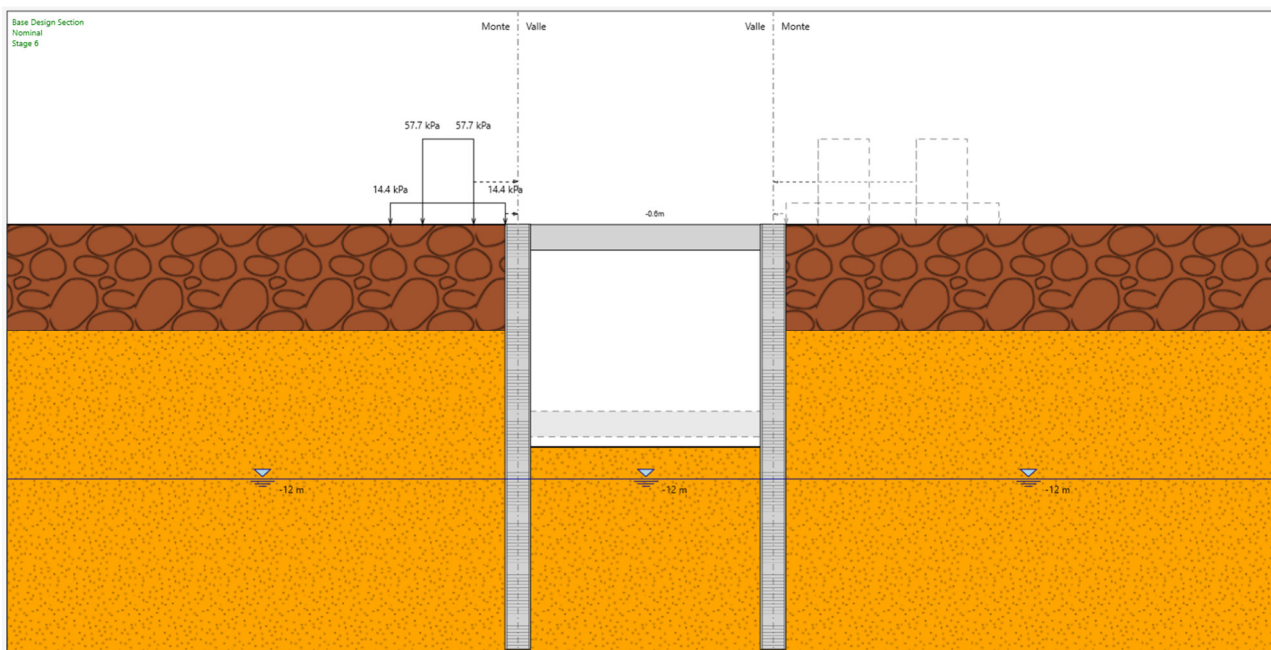
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	21 di 30

Relazione tecnico descrittiva

e) Realizzazione soletta superiore (sp = 1.20 m);



f) Scavo fino a quota fondo scavo ( $H_1 = 10$  m);

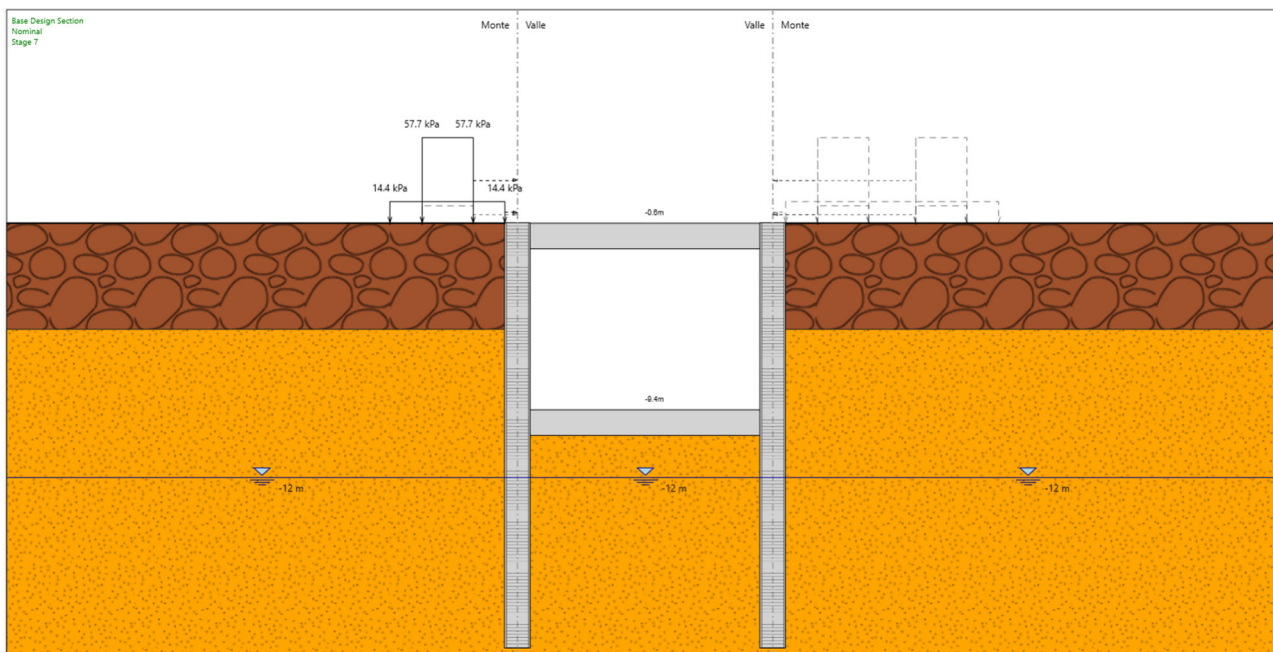


GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

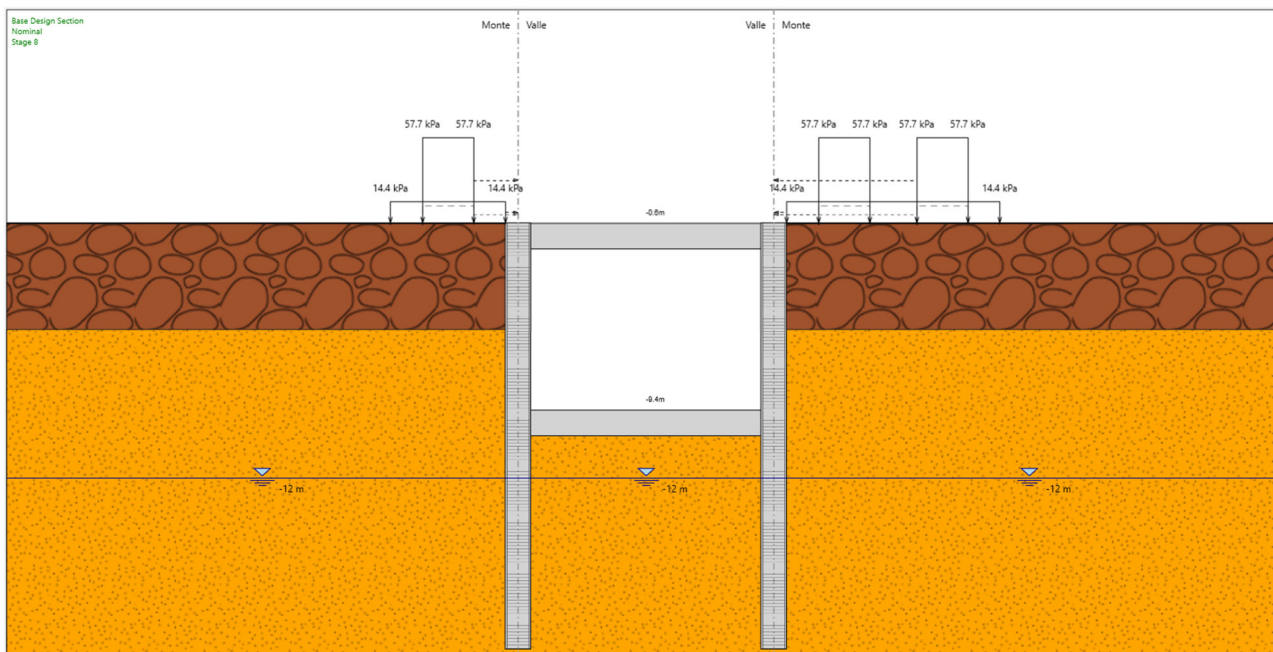
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	22 di 30

Relazione tecnico descrittiva

g) Realizzazione soletta di fondo (sp = 1.20 m) a quota -9.4 m da p.c.;



h) Applicazione in destra del carico permanente generato dalla presenza del ballast (14.4 kPa) e del carico accidentale associato all'esercizio di entrambi i binari;

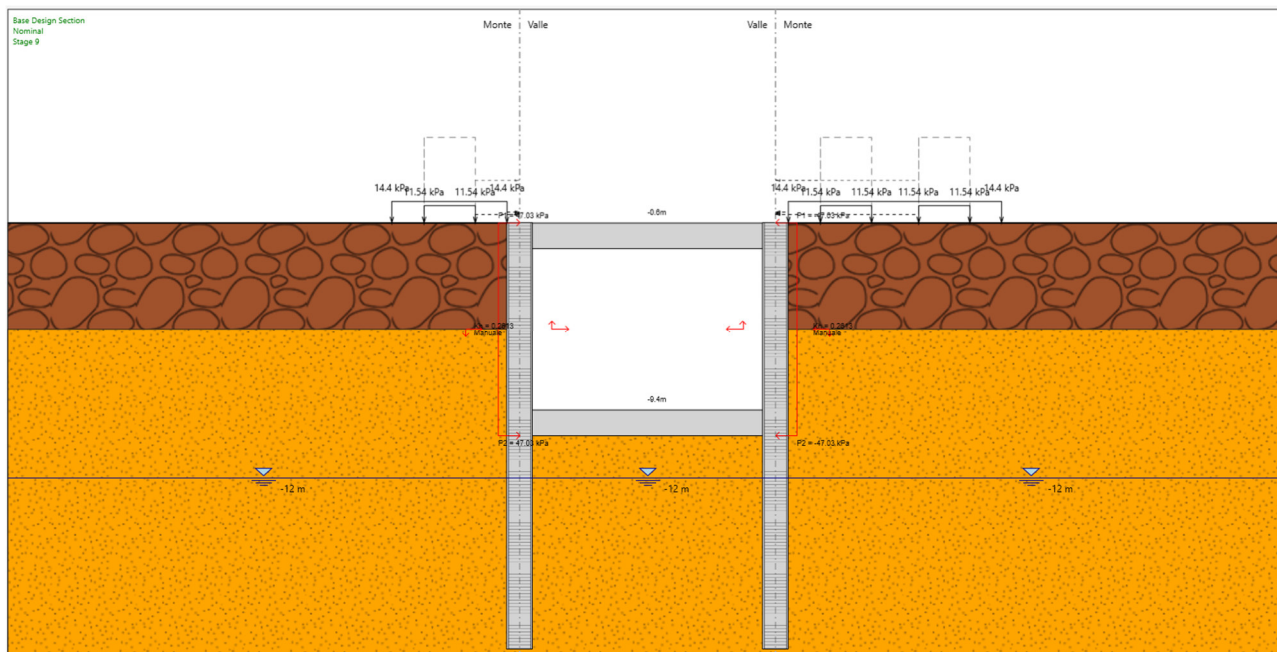


GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	23 di 30

Relazione tecnico descrittiva

i) Applicazione dell'azione sismica.





## 9.2 RISULTATI GEO

Nelle figure che seguono si riportano i grafici delle sollecitazioni di maggior interesse ottenuti nelle fasi di calcolo più significative.

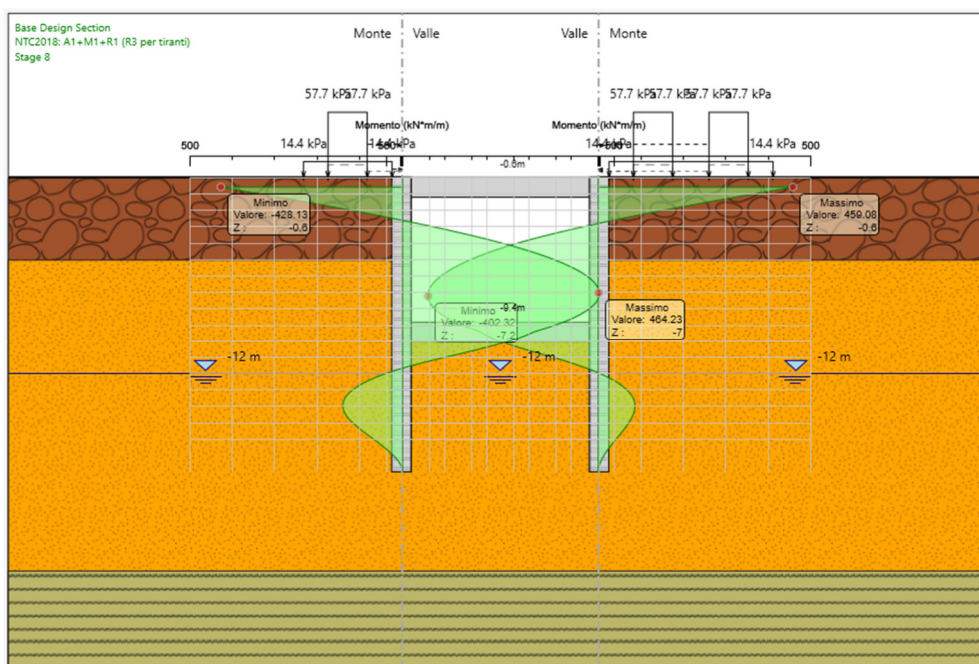


Figura 8 - Momento SLU - Stage h.

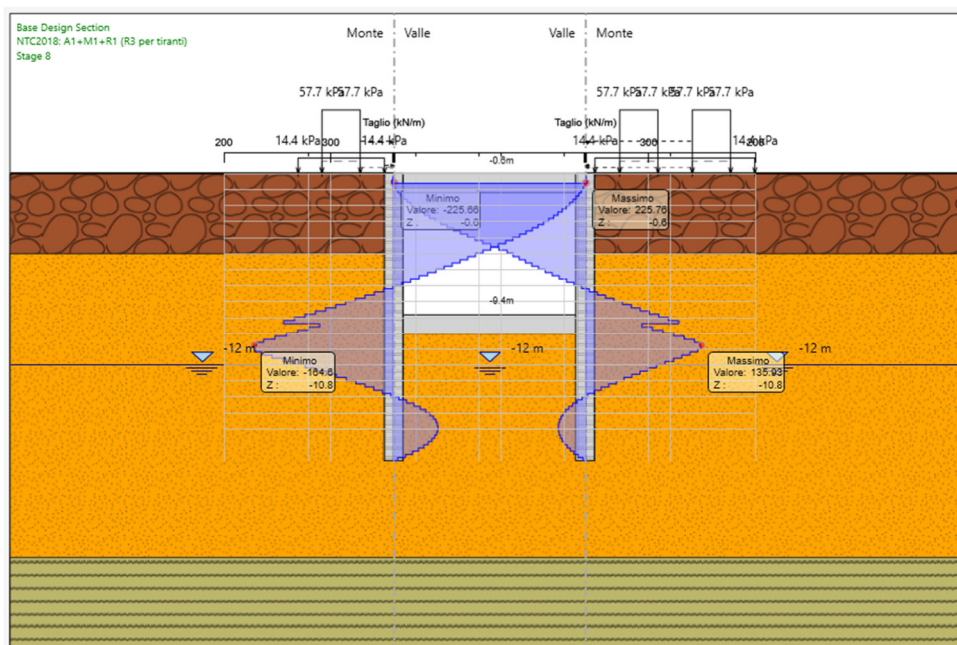


Figura 9 - Taglio SLU - Stage h.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	25 di 30

Relazione tecnico descrittiva

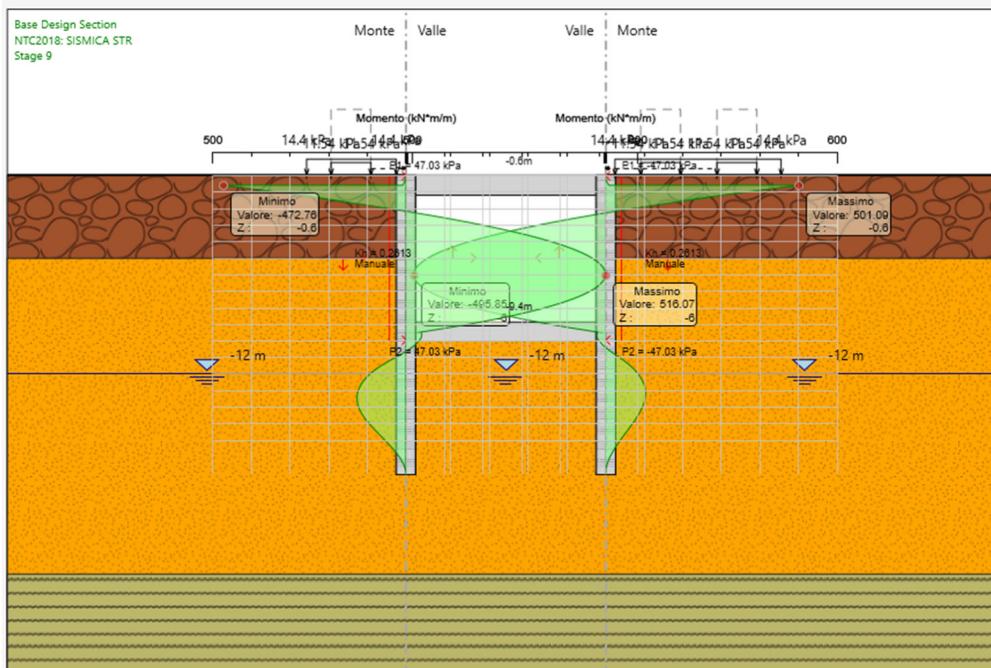


Figura 10 – Momento SLU – Stage i.

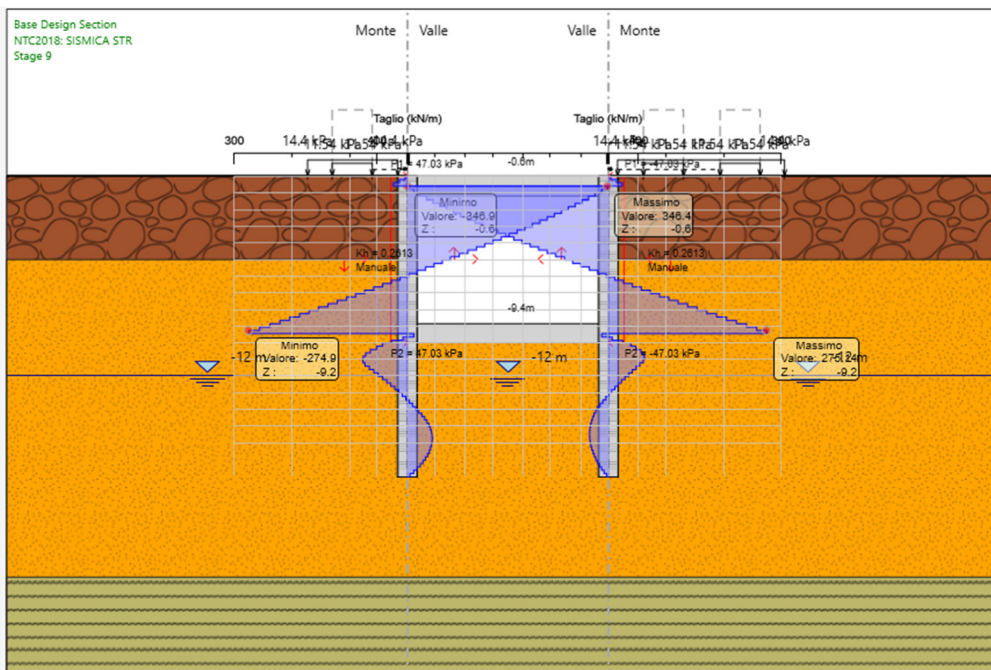


Figura 11 – Taglio SLU – Stage i.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	26 di 30

Relazione tecnico descrittiva

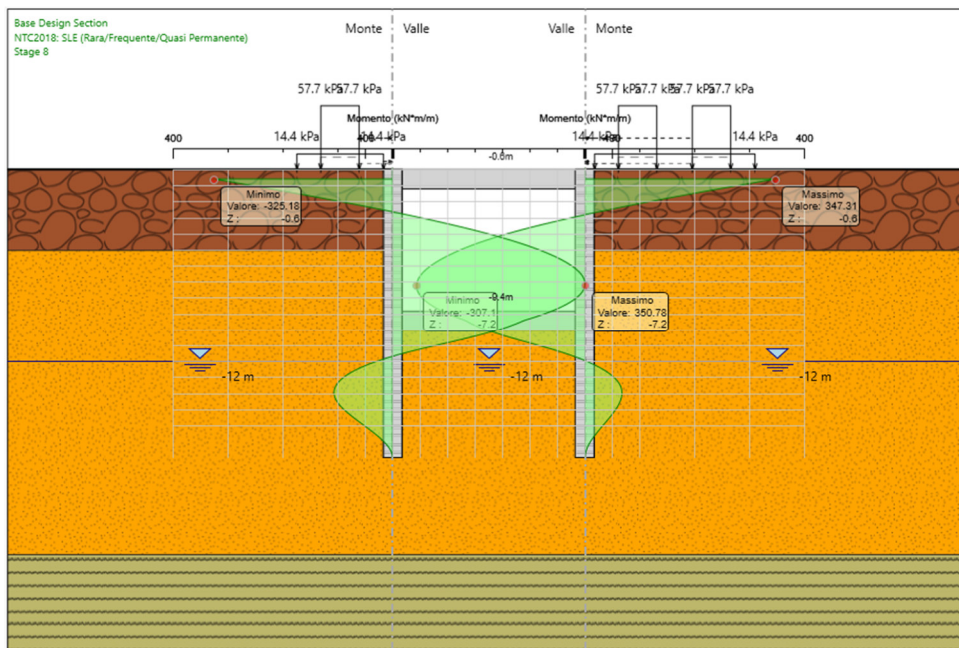


Figura 12 – Momento SLE – Stage h.

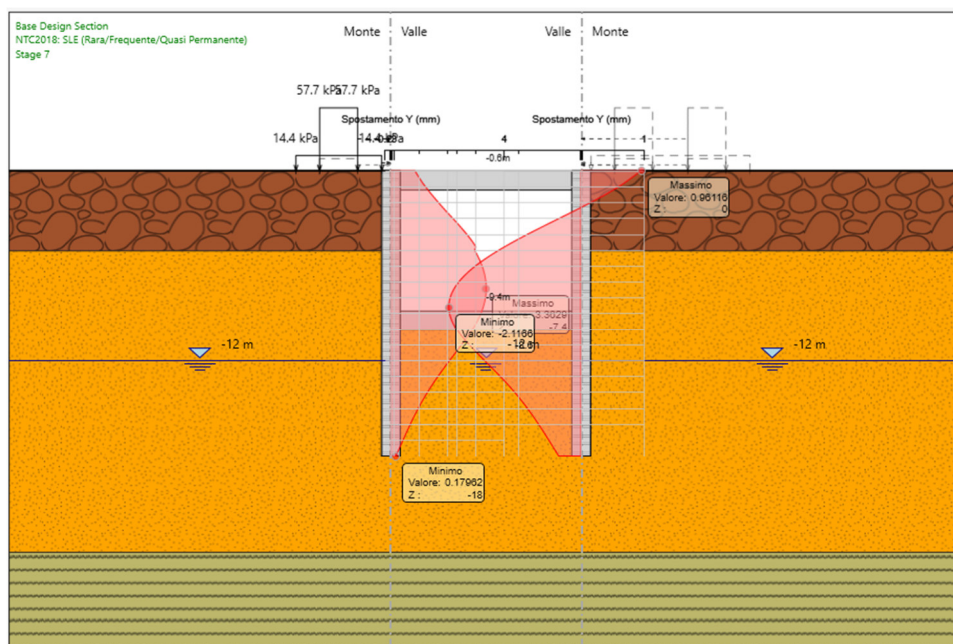


Figura 13 – Spostamento SLE – Stage h.

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 3.6 mm circa.

Lo spostamento massimo che l'opera può subire è pari a:

$$0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 10 = 50 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

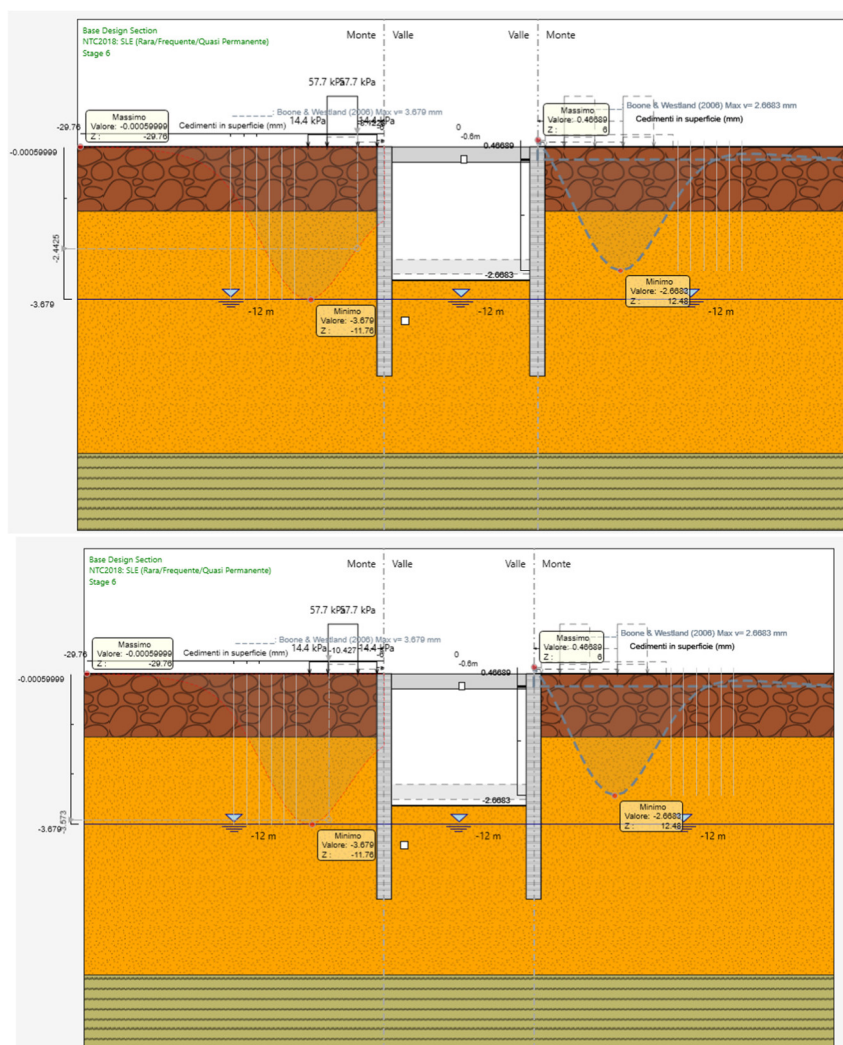


Figura 14 – Cedimento sotto al binario – Stage f.

Per il calcolo del  $\gamma$  ai fini della verifica si considera a favore di sicurezza un'ipotenusa di 3 m (base 3 m), per il quale si ha  $\gamma_{3m} < 4.5$  (1° livello di qualità).

Il cedimento delle due tavole di rotolamento adiacenti è pari a 2.44 mm per quella più vicina alla paratia e 3.57 mm per quella più lontana, la cui differenza è 1.13 mm, per cui si ha:

$$\delta_{\text{max,ammesso}} = 0.0045 * 3 = 0.0135 \text{ m} = 1.35 \text{ cm} > 0.113 \text{ cm.}$$

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO  
Relazione tecnico descrittiva

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	28 di 30

### 9.3 RISULTATI STR

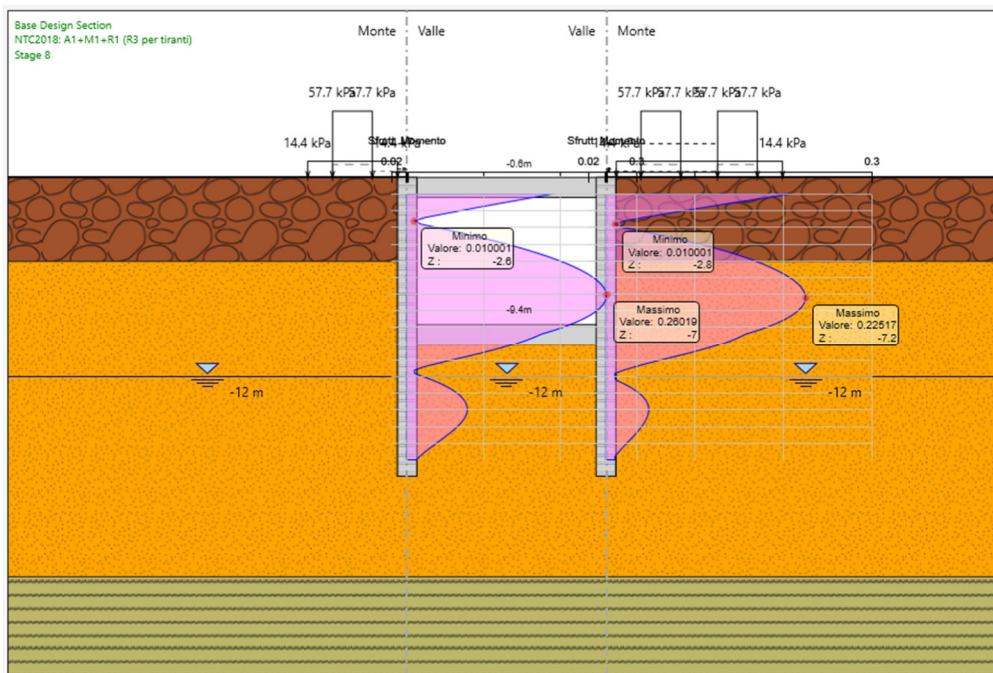


Figura 15 – Tasso sfruttamento momento flettente - SLU.

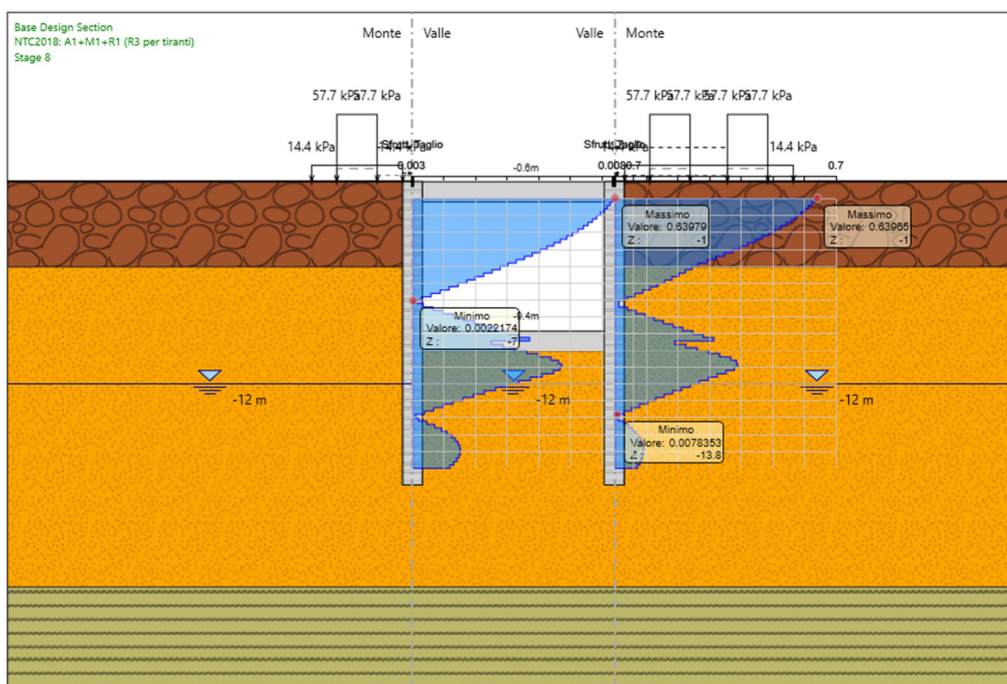


Figura 16 – Tasso sfruttamento taglio - SLU.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	29 di 30

Relazione tecnico descrittiva

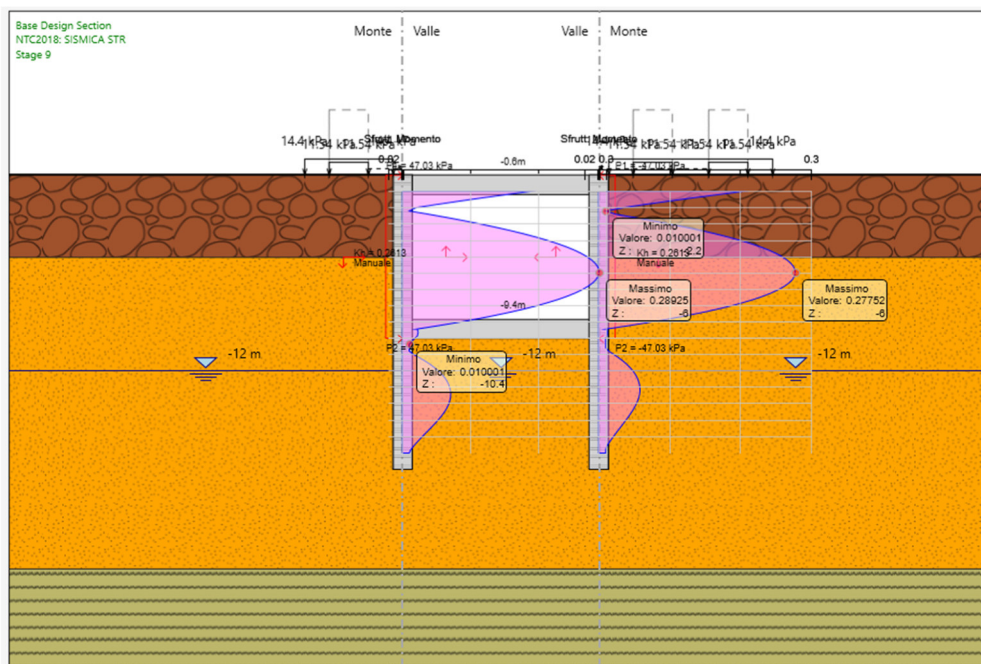


Figura 17 – Tasso sfruttamento momento flettente - SLV.

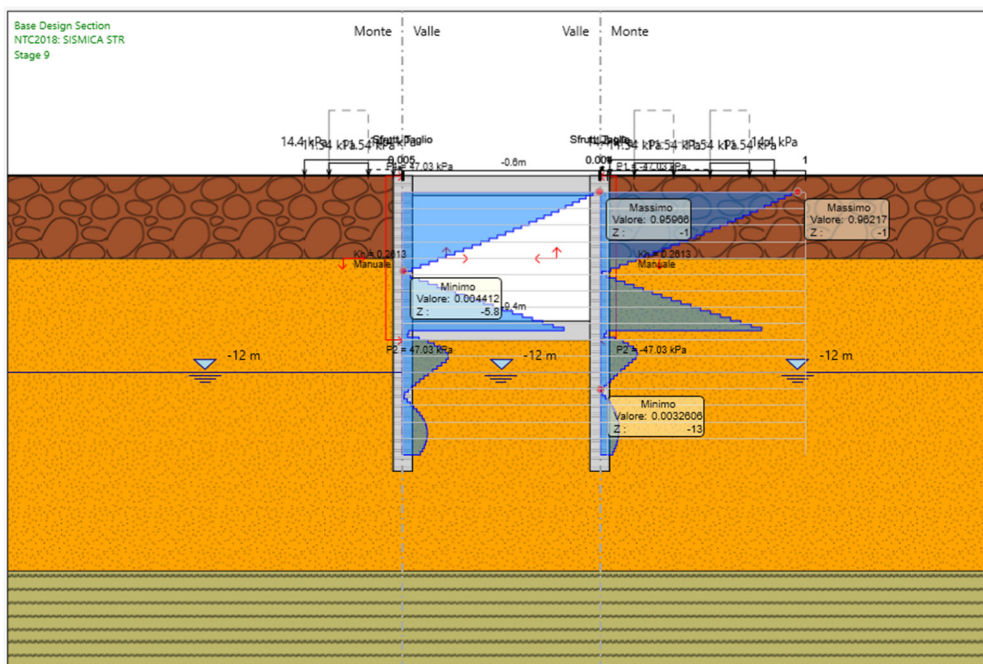


Figura 18 – Tasso sfruttamento taglio - SLV.

GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE DA KM  
0+625.00 A KM 0+819.00 VI E VII BINARIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHGA0100001	A	30 di 30

Relazione tecnico descrittiva

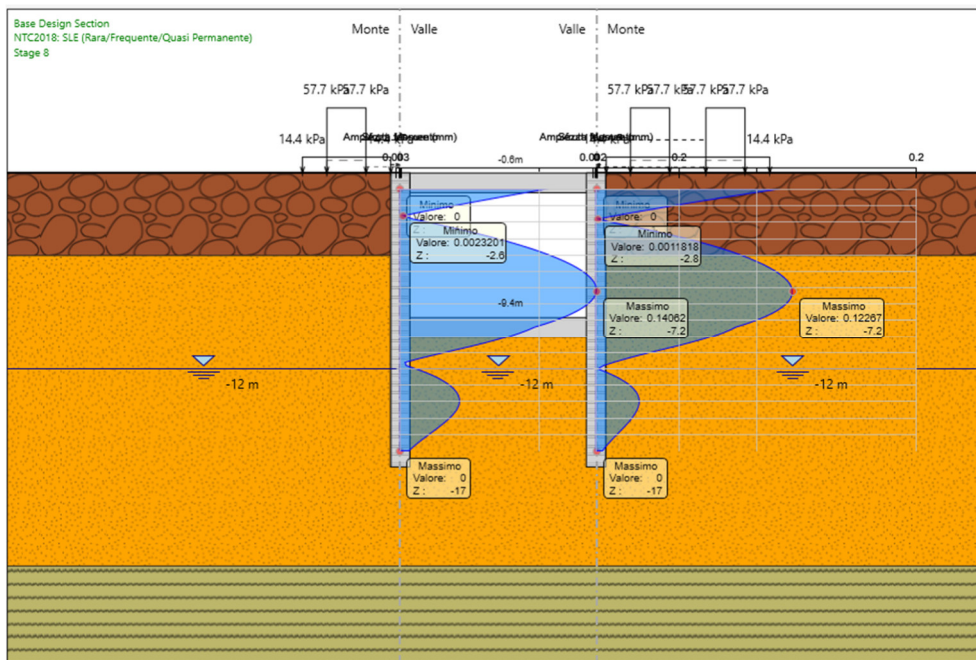


Figura 19 – Apertura fessure – SLE Rara.

Le verifiche strutturali in condizioni statiche e sismiche risultano soddisfatte e l'apertura delle fessure risulta inferiore al valore limite di 0.2 mm per combinazione SLE Rara, impiegando un'armatura di 32  $\phi$  24 con spirale  $\phi$  12/15 cm.

È stato eseguito un predimensionamento degli altri elementi strutturali (fodere, solettoni) che soddisfano le verifiche strutturali con percentuali di armatura compatibili ai limiti da normativa (NTC 2018).