

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

NODO DI ROMA

PRG DI ROMA TUSCOLANA

OPERE CIVILI

Elaborati Generali

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

SCALA:

-

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

NR2E 00 R 78 RH TR0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	M.Vescarelli	Apr-2021	C.Toraldo <i>C. Toraldo</i>	Apr-2021	T. Poletti <i>T. Poletti</i>	Apr-2021	D.Tiberti <i>D. Tiberti</i>

NR2E.0.0.R.78.RH.TR.00.0.5.001.A

n. Elab.:

ITA FERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Generale
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Carlo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10879

Sommario

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	7
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	CALCESTRUZZO	8
3.1.1	Calcestruzzo per diaframmi e pali	8
3.1.2	Calcestruzzo fodera interna.....	9
3.2	ACCIAIO	9
3.2.1	Acciaio per cemento armato	9
3.2.1	Acciaio per tubolari	10
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	10
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	12
5.1	vita nominale e classe d'uso	12
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	13
6	CRITERI DI VERIFICA PARATIE	14
6.1	VERIFICHE SLU.....	14
6.2	VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE	14
6.3	VERIFICHE GEOTECNICHE SLE	15
7	ANALISI DEI CARICHI	17
7.1	SPINTA DEL TERRENO	17
7.2	CARICHI PERMANENTI	18
7.3	CARICHI ACCIDENTALI.....	18
7.4	AZIONE DEL VENTO	19
7.5	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO	22
7.6	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	23
8	COMBINAZIONI DI CARICO	24
9	PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI – SOLUZIONE 1	25
9.1	FASI DI CALCOLO	26



**PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO
ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA**

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	2 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

9.2	RISULTATI GEO	30
9.3	RISULTATI STR	36
10	PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI – SOLUZIONE 2	39
10.1	FASI DI CALCOLO	40
10.2	RISULTATI GEO	43
10.3	RISULTATI STR	48
11	PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI – SOLUZIONE 3	51
11.1	FASI DI CALCOLO	52
11.2	RISULTATI GEO	57
11.3	RISULTATI STR	62

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 – Planimetria di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
	OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA NR2E	LOTTO 00	CODIFICA R 78	DOCUMENTO RHTR0000001	REV. A

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le trincee si sviluppano alle estremità delle gallerie in corrispondenza dell'asse 5 (GA02) e degli assi 6 e 7 (GA01).

Precedentemente alla galleria GA01, viene realizzata la trincea TR04, mediante una paratia di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.40 m. La paratia di pali ha inizio dalla progressiva 0+375.00 km in sinistra e dalla 0+423.00 km in destra, e termina alla progressiva 0+625.00 km, per uno sviluppo complessivo di 250 m (in sinistra) e 202 m (in destra).

A seguito della galleria GA01 viene realizzata alla trincea TR02, che viene realizzata mediante una paratia di pali di diametro 1200 mm, interasse 1.40 m e con un puntone provvisorio in testa all'opera posta con interasse di 5 m e si sviluppa dalla progressiva 0+819.95 km alla 0+875.20 km per uno sviluppo complessivo di circa 55.25 m.

Precedentemente alla galleria GA02 viene realizzata la trincea TR03, che viene realizzata mediante una paratia di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.40 m e si sviluppa dalla progressiva 0+117.00 km alla 0+330.00 km, per uno sviluppo complessivo di circa 213 m.

Al termine della GA02 e della TR02 si sviluppa la trincea TR05 che ospita i binari 5, 6 e 7: viene realizzata mediante una paratia di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.40 m e si sviluppa dalla progressiva 0+875.00 km alla 1+075.00 km, per uno sviluppo complessivo di circa 200 m.

Si adottano 3 soluzioni progettuali differenti a seconda dell'azione del carico ferroviario e dell'altezza di scavo:

- la soluzione 1 si applica per tutte le trincee con il carico ferroviario a monte solamente in condizioni definitive, al termine quindi della realizzazione dell'opera. Sono previste paratie di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.40 m, con lunghezza massima pari a 20 m, che lavorano a sbalzo in configurazione provvisoria e definitiva. Tale caso si presenta per le trincee TR03, TR04 e TR05 lato destra. L'altezza di scavo adottata nel calcolo è pari all'altezza di scavo massima di 8.5 m, individuata in corrispondenza della trincea TR05 e a favore di sicurezza si considera la presenza di una barriera antirumore H10 in testa all'opera. Nel caso in esame TR03 e TR04 non presentano la soletta di fondo, tuttavia il modello adottato si considera comunque dimensionante per le stesse, in quanto presentano altezza di scavo minori (da un calcolo speditivo con stesse altezze di scavo e assenza di vincolo fisso alla base, il modello converge e si determinano valori di spostamenti in testa all'opera maggiori di 3 mm circa rispetto al modello originale);

- la soluzione 2 si applica solamente per la trincea TR05 in sinistra, che presenta il carico ferroviario a monte in esercizio anche durante le fasi di scavo. Sono previste paratie di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.40 m, con lunghezza massima pari a 18 m, che lavorano a sbalzo in configurazione provvisoria e definitiva. L'altezza di scavo adottata nel calcolo è pari all'altezza di scavo massima di 6.5 m;

- la soluzione 3 si applica per il singolo caso della TR02, che presenta il carico ferroviario a monte sia in condizioni provvisorie che definitive e si hanno altezze di scavo pari a 8 m. Sono previste paratie di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.40 m, con lunghezza massima pari a 18 m, che lavorano con un puntone in acciaio in testa nella configurazione provvisoria con interasse di 5 m e a sbalzo in configurazione definitiva. L'altezza di scavo adottata nel calcolo è pari all'altezza di scavo massima di 7.80 m.

Si riportano di seguito la pianta, il profilo, e le sezioni rappresentative delle trincee TR05 e TR02, come stralci grafici estratti dello specifico elaborato:

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	5 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

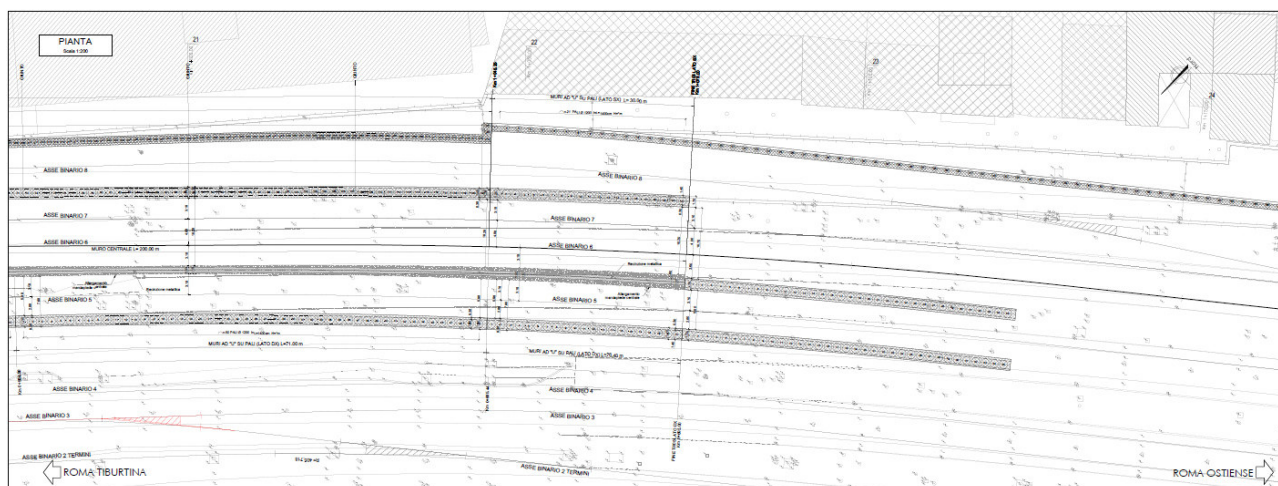
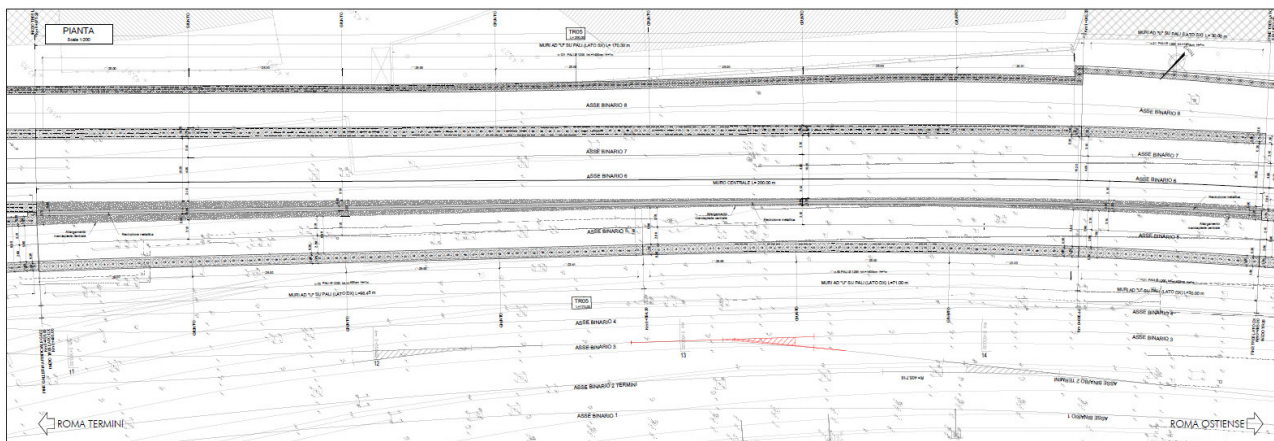


Figura 2 - Pianta TR05 (sopra) e .TR02 (sotto).

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	6 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

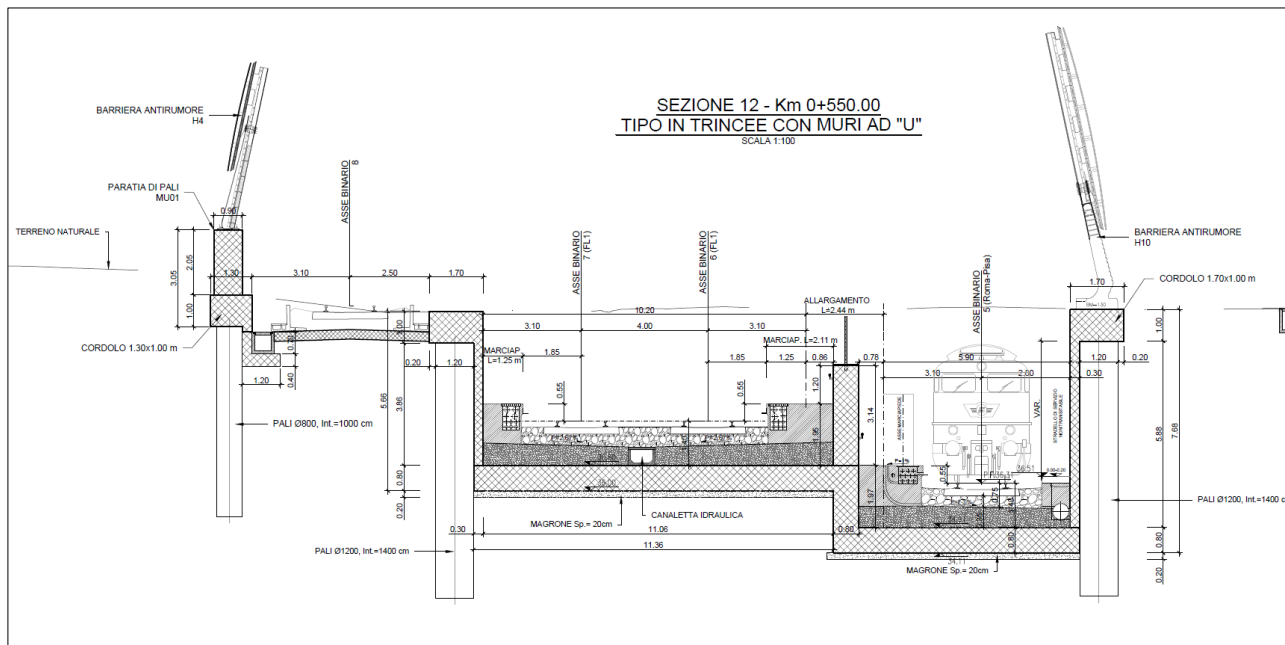


Figura 3 - Sezioni TR05.

	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA NR2E	LOTTO 00	CODIFICA R 78	DOCUMENTO RHTR000001	REV. A	FOGLIO 7 di 65

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 RFIDTCSIPSMIAIFS001E 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/mm² Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 14.11$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.55$ N/mm² Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79$ N/mm² Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19$ N/mm² Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.03$ N/mm² Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 2.68$ N/mm² Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9$ N/mm² Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 31447.16$ N/mm² Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 13.69$ N/mm² Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 5.64$ N/mm² Tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm

3.1.2 Calcestruzzo fodera interna

- Classe di resistenza C30/37:
- Copriferro 40 mm
- $R_{ck} = 37$ MPa Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71$ N/mm² Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 17.40$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.94$ N/mm² Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.05$ N/mm² Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37$ N/mm² Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.63$ N/mm² Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3.08$ N/mm² Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71$ N/mm² Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 33019.43$ N/mm² Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 16.89$ N/mm² Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 6.96$ N/mm² 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 $f_{yk} = 450$ N/mm²;
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540$ N/mm²;
- resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 391,30$ N/mm²;
- modulo elastico $E_s = 206.000$ N/mm²;

- tensione massima di esercizio per l'acciai $\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 337,50 \text{ N/mm}^2$.

3.2.1 Acciaio per tubolari

- Acciaio S275
- Tensione di snervamento f_y 275 N/mm²
- Tensione ultima a rottura f_u 275 N/mm²

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	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	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

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	11 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

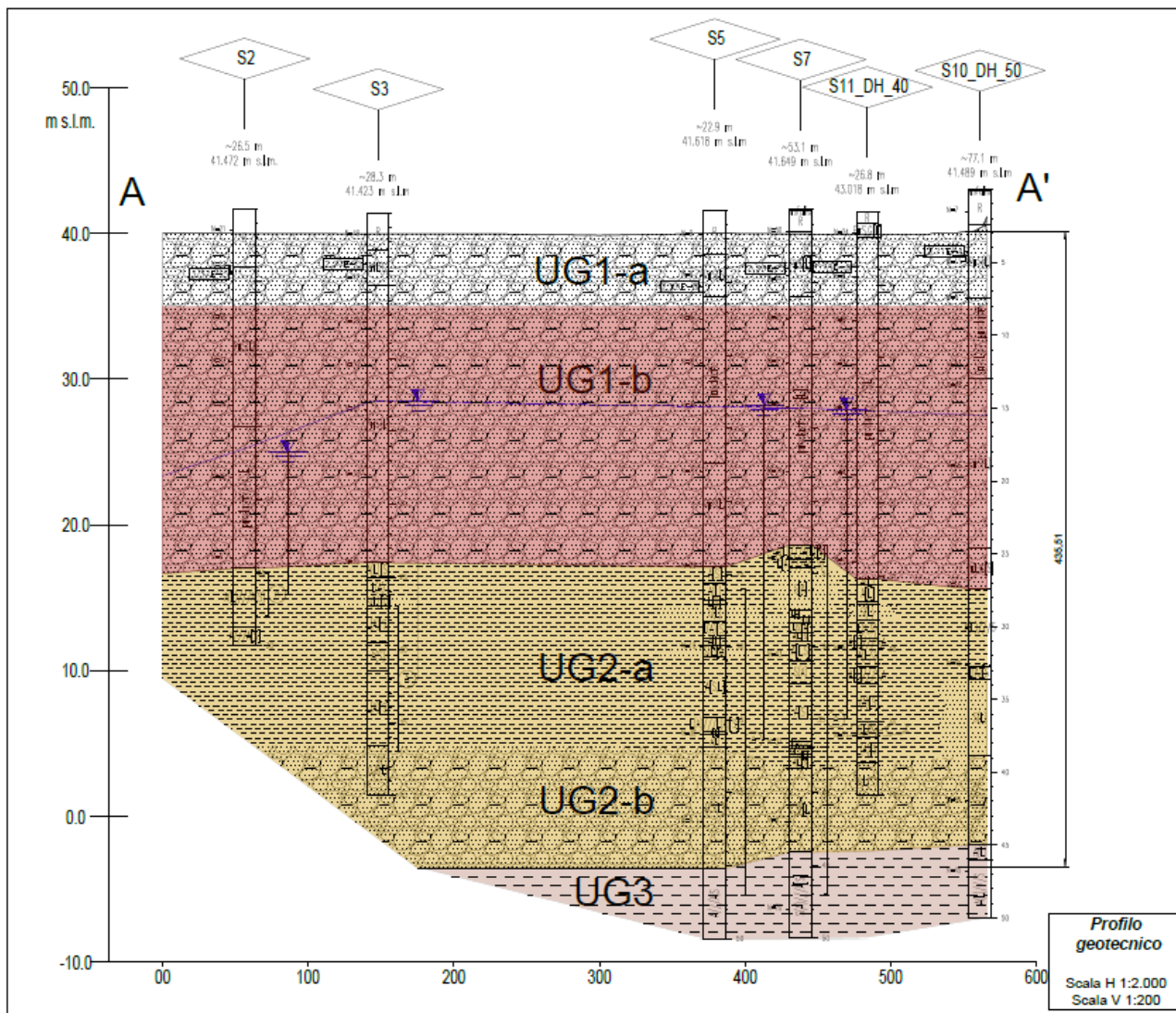


Figura 4 – Profilo geotecnico.

	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA NR2E	LOTTO 00	CODIFICA R 78	DOCUMENTO RHTR0000001	REV. A	FOGLIO 12 di 65

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 III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II): $C_U = 1.5$.

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 $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$ anni.

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

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale: 75

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T^*C [s]
Operatività (SLO)	68	0.065	2.484	0.276
Danno (SLD)	113	0.079	2.516	0.281
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.169	2.586	0.299
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.208	2.556	0.309
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5			

Coefficienti sismici

Tipo: Paratie NTC 2018

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 10 us (m): 0.05

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,44	1,38
CC Coeff. funz categoria	1,61	1,60	1,56	1,55
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.057	0.070	0.143	0.169
kv	--	--	--	--
Amax [m/s²]	0.958	1.168	2.381	2.821
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).

	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
	OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	14 di 65

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 Δt 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 IN CONDIZIONI SISMICHE

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γ_R indicati nel Capitolo 7 delle NTC 2018, oppure con i γ_R indicati nel Capitolo 6 delle stesse NTC 2018 laddove non espressamente specificato.

Con riferimento alle condizioni di esercizio dovranno essere condotte verifiche nei confronti dello stato limite di danno. In particolare, gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Lo spostamento orizzontale massimo ammissibile in testa ad opere di sostegno di contenimento della sede ferroviaria potrà essere assunto, in condizioni sismiche, al più pari a 2 cm.

Per le verifiche in condizioni sismiche si adotta il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
	OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA NR2E	LOTTO 00	CODIFICA R 78	DOCUMENTO RHTR0000001	REV. A

dove:

- a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- α è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- β è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018).

L'effetto del sisma sulle strutture di sostegno è ottenuto applicando un incremento di spinta (cfr § 7.11.6.3.1 del D.M. 17/01/2018 e § C7.11.6.3 della Circolare 7/19) del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera.

$$\Delta S_E = \left[\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H$$

dove: γ rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce, H rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso), e K_{aE} e K_a rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

Per la valutazione della spinta passiva si assume $\alpha=1$ (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018). Il coefficiente sismico verticale, k_v , si assume pari a 0 (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018).

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , si assume pari a 1/2 della resistenza al taglio del terreno naturale.

6.3 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.

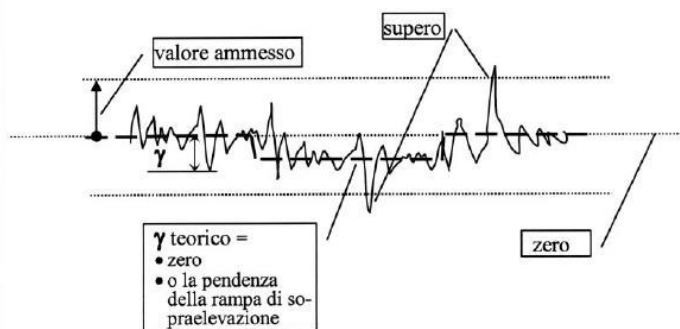
Lo sghembo γ è l'inclinazione espressa in % relativa di una fila di rotaia rispetto all'altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale XL fra due sezioni di binario poste a una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	16 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

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".

	γ base 3 m	γ base 9 m
Se la velocità del tratto di linea è $200 < V \leq 300$ km/h	se $\gamma_{3m} \geq 5$ $V_{ral} \leq 200$ km/h	se $\gamma_{9m} \geq 3,5$ $V_{ral} \leq 200$ km/h
Valori limite di esercizio 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 deviatori inseriti in curva		

Inoltre, sono state eseguite anche le verifiche SLE richieste dal MdP al paragrafo 3.10.3.2.3, ossia, con riferimento alle condizioni di esercizio dovranno essere condotte verifiche nei confronti dello stato limite di danno. In particolare, gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Lo spostamento orizzontale massimo ammissibile in testa ad opere di sostegno di contenimento della sede ferroviaria potrà essere assunto, in condizioni sismiche, al più pari a 2 cm.

	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
	OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	17 di 65

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 σ'_h a quella verticale σ'_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 ϕ' , 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:

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

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

Per il calcolo delle spinte si considera un valore dell'angolo d'attrito tra parete e terreno $\delta = \phi'/2$.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	18 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

Attrito terra-muro

Muro sx Usa δ/σ Muro dx Usa δ/σ

δ/σ

default δ/σ muro sx (monte) 0.5 default δ/σ muro dx (monte) 0.5

default δ/σ muro sx (valle) 0.5 default δ/σ muro dx (valle) 0.5

Stage	δ/σ sx (m)	δ/σ sx (v)	δ/σ dx (m)	δ/σ dx (v)
Stage 1	default	default	default	default
Stage B	default	default	default	default
Stage D	default	default	default	default
Stage E	default	default	default	default
Stage F	default	default	default	default
Stage C	default	default	default	default
Stage G	default	default	default	default

Opzioni coefficienti di spinta

Dipendenza da β

Dipendenza da δ

Ka

Sempre
 Mai
 Solo se conservativo ($\beta > 0$)

Kp

Sempre
 Mai
 Solo se conservativo ($\beta < 0$)

7.2 CARICHI PERMANENTI

In caso di presenza di assi ferroviari, 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 ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$).

7.3 CARICHI ACCIDENTALI

Si considera un carico accidentale pari a 10 kPa, corrispondente al carico di cantiere per la realizzazione delle opere.

Inoltre si considera il carico generato dalla presenza della barriera antirumore tipo H10, che esercita un carico verticale pari al peso della stessa e un momento:

$$P_{p, \text{BM130}} = 48.030 \text{ kN};$$

$$P_{p, \text{zoccolo, BM130}} = 17.06 \text{ kN};$$

$$P_{p, \text{pannello bagnato}} = 24.959 \text{ kN};$$

$$P_{\text{tot}} = 90 \text{ kN};$$

$$P_{\text{tot}}/1.5 = 60 \text{ kN/m};$$

$$M_{\text{tot}} = 35.726 \text{ kNm};$$

$$M_{\text{tot}}/1.5 = 23.8 \text{ kNm/m}.$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
	OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	19 di 65

7.4 AZIONE DEL VENTO

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti dirette secondo due assi principali della struttura, tali azioni esercitano normalmente all'elemento di parete o di copertura, pressioni e depressioni p (indicate rispettivamente con segno positivo e negativo) di intensità calcolate con la seguente espressione:

$$P = q_b c_e c_p c_d$$

- q_b = pressione cinetica di riferimento;
- c_e = coefficiente di esposizione;
- c_p = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- c_d = coefficiente dinamico.

Pressione cinetica di riferimento:

La pressione cinetica di riferimento q_b (N/m^2) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

dove

- v_b = velocità di riferimento del vento (m/s);
- ρ = densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

Essendo v_b pari a 27 m/s si ottiene:

q_b [kN/mq]	0.456
---------------	-------

Coefficiente di esposizione:

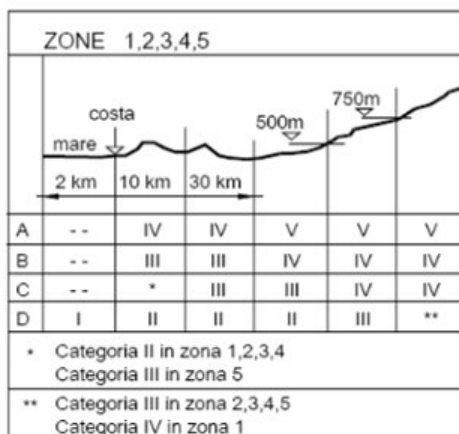
Il coefficiente d'esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione (k_r, z_0, z_{min}). Facendo riferimento alla tabella 3.3.I del D.M. 2018, la regione Campania ricade in zona 3, pertanto i parametri saranno i seguenti:

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
3	27	500	0.02

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	20 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee



Classe di rugosità del terreno: B = Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive;

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Considerando l'altezza della barriera, considerata dalla sommità della barriera fino alla base è 8.85 m.

k_r	0,20		Cat. III (D.M.18, Tab 3.3.II)
z_0	0,10	m	
z_{min}	5,00	m	
z	8.85	m	altezza sul suolo del punto considerato (Z)

Il valore di c_e può essere ricavato mediante la relazione:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

essendo z l'altezza della barriera pari a $7,23 > z_{min} = 5$, si ha:

c_e	2.06
-------	------

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	21 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

Coefficiente di forma

Il coefficiente di forma c_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

In riferimento alle pareti isolate (§7.4.1) – Zona D (Prospetto 7.9) - E.C.1 si ottiene:

c_p	1.20
-------	------

Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico può essere assunto cautelativamente pari a 1:

c_d	1.00
-------	------

Quindi riassumendo si ha:

- q_b 0.456
- C_e 2.06
- C_p 1.20
- C_d 1

da cui si ricava la pressione del vento, secondo D.M. 2018:

$$P_v = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,456 \cdot 2,06 \cdot 1,20 \cdot 1,0 = \mathbf{1,13 \text{ kN/m}^2}$$

Quindi l'azione del vento sulla barriera sarà pari a:

- $H_{\text{vento}} = 1.13 \cdot 8.85 = 10 \text{ kN/m};$
- $M_{\text{vento}} = 1.13 \cdot 8.85^2 / 2 = 44.25 \text{ kNm/m}.$

7.5 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.

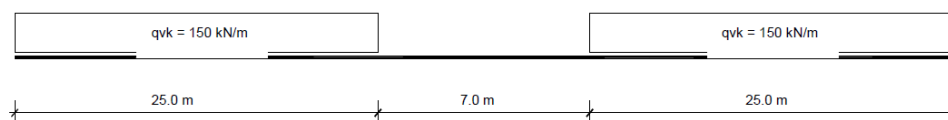


Figura 5 – Treno di carico SW2.

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 α che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 6 – Coefficienti α per modelli di carico.

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

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

	PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA					
	OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA Relazione tecnico descrittiva delle trincee	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	23 di 65

7.6 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per l'opera in esame si è considerata una vita nominale di 75 anni e una classe d'uso III ($C_U = 1.5$), pertanto si ottiene una vita di riferimento pari a $V_R = 112.5$ 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 $a_{max} = a_g * S = 0.169 * 1.44 = 0.243 g$.

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 α è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e β è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Considerando l'opera sia in configurazione iniziale che finale come una struttura che ammette spostamenti (i diaframmi lavorano a sbalzo), il metodo di calcolo assunto è quello di Mononobe – Okabe.

$$\Delta S_E = \left[\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H$$

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	24 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

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:

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

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

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

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

⁽¹⁾ 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 γ_{G1}

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

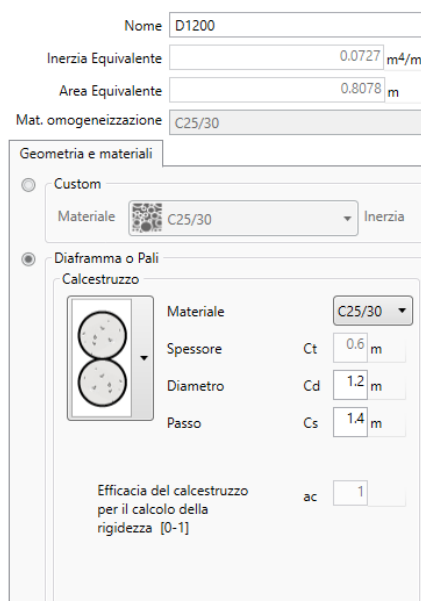
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ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

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 γ_R .

9 PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI – SOLUZIONE 1

La paratia di pali è costituita da pali di diametro pari a 1200 mm e interasse 1.40 m, con lunghezza di 20 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.

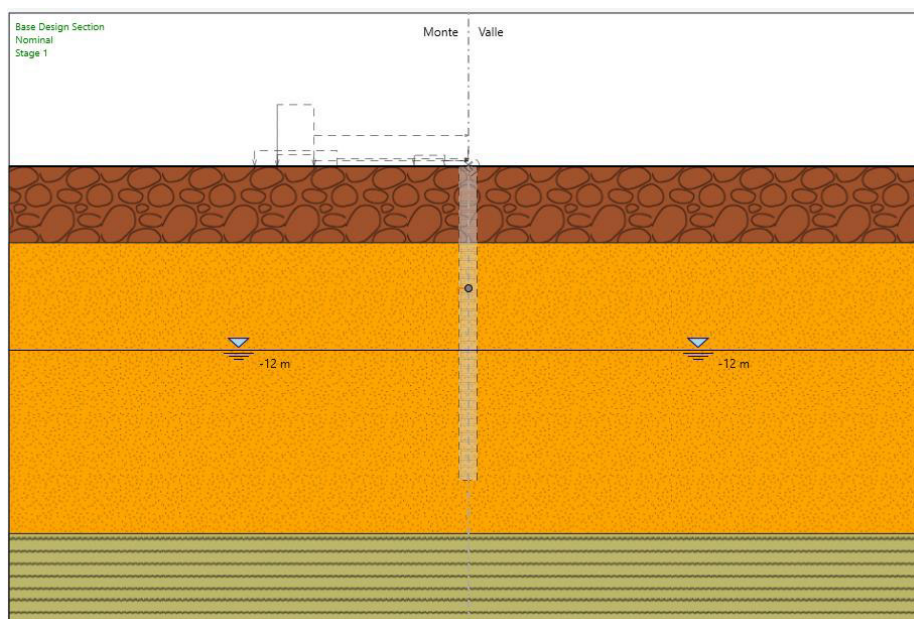
Tipologia struttura di sostegno	Paratia di pali $D = 1200$ mm, $i = 1.40$ m
Altezza totale diaframma	$H_{tot} = 20$ m
Altezza di scavo	$H = 8.5$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 9$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti monte	$g = 14.4$ kPa (ballast) a lungo termine
Sovraccarichi permanenti valle	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali monte	$q = 57.7$ kPa (treno) a lungo termine + 10 kPa (carico da cantiere)
Sovraccarichi accidentali valle	$q = 0$ kPa

Tabella 3 – Caratteristiche generali relative all'opera.

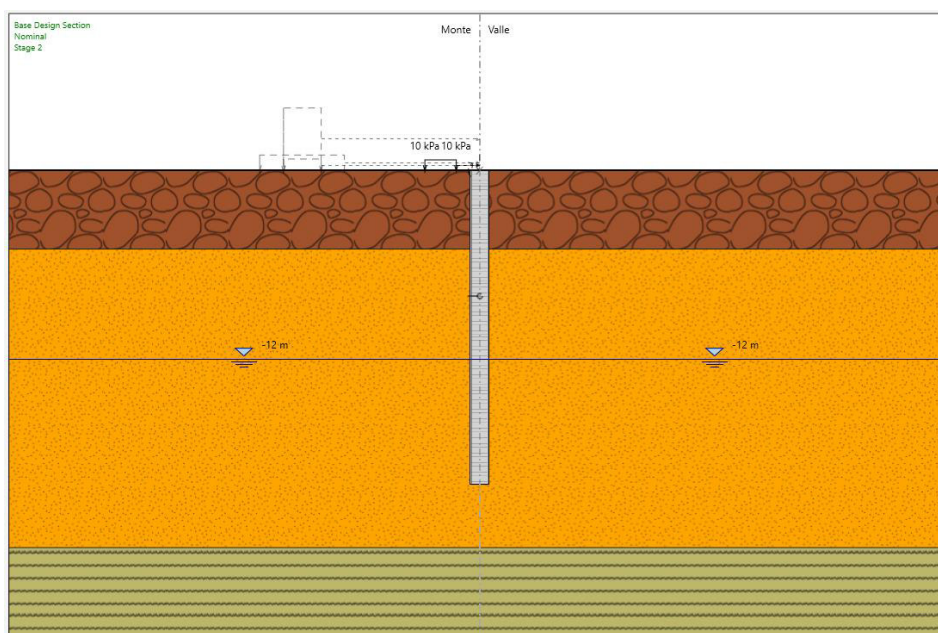
9.1 FASI DI CALCOLO

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) Realizzazione paratia di pali ϕ 1200 interasse 1.40 m e lunghezza $L = 20$ m e applicazione del carico di cantiere (10 kPa);

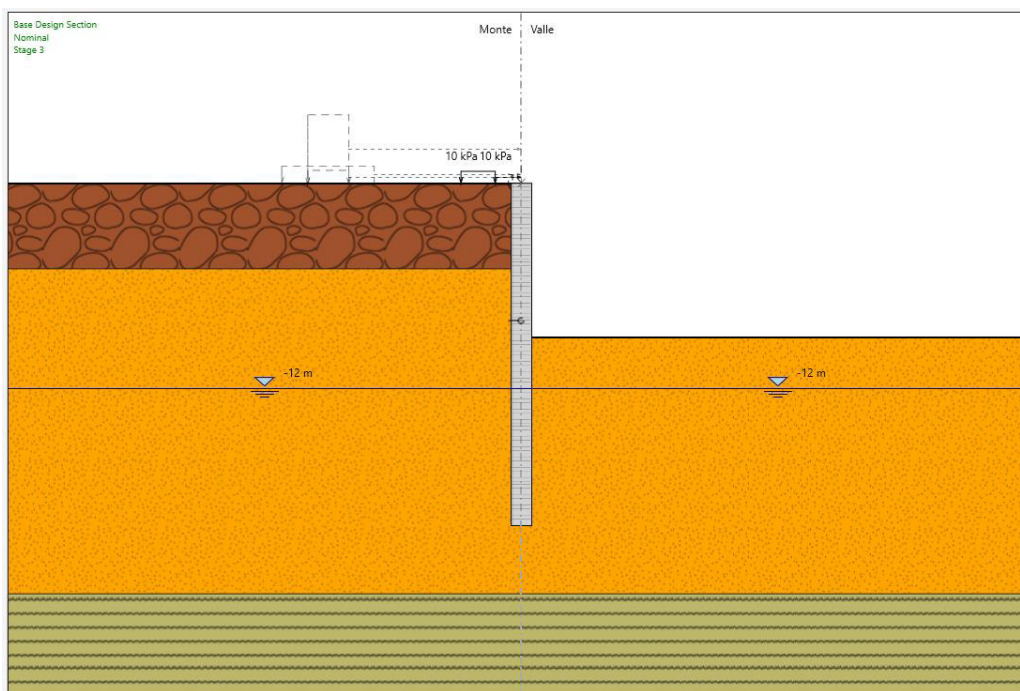


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

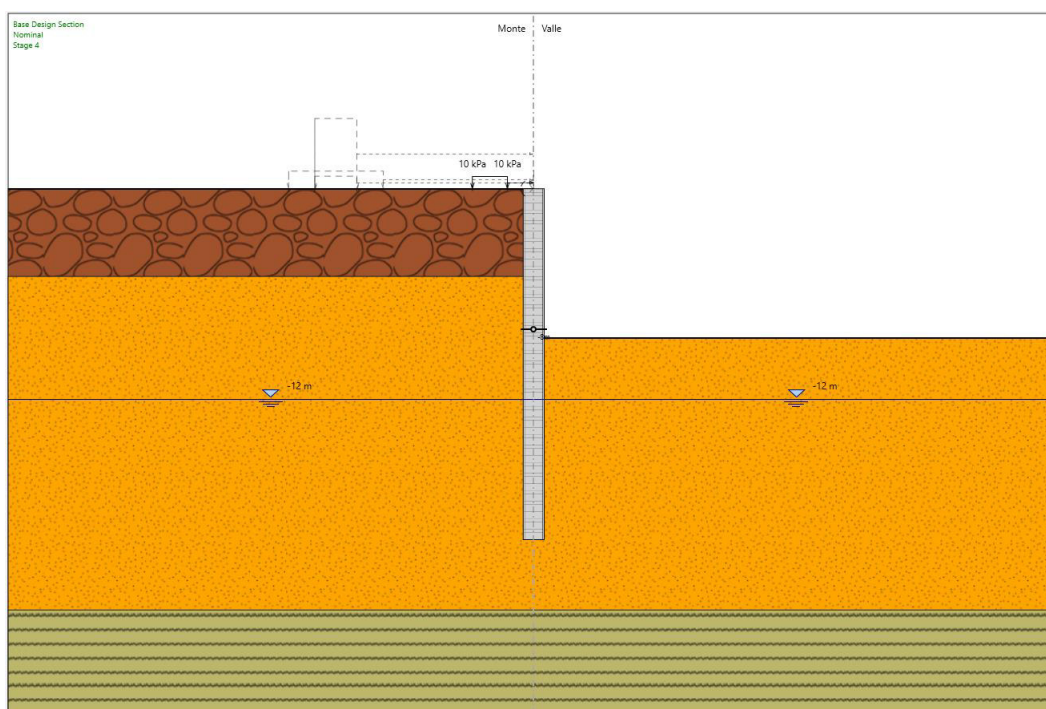
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	27 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

c) Scavo fino a quota fondo scavo ($H_1 = 9$ m);



d) Realizzazione soletta di fondo a quota -8 m da p.c.;

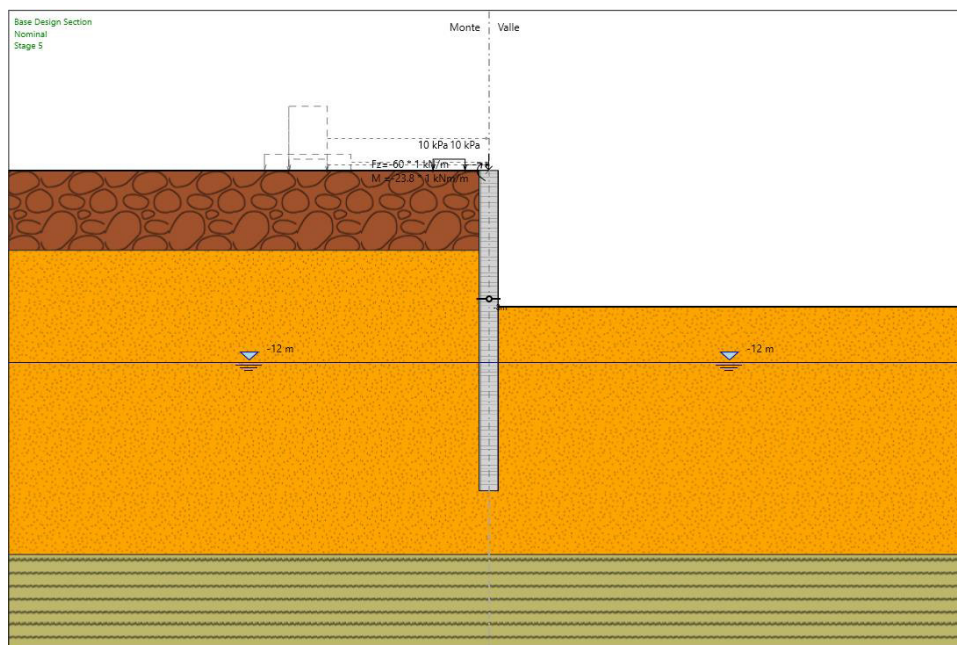


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

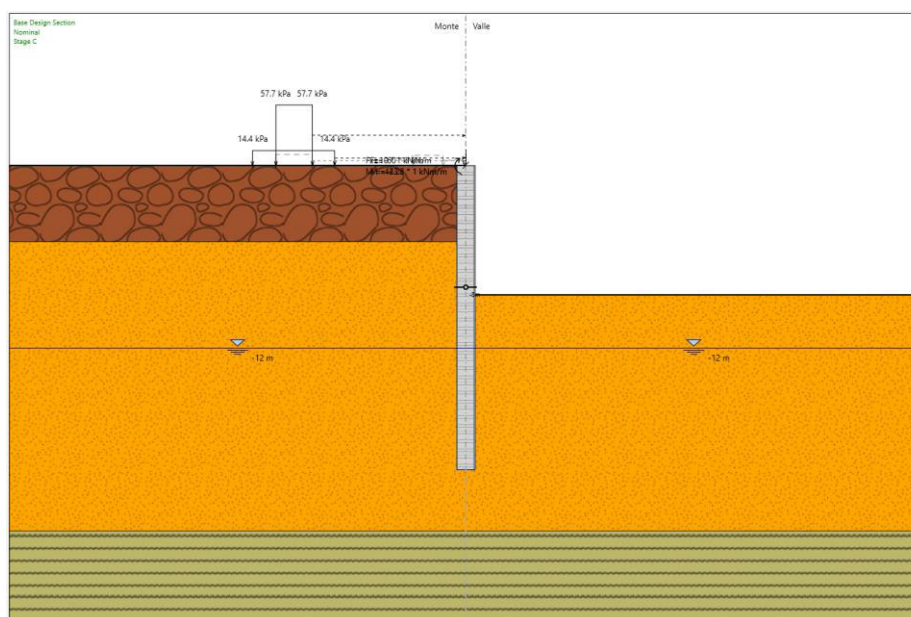
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	28 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

e) Applicazione del carico in testa alla paratia generato dalla barriera antirumore tipo H10 ($N = 60 \text{ kN/m}$, $M = 23.8 \text{ kNm/m}$);



f) Applicazione del carico permanente generato dalla presenza del ballast (14.4 kPa), del carico accidentale associato all'esercizio del binario (57.7 kPa) e applicazione del carico accidentale del vento generato sulla barriera antirumore dal treno in trincea ($H = 10 \text{ kN/m}$, $M = 44.25 \text{ kNm/m}$);

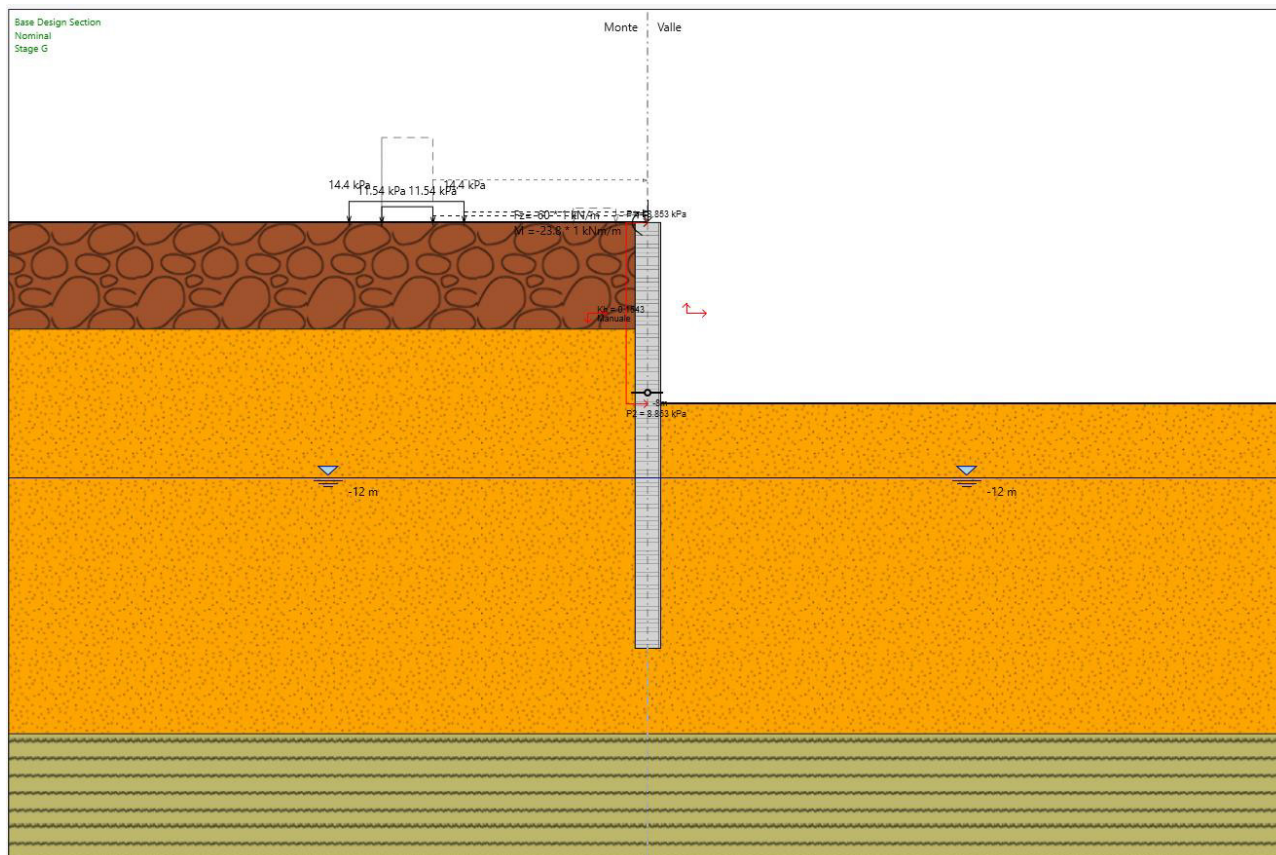


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	29 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

g) 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.

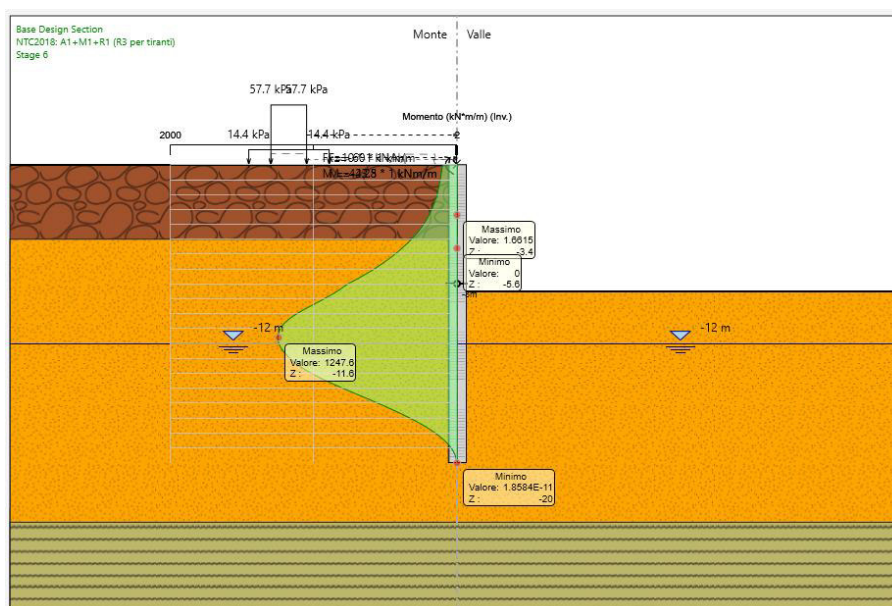


Figura 7 – Momento SLU – Stage 6.

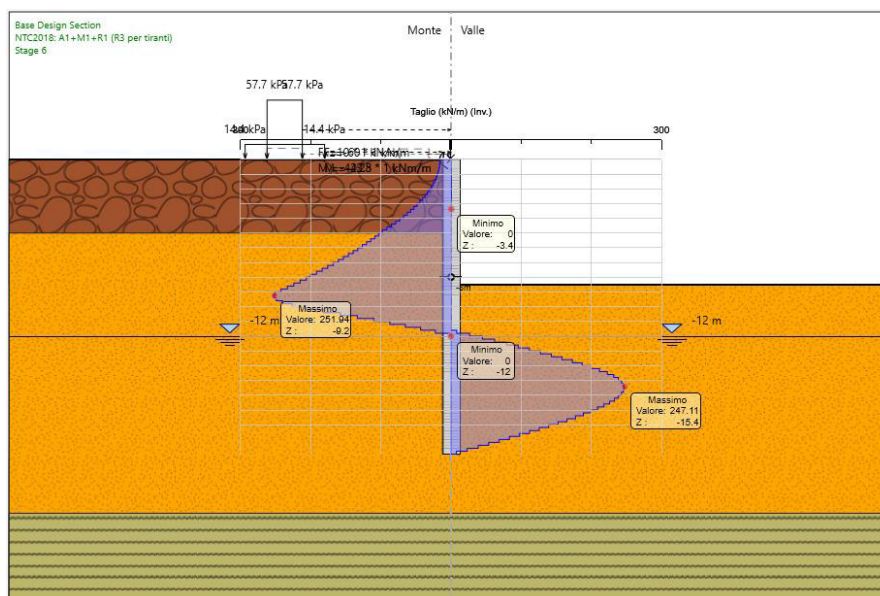


Figura 8 – Taglio SLU – Stage 4.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	32 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

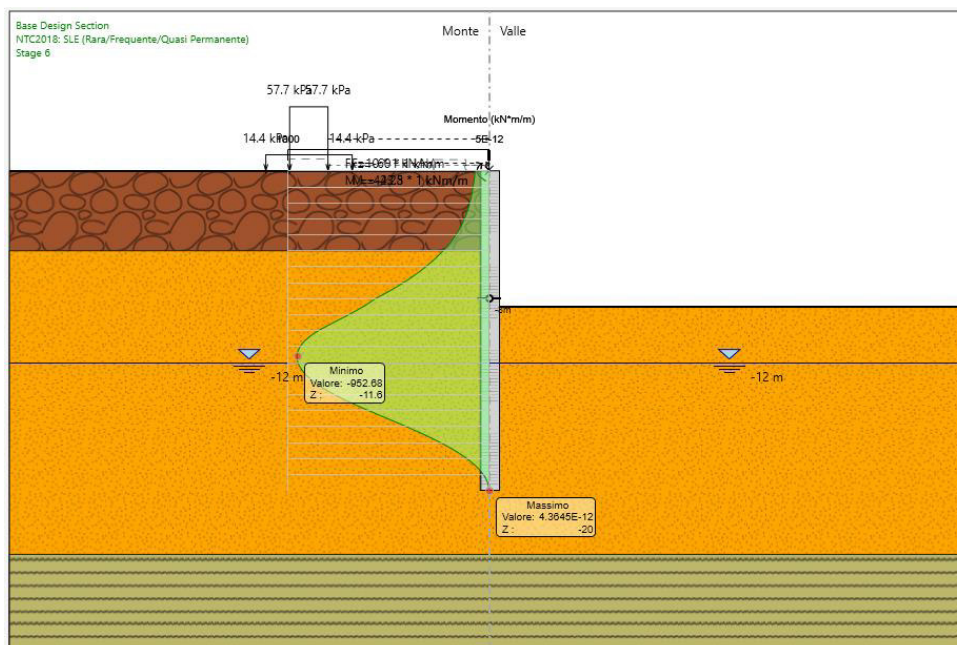


Figura 11 – Momento SLE – Stage 6.

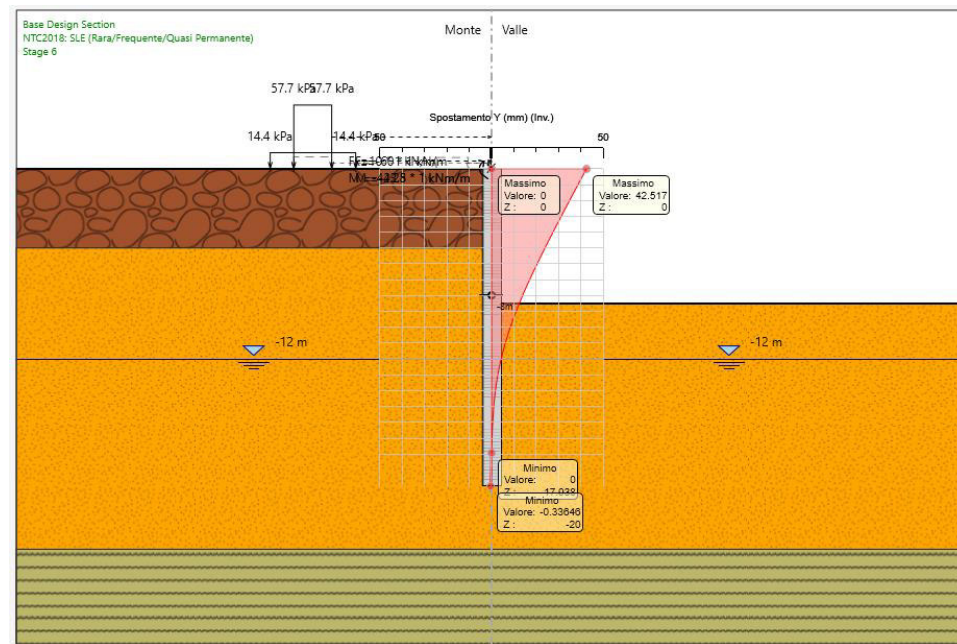


Figura 12 – Spostamento SLE – Involuppo.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	33 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 42.5 mm circa.

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

$$0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 9 = 45 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

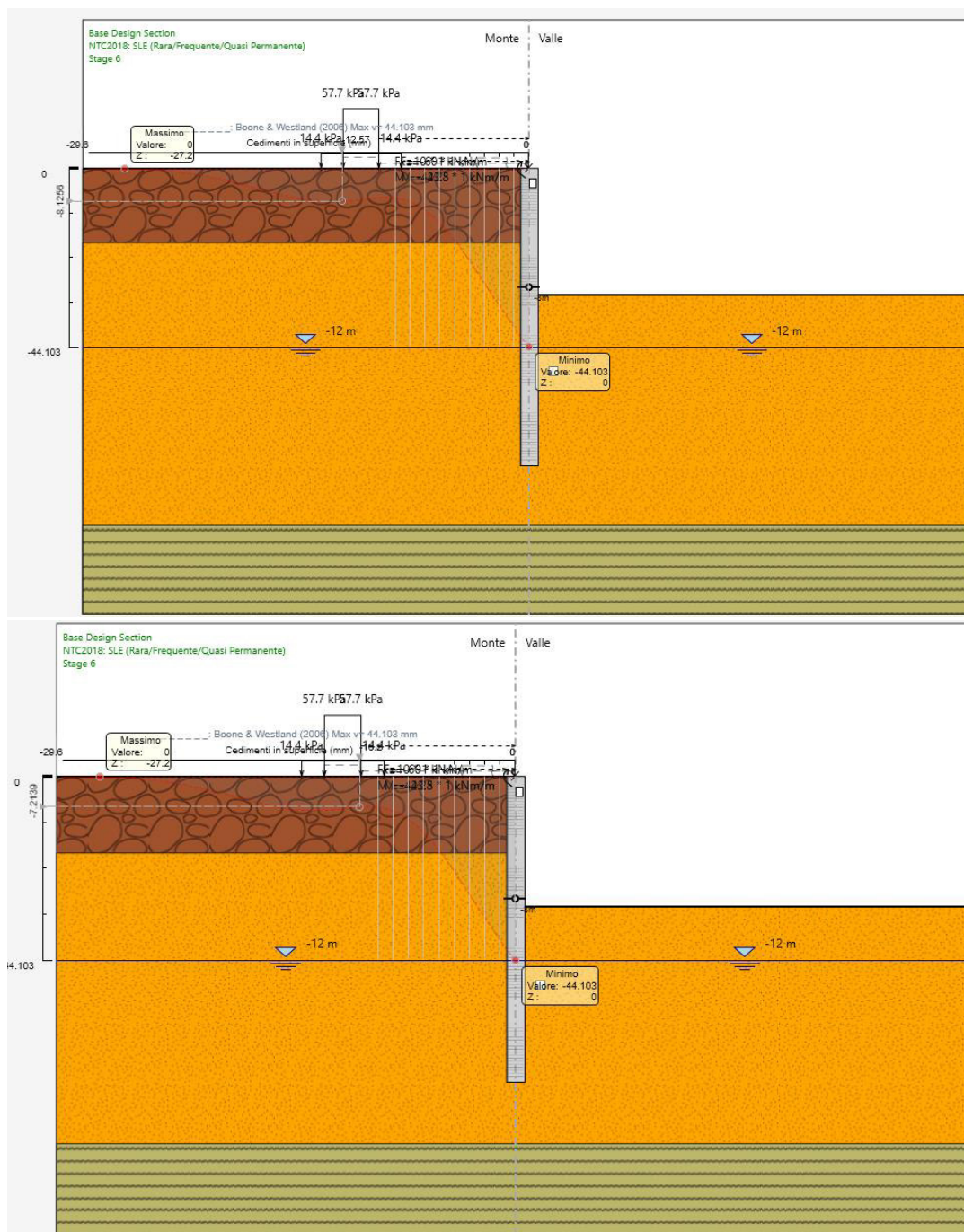


Figura 13 – Cedimento sotto al binario – Stage 6.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	34 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

Per il calcolo del γ 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 7.2 mm per quella più vicina alla paratia e 8.1 mm per quella più lontana, la cui differenza è 0.9 mm, per cui si ha:

$$\delta_{\max, \text{ammesso}} = 0.0045 * 3 = 0.0135 \text{ m} = 1.35 \text{ cm} > 0.09 \text{ cm}.$$

Per la valutazione dello spostamento ammissibile in condizioni sismiche è stato eseguito il calcolo con l'applicazione del sisma allo stato SLD ($a_g = 0.079$, $S_s = 1.5$).

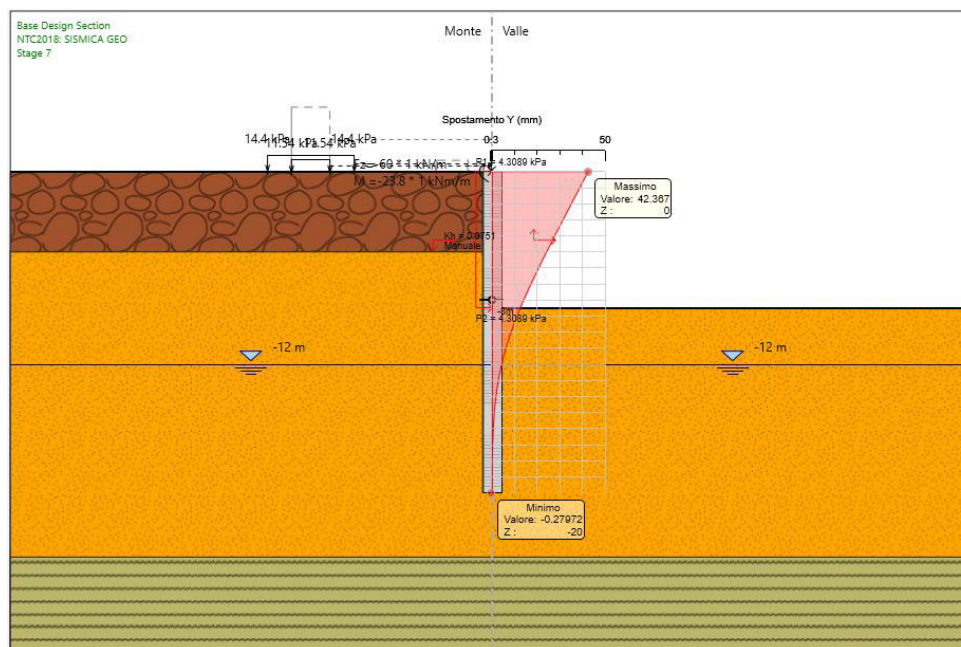


Figura 14 – Spostamento in condizioni sismiche SLD – Stage 7.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	35 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

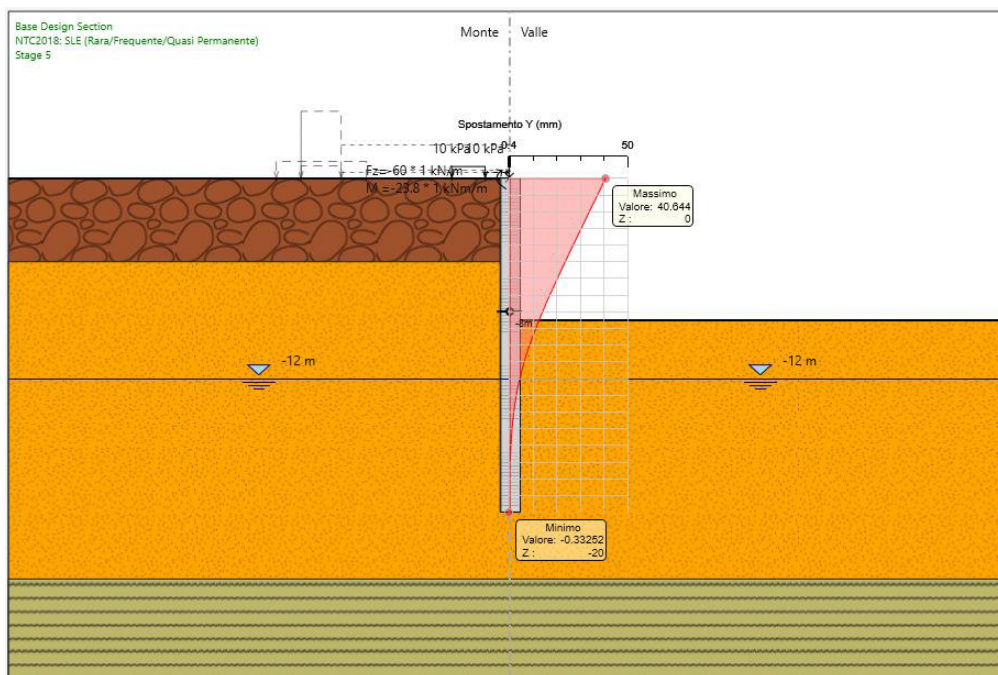


Figura 15 – Spostamento in condizioni statiche SLE prima dell'applicazione del carico ferroviario – Stage 5.

La valutazione del cedimento dell'opera di contenimento della sede ferroviaria corrisponde all'incremento di spostamento a seguito dell'azione del carico ferroviario, quindi allo spostamento in condizioni sismiche SLD viene sottratto lo spostamento che l'opera ha subito in precedenza:

$$S_p = 42.367 - 40.644 = 1.72 \text{ mm} < 2 \text{ cm} \quad \text{condizione soddisfatta.}$$

9.3 RISULTATI STR

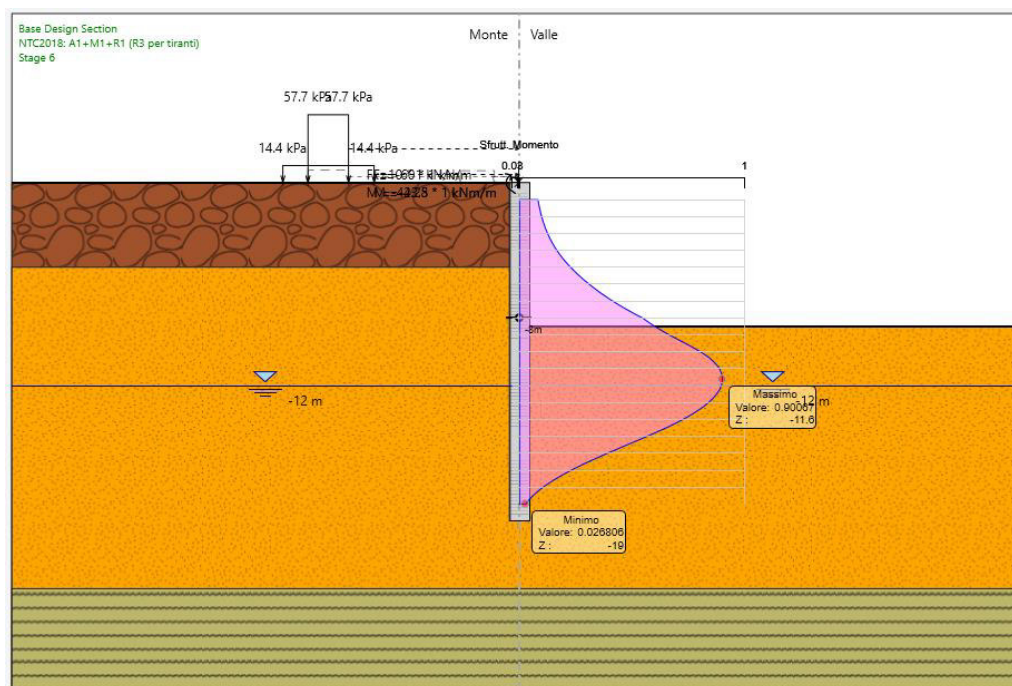


Figura 16 – Tasso sfruttamento momento flettente – SLU – stage 6.

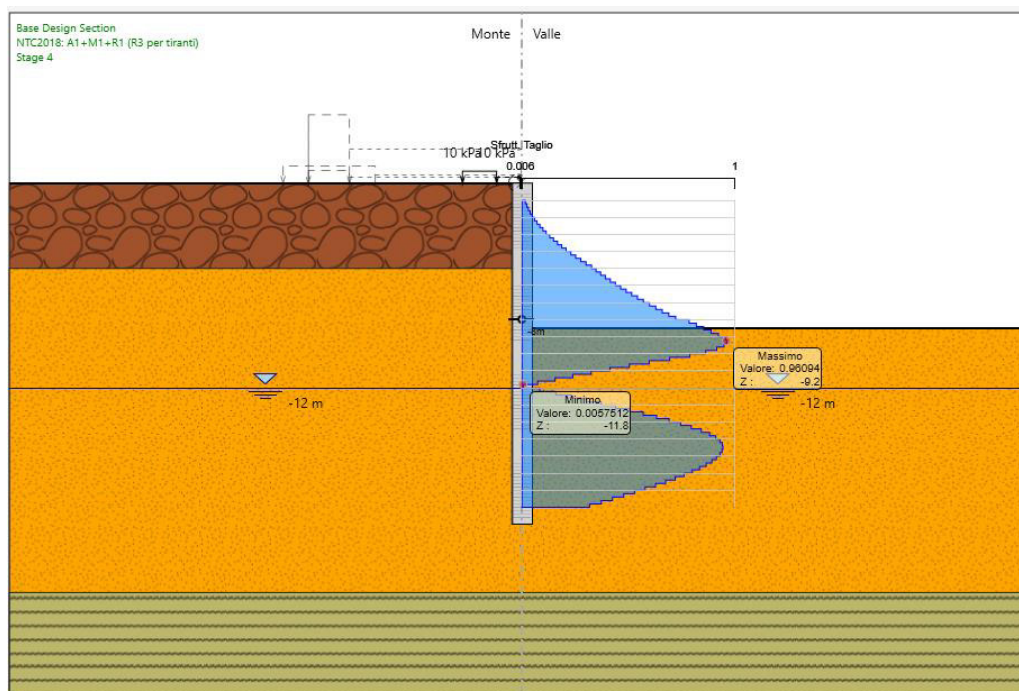


Figura 17 – Tasso sfruttamento taglio – SLU – stage 4.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	37 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

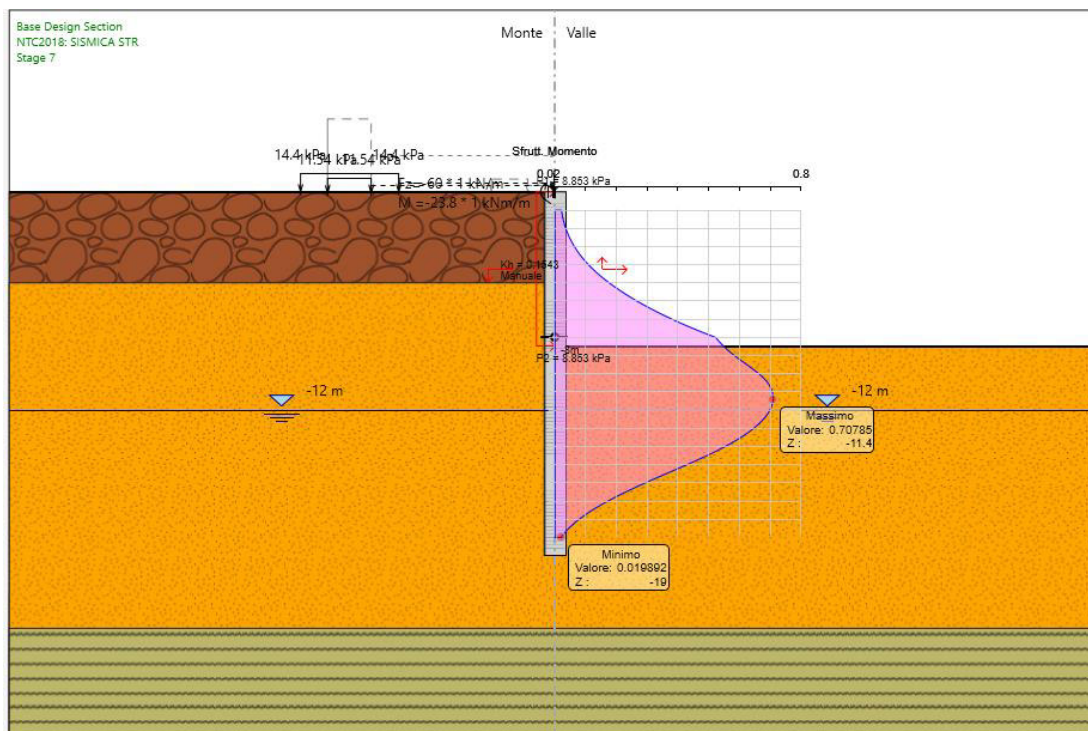


Figura 18 – Tasso sfruttamento momento flettente – SLV – stage 7.

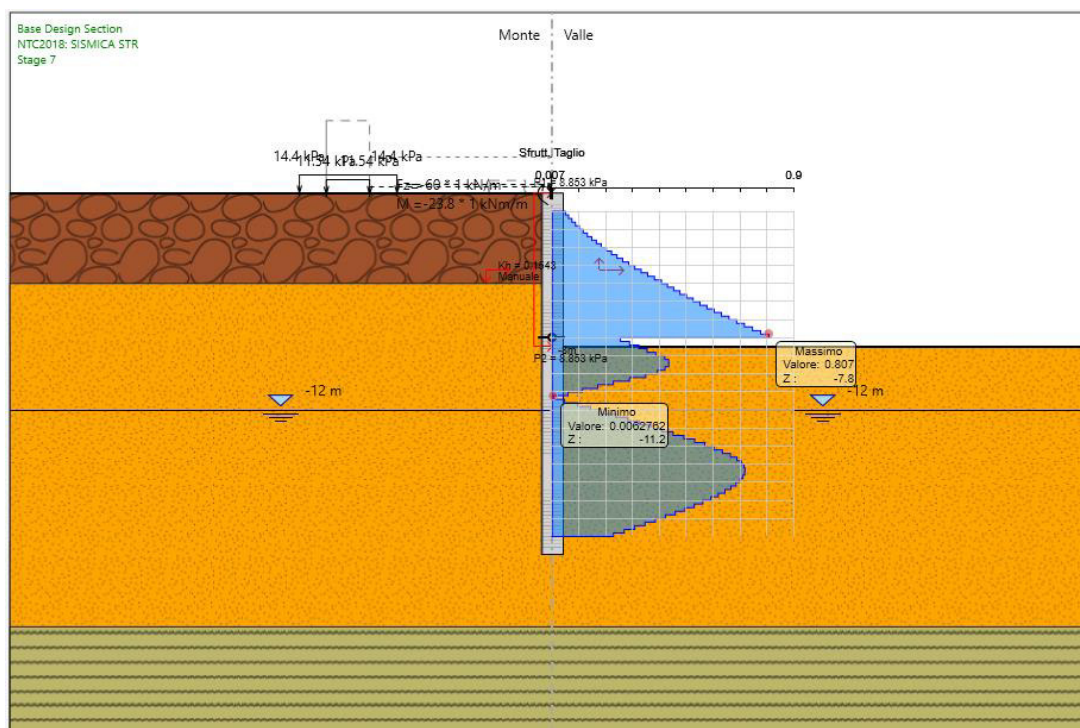


Figura 19 – Tasso sfruttamento taglio – SLV – stage 7.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	38 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

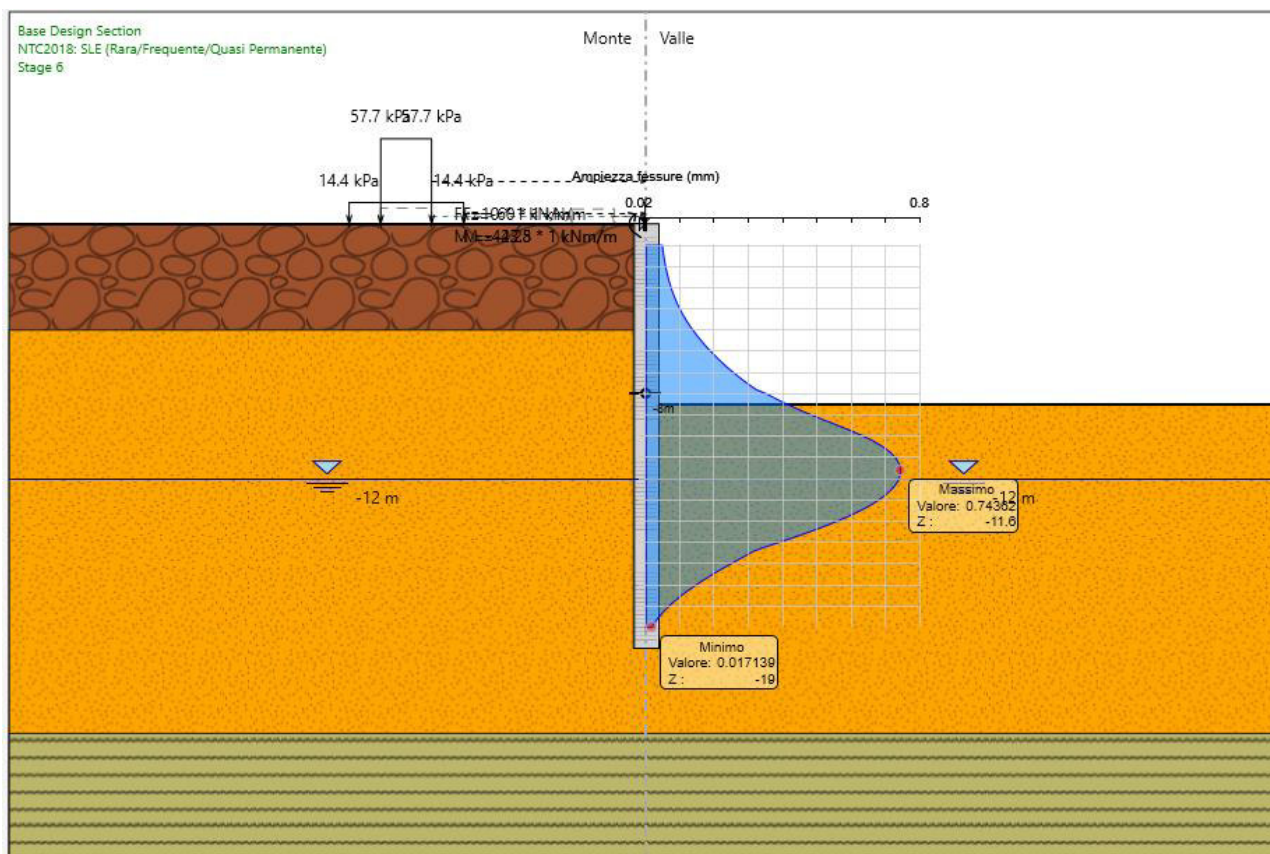
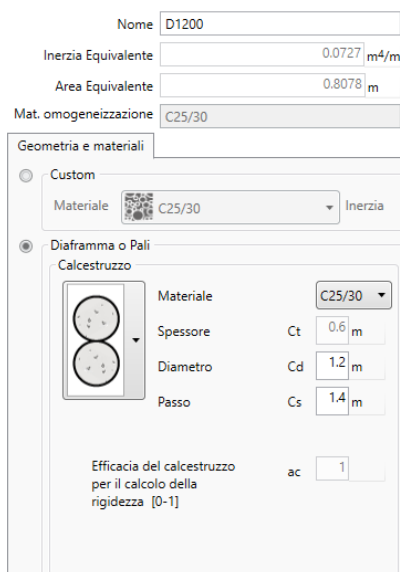


Figura 20 – Apertura fessure – SLE – stage 6.

Le verifiche strutturali in condizioni statiche e sismiche risultano soddisfatte e l'apertura delle fessure risulta inferiore al valore limite di 0.2 mm impiegando un'armatura di 24 ϕ 24 con una spirale ϕ 12/15 cm.

10 PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI – SOLUZIONE 2

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.

Tipologia struttura di sostegno	Paratia di pali $D = 1200$ mm, $i = 1.40$ m
Altezza totale diaframma	$H_{tot} = 18$ m
Altezza di scavo	$H = 6.5$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 7$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti monte	$g = 14.4$ kPa (ballast)
Sovraccarichi permanenti valle	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali monte	$q = 57.7$ kPa (treno)
Sovraccarichi accidentali valle	$q = 0$ kPa

Tabella 4 – Caratteristiche generali relative all'opera.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

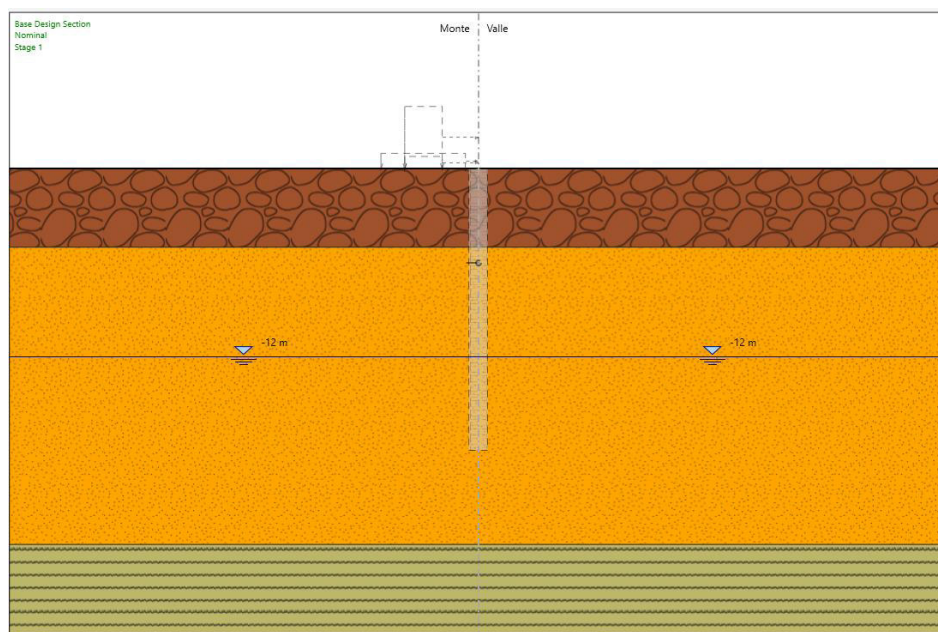
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	40 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

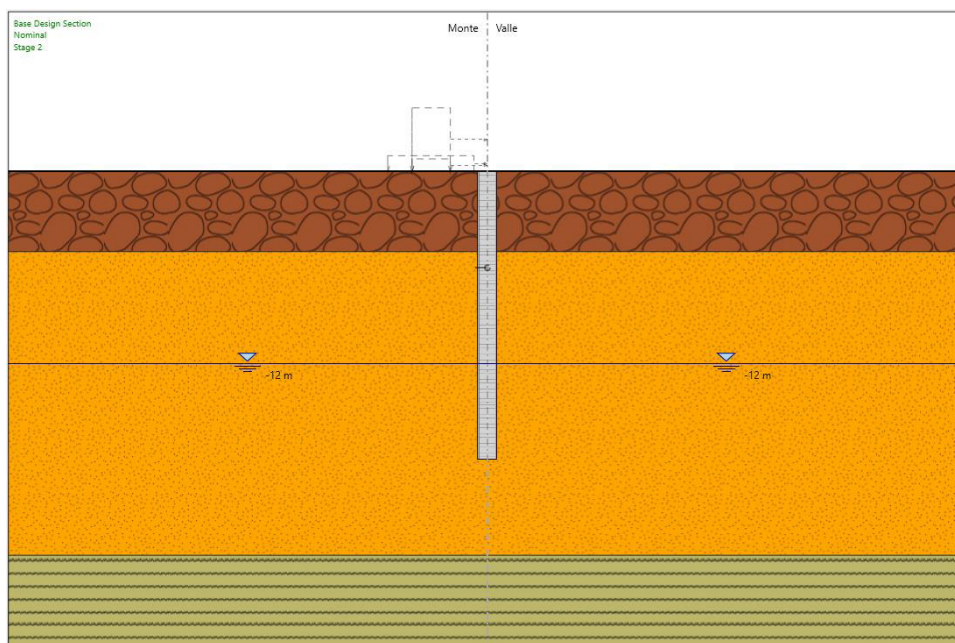
10.1 FASI DI CALCOLO

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

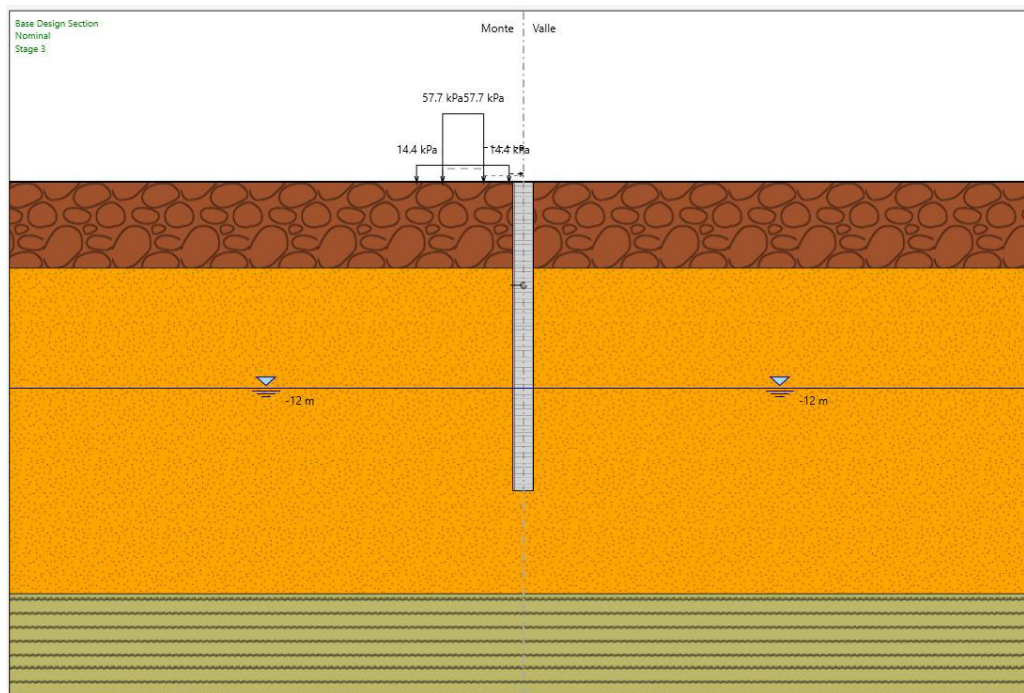


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

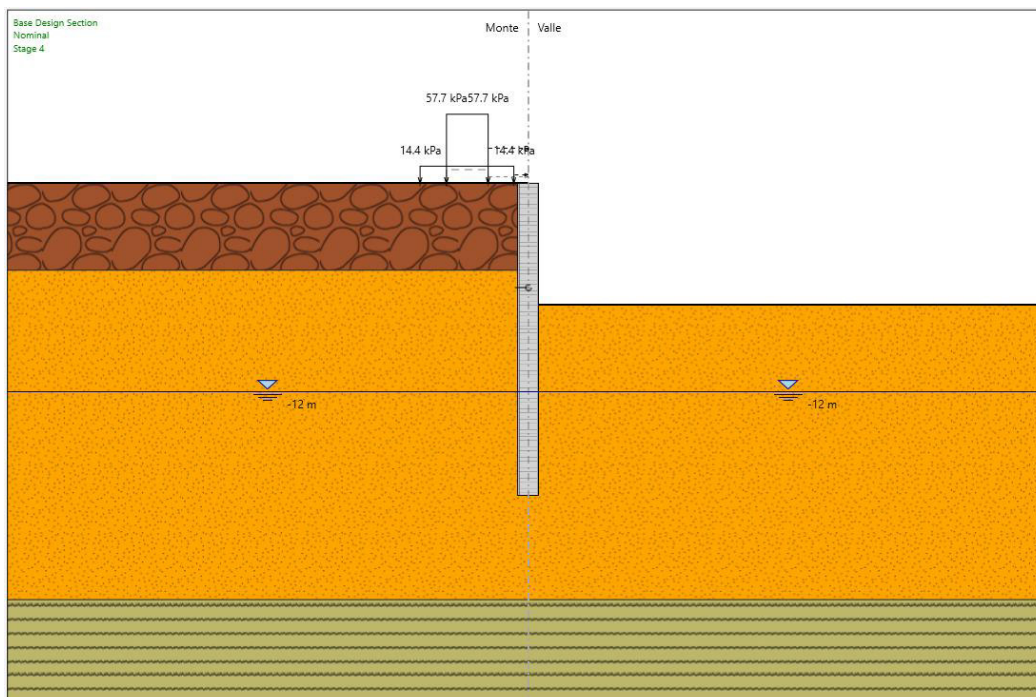
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	41 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

c) Applicazione del carico permanente generato dalla presenza del ballast (14.4 kPa) e del carico accidentale associato all'esercizio del binario (57.7 kPa);



d) Scavo fino a quota fondo scavo ($H_1 = 7$ m);

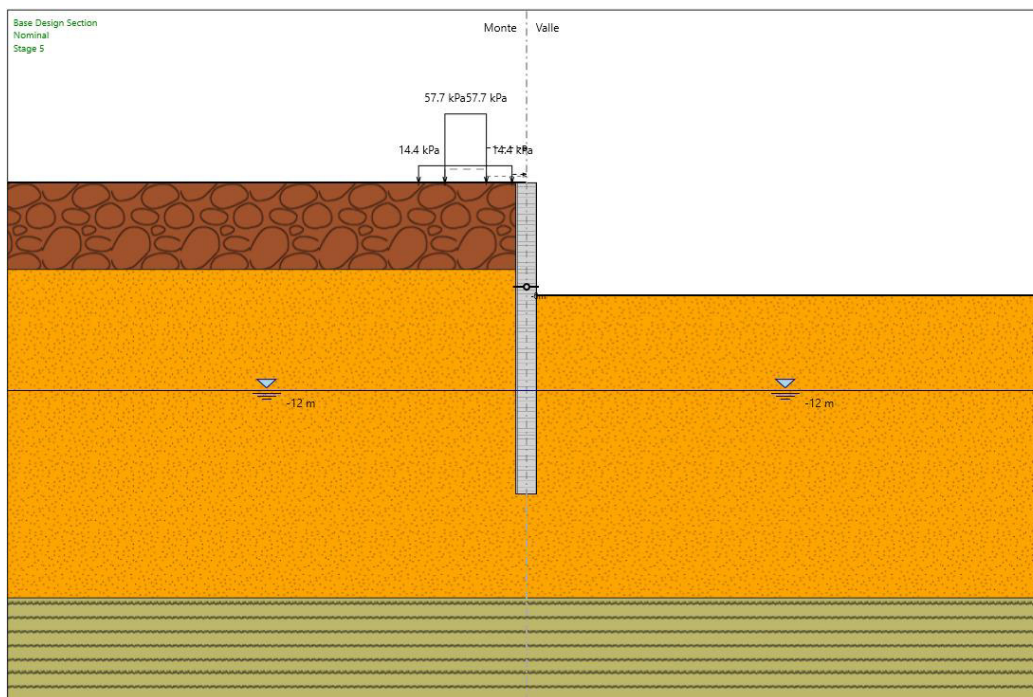


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

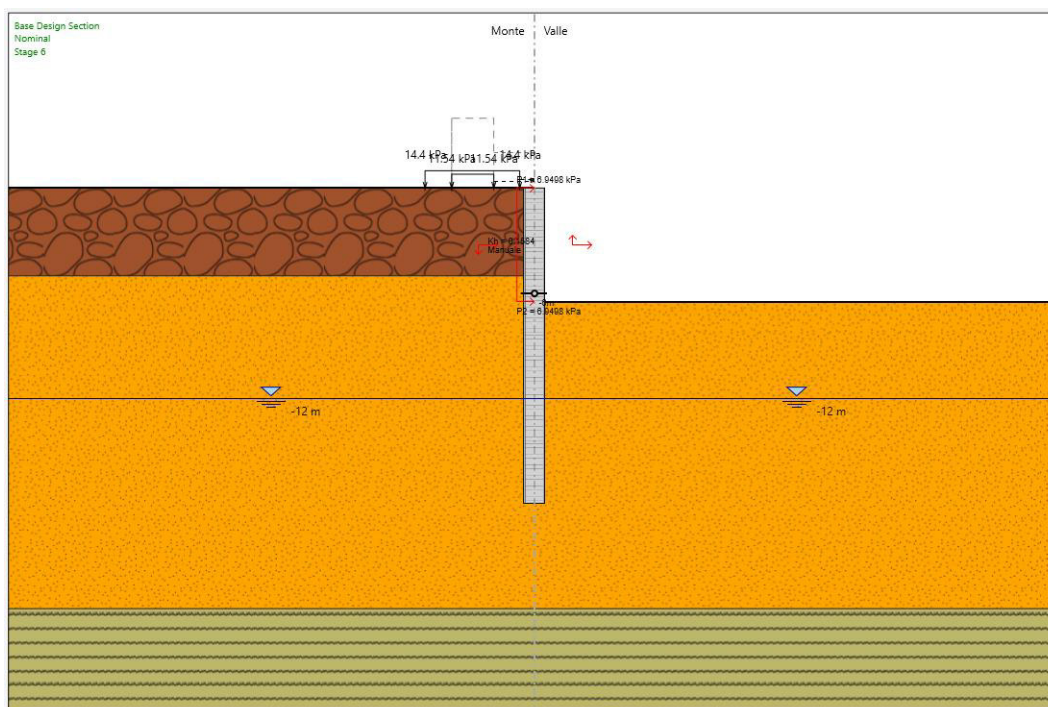
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	42 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

e) Realizzazione soletta di fondo (spessore = 1 m) a quota -6.25 m da p.c.;



f) Applicazione dell'azione sismica.



10.2 RISULTATI GEO

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

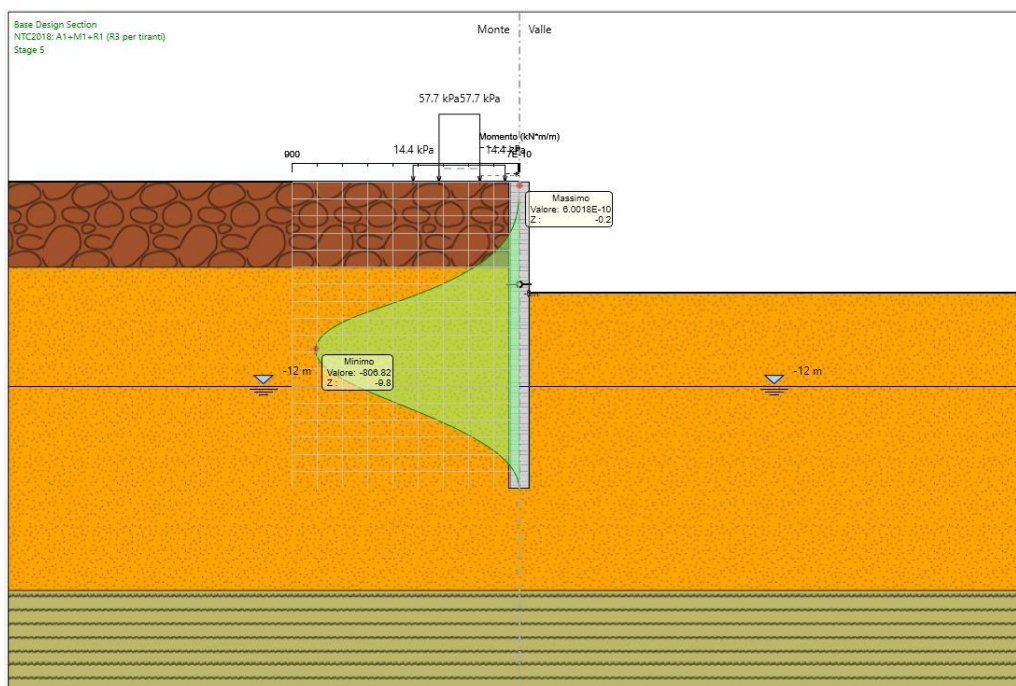


Figura 21 – Momento SLU – Stage 5.

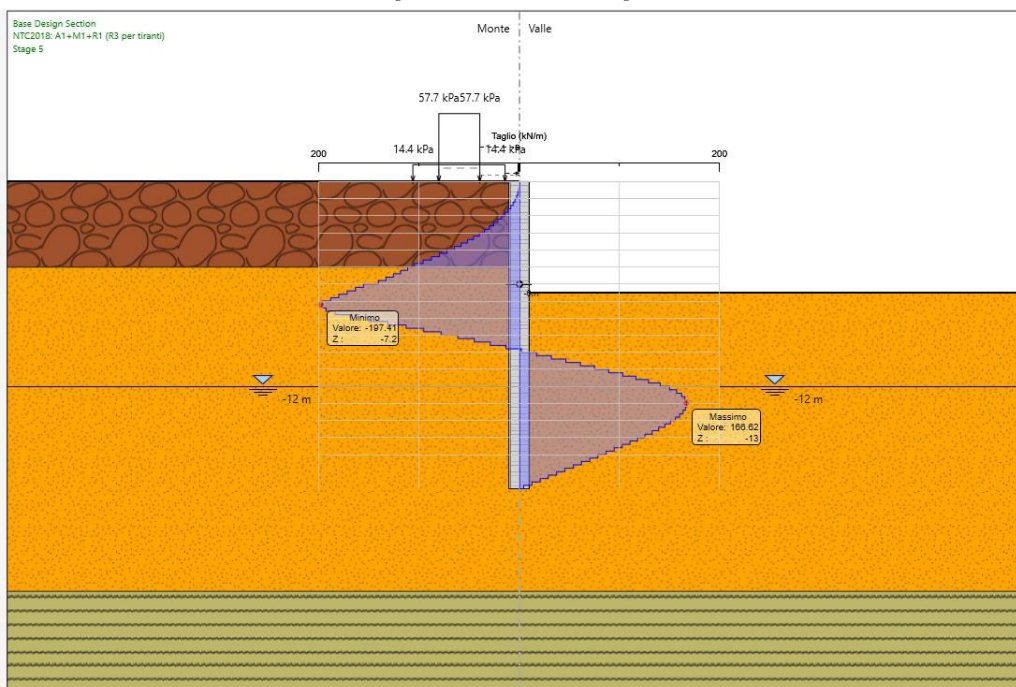


Figura 22 – Taglio SLU – Stage 5.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	44 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

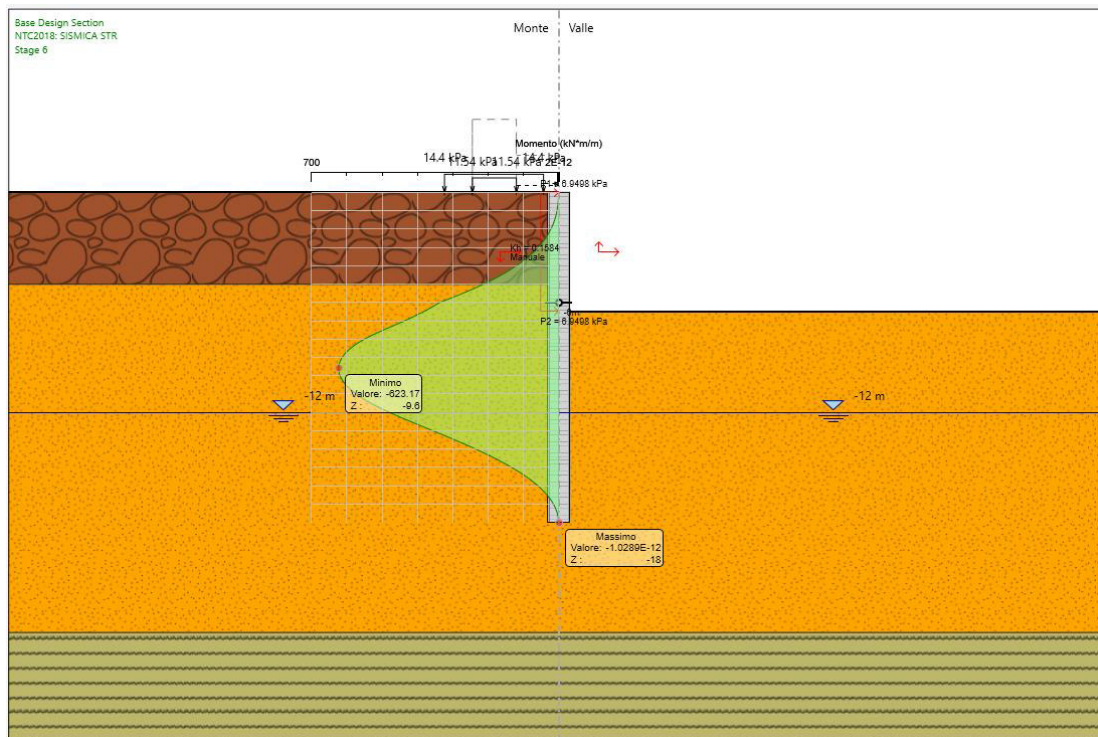


Figura 23 – Momento SLV – Stage 6.

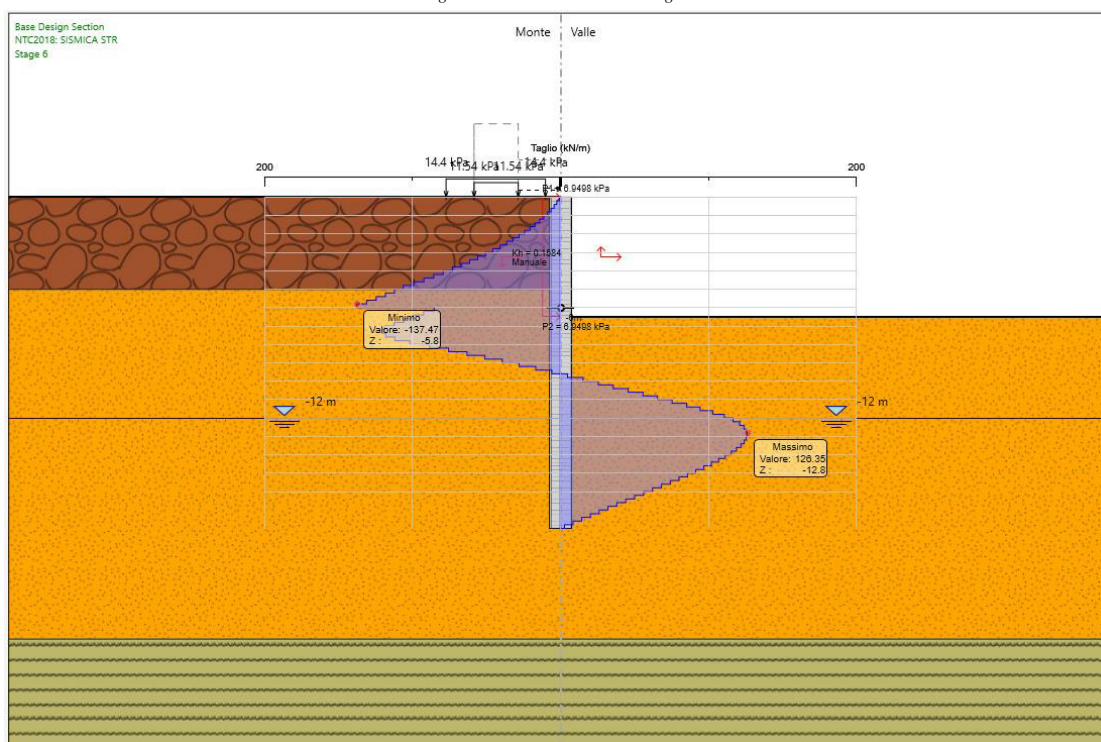


Figura 24 – Taglio SLV – Stage 6.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	45 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

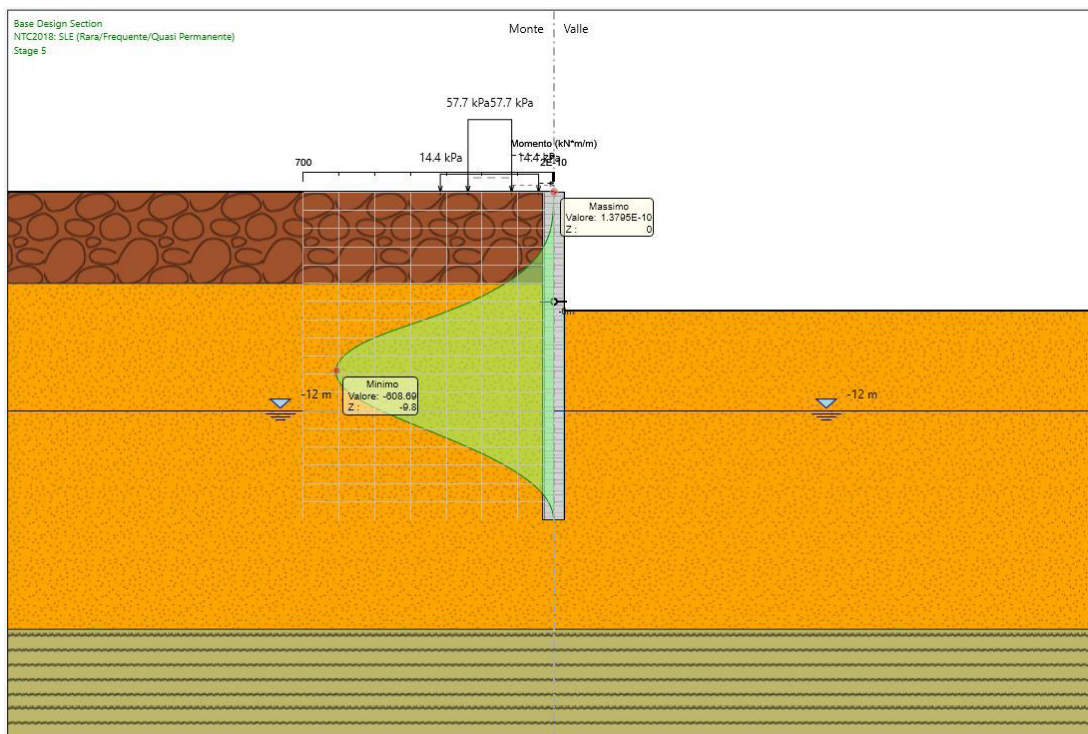


Figura 25 – Momento SLE – Stage e.

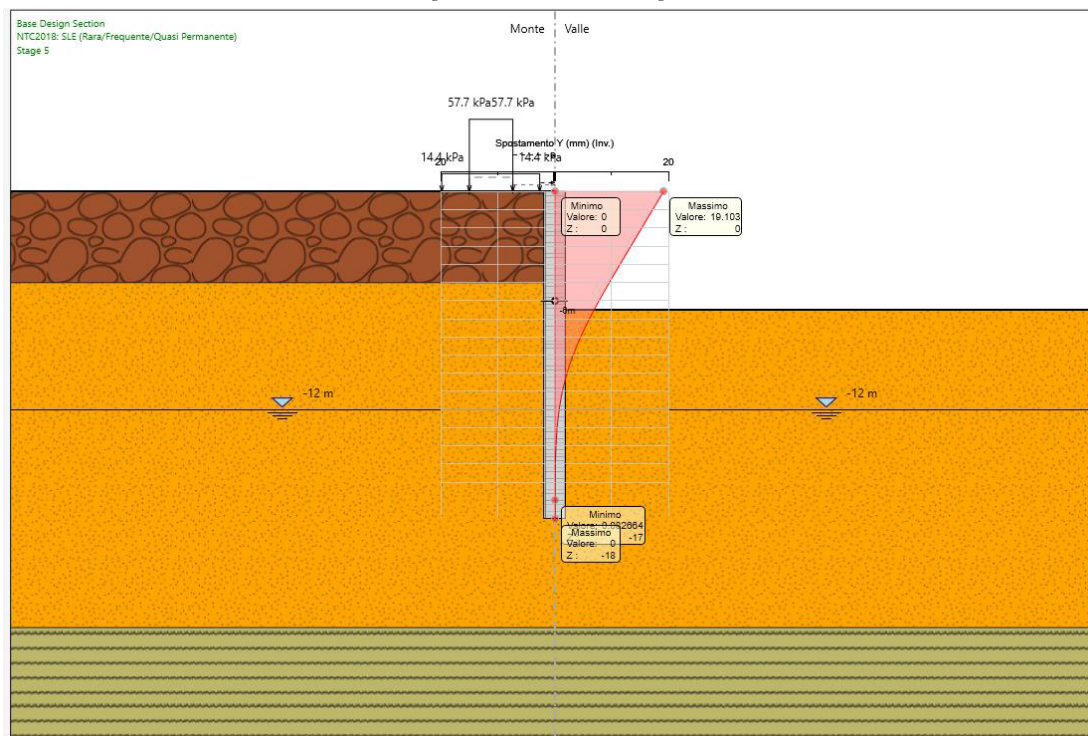


Figura 26 – Spostamento SLE – Involuppo.

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 19 mm circa.

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

$$0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 7 = 35 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

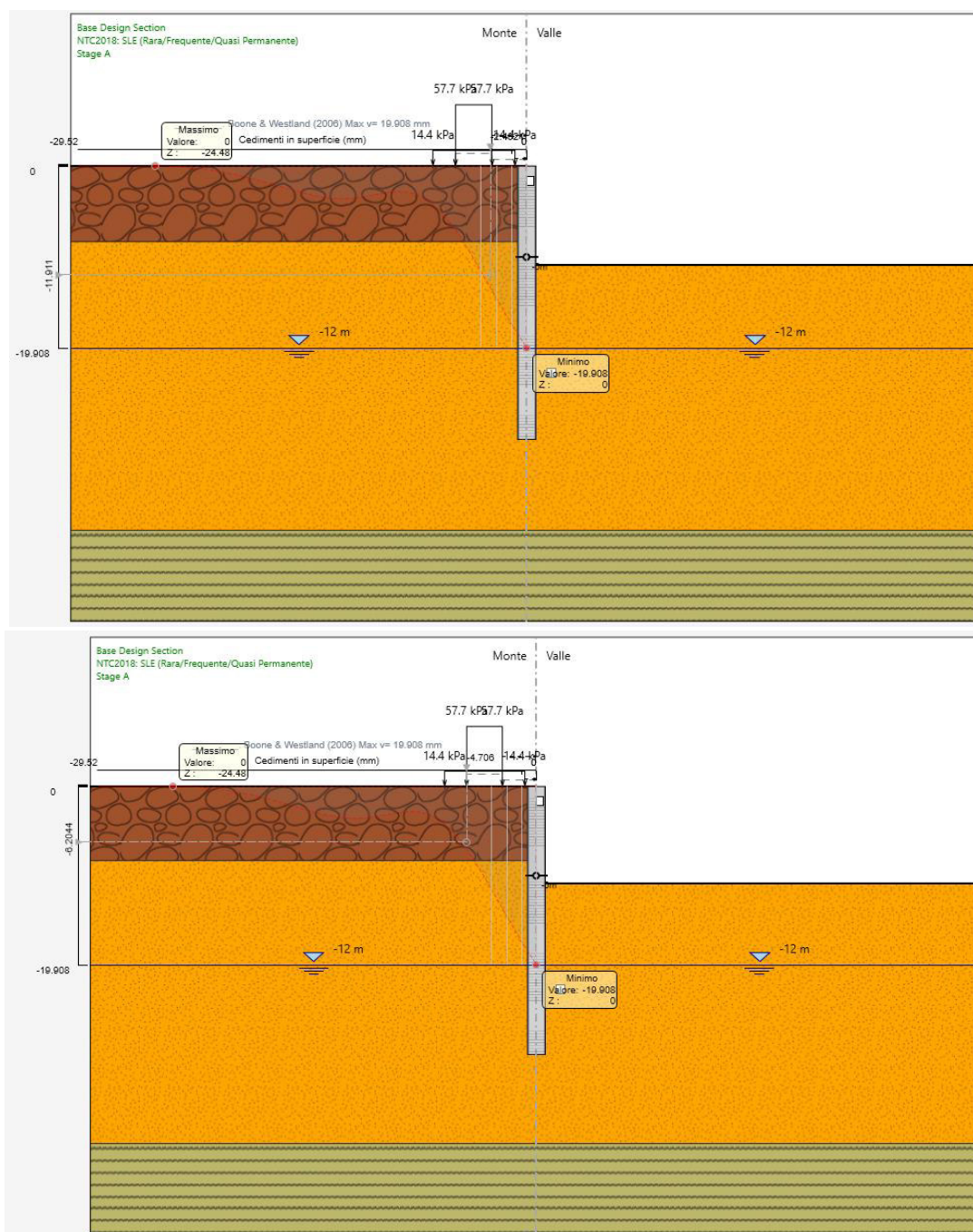


Figura 27 – Cedimento sotto al binario – Stage 6.

Per il calcolo del γ 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 11.9 mm per quella più vicina alla paratia e 6.2 mm per quella più lontana, la cui differenza è 5.7 mm, per cui si ha:

$$\delta_{\max, \text{ammesso}} = 0.0045 * 3 = 0.0135 \text{ m} = 1.35 \text{ cm} > 0.57 \text{ cm}.$$

Per la valutazione dello spostamento ammissibile in condizioni sismiche è stato eseguito il calcolo con l'applicazione del sisma allo stato SLD ($a_g = 0.079$, $S_S = 1.5$).

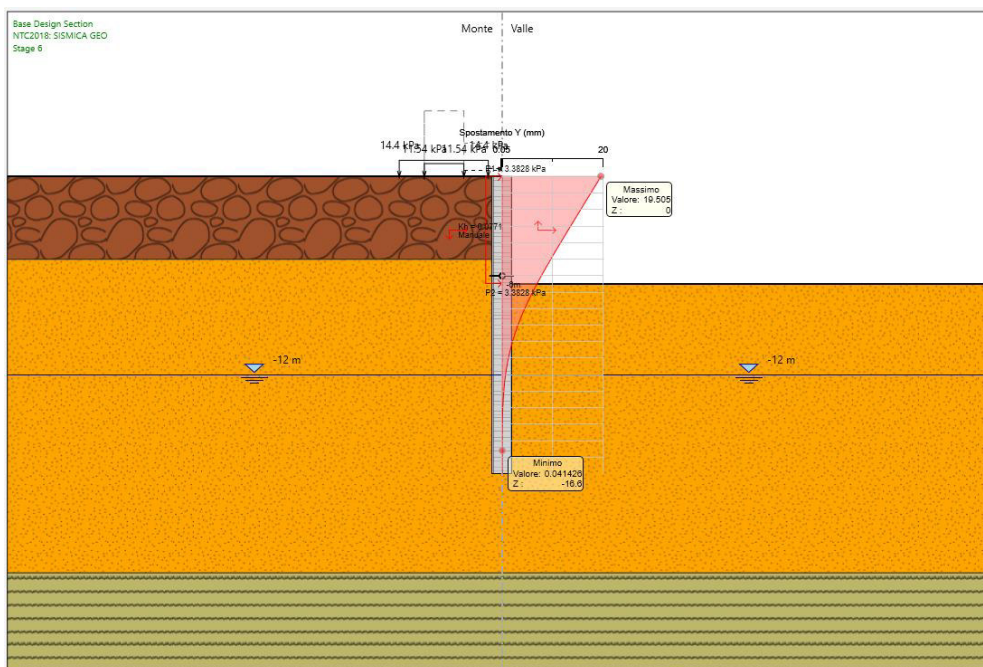


Figura 28 – Spostamento in condizioni sismiche SLD – Stage 7.

La valutazione del cedimento dell'opera di contenimento della sede ferroviaria viene registrato dallo spostamento valutato in condizioni sismiche SLD, che risulta pari a 19.5 mm < 2 cm, pertanto la condizione risulta soddisfatta.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	48 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

10.3 RISULTATI STR

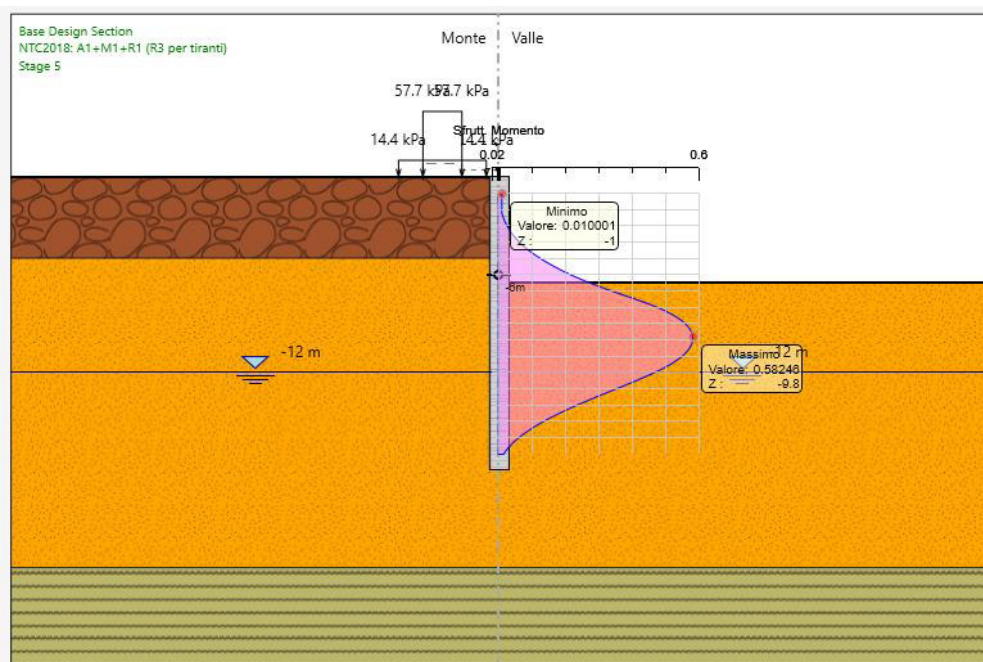


Figura 29 – Tasso sfruttamento momento flettente – SLU – stage 5.

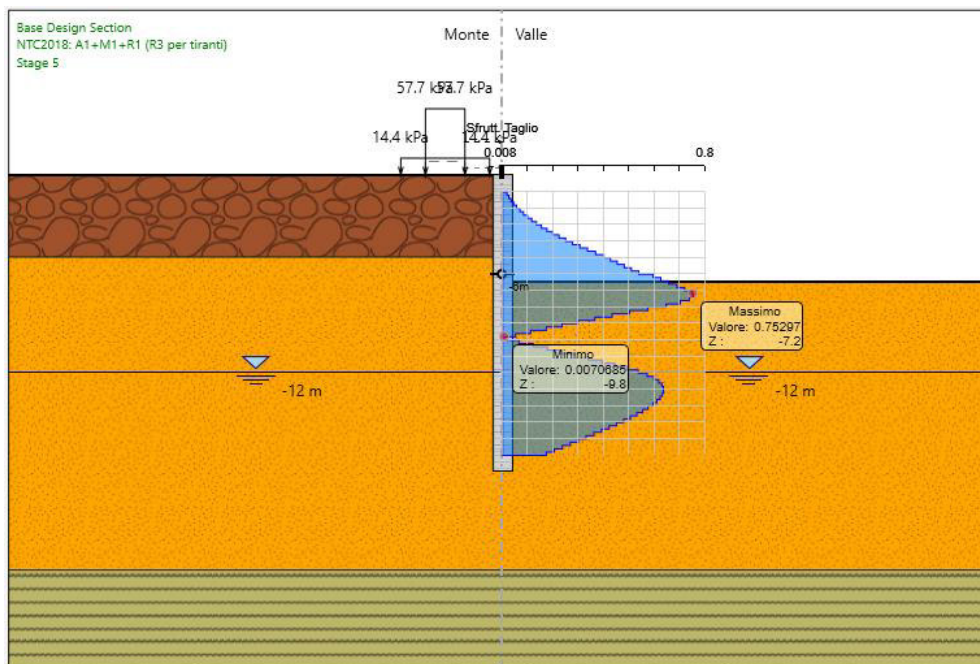


Figura 30 – Tasso sfruttamento taglio – SLU – stage 5.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	49 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

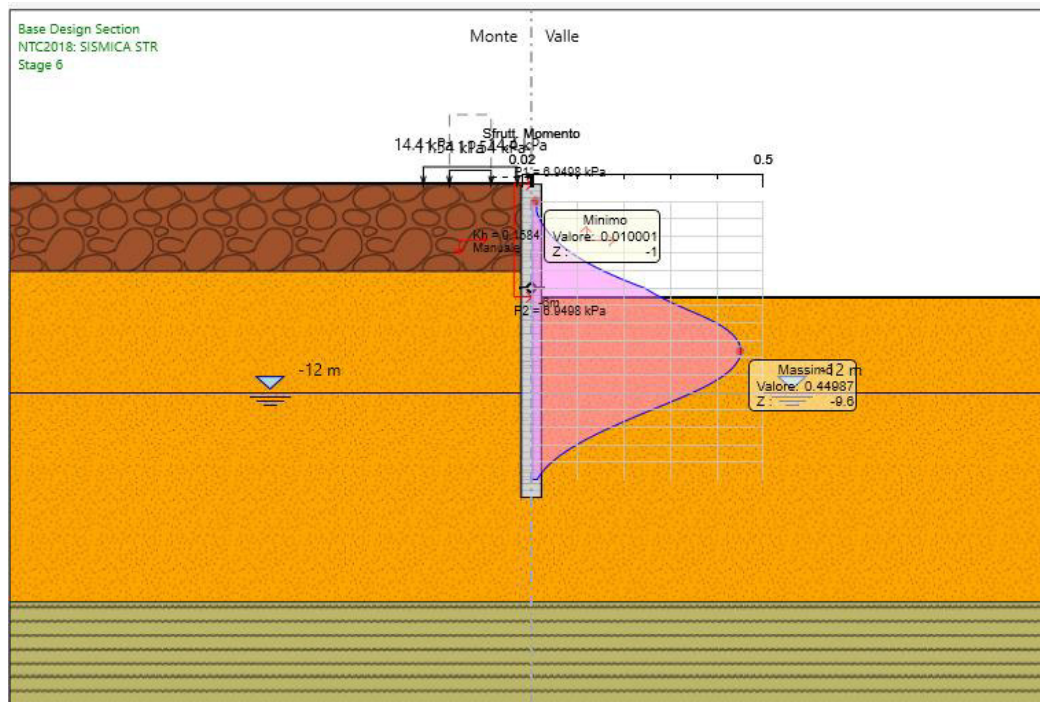


Figura 31 – Tasso sfruttamento momento flettente – SLV – stage 6.

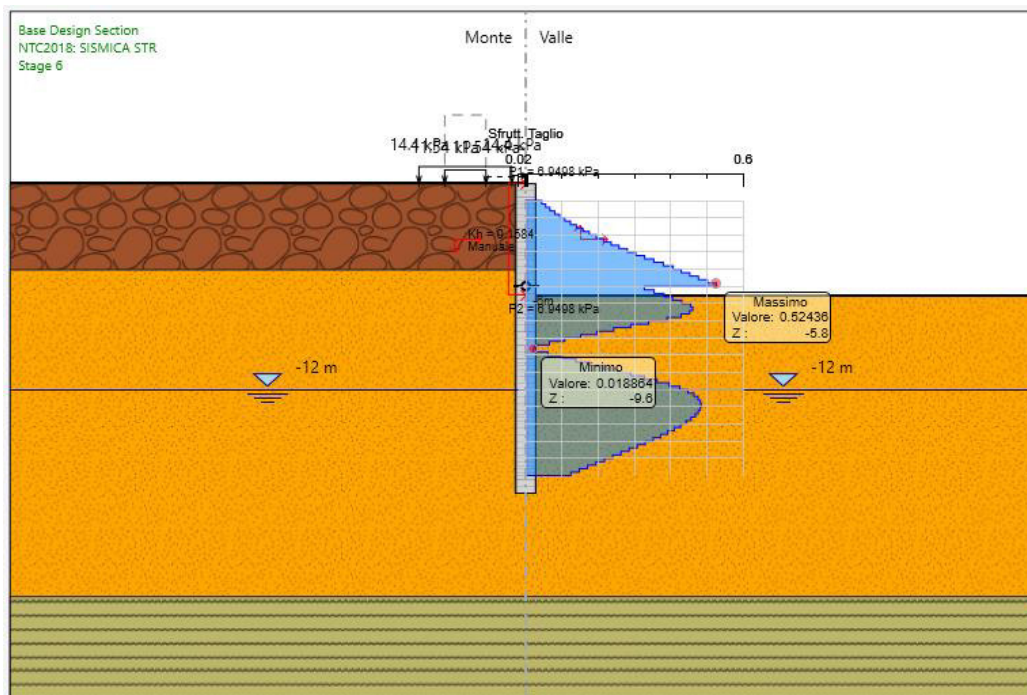


Figura 32 – Tasso sfruttamento taglio – SLV – stage 6.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	50 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

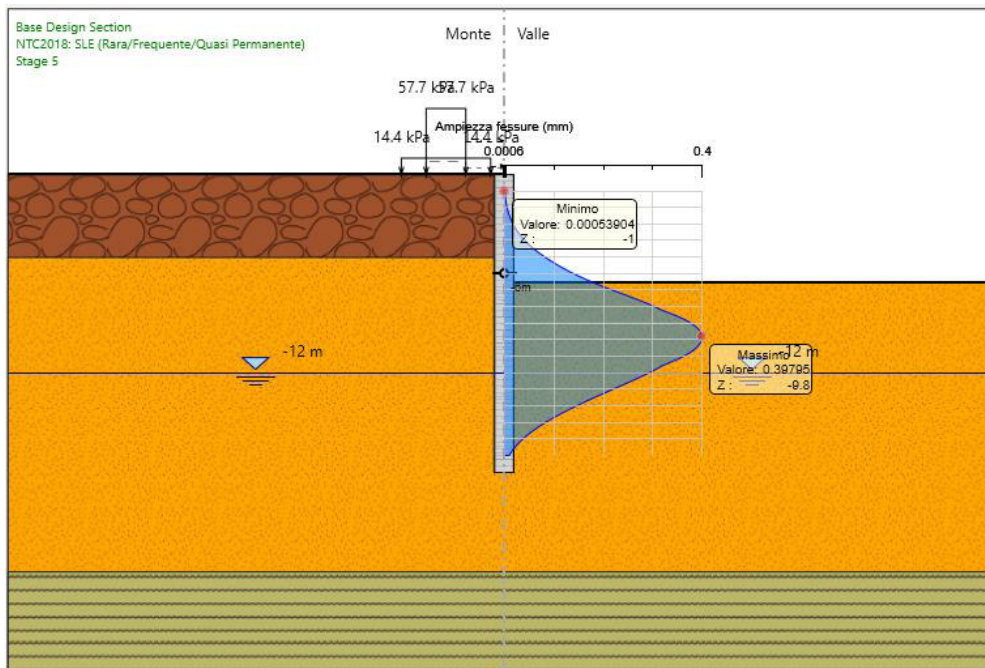


Figura 33 – Apertura fessure – SLE – stage 5.

Le verifiche strutturali in condizioni statiche e sismiche risultano soddisfatte e l'apertura delle fessure risulta inferiore al valore limite di 0.2 mm impiegando un'armatura di 24 ϕ 24 con una spirale ϕ 12/20 cm.

11 PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI – SOLUZIONE 3

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

Nome: Palo_D1200

Inerzia Equivalente: 0.0727 m⁴/m

Area Equivalente: 0.8078 m

Mat. omogeneizzazione: C25/30

Geometria e materiali

Custom

Materiale: C25/30 Inerzia

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C25/30

Spessore: Ct 0.6 m

Diametro: Cd 1.2 m

Passo: Cs 1.4 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac 1

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.

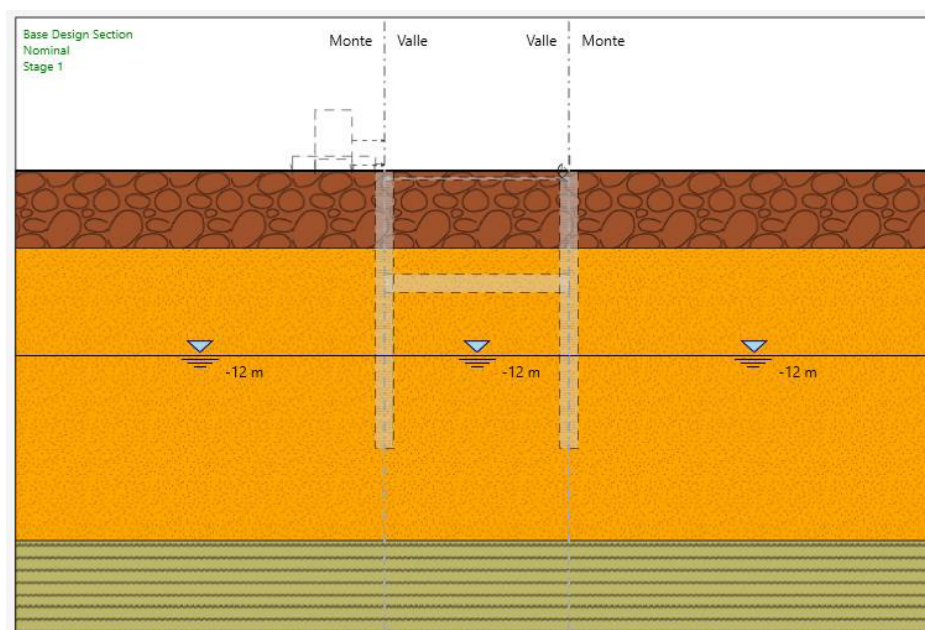
Tipologia struttura di sostegno	Paratia di pali $D = 1200$ mm, $i = 1.40$ m
Altezza totale diaframma	$H_{tot} = 18$ m
Altezza di scavo	$H = 7.8$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 8.3$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti monte	$g = 14.4$ kPa (ballast)
Sovraccarichi permanenti valle	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali monte	$q = 57.7$ kPa (treno) + 10 kPa (carico da cantiere)
Sovraccarichi accidentali valle	$q = 0$ kPa

Tabella 5 – Caratteristiche generali relative all'opera.

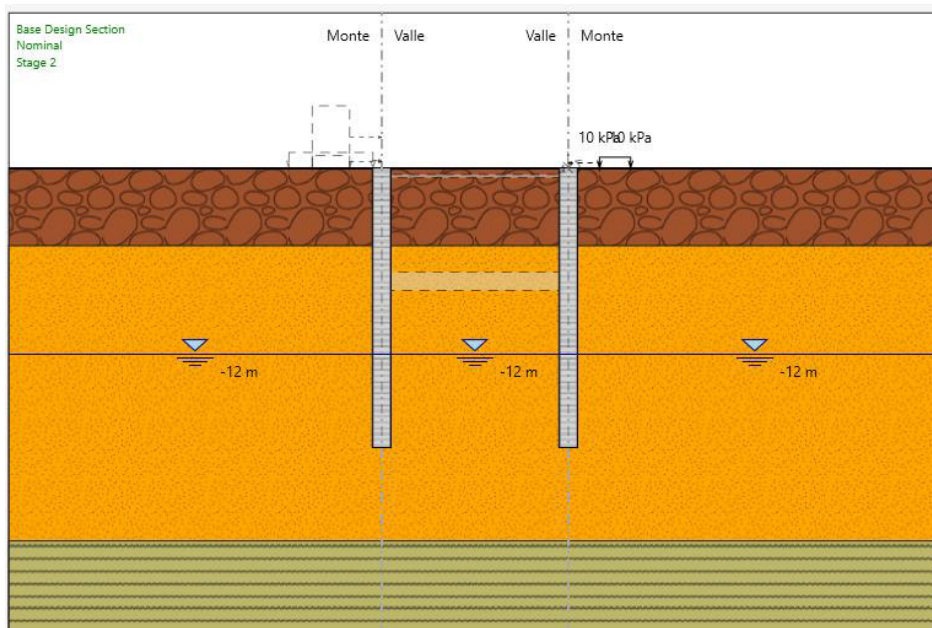
11.1 FASI DI CALCOLO

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 da cantiere (10 kPa) e realizzazione paratia di pali ϕ 1200 interasse 1.40 m e lunghezza L = 18 m;

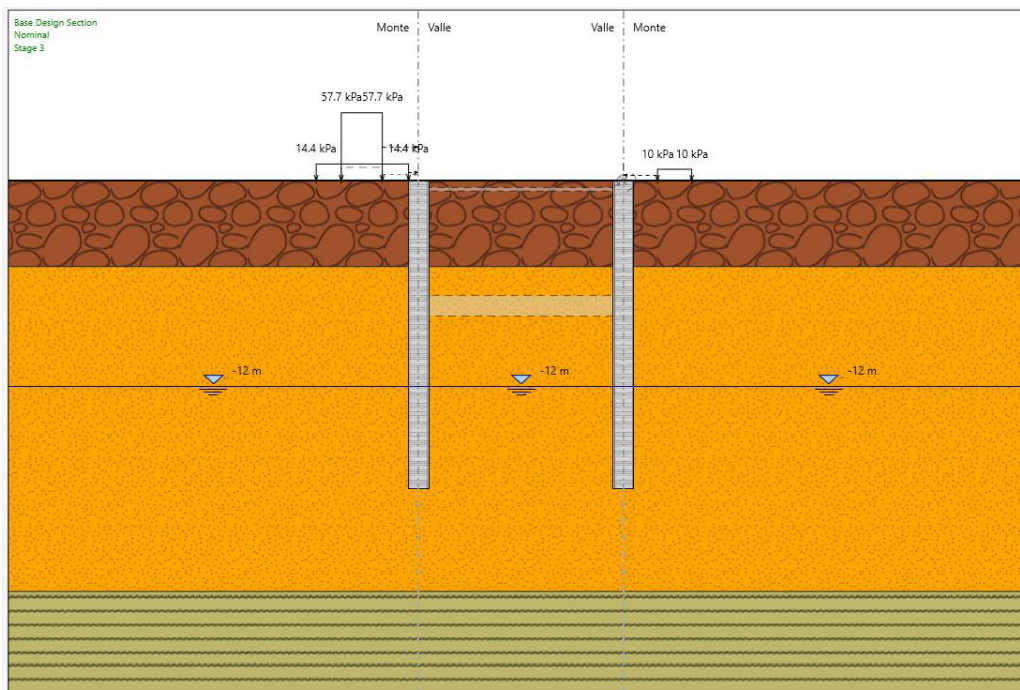


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

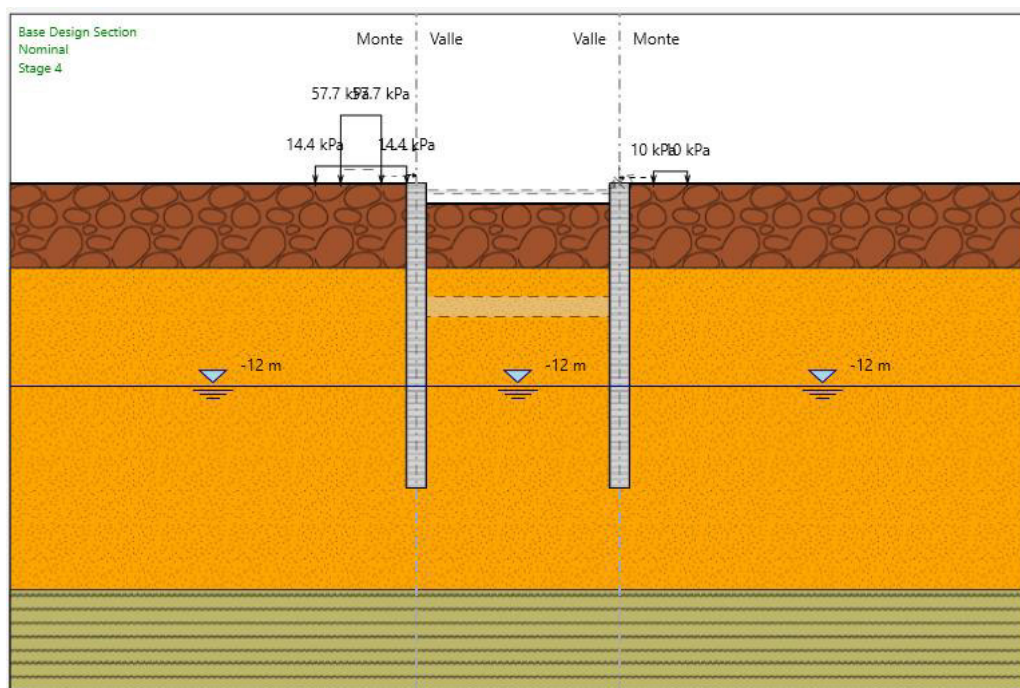
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	53 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

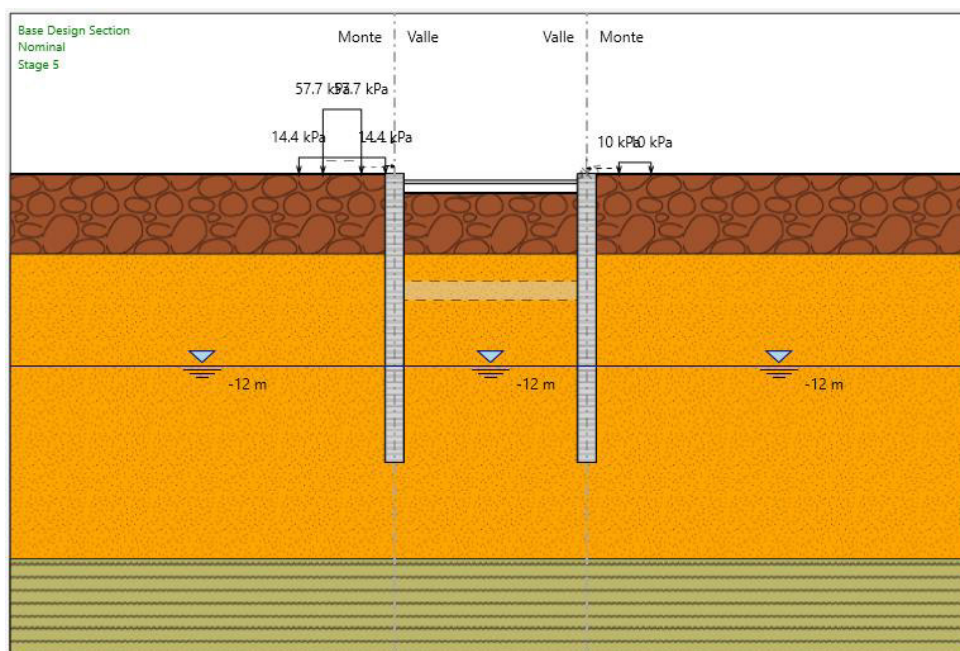
c) Applicazione in sinistra del carico permanente generato dalla presenza del ballast (14.4 kPa) e del carico accidentale associato all'esercizio del binario (57.7 kPa);



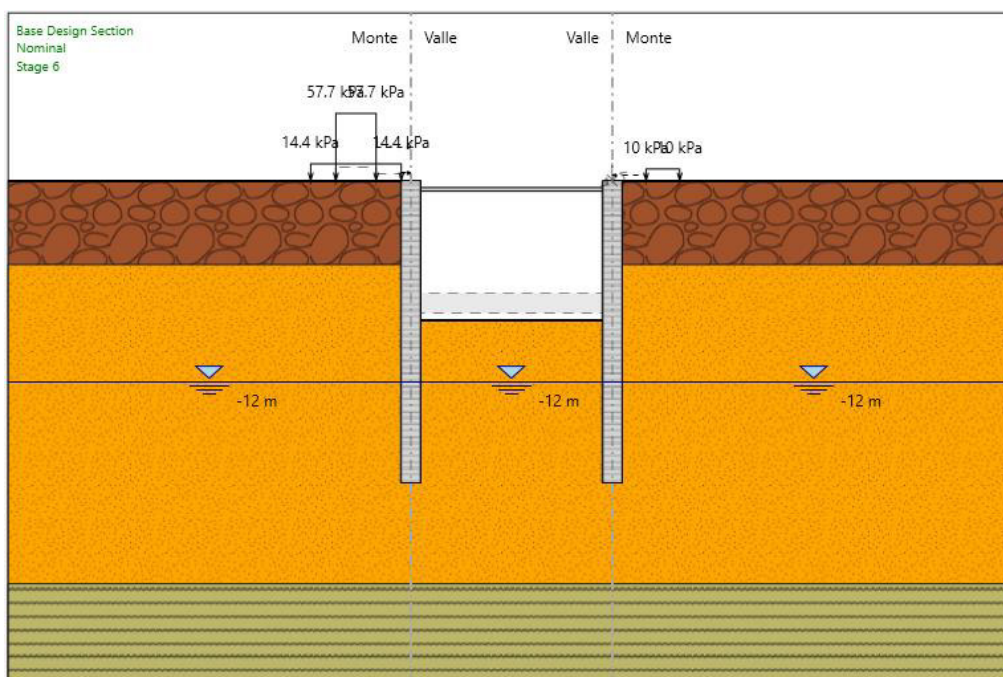
d) Scavo fino a quota -1 m da p.c.;



e) Realizzazione puntone provvisorio in acciaio a quota -0.5 m da p.c. ($\phi 177.8 * 12.5$ mm, passo 5 m);



f) Scavo fino a quota fondo scavo ($H_1 = 8.3$ m);

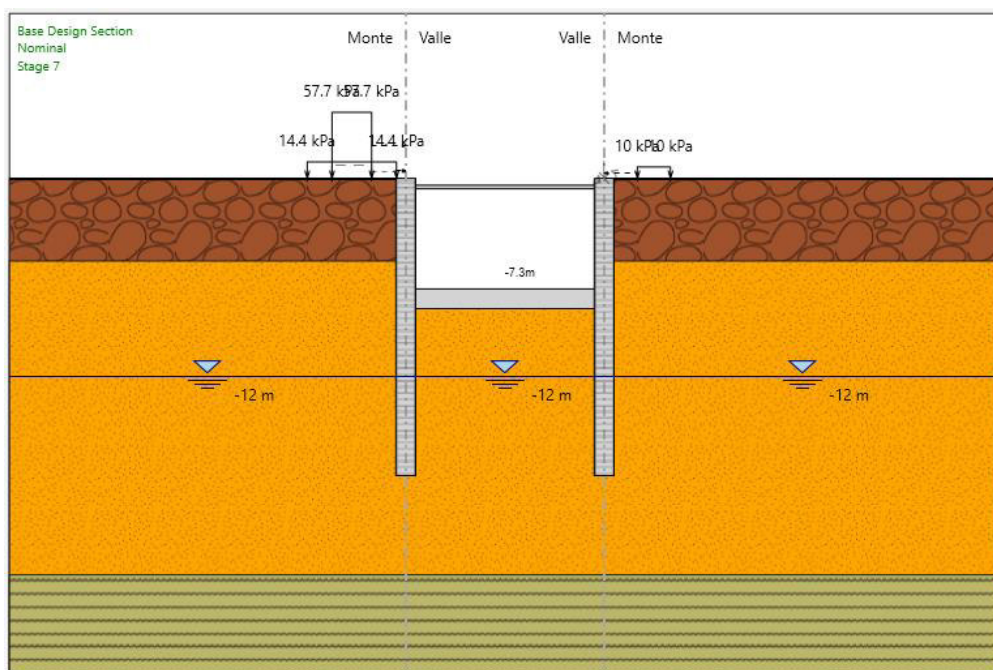


OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

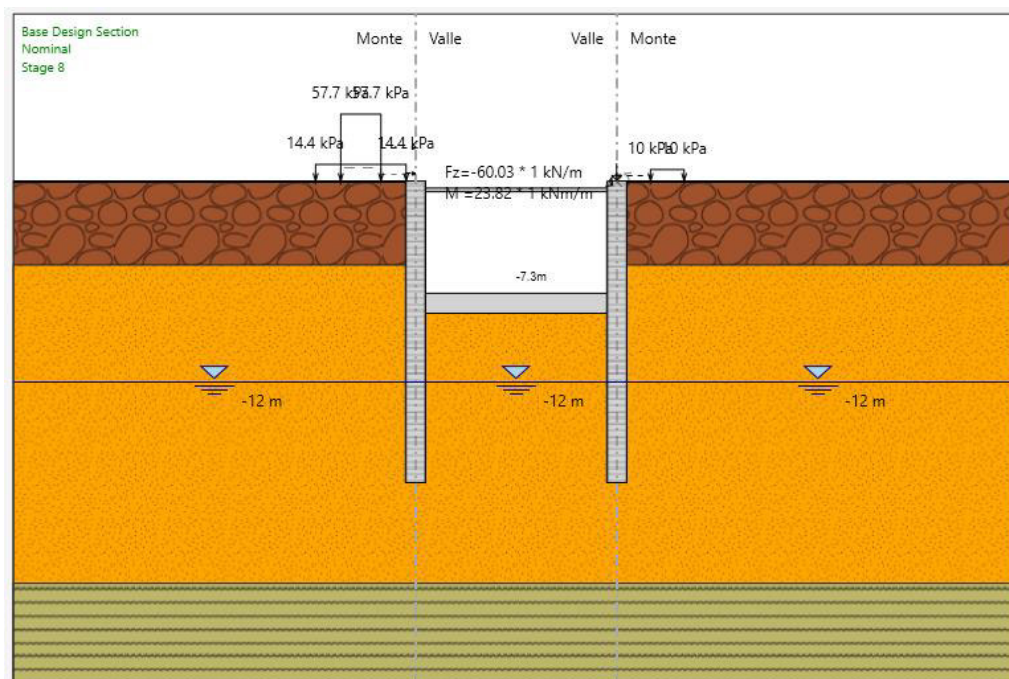
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	55 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

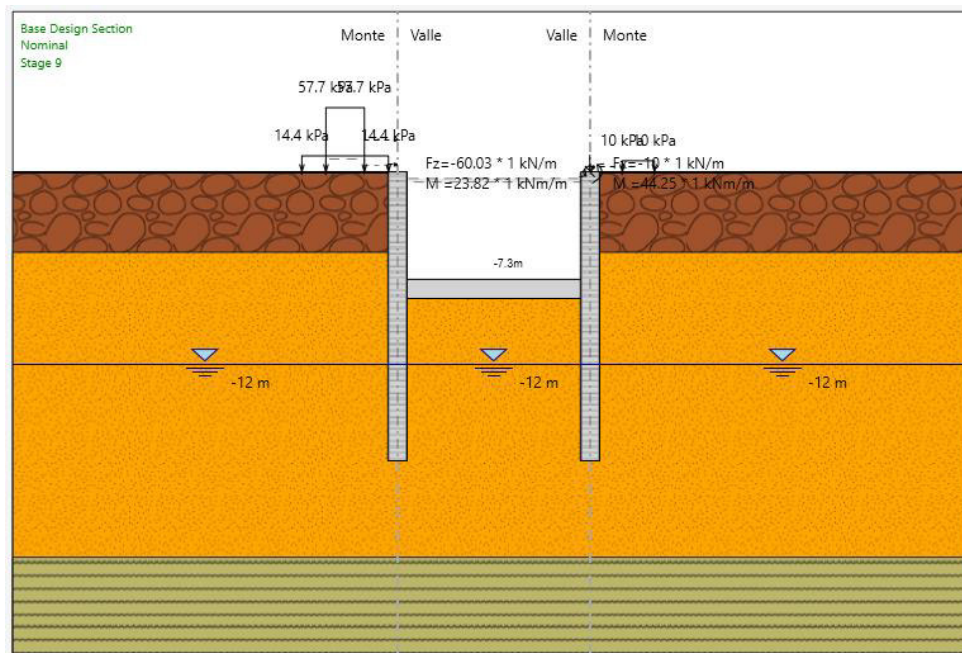
g) Realizzazione soletta di fondo (spessore 1 m) a quota -7.3 m da p.c.;



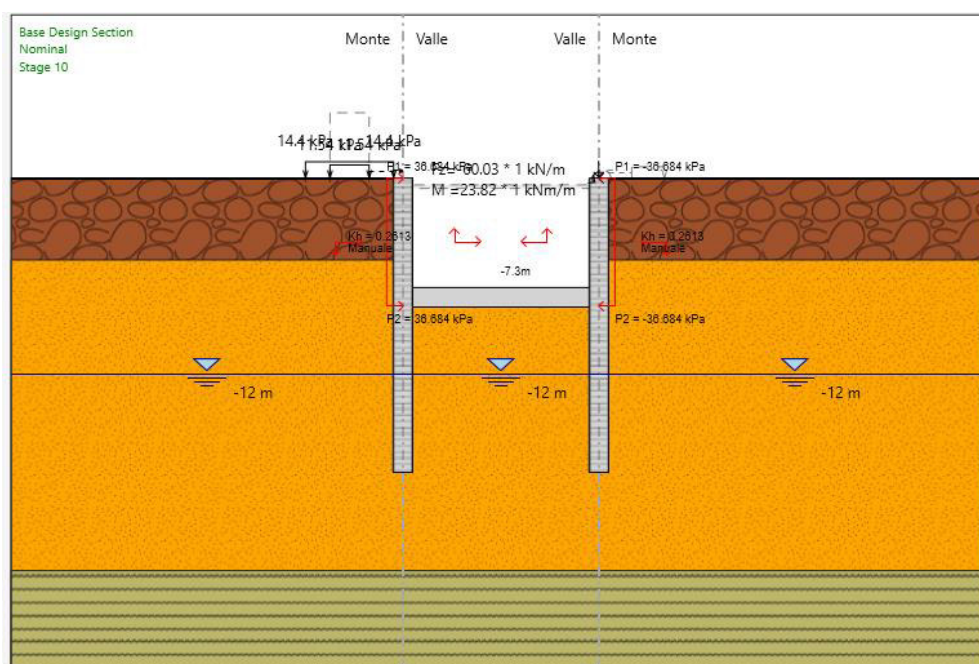
h) Applicazione in destra del carico associato alla presenza della barriera antirumore di tipo H10 (N = 60 kN/m, M = 23.8 kN/m);



i) Rimozione puntone provvisorio e applicazione e applicazione del carico accidentale del vento generato sulla barriera antirumore dal treno in trincea ($H = 10 \text{ kN/m}$, $M = 44.25 \text{ kNm/m}$);



l) Applicazione azione sismica.



11.2 RISULTATI GEO

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

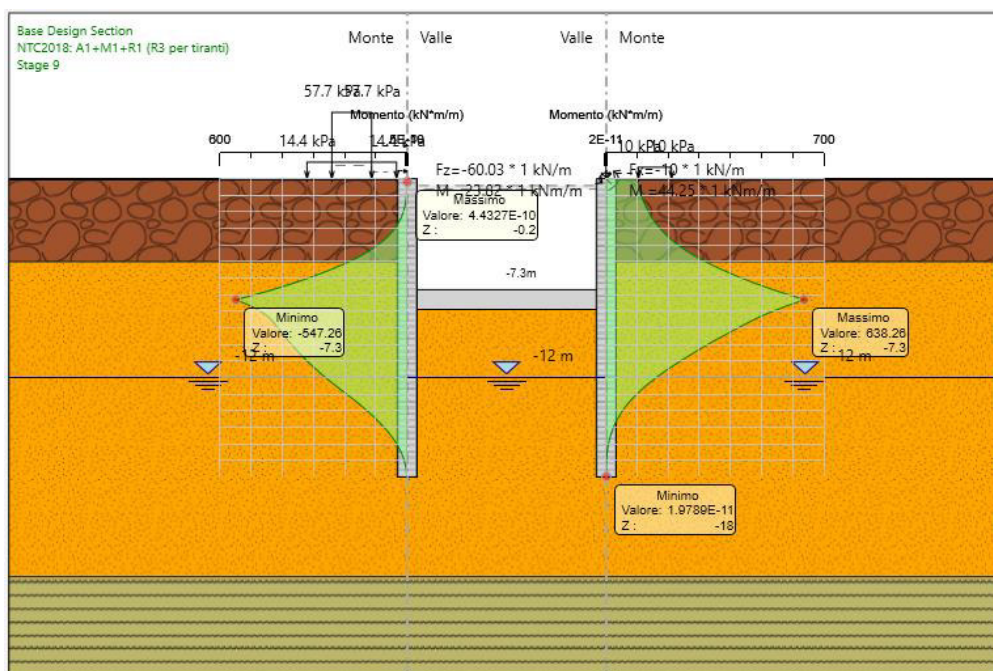


Figura 34 – Momento SLU – Stage 9.

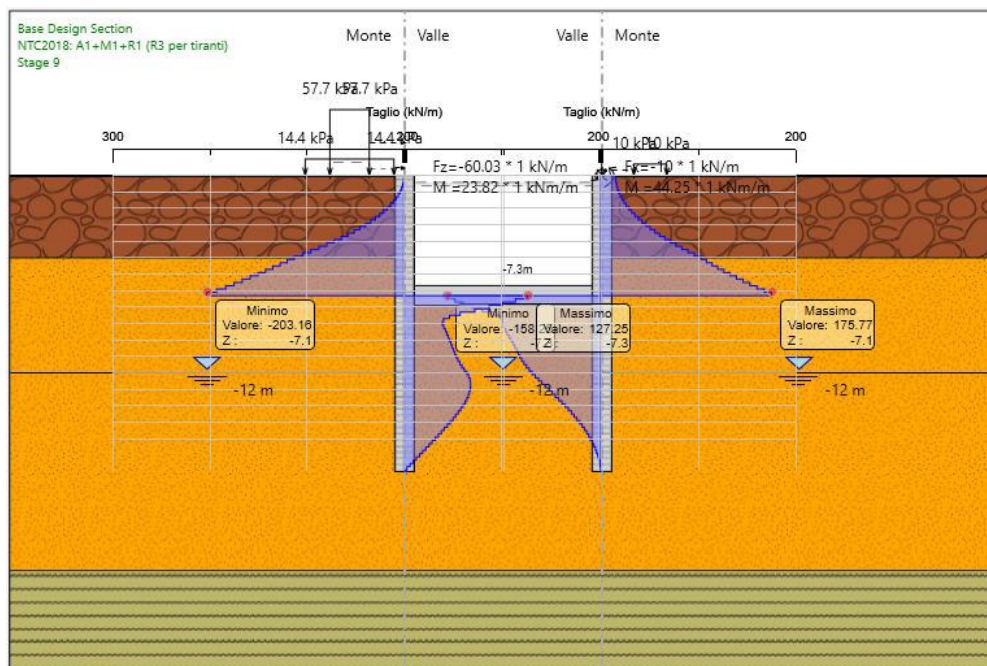


Figura 35 – Taglio SLU – Stage 9.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	58 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

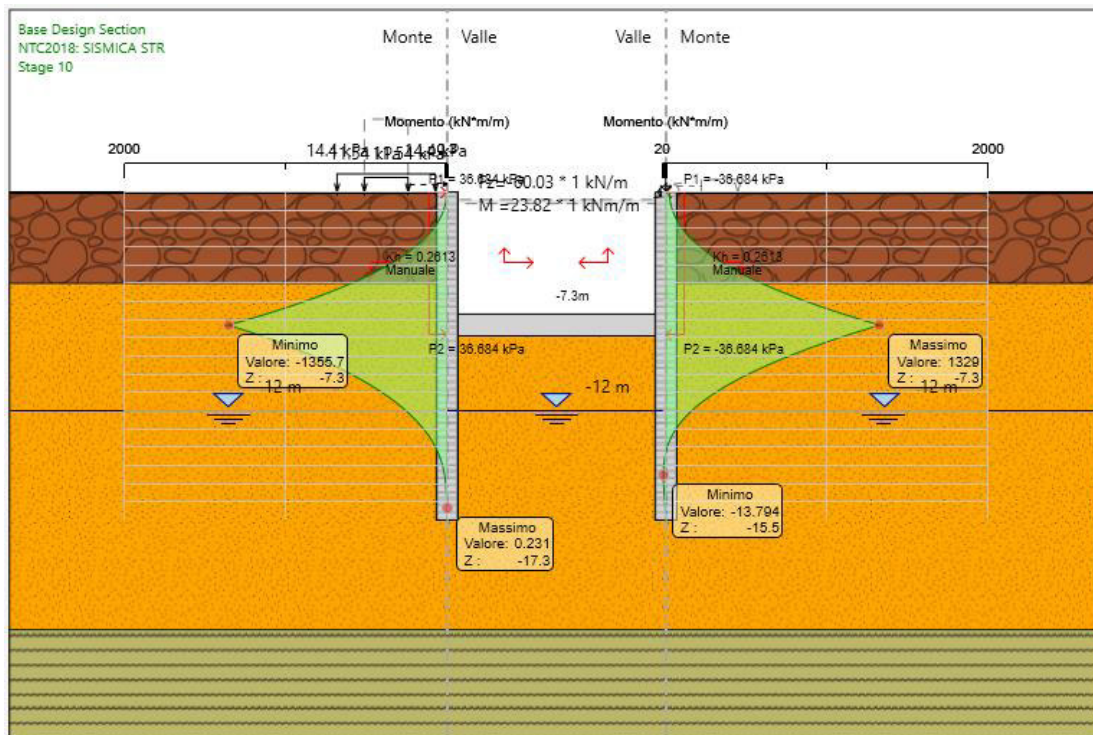


Figura 36 – Momento SLV – Stage 10.

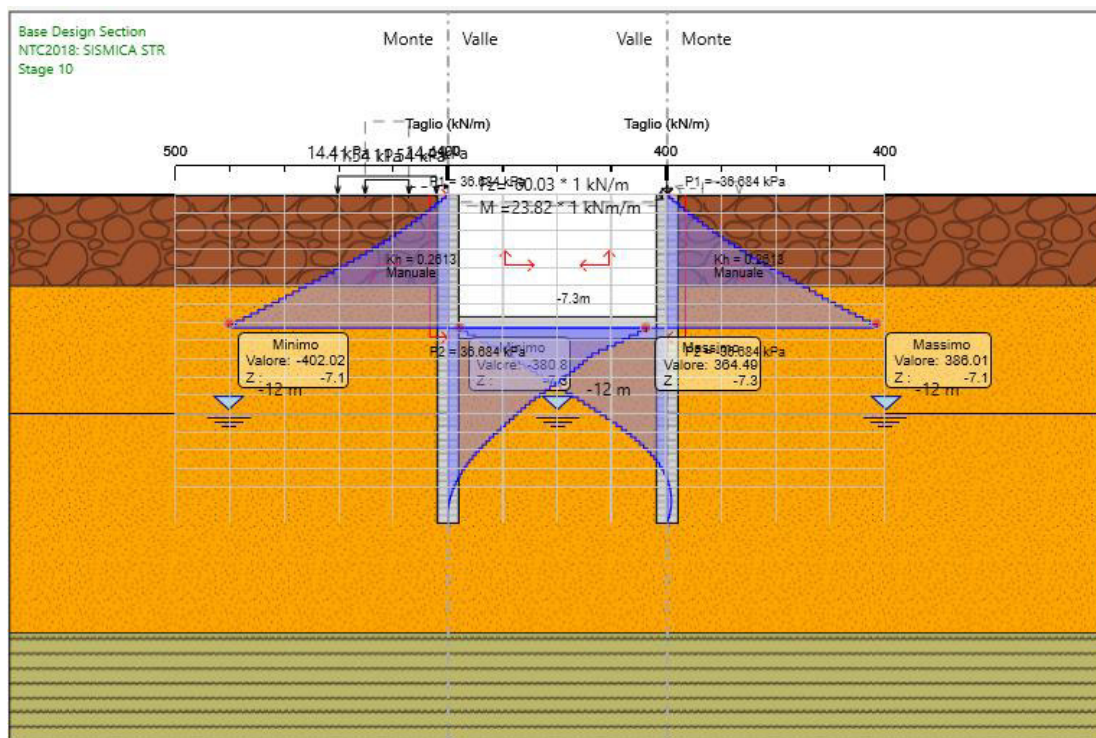


Figura 37 – Taglio SLV – Stage 10.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	59 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

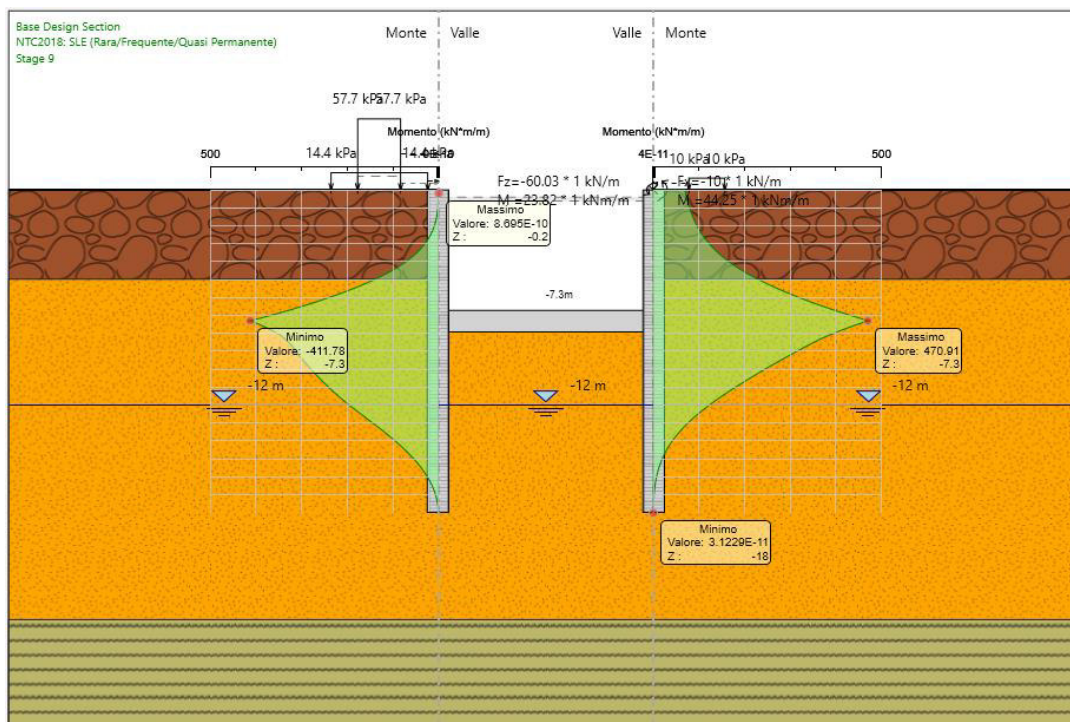


Figura 38 – Momento SLE – Stage 9.

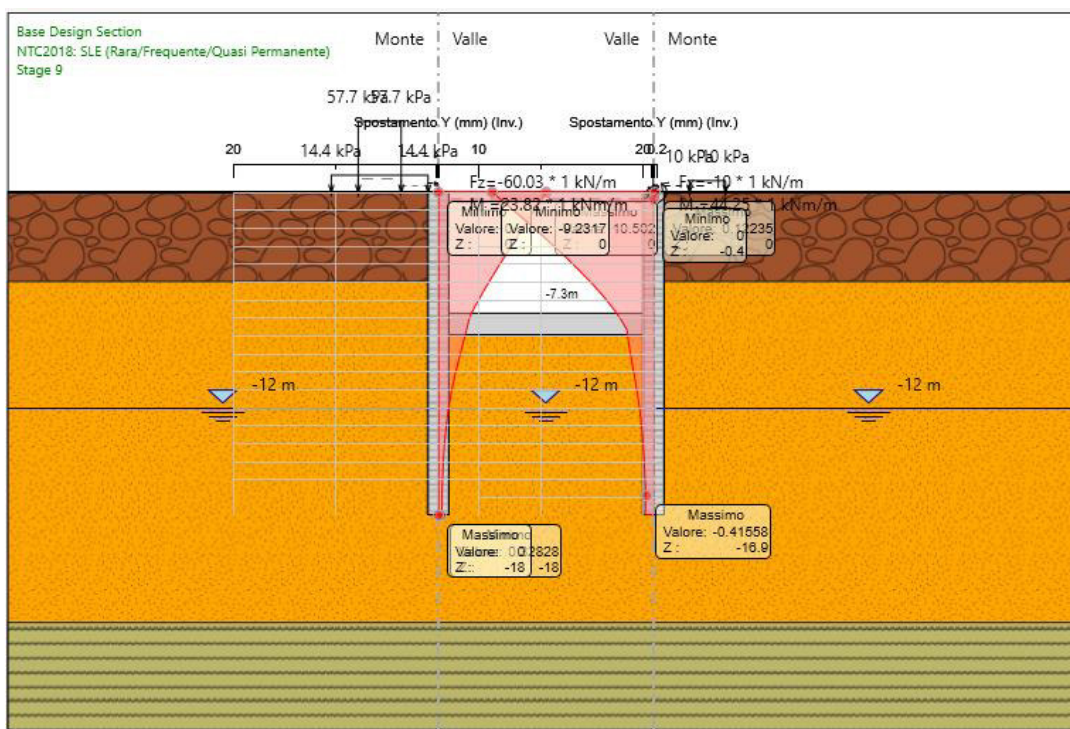


Figura 39 – Spostamento SLE – Stage h.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	60 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 10.5 mm circa.

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

$$0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 8.3 = 41 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

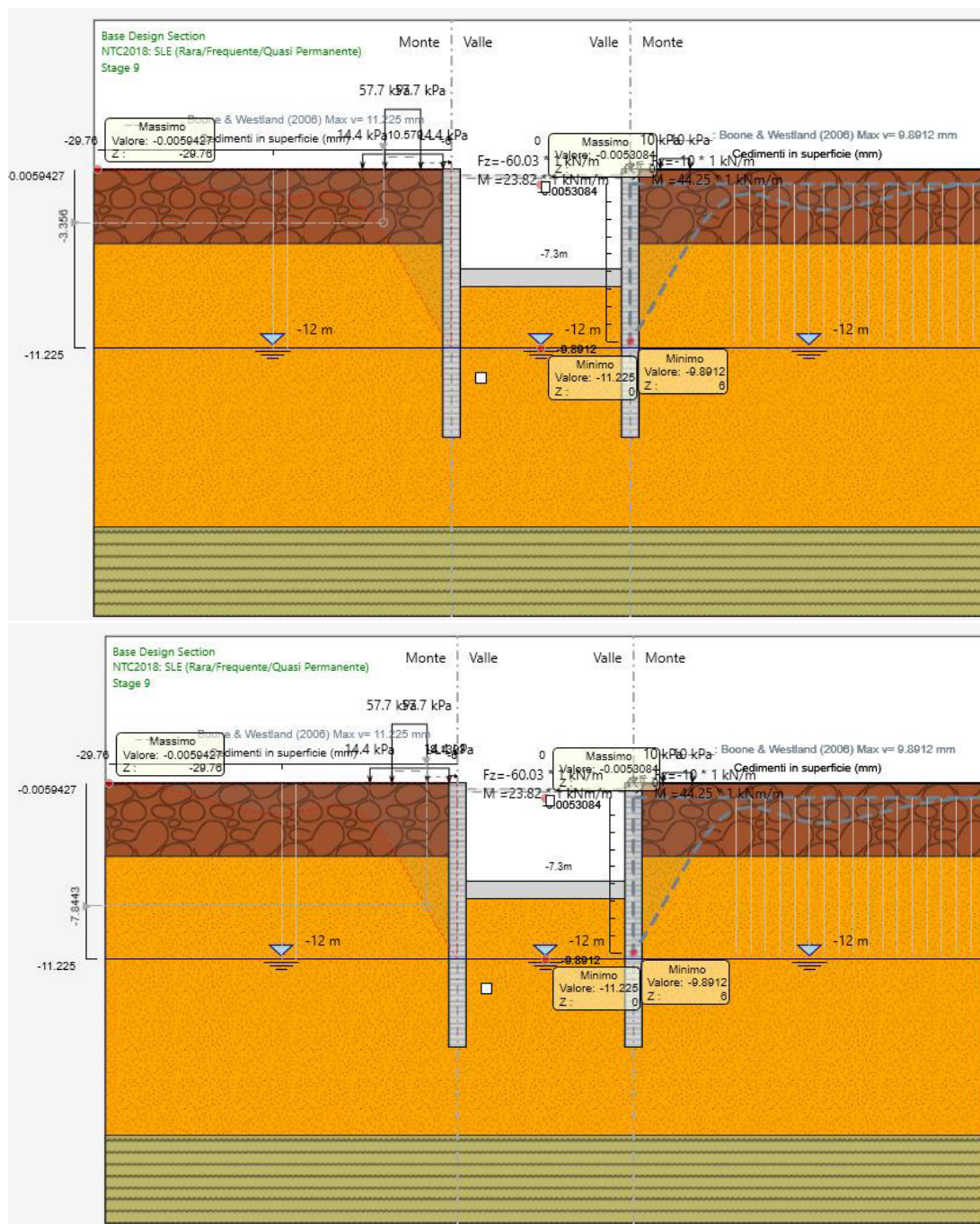


Figura 40 – Cedimento sotto al binario – Stage 9.

Per il calcolo del γ 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 7.84 mm per quella più vicina alla paratia e 3.35 mm per quella più lontana, la cui differenza è 4.49 mm, per cui si ha:

$$\delta_{\max, \text{ammesso}} = 0.0045 * 3 = 0.0135 \text{ m} = 1.35 \text{ cm} > 0.449 \text{ cm}.$$

Per la valutazione dello spostamento ammissibile in condizioni sismiche è stato eseguito il calcolo con l'applicazione del sisma allo stato SLD ($a_g = 0.079$, $S_s = 1.5$).

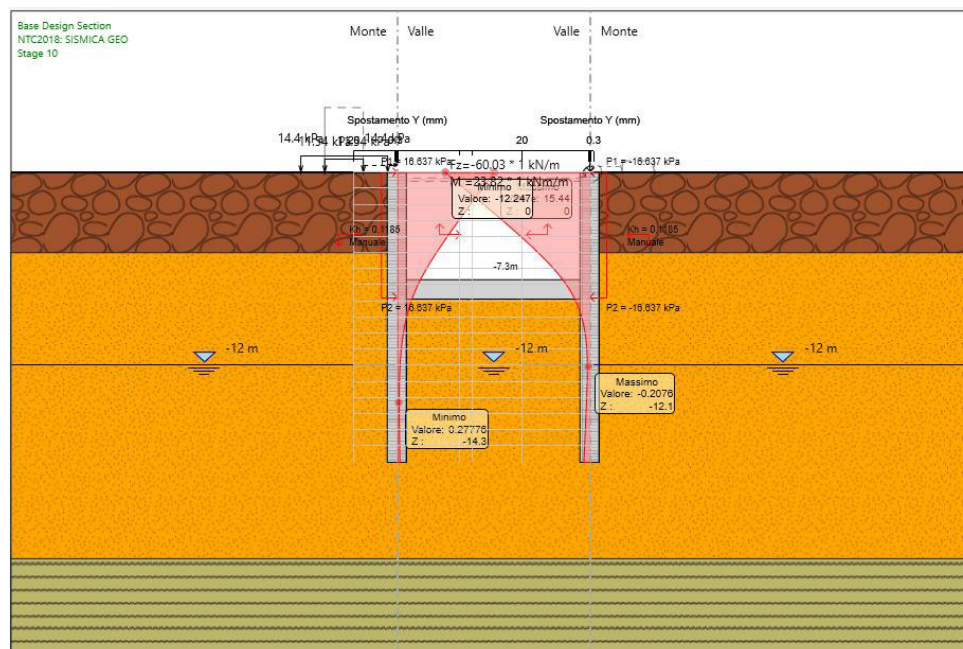


Figura 41 – Spostamento in condizioni sismiche SLD – Stage 10.

La valutazione del cedimento dell'opera di contenimento della sede ferroviaria viene registrato dallo spostamento valutato in condizioni sismiche SLD, che risulta pari a 15.44 mm $<$ 2 cm, pertanto la condizione risulta soddisfatta.

11.3 RISULTATI STR

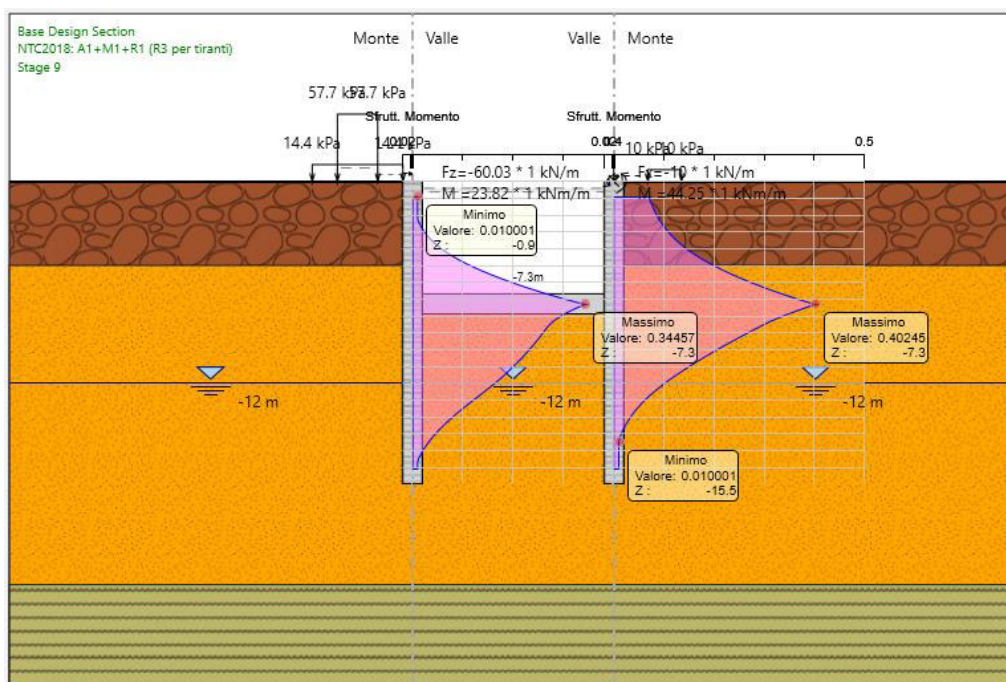


Figura 42 – Tasso sfruttamento momento flettente – SLU – stage 9.

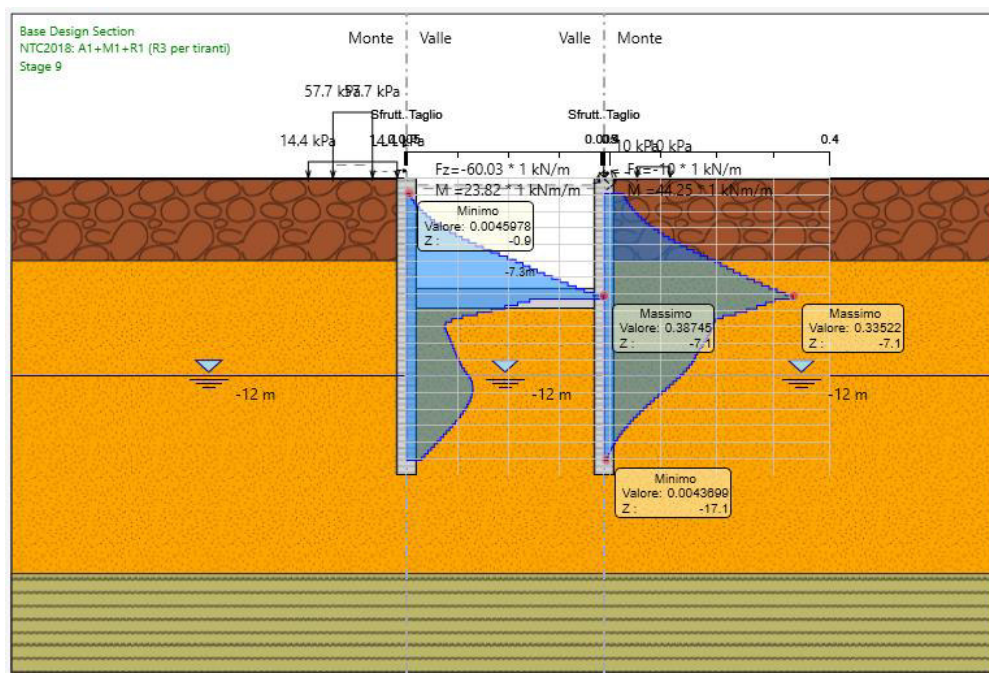


Figura 43 – Tasso sfruttamento taglio – SLU – stage 9.

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR000001	A	63 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

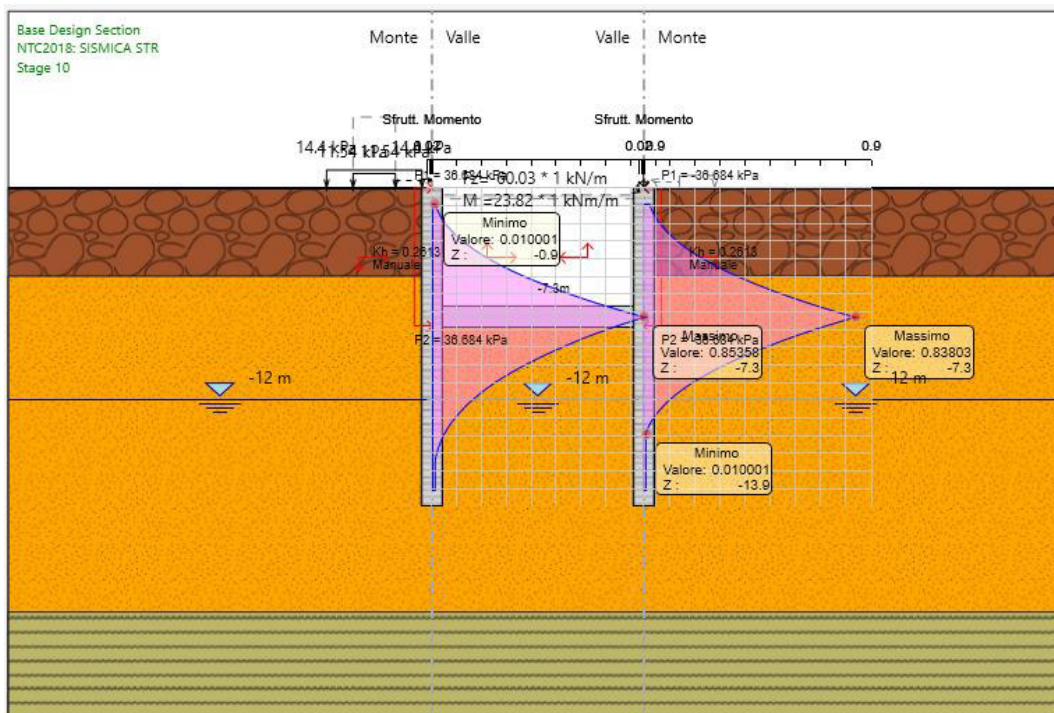


Figura 44 – Tasso sfruttamento momento flettente – SLV – stage 10.

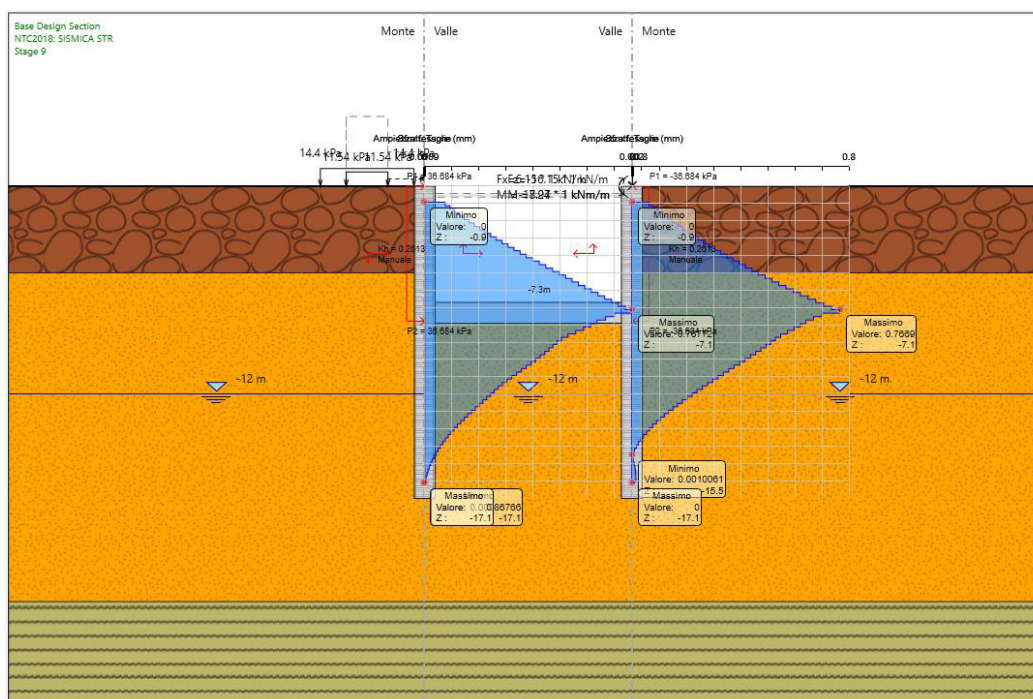


Figura 45 – Tasso sfruttamento taglio – SLV – stage 10.

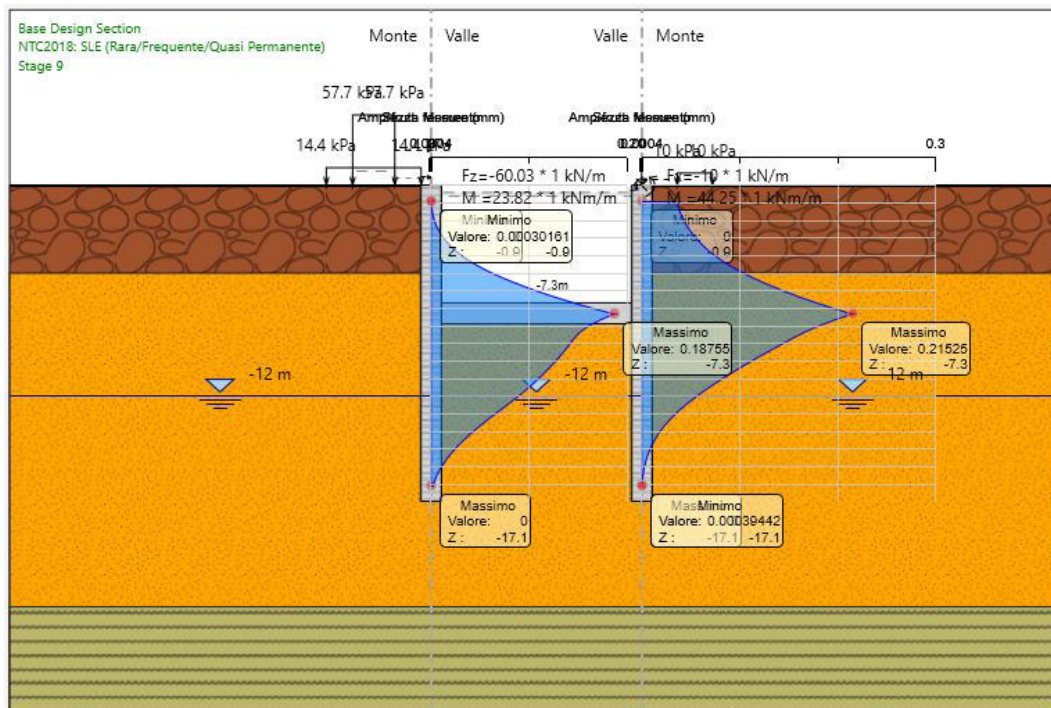


Figura 46 – Apertura fessure - SLE.

Le verifiche strutturali in condizioni statiche e sismiche risultano soddisfatte e l'apertura delle fessure risulta inferiore al valore limite di 0.2 mm impiegando un'armatura di 24 ϕ 24 con una spirale ϕ 12/10 cm.

Il puntone provvisorio è un tubolare in acciaio ϕ 177.8 di spessore 12.5 mm, posto con un passo di 10 m. La sollecitazione massima a cui è sottoposto è 109.54 kN/m allo stage 8, per cui un singolo puntone è soggetto a uno sforzo assiale di $109.54 \times 5 = 547.7$ kN.

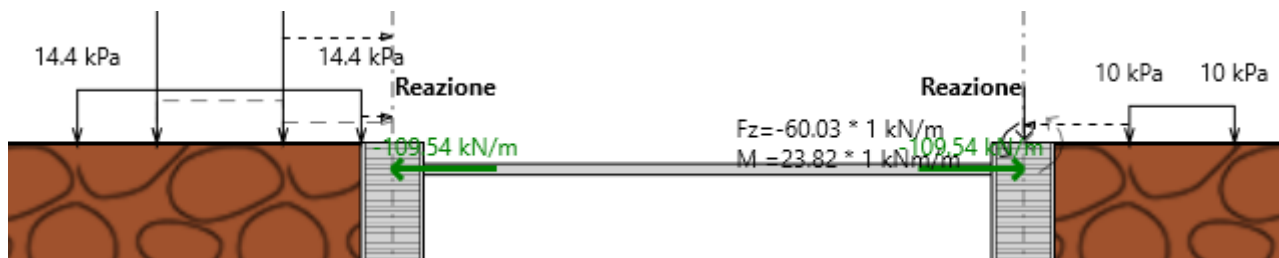


Figura 47 – Sollecitazione SLU puntone – Stage 8.



PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA

OPERE CIVILI: OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RHTR0000001	A	65 di 65

Relazione tecnico descrittiva delle trincee

Dalle verifiche strutturali di paratie il puntone risulta verificato:

Puntone	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	Lunghezza (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Strut	CHS177.8*12.5	S275	5	12	NTC2018: A1+I	Stage 5	-1.0645E-13	-5.3227E-13	0	0.006	0
Strut	CHS177.8*12.5	S275	5	12	NTC2018: A1+I	Stage 6	-106.68	-533.38	0.314	0.006	1.915
Strut	CHS177.8*12.5	S275	5	12	NTC2018: A1+I	Stage 7	-107.85	-539.23	0.317	0.006	1.936
Strut	CHS177.8*12.5	S275	5	12	NTC2018: A1+I	Stage 8	-109.54	-547.69	0.322	0.006	1.966