

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C09000000005

## U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

### ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

### ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

### LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

### OPERE CIVILI

Galleria GA02: relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento

SCALA:

-

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

I B 0 Q 3 A R 1 0 R H G A 0 2 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato- Data
A	Emissione Esecutiva	P.Quadrino	Gen 2021	G. Scasserra	Gen 2021	C. Mazzocchi	Gen 2021	L. Berardi
B	Aggiornamento a seguito richieste RFI	P.Quadrino	Giu 2021	L. Cosciotti	Giu 2021	C. Mazzocchi	Giu 2021	



File: IB0Q3AR10RHGA020001B.docx

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IBOQ</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	5
<b>2</b>	<b>NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>8</b>
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	8
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	8
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	<b>9</b>
3.1	CALCESTRUZZO .....	9
3.1.1	Calcestruzzo per diaframmi.....	9
3.1.1	Calcestruzzo per scatolare.....	9
3.2	ACCIAIO .....	10
3.2.1	Acciaio per cemento armato.....	10
3.2.1	Acciaio per tubolari e carpenteria metallica.....	10
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA DEI DIAFRAMMI</b> .....	<b>12</b>
5.1	VERIFICHE SLU.....	12
5.2	VERIFICHE GEOTECNICHE SLE .....	12
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DIAFRAMMI</b> .....	<b>13</b>
6.1	SPINTA DEL TERRENO .....	13
6.2	CARICHI PERMANENTI .....	14
6.3	CARICHI ACCIDENTALI .....	14
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DELLO SCATOLARE</b> .....	<b>15</b>
7.1	PESO PROPRIO (DEAD).....	15
7.2	SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM).....	15
7.3	SPINTA ORIZZONTALE FALDA.....	15
7.4	SOTTOSPINTA IDRAULICA SU SOLETTA INFERIORE.....	16
7.5	SPINTA DEL TERRENO (SPTSX/SPTDX).....	16
7.6	CARICHI VARIABILI (ACC).....	18
7.7	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO.....	19
7.8	SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE (SPACCSX/SPACCDX) .....	20
7.9	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	21
<b>8</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>25</b>

<b>9</b>	<b>PROGETTO E VERIFICA DIAFRAMMI</b> .....	<b>27</b>
9.1	DATI DI INPUT .....	27
9.2	FASI DI CALCOLO MODELLO 1 .....	29
9.3	FASI DI CALCOLO MODELLO 2 .....	34
9.4	RISULTATI MODELLO 1 .....	40
9.5	RISULTATI MODELLO 2 .....	42
9.6	ANALISI DEI RISULTATI.....	44
<b>10</b>	<b>PROGETTO E VERIFICA SCATOLARE</b> .....	<b>45</b>
10.1	MODELLAZIONE ADOTTATA .....	45
10.2	CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI.....	46
10.3	VERIFICHE STR .....	52
<b>11</b>	<b>VERIFICHE AL SOLLEVAMENTO</b> .....	<b>54</b>
11.1	TAPPO DI FONDO .....	54
11.2	SOLETTA DI FONDO.....	54
11.3	STRUTTURA DEFINITIVA .....	54

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IBOQ</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 1 PREMESSA

Il Lotto 3 “Circonvallazione di Trento e Rovereto” fa parte dei quattro lotti prioritari del progetto di Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, tratta di Accesso sud alla galleria di Base del Brennero, che ricade nel Corridoio della rete centrale europea denominato “Scandinavia – Mediterraneo”.

Il presente progetto sviluppa la sola circonvallazione ferroviaria della Città di Trento, denominata lotto 3A, ricadente interamente nel Comune di Trento, come parte integrante dei progetti di riqualificazione urbana e potenziamento della mobilità all’interno della città di Trento.

Gli interventi in progetto mirano al raggiungimento di importanti obiettivi in termini di incremento di capacità del corridoio e canalizzazione dei flussi, con il massimo beneficio per il territorio, dato dall’eliminazione del transito dei treni merci all’interno dell’abitato.

Il nuovo tracciato ferroviario si sviluppa per circa 13 km sulla sinistra orografica della Val d’Adige, tra i confini della Val Lagarina fino al tessuto insediativo della città di Trento, tra le località Acquaviva a sud e Roncafort a Nord. L’opera è costituita principalmente da una galleria naturale di linea, a doppia canna a singolo binario per uno sviluppo circa 10.5 km.



Figura 1 – Inquadramento generale dell’area d’intervento.

Nel seguente elaborato sono riportati la descrizione e i calcoli di predimensionamento delle opere necessarie per la realizzazione della galleria artificiale GA02.

## 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La Galleria GA02 si estende dalla progressiva 11+318 km alla 11+520 km, per uno sviluppo complessivo di circa 202 m. Le altezze di scavo necessarie per la realizzazione dell'opera variano tra 12.5 e 13.0 m (solo un breve tratto iniziale raggiunge localmente i 14m circa). Per la realizzazione dell'opera è previsto il ricorso a paratie di diaframmi di spessore 1.20 m con lunghezza di 21 m, l'esecuzione di un tappo di fondo con *jet-grouting*, lo scavo fino alla quota necessaria per la successiva realizzazione della soletta di fondo ( $h=1.5m$ ), delle pareti interne e della soletta superiore dello scatolare interno, entrambi di spessore di 1.20 m, per la configurazione definitiva. Dove necessario sono stati inseriti puntoni provvisori e/o definitivi o tiranti, come dettagliato nel seguito.

Si riportano la pianta, il profilo, e le sezioni rappresentative dell'opera, come stralci grafici estratti dallo specifico elaborato IBOQ 3A R 10 PZ GA 02 00 001.

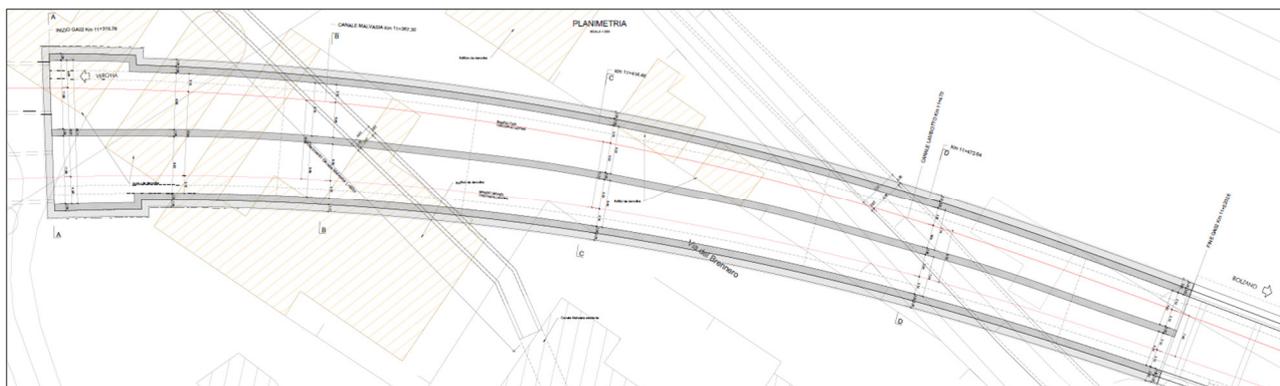


Figura 2 - Pianta GA02.

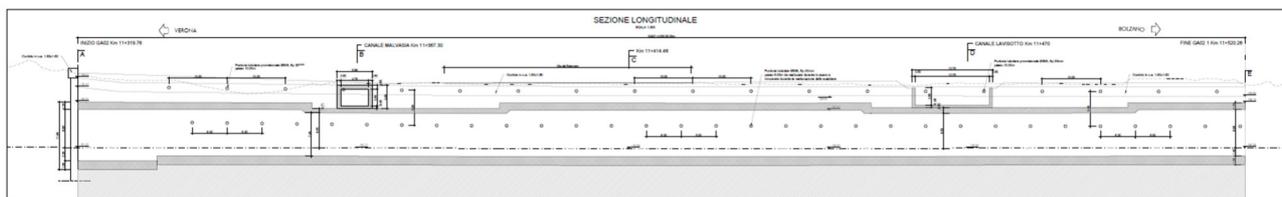


Figura 3 - Profilo GA02.

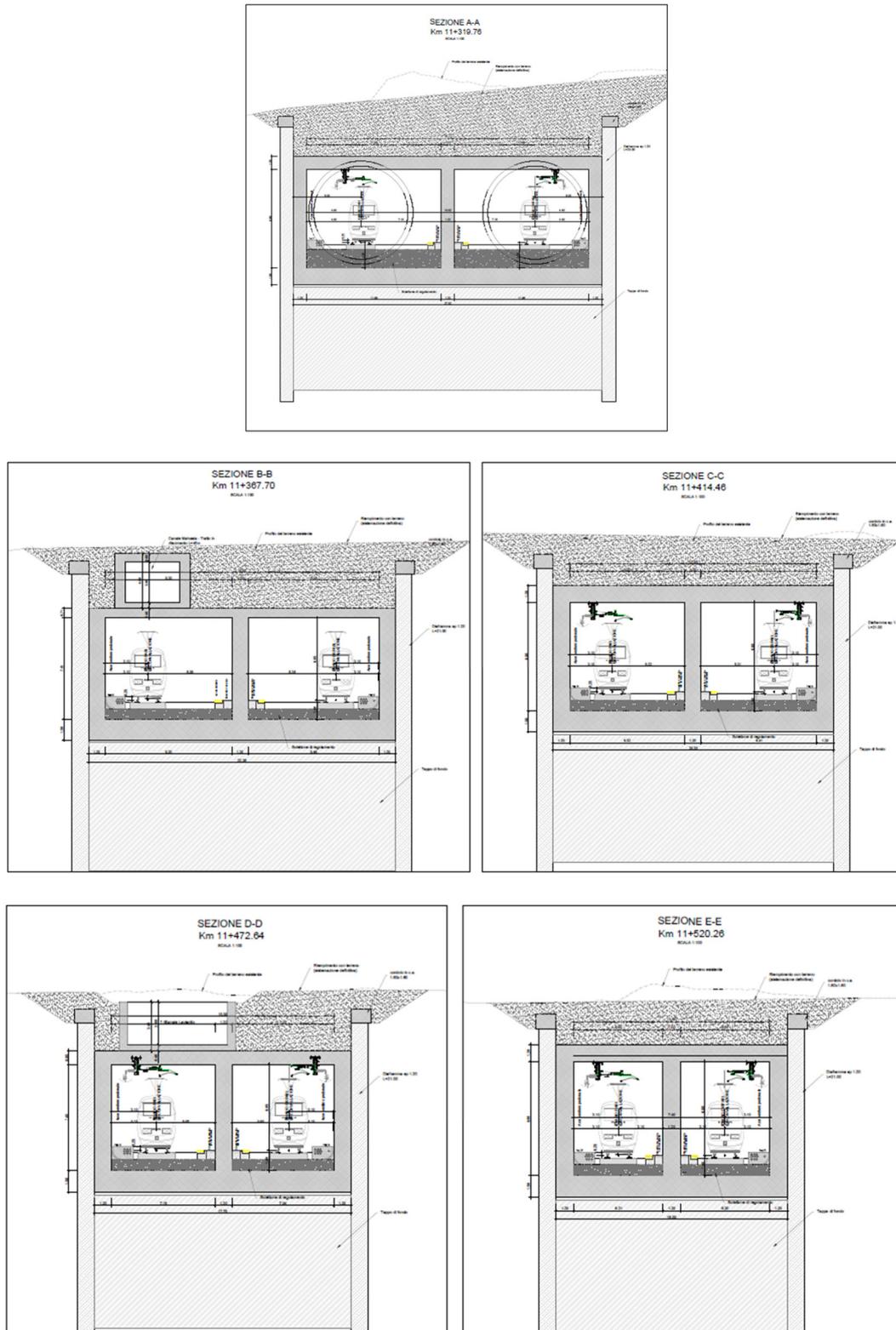


Figura 4 - Sezioni GA02.

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IB0Q	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	7 DI 55

La galleria artificiale è costituita da una struttura scatolare in c.a. a doppia canna. Lo scatolare è caratterizzato da una soletta di fondo di larghezza variabile, compresa tra 27,50m e 16,00m, e spessore pari 1,50 m. I piedritti e il setto centrale presentano un'altezza di 8,90m lungo lo sviluppo del pozzo di imbocco e di 8,00 m nella restante parte con spessore costante pari a 1,20 m. La soletta di copertura ha spessore di 1,20 m. La distanza tra il piano del ferro e l'intradosso della soletta superiore è pari a 6,60m mentre nei tratti in cui l'opera interferisce con i canali Malvasia (da km 11+357 a km 11+394) e Lavisotto (da km 11+452 a km 11+503) la distanza minima è pari a 6,05m. Per garantire il franco minimo, in tali tratti, lo scatolare presenta una riduzione di spessore soletta di copertura, la quale, se necessario, può essere realizzata mediante una struttura a travi incorporate.

Col fine di avviare quanto prima lo scavo meccanizzato della GN01 anche dall'imbocco nord, la galleria artificiale GA02 è realizzata come opera anticipata.

Per la realizzazione della GA02 sono previste due soluzioni progettuali, con altezze di scavo pari a 13 m e 14 m.

Per la prima l'intervento consiste nel realizzare i diaframmi con due ordini di puntone provvisionali secondo le seguenti fasi:

1. Esecuzione dei diaframmi e del cordolo di testa;
2. Realizzazione tappo di fondo in jet-grouting;
3. Prescavo fino a quota cordolo, realizzazione di pilastri (king post), in corrispondenza del futuro setto centrale con lo scopo di ridurre la lunghezza libera del puntone ed inserimento del primo ordine di puntone provvisionali;
4. Scavo fino ad una profondità di circa -6,5 m da p.c. ed inserimento del secondo ordine di puntone provvisionali;
5. Scavo fino a quota fondo scavo e si realizzazione della soletta di fondo;
6. Costruzione dei piedritti della struttura interna fino alla quota del puntone provvisionale intermedio, e rimozione dello stesso;
7. Completamento della struttura interna fino alla soletta superiore per raggiungere la configurazione definitiva;
8. Rimozione del puntone provvisorio sommitale e rinterro.

La seconda soluzione riguarda la zona del pozzo di imbocco alla galleria naturale che, presentando una luce più grande, viene tirantata con 3 ordini di tiranti, (su ciascun ordine i tiranti sono disposti ad un interasse di 1,25m), secondo le seguenti fasi:

1. Esecuzione dei diaframmi e del cordolo di testa;
2. Realizzazione tappo di fondo in jet-grouting;
3. Scavo fino a -4,5 m da p.c. e realizzazione del primo ordine di tiranti;
4. Scavo fino a quota -7,5 m da p.c. e realizzazione del secondo ordine di tiranti;
5. Scavo fino a quota -10,5 m da p.c. e realizzazione del terzo ordine di tiranti;
6. Scavo fino a quota fondo scavo e realizzazione la soletta di fondo;
7. Completamento della struttura interna fino alla soletta superiore e rinterro per raggiungere la configurazione definitiva, in cui i tiranti non lavorano più.

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IB0Q	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	8 DI 55

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore e delle Raccomandazioni di seguito elencate.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- 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, modificata dal Regolamento (UE) N° 776/2019.

### 2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1]. Geotecnica – Relazione geotecnica generale – IB0Q 3A R 10 RH GE 00 06 001;
- [2]. Geotecnica - Profilo geotecnico lato nord – IB0Q 3A R 10 F5 GE 00 06 001;
- [3]. Opere civili – GA02: pianta, prospetto e sezioni – IB0Q 3A R 10 PZ GA 02 00 001;
- [4]. Opere civili – GA02: fasi costruttive – IB0Q 3A R 10 PZ GA 02 00 002.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

### 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

- Classe di resistenza C25/30:
- Copriferro 60 mm
- $R_{ck} = 30 \text{ MPa}$  Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cd} / \gamma_c = 14.11 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.55 \text{ N/mm}^2$  Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.00 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 2.68 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9 \text{ N/mm}^2$  Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0.3} = 31447.16 \text{ N/mm}^2$  Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 13.69 \text{ N/mm}^2$  Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 5.64 \text{ N/mm}^2$  Tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm

##### 3.1.1 Calcestruzzo per scatolare

- Classe di resistenza C32/40:
- Copriferro 40 mm
- $R_{ck} = 40 \text{ MPa}$  Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica a compressione;

Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBOQ	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	10 DI 55

- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 18.81 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 3.09 \text{ N/mm}^2$  Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.44 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.88 \text{ N/mm}^2$  Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3.25 \text{ N/mm}^2$  Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.20 \text{ N/mm}^2$  Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 33642.78 \text{ N/mm}^2$  Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 18.26 \text{ N/mm}^2$  Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 7.52 \text{ N/mm}^2$  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  $\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 337,50 \text{ N/mm}^2$ .

### 3.2.1 Acciaio per tubolari e carpenteria metallica

- Acciaio S355
- Tensione di snervamento  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Tensione ultima a rottura  $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$



	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 5 CRITERI DI VERIFICA DEI DIAFRAMMI

### 5.1 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).

Nelle analisi di dimensionamento dei diaframmi non si è tenuto conto delle azioni sismiche considerandoli, cautelativamente come una struttura di sostegno provvisoria. Le azioni sismiche sono state considerate nelle analisi di predimensionamento della struttura scatolare interna insieme alle spinte del terreno, trascurando il contributo dei diaframmi.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus 20.1, 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.

Le verifiche strutturali sono state condotte in maniera speditiva e conservativa (trascurando lo sforzo assiale nella sezione ed il contributo delle pareti della fodera interna) per assicurarsi il corretto funzionamento dell'elemento strutturale. Nelle successive fasi progettuali, analisi più accurate consentiranno di ottimizzare le strutture e le quantità di materiali.

### 5.2 VERIFICHE GEOTECNICHE SLE

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

$$Ed \leq Cd$$

essendo Ed e Cd 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, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

Nel presente progetto è stata posta particolare attenzione, per le sezioni che lo richiedessero, alla valutazione dei cedimenti indotti sui binari in esercizio, verificando che il valore massimo degli stessi non fosse superiore ad 1 cm.

In particolare, tali cedimenti sono valutati applicando la correlazione di Kung et al. (2007), 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Noto  $\delta_{Vmax}$ , il massimo cedimento verticale, il profilo dei cedimenti a monte dello scavo è valutato sulla base del seguente schema trilineare:

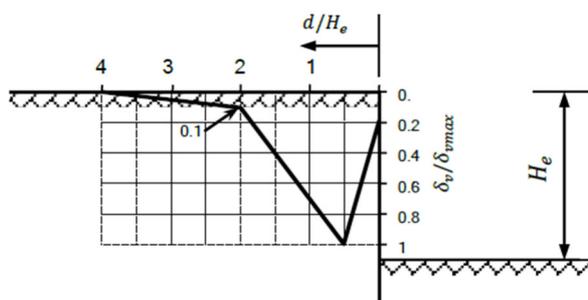


Figura 6 – Schematizzazione del Metodo di Kung et al. (2007) Implementato in Paratie Plus.

## 6 ANALISI DEI CARICHI DIAFRAMMI

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.

### 6.1 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  $\varphi'$ , e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

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

Dove

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IB0Q	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	14 DI 55

-  $K_{0,NC} = 1 - \tan \varphi'$  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:

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

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

## 6.2 CARICHI PERMANENTI

La testa dei diaframmi è posizionata ad una quota massima di circa 1 m al di sotto del piano campagna, pertanto prima della realizzazione si deve eseguire un prescavo. A favore di sicurezza, si considera un carico uniformemente distribuito a monte dei diaframmi pari al peso totale del terreno con spessore pari al prescavo stesso (20 kPa).

## 6.3 CARICHI ACCIDENTALI

Si considera un carico di 10 kPa generato dai macchinari di cantiere presenti in fase di realizzazione.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 7 ANALISI DEI CARICHI DELLO SCATOLARE

### 7.1 PESO PROPRIO (DEAD)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato pari a  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

### 7.2 SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)

Il ricoprimento ha uno spessore massimo di 4 m, pertanto si assegna alla soletta superiore un carico di  $80 \text{ kN/m}^2$ .

Inoltre si ha il carico permanente portato del ricoprimento sulla soletta inferiore, di circa 80 cm di spessore, il cui carico esercitato è pari a  $16 \text{ kN/m}^2$ .

### 7.3 SPINTA ORIZZONTALE FALDA

La falda si trova ad una quota di circa 2.5 m dal piano campagna, pertanto produce sui piedritti una spinta pari a:

FALDA

$\gamma_w \text{ (kN/m}^3\text{)}$	10	peso di volume acqua
$z \text{ (m)}$	2.5	profondità falda rispetto al PC
$p_{\text{sup}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	21	pressione in asse soletta superiore
$p_{\text{inf}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	114.5	pressione in asse soletta inferiore

Il calcolo è stato eseguito come segue:

- spessore terreno di ricoprimento  $s = 4 \text{ m}$ ;
- spessore soletta superiore =  $1.2 \text{ m}$ ;
- spessore soletta inferiore =  $1.5 \text{ m}$ ;
- altezza netta galleria =  $8 \text{ m}$ ;

La profondità della soletta superiore rispetto al p.c. è pari a  $4 + 1.2/2 = 4.6 \text{ m}$ .

La profondità della soletta inferiore rispetto al p.c. è pari a  $4 + 1.2 + 8 + 1.5/2 = 13.95 \text{ m}$ .

Da questi valori si ottiene:

$$p_{\text{sup}} = \gamma_w * (4.6 - 2.5) = 21 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{inf}} = \gamma_w * (13.95 - 2.5) = 114.5 \text{ kPa}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 7.4 SOTTOSPINTA IDRAULICA SU SOLETTA INFERIORE

Si considera un carico uniformemente distribuito pari a  $p_{inf}$  calcolato al paragrafo precedente.

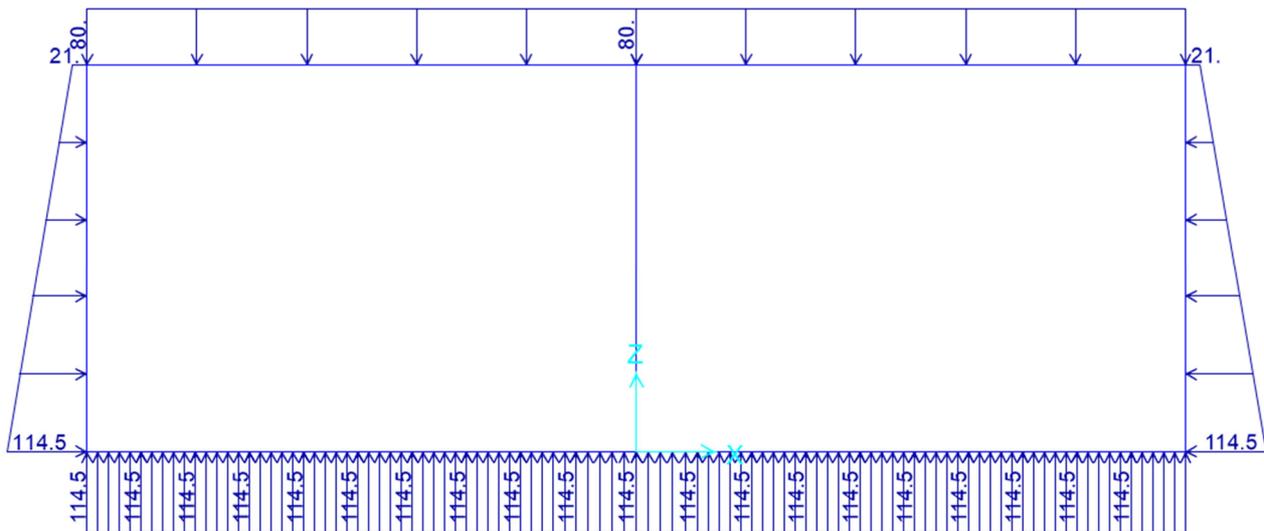


Figura 7 – Carico permanente, spinta laterale e sottospinta acqua.

## 7.5 SPINTA DEL TERRENO (SPTSX/SPTDX)

La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo con:

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	peso di volume terreno ai lati
$\varphi'$ (°)	33	angolo di attrito terreno ai lati
$k_0$	0.455	coefficiente di spinta a riposo

Tali parametri si traducono ad un diagramma di pressioni trapezoidale ( $p = k_0 \cdot \gamma \cdot z$ ) da applicare sui piedritti dello scatolare con valori di:

$p_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	36.43	pressione all'estradosso soletta superiore
$p_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	41.89	pressione in asse soletta superiore
$p_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	127.05	pressione in asse soletta inferiore
$p_4$ (kN/m <sup>2</sup> )	133.88	pressione all'intradosso soletta inferiore

La spinta del terreno agisce con forma trapezoidale in quanto si tiene conto della spinta esercitata del ricoprimento di 4 m al di sopra dello scatolare.

Il calcolo è stato eseguito come segue:

$$p_{\text{terreno}} = \gamma_t k_0 z$$

$$p_1 = 20 \cdot 0.455 \cdot (4) = 36.43 \text{ kPa}$$

$$p_2 = 20 \cdot 0.455 \cdot (4 + 1.2/2) = 41.89 \text{ kPa}$$

$$p_3 = 20 \cdot 0.455 \cdot (4 + 1.2 + 8 + 1.5/2) = 127.05 \text{ kPa}$$

$$p_4 = 20 \cdot 0.455 \cdot (4 + 1.2 + 8 + 1.5) = 133.88 \text{ kPa}$$

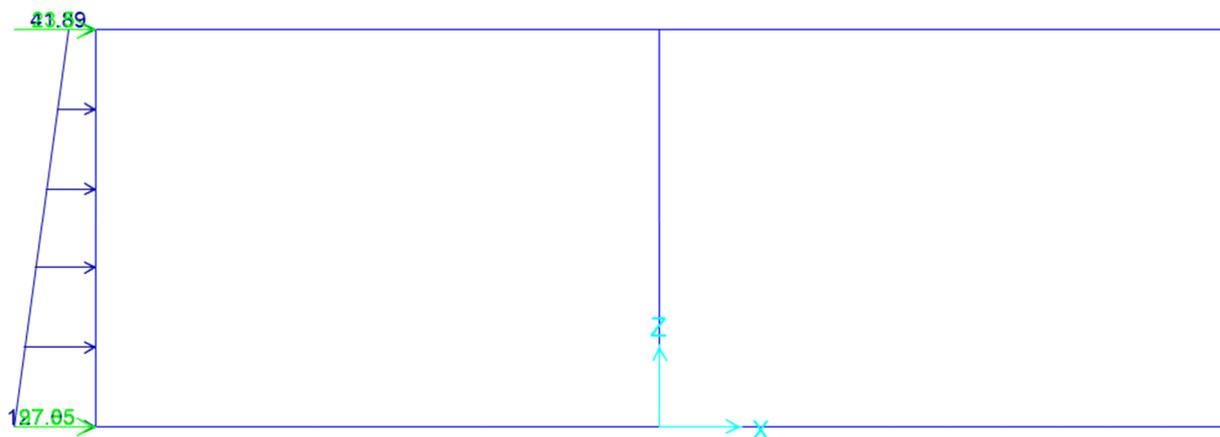
Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 4 (per la SPTSX) e 2 e 3 (per la SPTDX), la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

$F_{1,2}$ (kN/m)	23.50	forza concentrata semi-spessore soletta superiore
$F_{3,4}$ (kN/m)	97.85	forza concentrata semi-spessore soletta inferiore

Tali forze concentrate sono state calcolate come l'area di un trapezio, in cui per la forza agente ad esempio su soletta inferiore, la base maggiore è pari alla pressione agente a intradosso soletta,  $p_4$ , la base minore è la pressione agente in asse alla soletta,  $p_3$ , e l'altezza è pari a metà spessore della soletta inferiore:

$$F_{1,2} \text{ (kN/m)} = (p_1 + p_2) \cdot 1.2/2 = 23.5 \text{ kN/m}$$

$$F_{3,4} \text{ (kN/m)} = (p_3 + p_4) \cdot 1.2/2 = 97.85 \text{ kN/m}$$



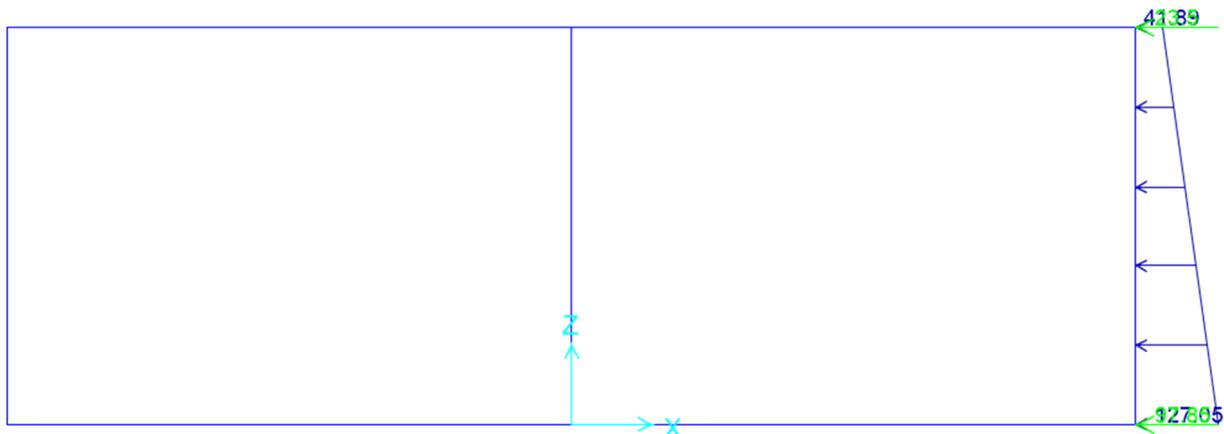


Figura 8 – Spinta terreno in sinistra e in destra.

## 7.6 CARICHI VARIABILI (ACC)

Si applica in via cautelativa un carico uniformemente distribuito di 30 kN/m<sup>2</sup> agente sulla soletta superiore rappresentativo in condizioni provvisorie del carico generato da macchinari da cantiere e in caso di assetto definitivo al piano campagna in cui si prevede la realizzazione di una strada (via del Brennero).

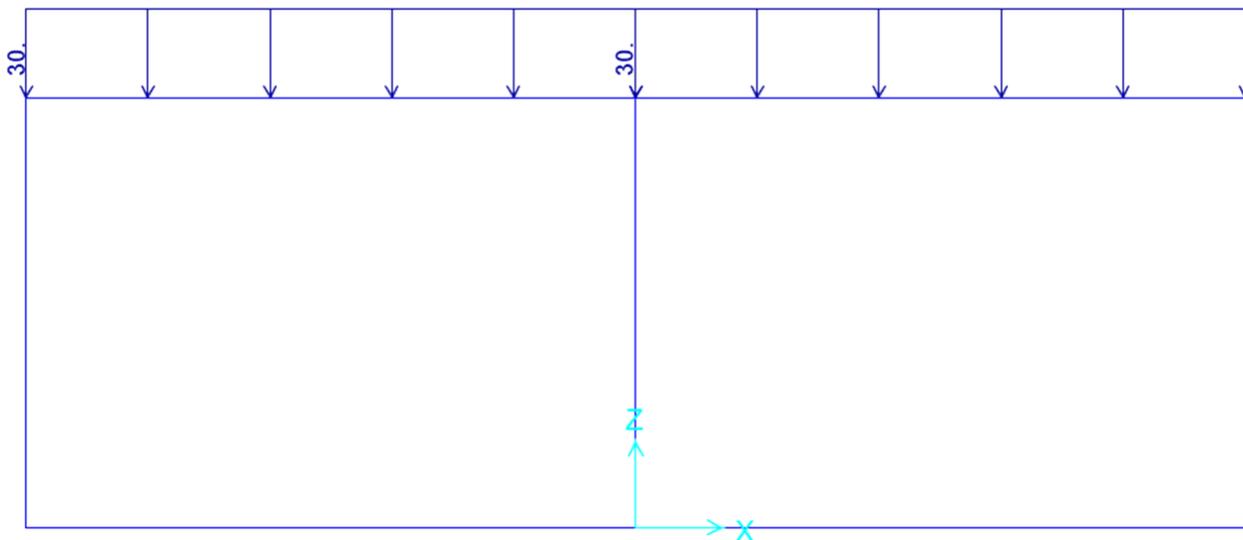
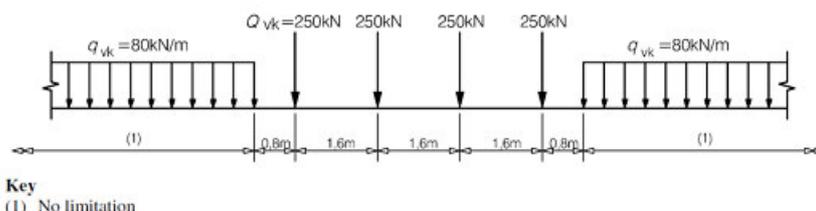


Figura 9 – Carico accidentale.

## 7.7 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO

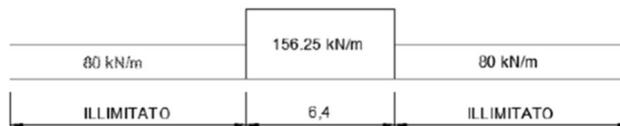
Si considera il carico sulla soletta di fondo generato dal carico ferroviario in destra e sinistra, modellato mediante lo schema di carico LM71.



Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast.

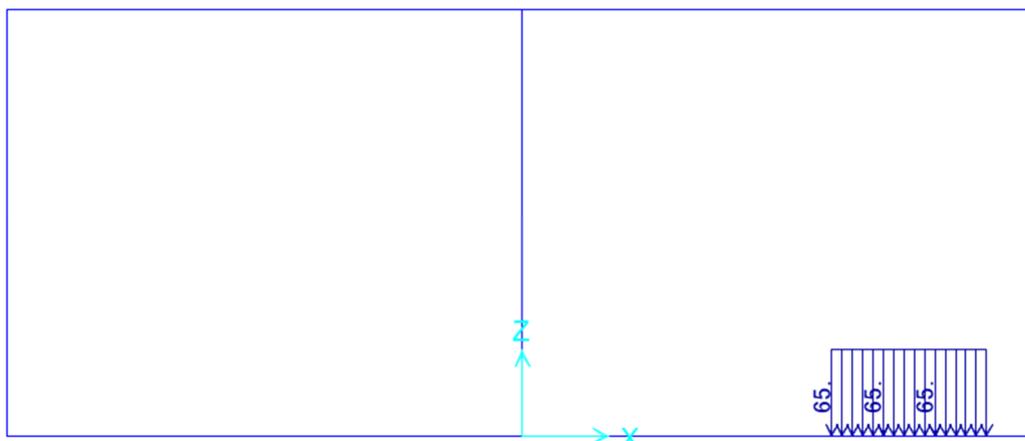
Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m} \parallel$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza pari alla somma della traversina (2.40 m), si ottiene:

$$156.25/2.4 = 65 \text{ kPa.}$$



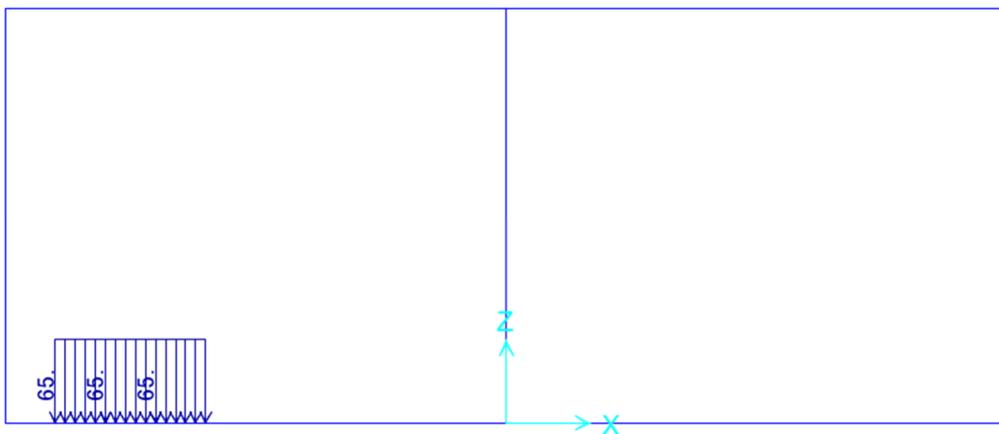


Figura 10 – Carico accidentale traffico ferroviario.

## 7.8 SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE (SPACCSX/SPACCDX)

Il carico accidentale sul rilevato a ridosso del piedritto ha intensità pari a  $q \cdot k_0 = 13.65$  kPa.

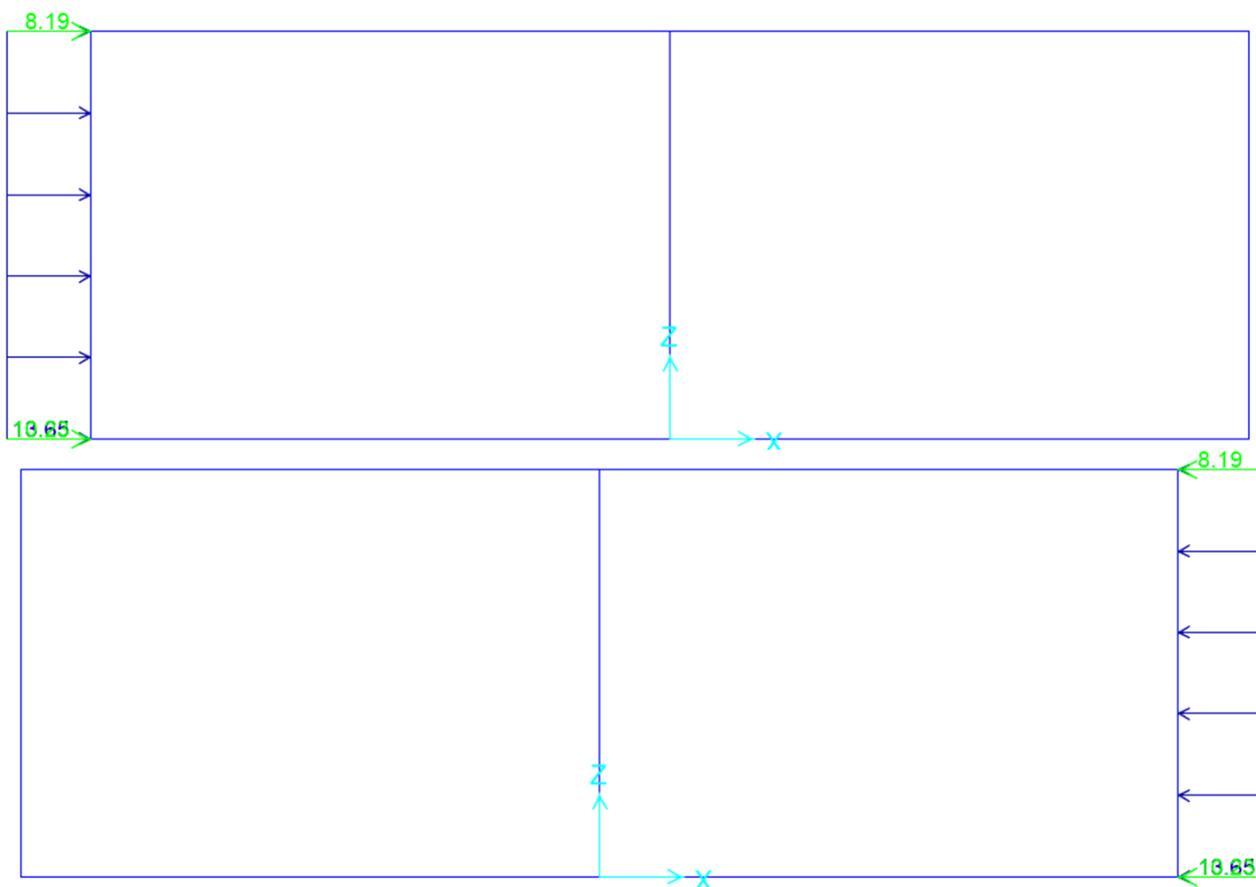


Figura 11 – Sovraccarico accidentale.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IBOQ</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 7.9 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 seguenti parametri sismici:

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.092 g
$F_g$	2.702
$T_C$	0.348 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.488
$S_T$	1.000
$q$	1.000

Tabella 1 – Parametri sismici.

quindi con  $a_{max} = a_g \cdot S = 0.092 \cdot 1.5 = 0.138$  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.

Il coefficiente sismico orizzontale, necessario alla definizione dell'azioni sismiche, è determinato mediante la seguente relazione:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

dove:

- $a_{max}$  → accelerazione orizzontale massima attesa al sito valutata mediante la seguente formulazione:
- $g$  → accelerazione di gravità

Il coefficiente  $\beta_m$  assume un valore pari all'unità per opere impedite di traslare e ruotare (D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" – par. 7.11.6.2.1:).

I coefficienti sismici in direzione orizzontale e verticale risultano dunque pari a:

$$k_h = 0,138$$

$$k_v = 0,069$$

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 assumere nullo il contributo dei diaframmi in caso sismico deriva dalla volontà di applicare un approccio conservativo a questa fase progettuale.

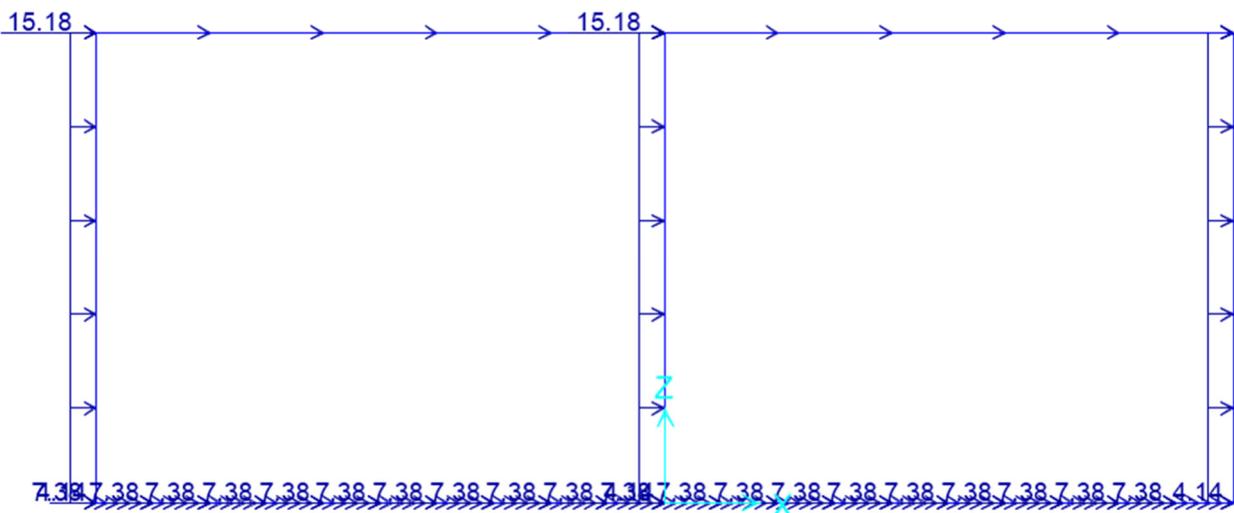
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IBOQ</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Nelle analisi l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri.

- F<sub>1</sub> (kN/m<sup>2</sup>)                      15.18    inerzia orizzontale permanenti e soletta superiore
- F<sub>2</sub> (kN/m<sup>2</sup>)                      4.14    inerzia orizzontale piedritti per SLV
- F<sub>3</sub> (kN/m<sup>2</sup>)                      7.38    inerzia orizzontale permanenti e soletta inferiore

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

- F1 (kN/m<sup>2</sup>)                      7.59    inerzia verticale permanenti soletta superiore
- F2 (kN/m<sup>2</sup>)                      2.07    inerzia verticale piedritti per SLV
- F3 (kN/m<sup>2</sup>)                      3.69    inerzia verticale permanenti soletta inferiore



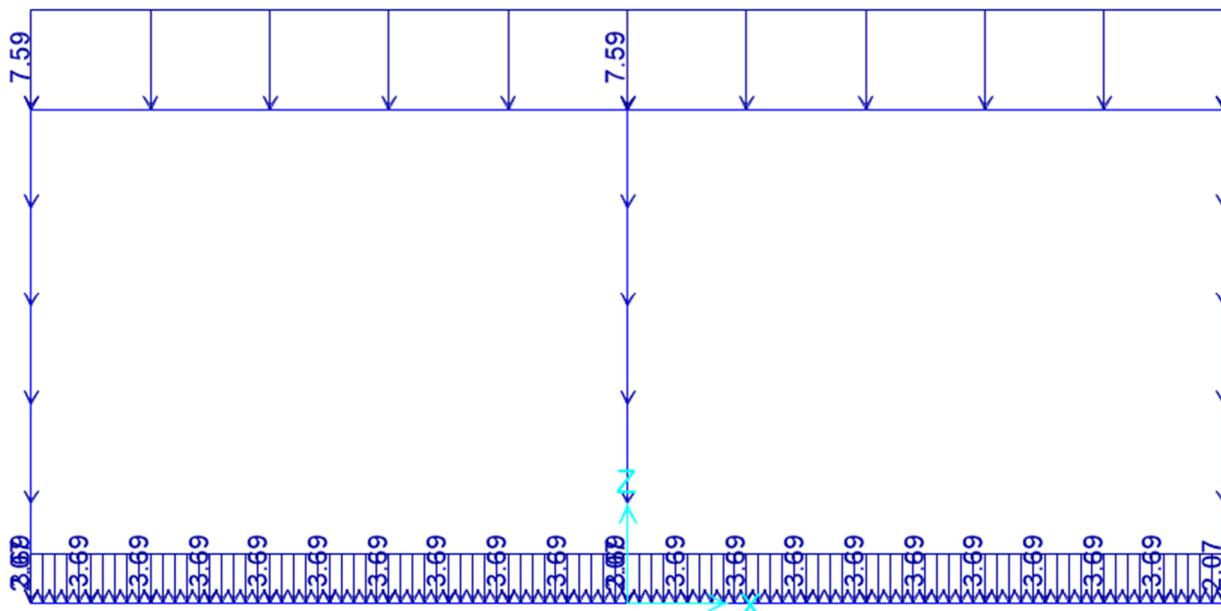


Figura 12 – Inerzia sismica.

La sovra-spinta sismica delle terre (SPSSX), considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti, può essere calcolata attraverso la trattazione di Wood (par. 6.4) che nel caso specifico diventa:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{\text{tot, scavo}}^2$$

con  $h_{\text{tot, scavo}}$  altezza complessiva dello scavo, e va a sommarsi alle condizioni statiche valutate in condizioni di spinta a riposo.

Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto  $h_{\text{scat}}/2$ , con  $h_{\text{scat}}$  l'altezza dello scatolare.

Essendo  $\Delta F_E$  la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare.

$h_{\text{tot}}$ (m)	13.5	altezza da P.C. di progetto a fondazione
$h_{\text{scat}}$ (m)	10.7	altezza totale dello scatolare
$\Delta p_E$ (kN/m <sup>2</sup> )	37.26	incremento sismico di pressione (secondo Wood) per SLV

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 4, la parte di sovraspinta esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

$\Delta F_{1,2,E}$  (kN/m)                      22.36  $\Delta F$  dovuto all'incremento sismico di pressione semispessore soletta superiore per SLV  
 $\Delta F_{3,4,E}$  (kN/m)                      27.95  $\Delta F$  dovuto all'incremento sismico di pressione semispessore soletta inferiore per SLV

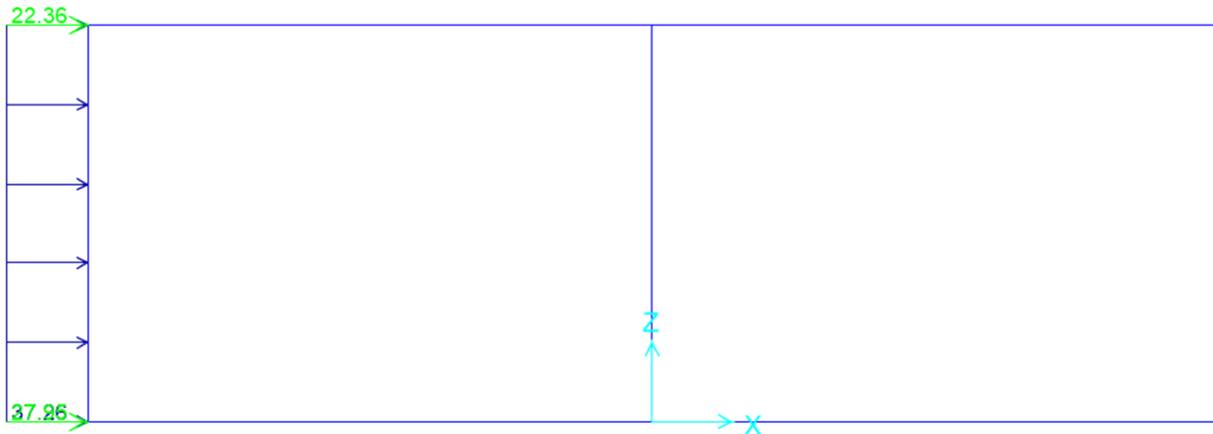


Figura 13 – Sovraspinta sismica.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IBOQ</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 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:
- $$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$
- [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 $\gamma_f$ (o $\gamma_f'$ )	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	$\gamma_{Q}$	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 2 – 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 3 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

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

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	$g_{r1}$	0,80 <sup>(a)</sup>	0,80 <sup>(a)</sup>	0,0
Gruppi di	$g_{r2}$	0,80 <sup>(a)</sup>	0,80 <sup>(a)</sup>	-
carico	$g_{r3}$	0,80 <sup>(a)</sup>	0,80 <sup>(a)</sup>	0,0
	$g_{r4}$	1,00	1,00 <sup>(a)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione SLU e SLE	0,80	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,0	0,0	0,0
		0,60	0,60	0,50

Tabella 4 - Coefficienti parziali per carico ferroviario.

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  $\gamma_R$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 9 PROGETTO E VERIFICA DIAFRAMMI

### 9.1 DATI DI INPUT

L'opera è costituita da una coppia di diaframmi di spessore pari a 1.20 m e lunghezza di 21 m. In testa è presente un cordolo con sezione 1.60 m x 1.60 m. Per la prima tipologia analizzata i due elementi strutturali sono collegati tra loro tramite due ordini di puntoni provvisionali, mentre per la seconda, zona Camerone, i diaframmi sono sostenuti da 3 ordini di tiranti.

La prima sezione analizzata ricade al termine del Camerone e l'inizio della GA02 dove la sezione è più larga, alla progressiva 11+335.6 km circa, la seconda ricade in corrispondenza del Camerone (progressiva 11+326.00 km). 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 1	Diaframmi sp=1.20 m
Altezza totale diaframma	$H_{tot} = 21 \text{ m} + 1 \text{ m cordolo} = 22 \text{ m}$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 13.00 \text{ m}$
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 13.50 \text{ m}$
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti destra	$g = 20 \text{ kPa}$ (1 m di spessore di terreno)
Sovraccarichi permanenti sinistra	$g = 20 \text{ kPa}$ (1 m di spessore di terreno)
Sovraccarichi accidentali destra	$q = 10 \text{ kPa}$ (cantiere)
Sovraccarichi accidentali sinistra	$q = 0 \text{ kPa}$
Contrasti	2 ordini di puntoni in acciaio

Tabella 5 – Caratteristiche generali relative all'opera – modello 1.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	28 DI 55

Tipologia struttura di sostegno 2	Diaframmi sp=1.20 m
Altezza totale diaframma	$H_{tot} = 21 \text{ m} + 1 \text{ m cordolo} = 22 \text{ m}$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 14.00 \text{ m}$
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 14.50 \text{ m}$
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti destra	$g = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi permanenti sinistra	$g = 20 \text{ kPa}$ (1 m di spessore di terreno)
Sovraccarichi accidentali destra	$q = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali sinistra	$q = 10 \text{ kPa}$ (cantiere)
Contrasti	3 ordini di tiranti

Tabella 6 – Caratteristiche generali relative all'opera – modello 2.

Nel calcolo è stato considerato il miglioramento del terreno per lo spessore interessato dal *jet-grouting*, mentre è stata trascurata, con approccio conservativo, la presenza delle pareti della struttura interna nella configurazione definitiva.

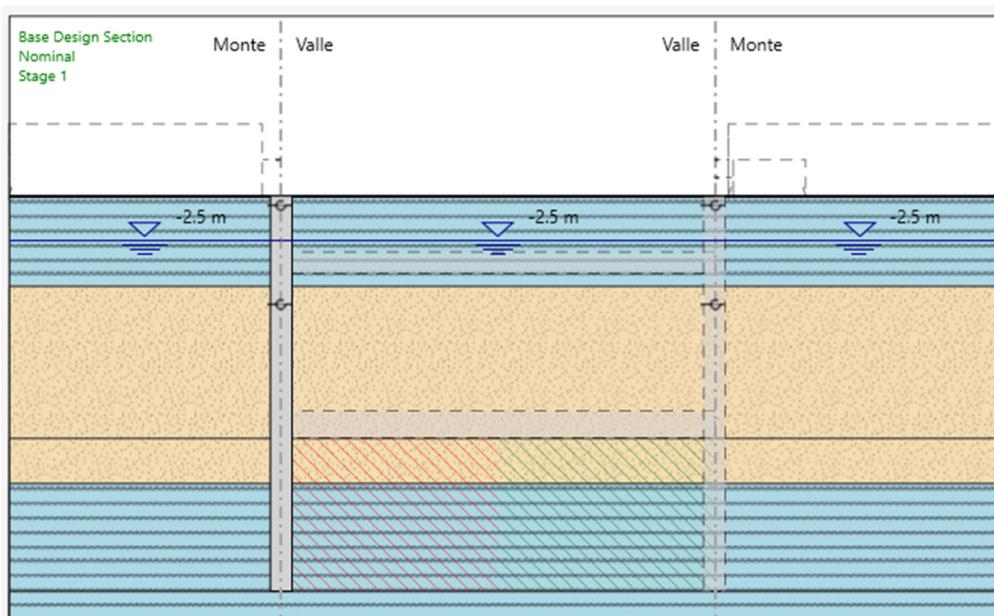
Per simulare la presenza del tappo di fondo sono state assegnate al terreno trattato a fondo scavo le seguenti caratteristiche:

- Coesione efficace:  $c' = 100 \text{ kPa}$
- Angolo di resistenza al taglio:  $\phi'$  a favore di sicurezza si assume coincidente con  $\phi'$  del terreno non trattato
- Coefficiente di permeabilità:  $k = 0.00001 \text{ m/s}$
- Coefficiente moltiplicativo del modulo di Young E: 5

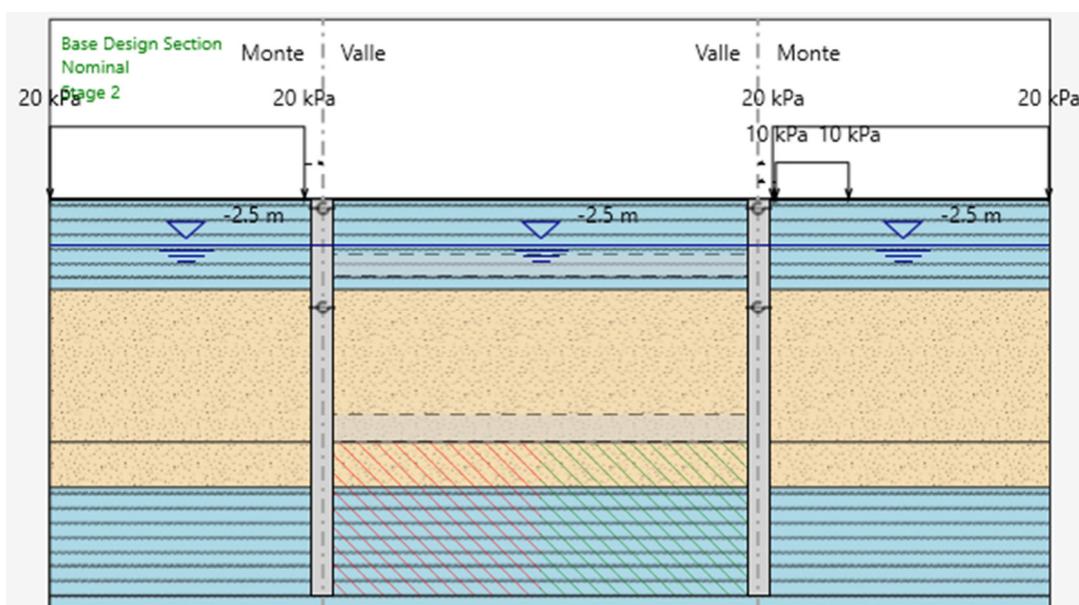
## 9.2 FASI DI CALCOLO MODELLO 1

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

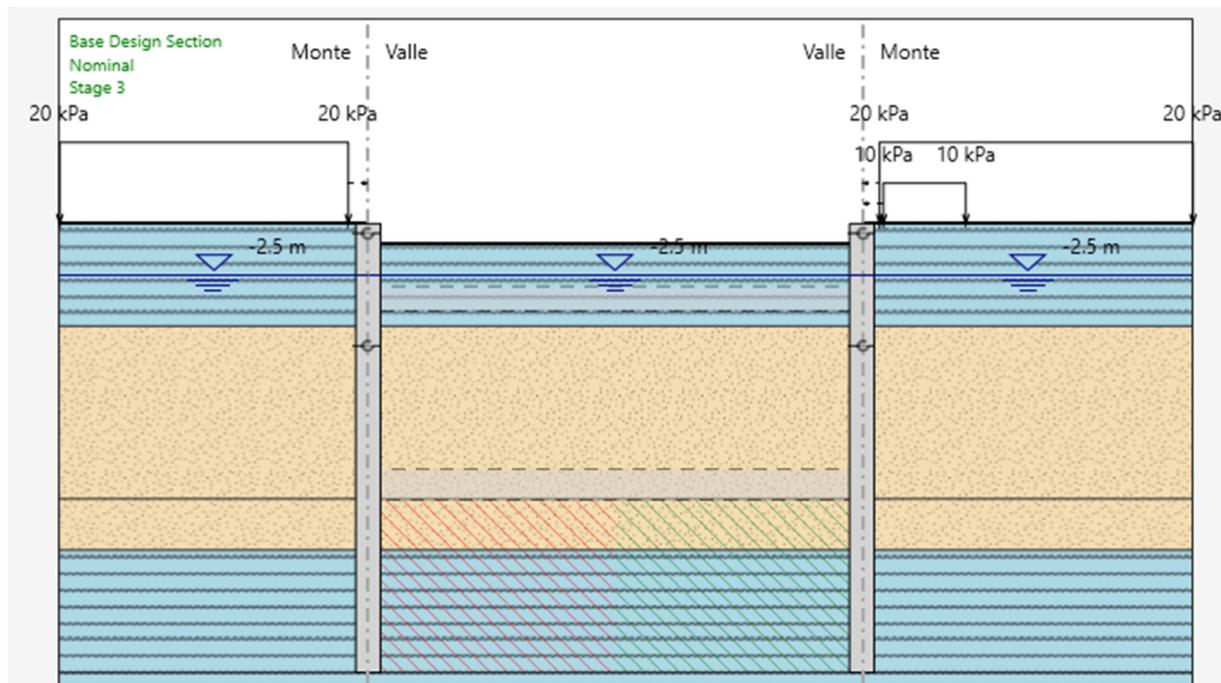
a) Realizzazione diaframmi e tappo di fondo:



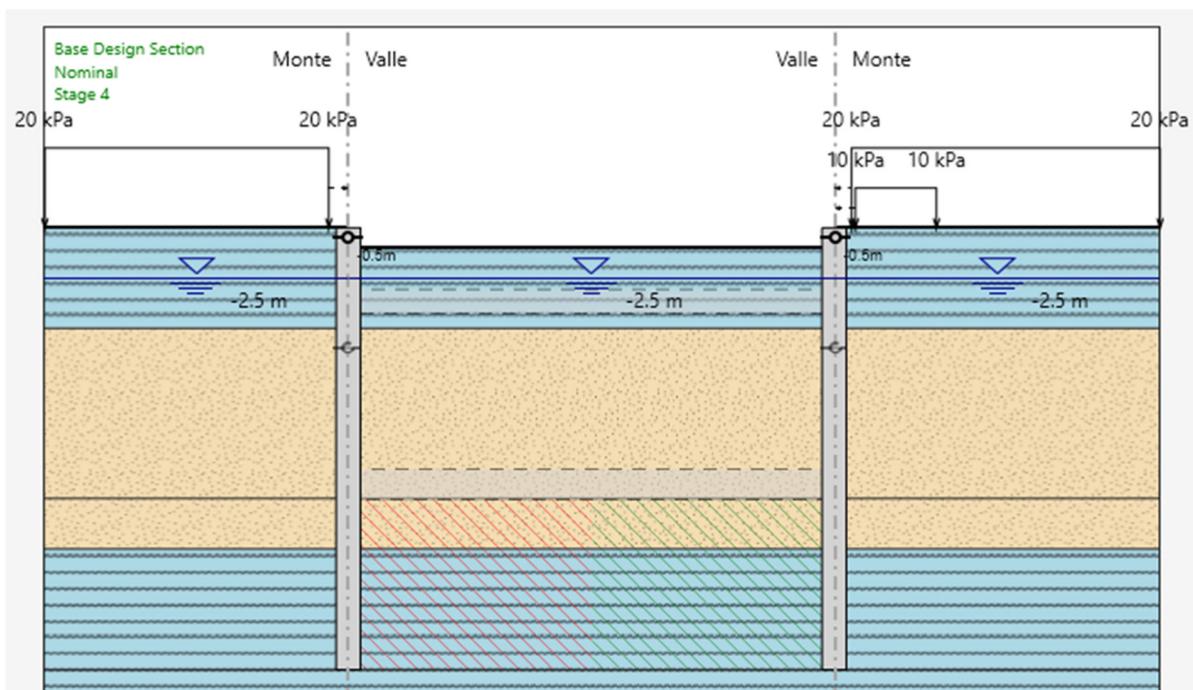
b) Applicazione del sovraccarico accidentale a monte relativo ai macchinari da cantiere (10 kPa) e del carico permanente corrispondente a 1 m di spessore di terreno (20 kPa);



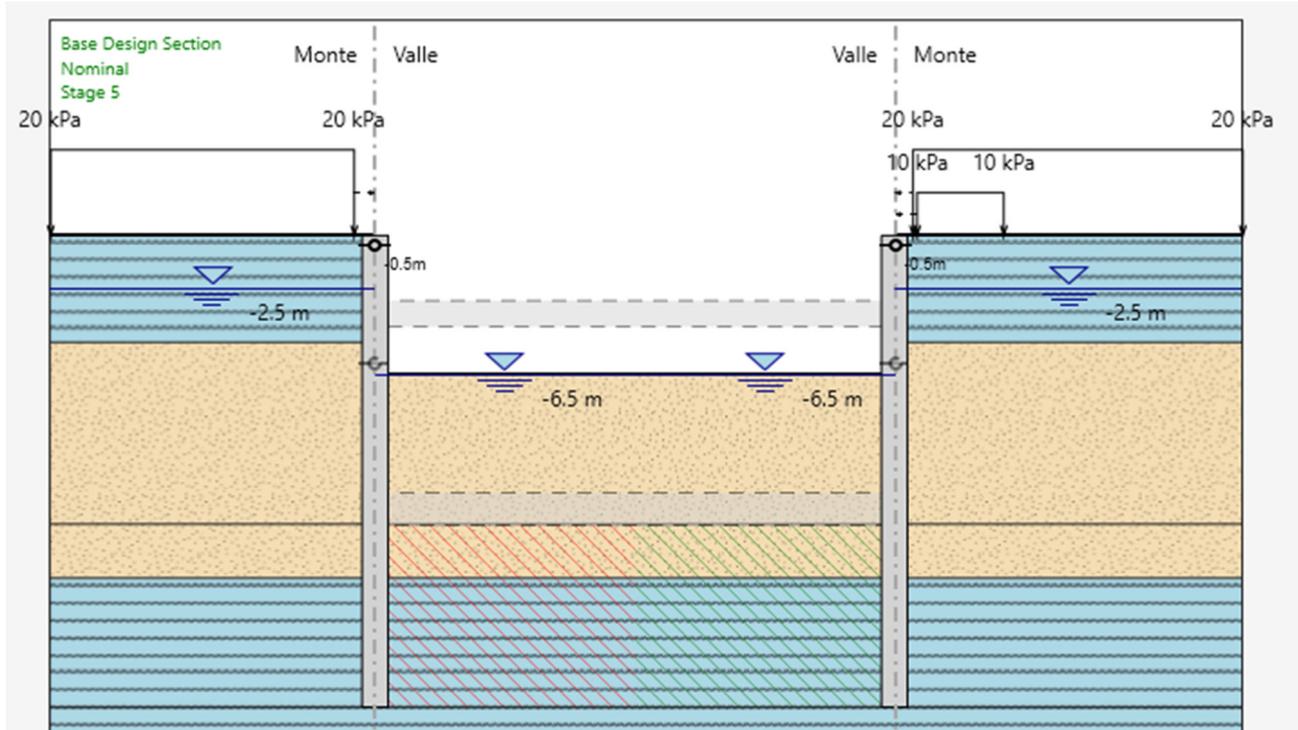
c) Scavo fino a quota -1 m da p.c.;



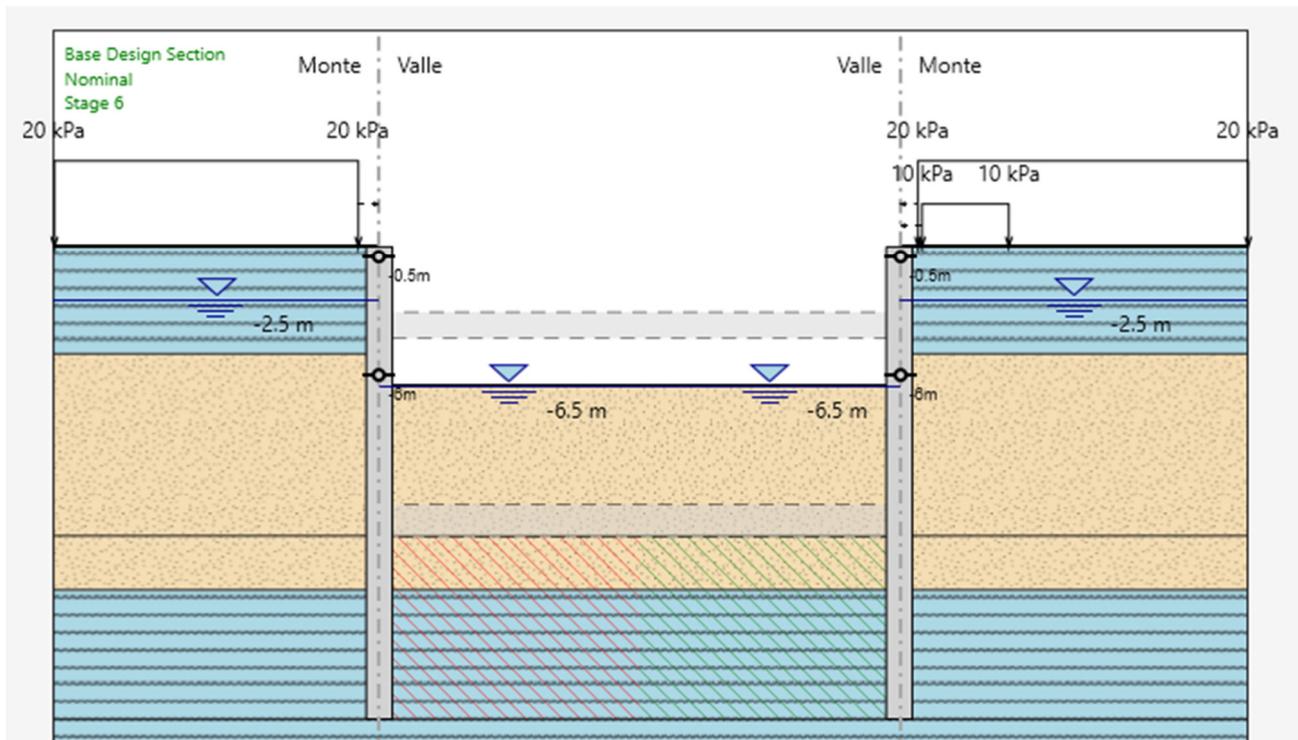
d) Realizzazione primo ordine di puntoni provvisionali a quota -0.50 m da p.c (schematizzati nel modello come un vincolo fisso);



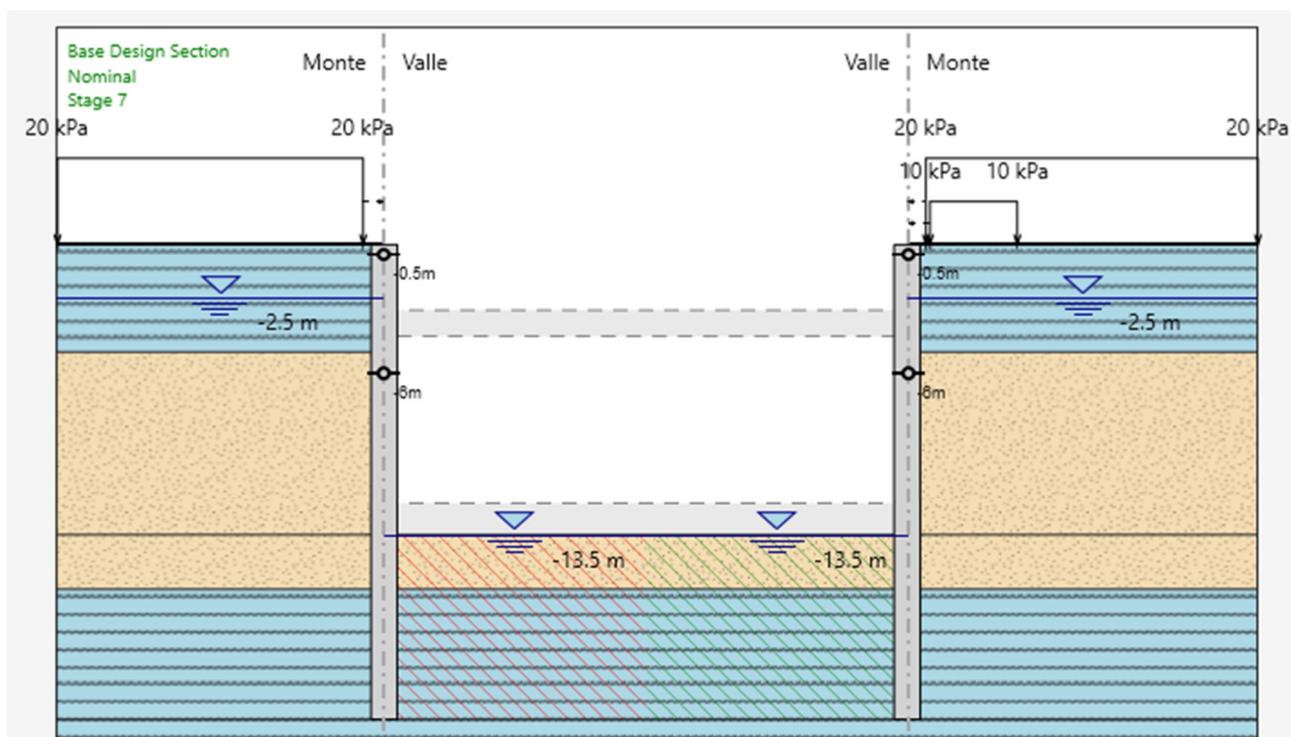
e) Scavo fino a quota -6.50 m da p.c. ed abbassamento della falda all'interno dello scavo;



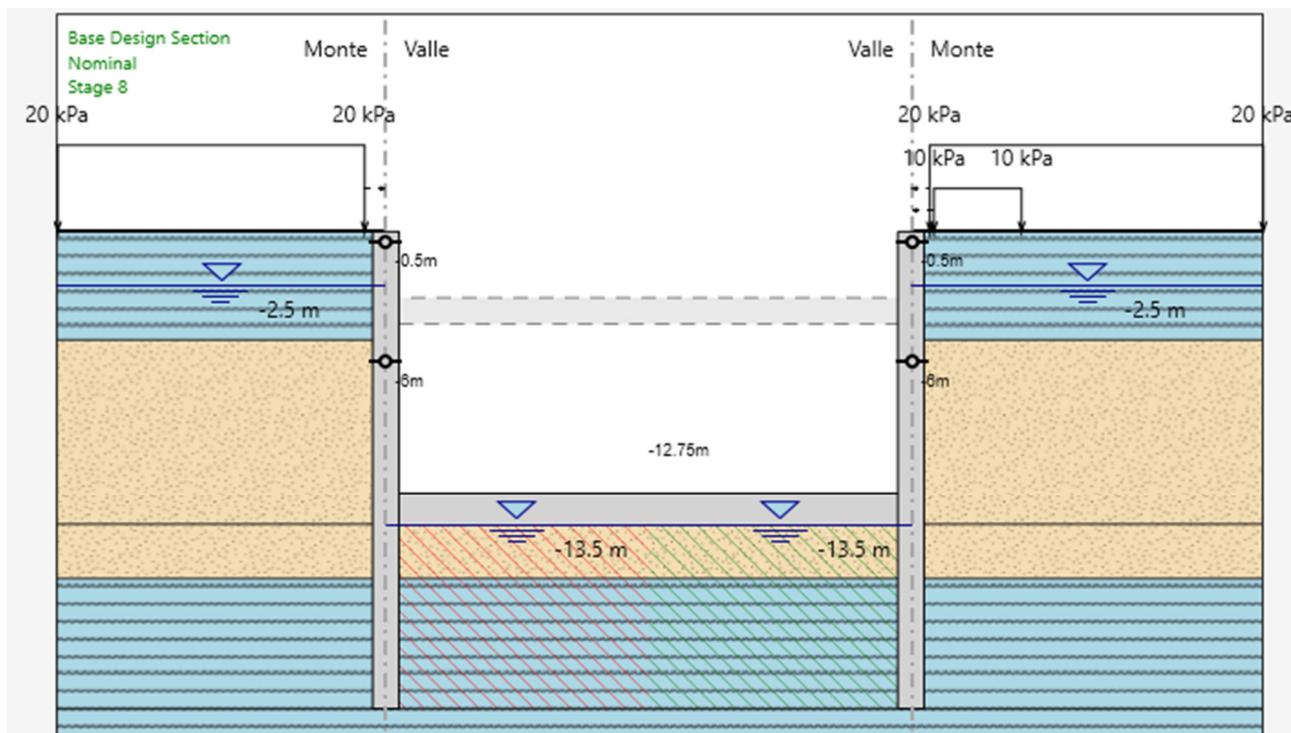
f) Realizzazione secondo ordine di puntoni provvisionali a quota -6.00 m da p.c.;



g) Scavo fino a quota fondo scavo ( $H_1 = 13.50$  m da p.c.) ed abbassamento della falda all'interno dello scavo;



h) Realizzazione della soletta di fondo (spessore 1.50 m);

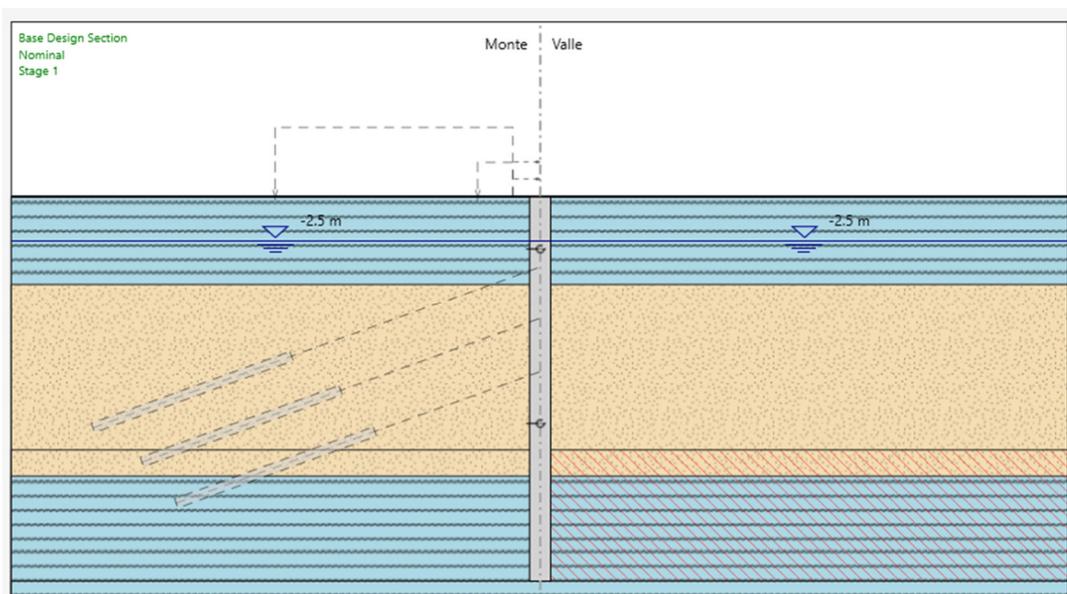




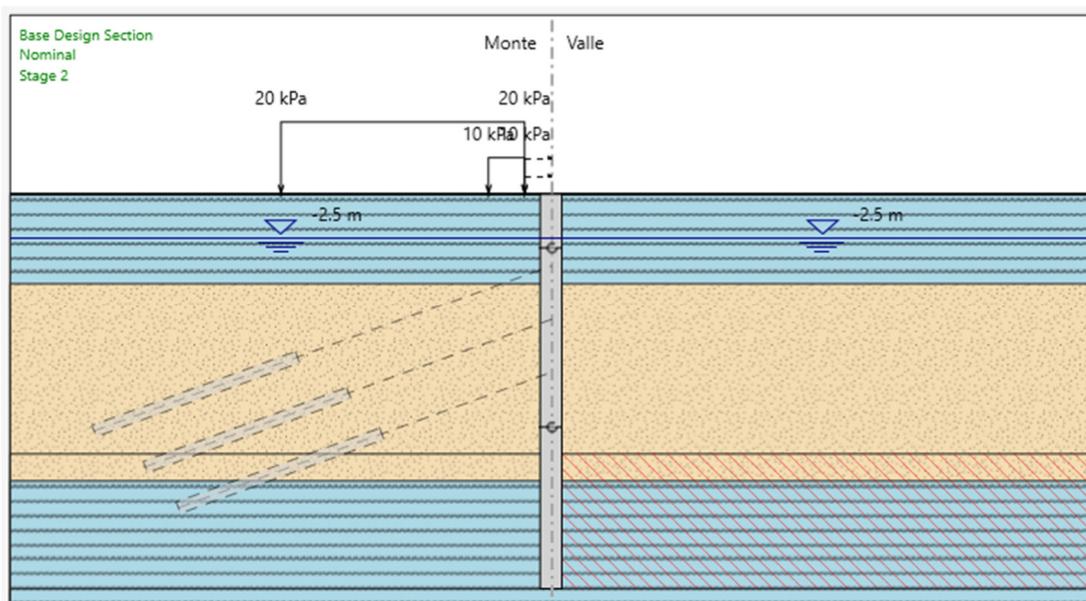
### 9.3 FASI DI CALCOLO MODELLO 2

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

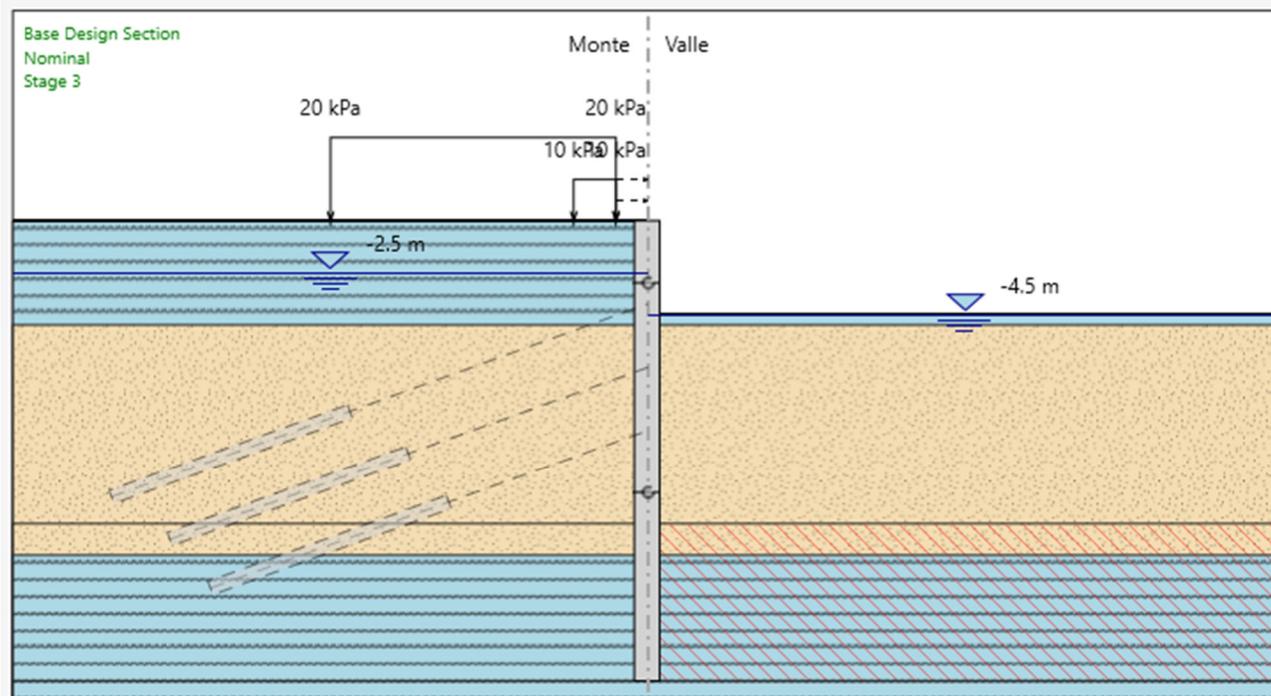
a) Realizzazione diaframmi e tappo di fondo:



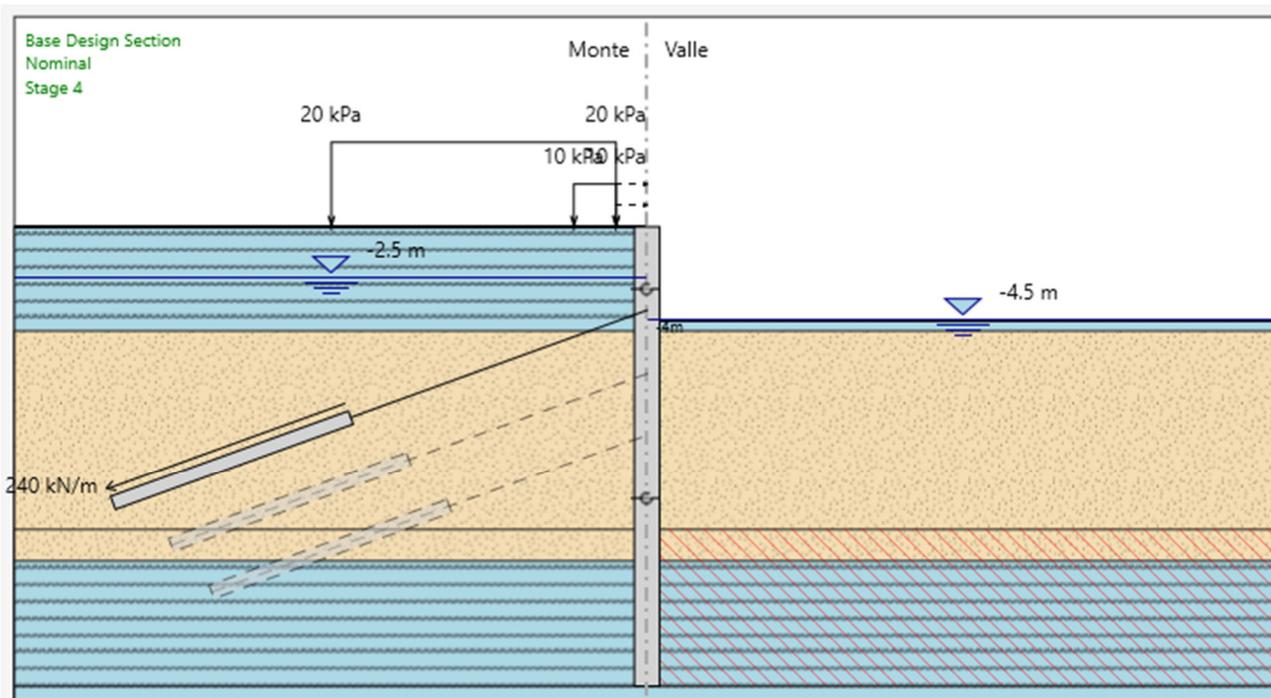
b) Applicazione del sovraccarico accidentale a monte relativo ai macchinari da cantiere (10 kPa) e del carico permanente corrispondente a 1 m di spessore di terreno (20 kPa);



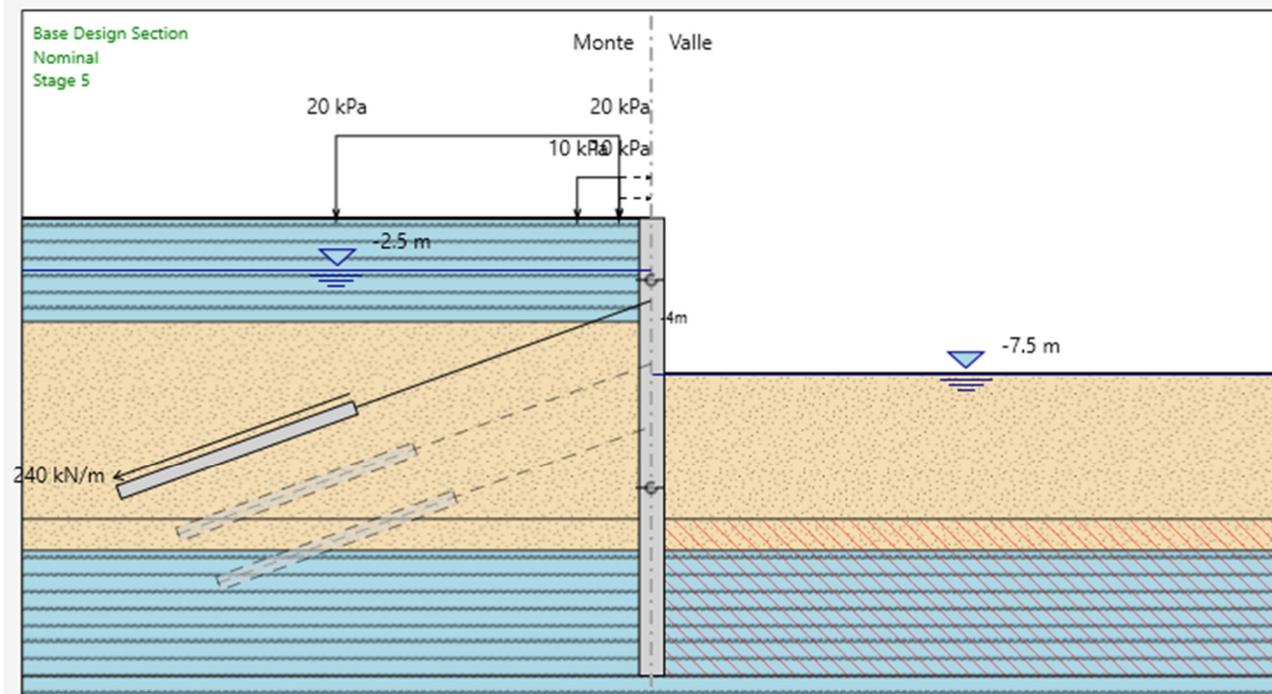
c) Scavo fino a quota -4.5 m da p.c. ed abbassamento della falda all'interno dello scavo;



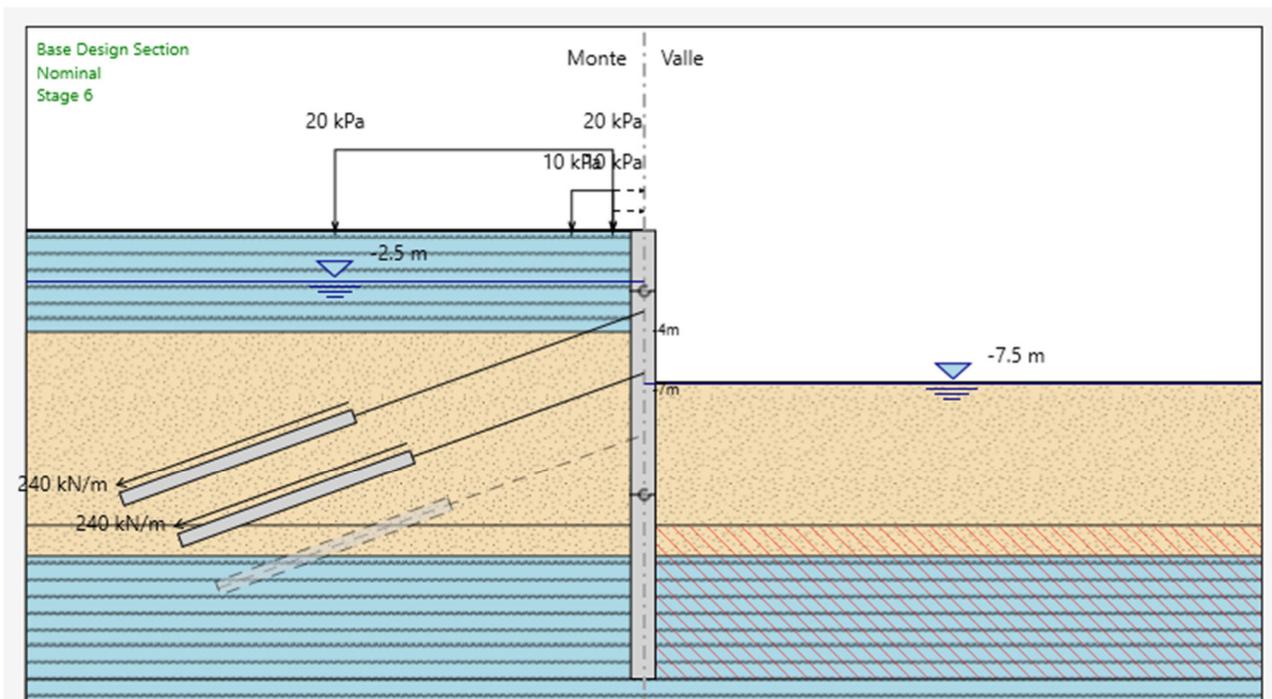
d) Realizzazione primo ordine di tirante a quota -4 m da p.c.;



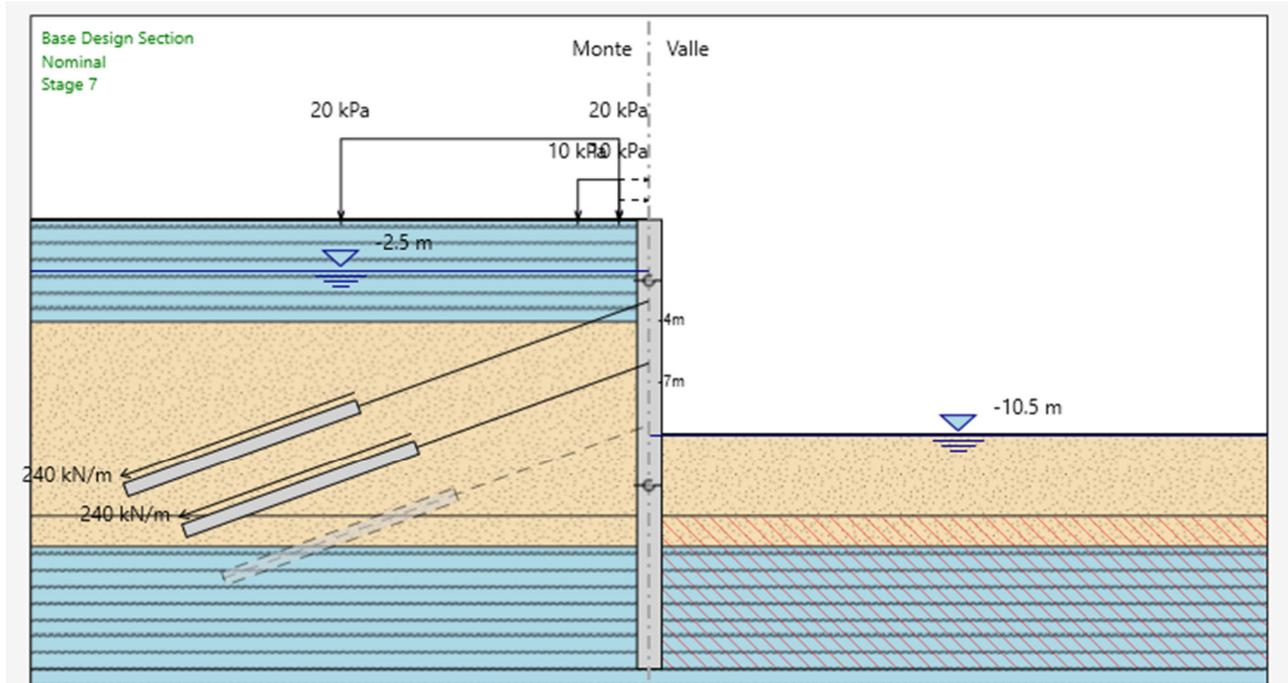
e) Scavo fino a quota -7.50 m da p.c. ed abbassamento della falda all'interno dello scavo;



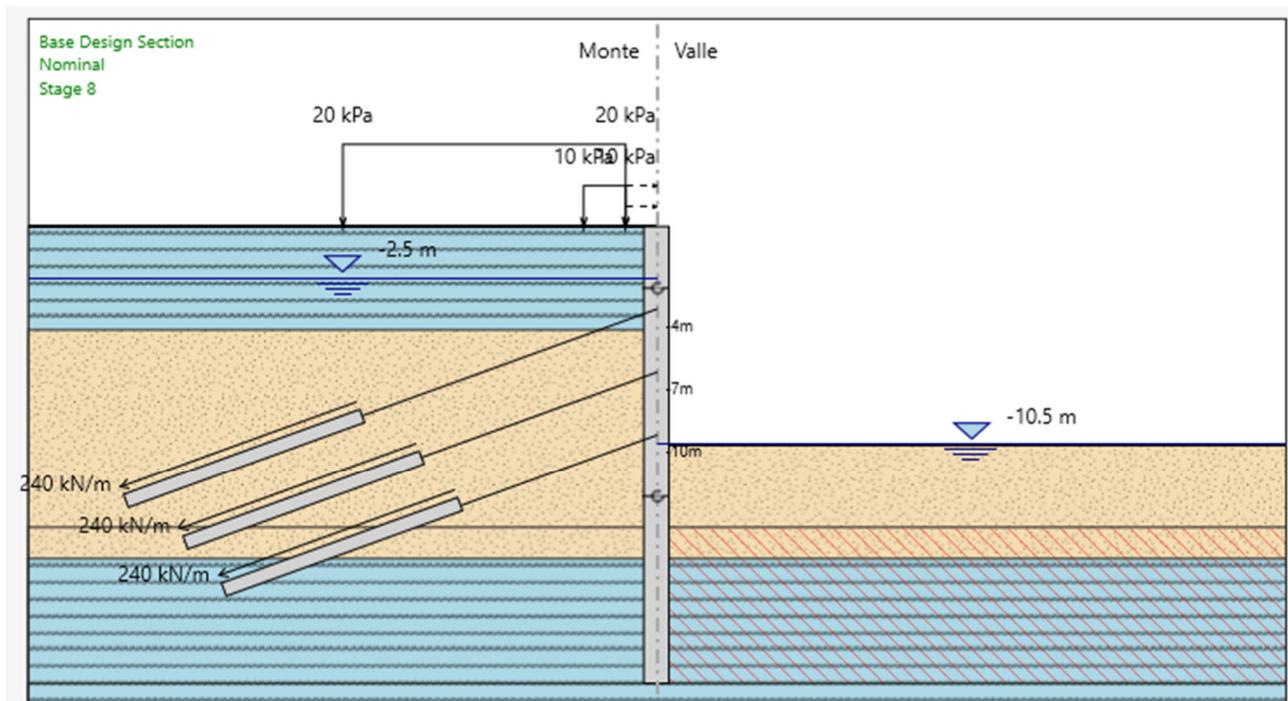
f) Realizzazione secondo ordine di tiranti a quota -7.00 m da p.c.;



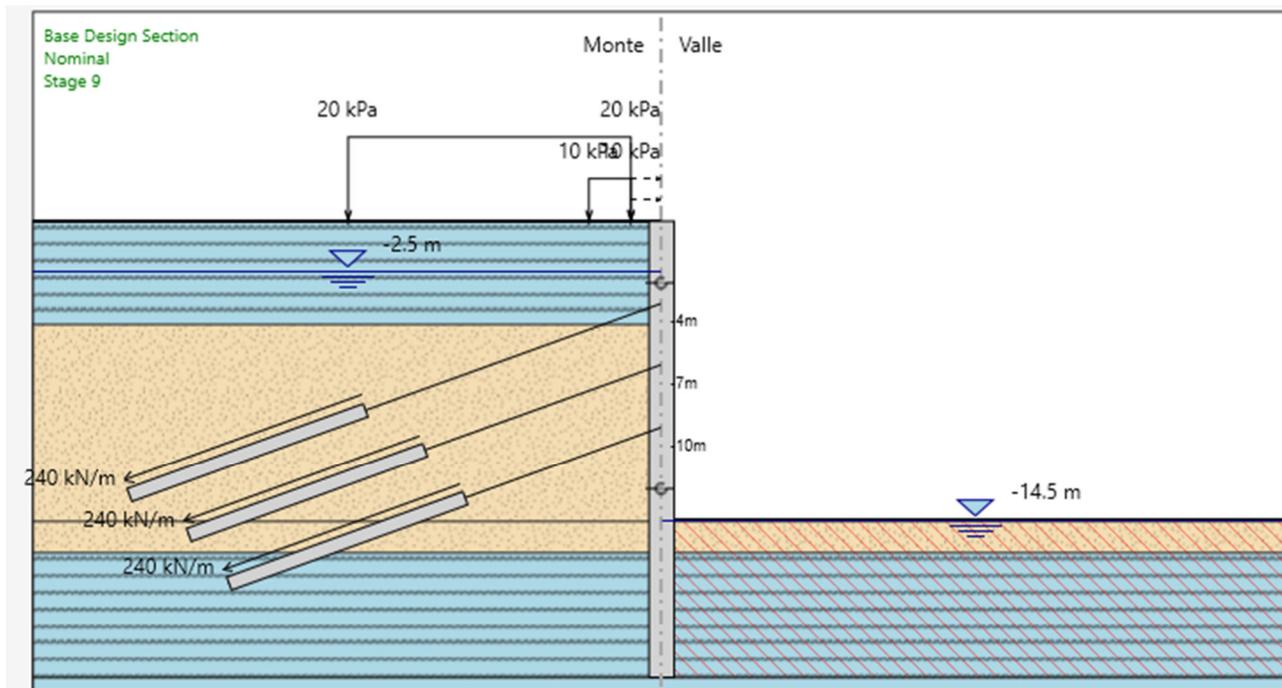
e) Scavo fino a quota -10.50 m da p.c. ed abbassamento della falda all'interno dello scavo;



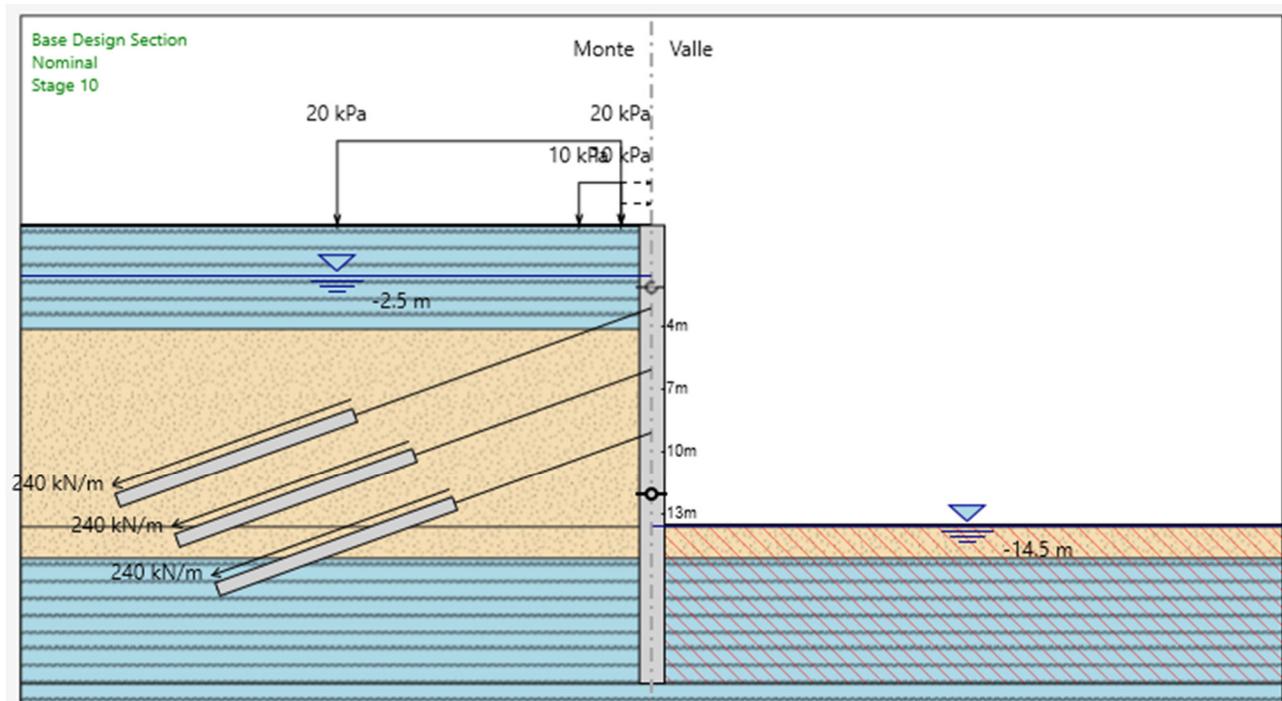
f) Realizzazione terzo ordine di tiranti a quota -10.00 m da p.c.;



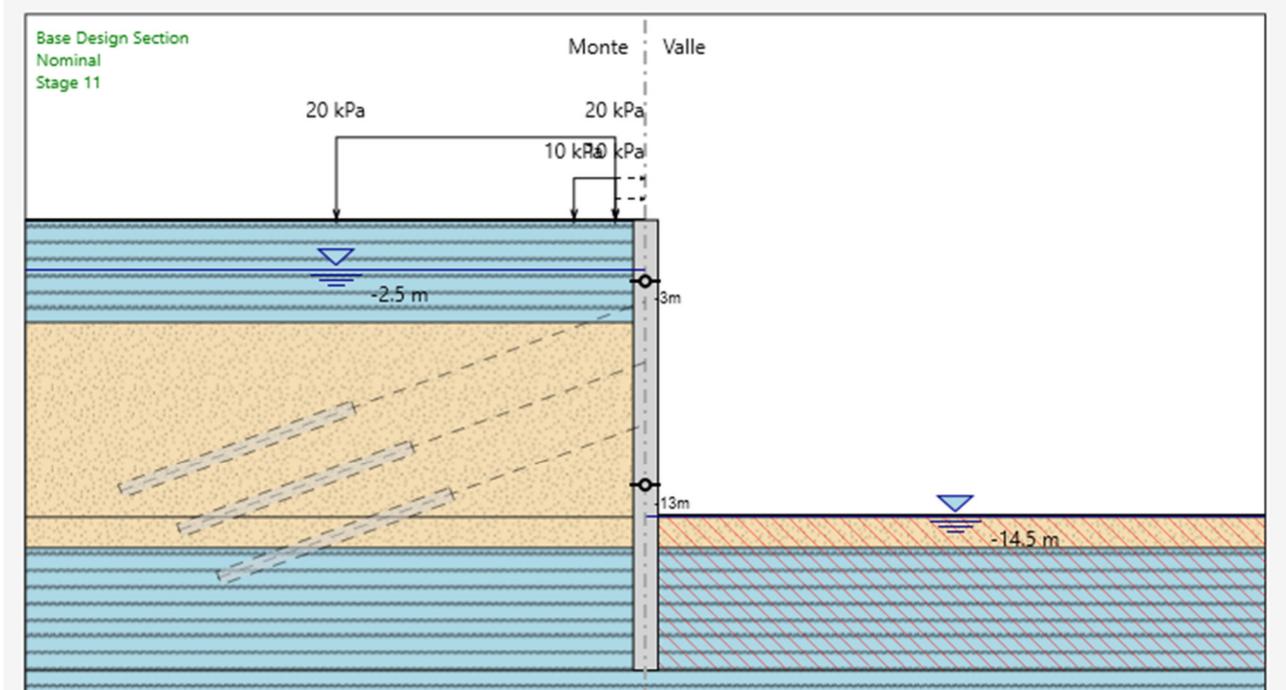
g) Scavo fino a quota fondo scavo ( $H_1 = 14.50$  m da p.c.) ed abbassamento della falda all'interno dello scavo;



h) Realizzazione della soletta di fondo (spessore 1.50 m);



i) Realizzazione scatole interna (fase in cui i tiranti smettono di lavorare);



## 9.4 RISULTATI MODELLO 1

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

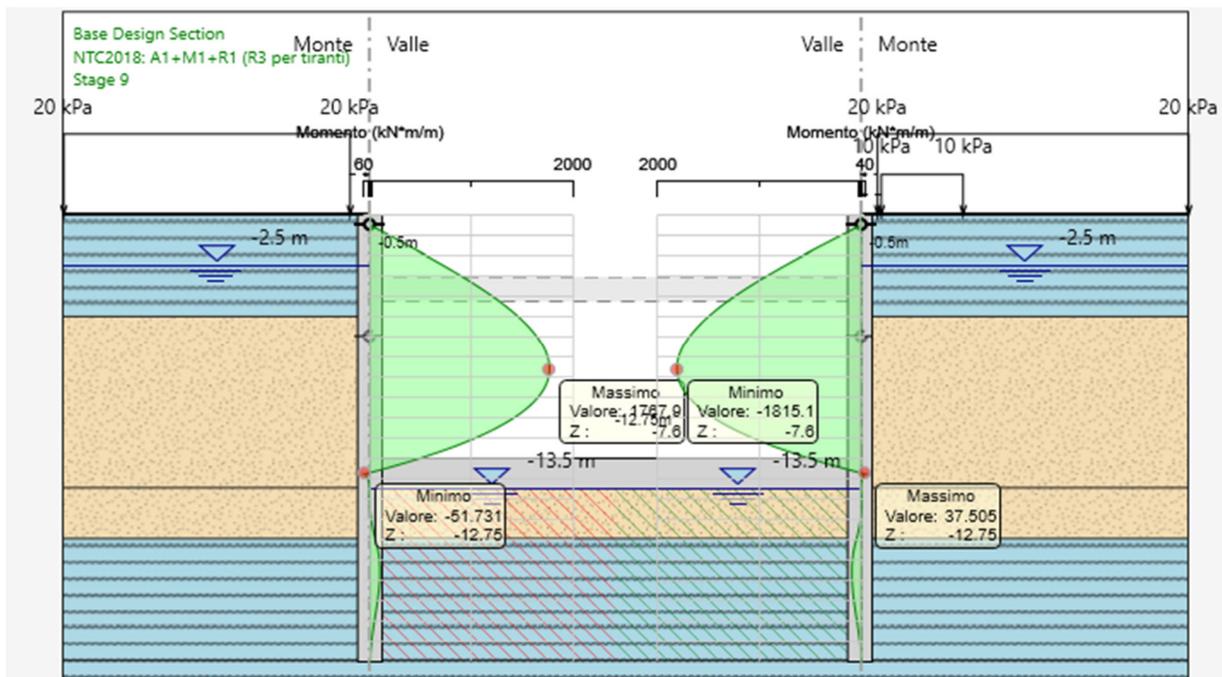


Figura 14 – Momento SLU – Stage i.

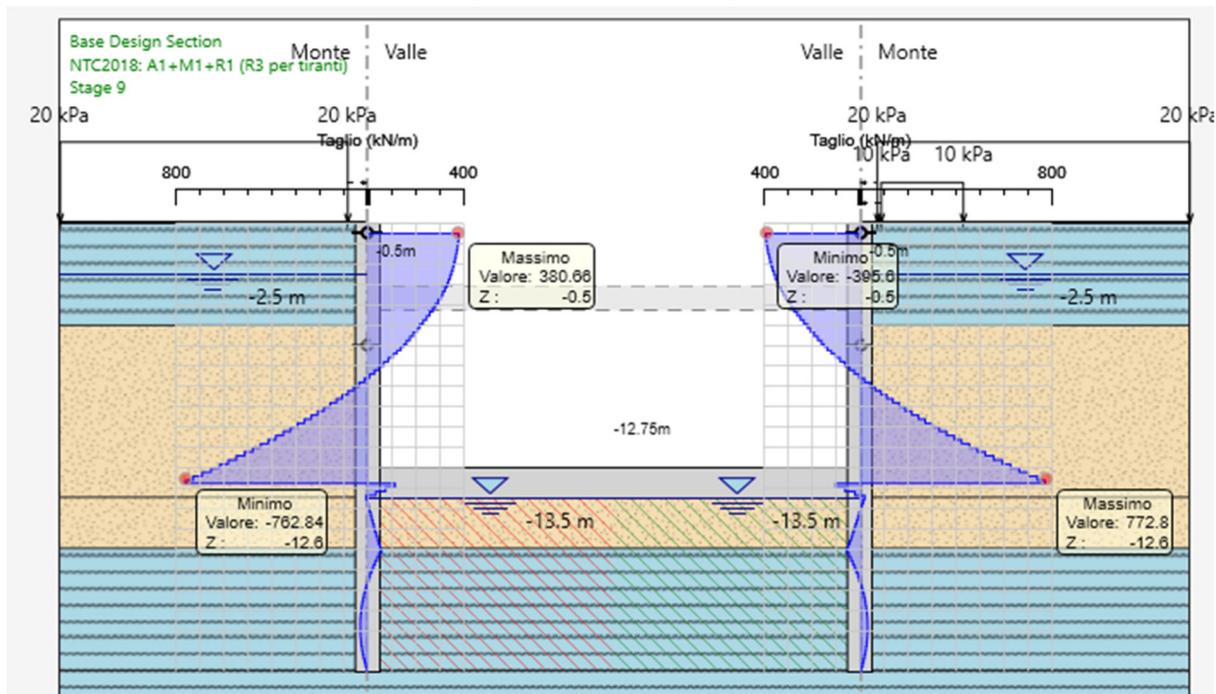


Figura 15 – Taglio SLU – Stage i.

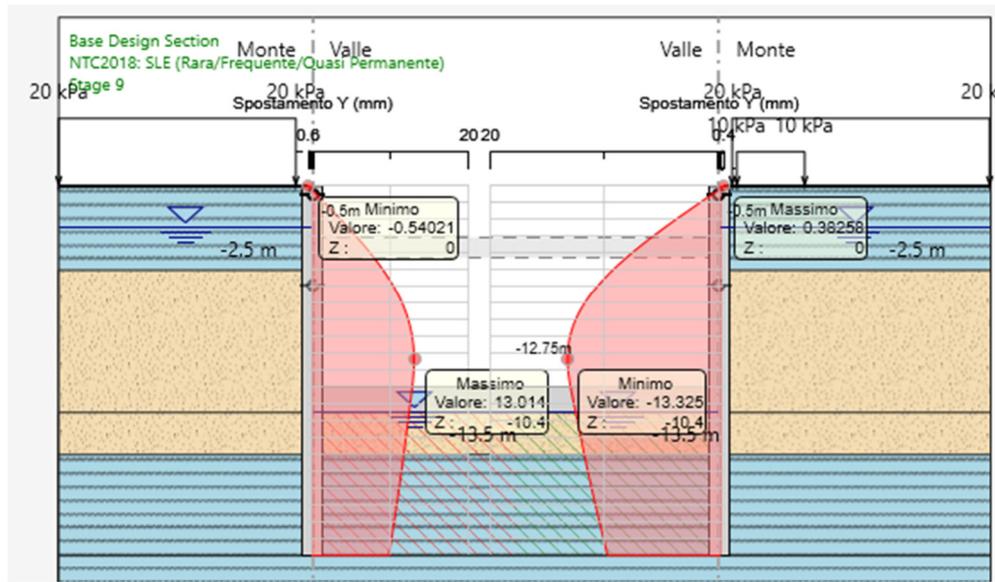


Figura 16 – Spostamento SLE – Stage I.

Lo spostamento orizzontale massimo è pari a 13.3 mm circa. Lo spostamento massimo che l'opera può subire è pari a:

$$0.005 H_{scavo} = 0.005 * 13.5 = 67 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

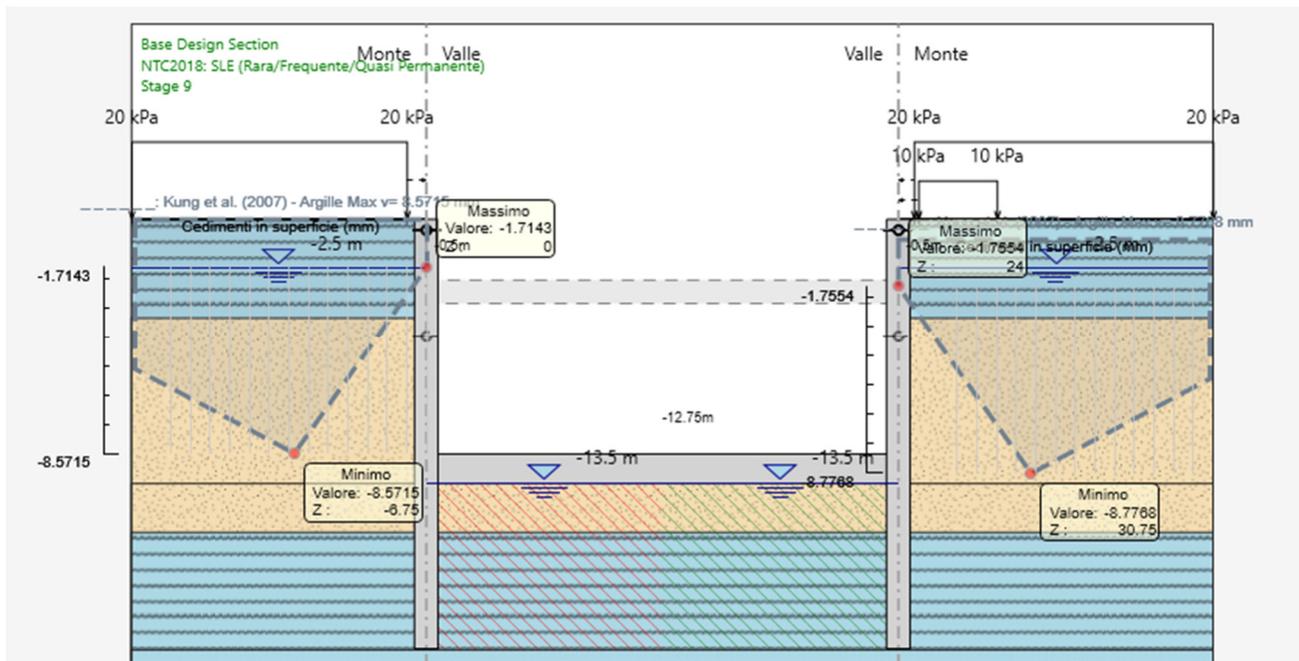


Figura 17 – Cedimento sotto al binario – Stage I.

Il cedimento massimo stimato a monte dell'opera, in corrispondenza dello Stage I, risulta inferiore a 1 cm.

## 9.5 RISULTATI MODELLO 2

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

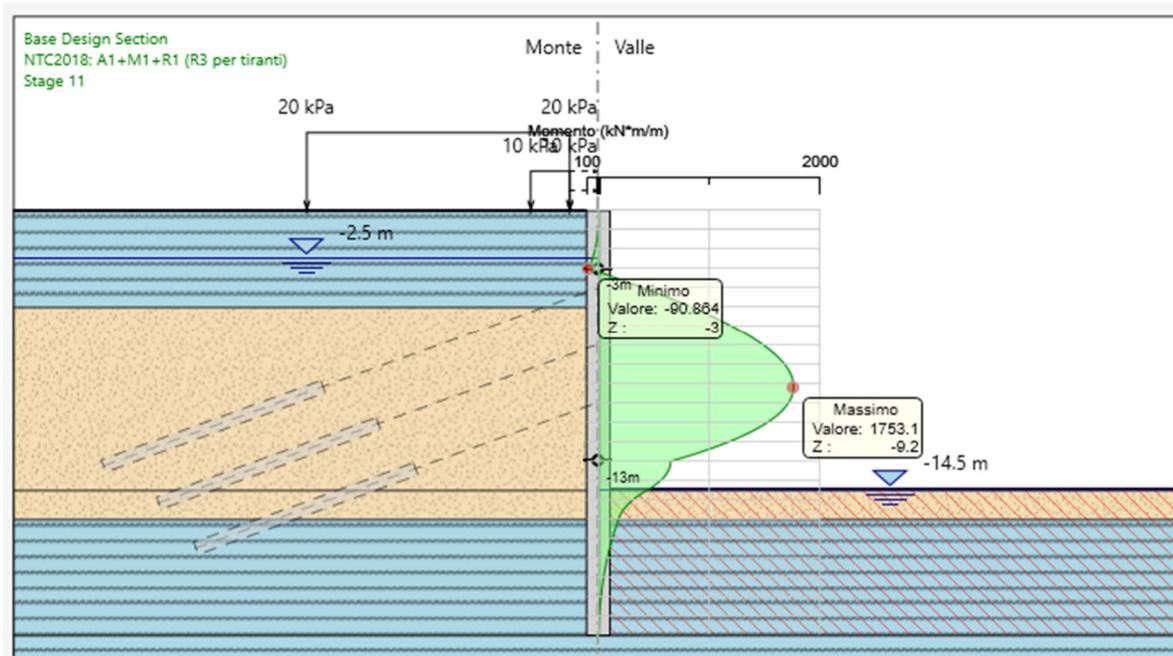


Figura 18 – Momento SLU – Stage m.

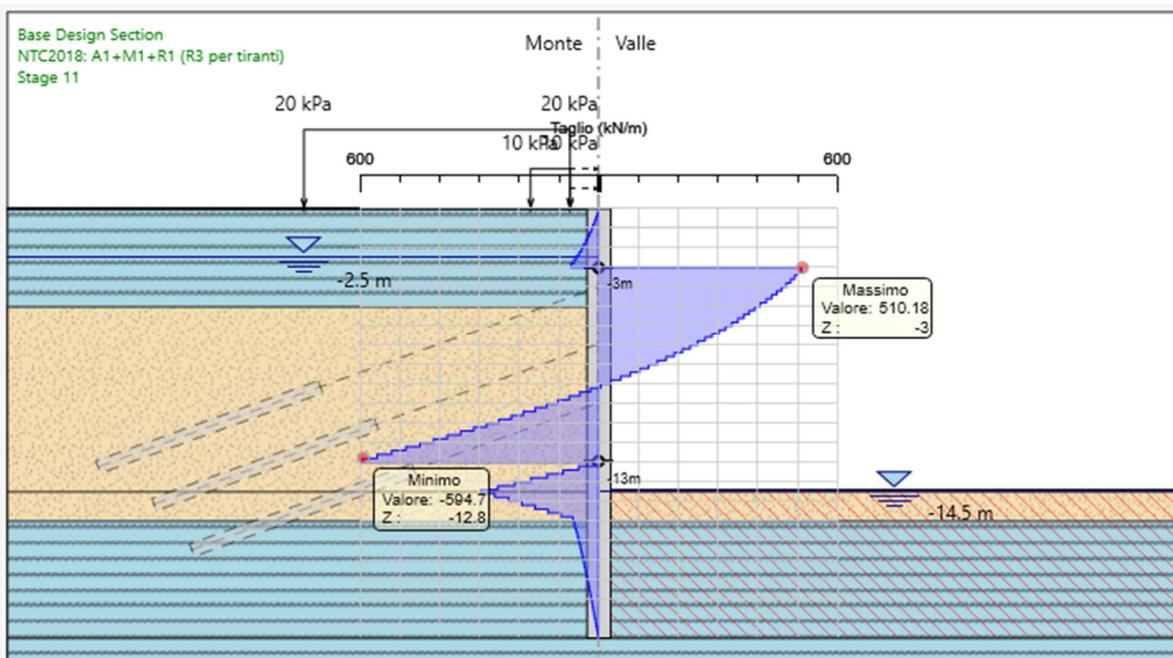


Figura 19 – Taglio SLU – Stage m.

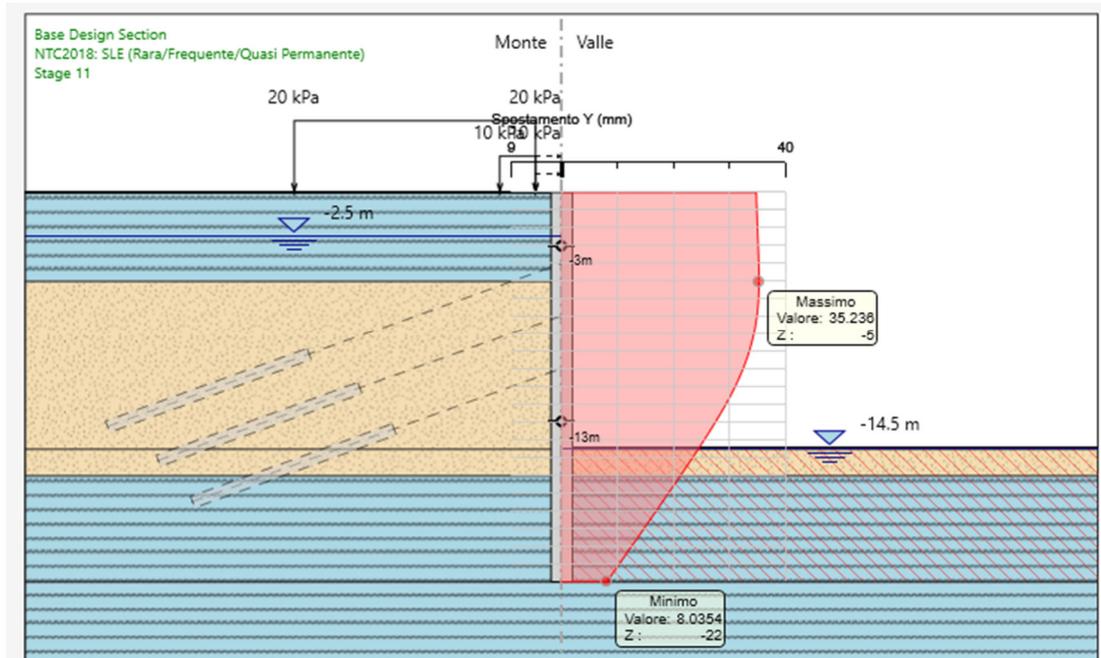


Figura 20 – Spostamento SLE – Stage m.

Lo spostamento orizzontale massimo è pari a 35.2 mm circa. Lo spostamento massimo che l'opera può subire è pari a:

$$0.005 H_{scavo} = 0.005 * 13.5 = 67 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

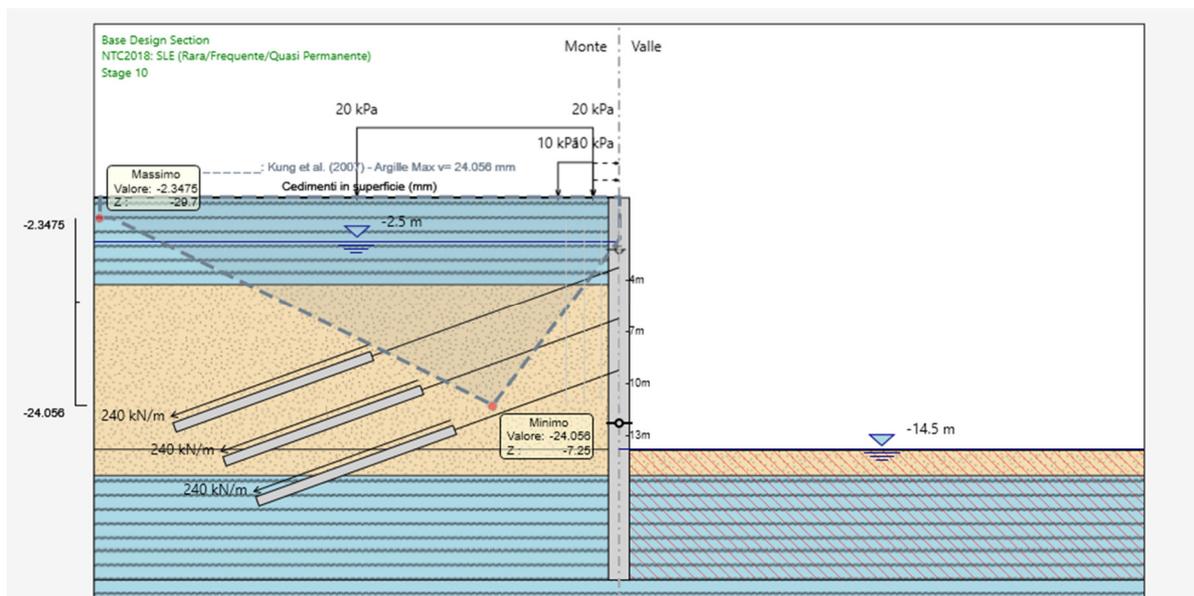


Figura 21 – Cedimento sotto al binario – Stage m.

Il cedimento massimo stimato a monte dell'opera, in corrispondenza dello Stage m, risulta pari a circa 2.4 cm, condizione accettabile data l'assenza del transito del treno.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 9.6 ANALISI DEI RISULTATI

Le sollecitazioni nei diaframmi ricavate per i due modelli analizzati sono compatibili con le caratteristiche inerziali e di resistenza delle strutture di sostegno. La modellazione eseguita è cautelativa rispetto alla condizione reale in quanto le sollecitazioni sono state assegnate completamente al diaframma, senza tener conto dell'ausilio delle pareti interne definitive.

Per garantire la verifica dell'opera nel modello 1, sono stati inseriti due ordini di puntoni provvisionali in acciaio delle seguenti caratteristiche:

1° ORDINE DI PUNTONI: tubolari in acciaio di diametro 508 mm e spessore 20 mm, disposti con un passo di 10 m;

2° ORDINE DI PUNTONI: tubolari in acciaio di diametro 508 mm e spessore 40 mm, disposti con un passo di 5 m.

Per garantire la verifica dell'opera nel modello 2, sono stati inseriti 3 ordini di tiranti con le seguenti caratteristiche:

Ordine tirante	i	Passo	Quota da testa paratia	n° trefoli	L <sub>libera di progetto</sub>	L <sub>fondazione</sub>	L <sub>totale</sub>	pretiro
						bulbo		
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[KN]
I	20	1.25	4	4	15	12	27	300
II	20	1.25	7	4	12	12	24	300
III	20	1.25	10	4	10	12	22	300

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 10 PROGETTO E VERIFICA SCATOLARE

### 10.1 MODELLAZIONE ADOTTATA

Per l'analisi della struttura è stato sviluppato un modello di calcolo nel quale l'interazione struttura-terreno è stata simulata attraverso molle; la costante di sottofondo è stata assunta pari a 4912 kN/m<sup>3</sup>.

Tale valore è stato determinato, a partire dal valore di E dello strato di fondazione, attraverso la Relazione di Vogt:

$$k_s = \frac{1.33 \cdot E}{\sqrt[3]{bt^2 \cdot bl}}$$

- Ks = costante di sottofondo [F/L<sup>3</sup>];
- bt = dimensione trasversale dell'opera;
- bl = dimensione longitudinale dell'opera;
- E = modulo di Young del terreno.

Di seguito si riportano i valori impiegati nel calcolo:

#### rigidezza molle

E (kN/m <sup>2</sup> )	20000	modulo di Young terreno di fondazione
b <sub>t</sub> (m)	12.6	dimensione trasversale dell'opera
b <sub>l</sub> (m)	1	dimensione longitudinale dell'opera
k <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	4912	costante di sottofondo (formulazione di Vogt)
k <sub>1</sub> (kN/m)	5600	rigidezza molle centrali
k <sub>2</sub> (kN/m)	11495	rigidezza molle spigolo
k <sub>3</sub> (kN/m)	8400	rigidezza molle laterali

k<sub>3</sub>, come da letteratura, si assume pari a 1.5 k<sub>1</sub>.

L'analisi delle strutture è stata condotta mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000, prodotto dalla Computer and Structures inc. di Berkeley, California, USA.

Lo schema statico impiegato è quello di telaio costituito da elementi frame; in corrispondenza della intersezione tra tali elementi il programma genera in automatico dei nodi per garantire la continuità strutturale. Ad ogni elemento è assegnata la corrispondente sezione rettangolare in calcestruzzo, la cui geometria è definita dallo spessore dell'elemento stesso per una larghezza unitaria, dal momento che la struttura è risolta come piana.

La sezione di verifica è costituita da una larghezza e altezza interna pari a 23.60m e 8.00m, la soletta inferiore ha spessore pari a 1.50 m e i piedritti e la soletta di copertura hanno spessore pari a 1.20 m.

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IBOQ</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 10.2 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

DEAD	PESO PROPRIO
PERM	CARICHI PERMAMENTI (ricoprimento + falda)
SPBSX/SPBDX	SPINTA DEL BALLAST SU PIEDRITTI
SPTSX/SPTDX	SPINTA DELLE TERRE SU PIEDRITTI
ACC	CARICHI VARIABILI VERTICALI SU OPERA (treni di carico)
TRENO1	AZIONE TRAFFICO FERROVIARIO BINARIO IN DX
TRENO2	AZIONE TRAFFICO FERROVIARIO BINARIO IN SX
SPACCSX/ SPACCDX	SPINTA CARICHI VARIABILI SU PIEDRITTI (treni di carico)
SPSSX	SOVRASPINTA SISMICA
SISMAH	AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI
SISMAV	AZIONI SISMICHE VERTICALI

Nei prospetti che seguono sono indicate le combinazioni in condizioni statiche SLU e SLE e in condizioni sismiche SLUSIS ritenute più gravose, da considerare ai fini delle verifiche strutturali del rivestimento.



**ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA**

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

**LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI  
TRENTO**

Galleria GA02: Relazione tecnico  
descrittiva e di predimensionamento

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBOQ	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	47 DI 55

SLU1	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU8			PERM		1.35
SLU1			PERM		1.35	SLU8			SPTSX		1
SLU1			SPTSX		1.35	SLU8			SPTDX		1
SLU1			SPTDX		1.35	SLU8			ACC		1.5
SLU1			ACC		1.5	SLU8			SPACCSX		0
SLU1			SPACCSX		1.5	SLU8			SPACCDX		0
SLU1			SPACCDX		1.5	SLU8			TRENO1		1.16
SLU1			TRENO1		0	SLU8			TRENO2		0
SLU1			TRENO2		0	SLU9	Linear Add	No	DEAD		1.35
SLU2	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU9			PERM		1.35
SLU2			PERM		1.35	SLU9			SPTSX		1
SLU2			SPTSX		1.35	SLU9			SPTDX		1
SLU2			SPTDX		1.35	SLU9			ACC		1.12
SLU2			ACC		1.5	SLU9			SPACCSX		0
SLU2			SPACCSX		1.5	SLU9			SPACCDX		0
SLU2			SPACCDX		1.5	SLU9			TRENO1		1.45
SLU2			TRENO1		1.16	SLU9			TRENO2		0
SLU2			TRENO2		0	SLU10	Linear Add	No	DEAD		1.35
SLU3	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU10			PERM		1.35
SLU3			PERM		1.35	SLU10			SPTSX		1
SLU3			SPTSX		1.35	SLU10			SPTDX		1
SLU3			SPTDX		1.35	SLU10			ACC		1.12
SLU3			ACC		1.5	SLU10			SPACCSX		0
SLU3			SPACCSX		1.5	SLU10			SPACCDX		0
SLU3			SPACCDX		1.5	SLU10			TRENO1		0
SLU3			TRENO1		0	SLU10			TRENO2		1.45
SLU3			TRENO2		1.16	SLU11	Linear Add	No	DEAD		1.35
SLU4	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU11			PERM		1.35
SLU4			PERM		1.35	SLU11			SPTSX		1
SLU4			SPTSX		1.35	SLU11			SPTDX		1
SLU4			SPTDX		1.35	SLU11			ACC		1.12
SLU4			ACC		1.12	SLU11			SPACCSX		0
SLU4			SPACCSX		1.5	SLU11			SPACCDX		0
SLU4			SPACCDX		1.5	SLU11			TRENO1		1.45
SLU4			TRENO1		1.45	SLU11			TRENO2		1.45
SLU4			TRENO2		0	SLU12	Linear Add	No	DEAD		1
SLU5	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU12			PERM		1
SLU5			PERM		1.35	SLU12			SPTSX		1.35
SLU5			SPTSX		1.35	SLU12			SPTDX		1.35
SLU5			SPTDX		1.35	SLU12			ACC		0
SLU5			ACC		1.12	SLU12			SPACCSX		1.5
SLU5			SPACCSX		1.5	SLU12			SPACCDX		1.5
SLU5			SPACCDX		1.5	SLU12			TRENO1		0
SLU5			TRENO1		0	SLU12			TRENO2		0
SLU5			TRENO2		1.45	SLU13	Linear Add	No	DEAD		1
SLU6	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU13			PERM		1
SLU6			PERM		1.35	SLU13			SPTSX		1.35
SLU6			SPTSX		1.35	SLU13			SPTDX		1.35
SLU6			SPTDX		1.35	SLU13			ACC		0
SLU6			ACC		1.12	SLU13			SPACCSX		1.5
SLU6			SPACCSX		1.5	SLU13			SPACCDX		1.5
SLU6			SPACCDX		1.5	SLU13			TRENO1		1.16
SLU6			TRENO1		1.45	SLU13			TRENO2		0
SLU6			TRENO2		1.45	SLU14	Linear Add	No	DEAD		1
SLU7	Linear Add	No	DEAD		1.35	SLU14			PERM		1
SLU7			PERM		1.35	SLU14			SPTSX		1.35
SLU7			SPTSX		1	SLU14			SPTDX		1.35
SLU7			SPTDX		1	SLU14			ACC		0
SLU7			ACC		1.5	SLU14			SPACCSX		1.5
SLU7			SPACCSX		0	SLU14			SPACCDX		1.5
SLU7			SPACCDX		0	SLU14			TRENO1		0
SLU7			TRENO1		0	SLU14			TRENO2		1.16
SLU7			TRENO2		0						

SLU15	Linear Add	No	DEAD		1.35
SLU15			PERM		1.35
SLU15			SPTSX		1.35
SLU15			SPTDX		1
SLU15			ACC		1.5
SLU15			SPACCSX		1.5
SLU15			SPACCDX		0
SLU15			TRENO1		0
SLU15			TRENO2		1.16
SLU16	Linear Add	No	DEAD		1
SLU16			PERM		1
SLU16			SPTSX		1.35
SLU16			SPTDX		1
SLU16			ACC		0
SLU16			SPACCSX		1.5
SLU16			SPACCDX		0
SLU16			TRENO1		1.16
SLU16			TRENO2		0
SLU17	Linear Add	No	DEAD		1.35
SLU17			PERM		1.35
SLU17			SPTSX		1
SLU17			SPTDX		1.35
SLU17			ACC		1.5
SLU17			SPACCSX		0
SLU17			SPACCDX		1.5
SLU17			TRENO1		0
SLU17			TRENO2		1.16
SLU18	Linear Add	No	DEAD		1
SLU18			PERM		1
SLU18			SPTSX		1
SLU18			SPTDX		1.35
SLU18			ACC		0
SLU18			SPACCSX		0
SLU18			SPACCDX		1.5
SLU18			TRENO1		1.45
SLU18			TRENO2		1.45

Tabella 7 – Combinazioni di carico SLU in condizioni statiche.

Galleria GA02: Relazione tecnico  
descrittiva e di predimensionamento

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBOQ	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	49 DI 55

SLUSIS1	Linear Add	No	DEAD		1	SLUSIS7	Linear Add	No	DEAD		1
SLUSIS1			PERM		1	SLUSIS7			PERM		1
SLUSIS1			SPTSX		1	SLUSIS7			SPTSX		1
SLUSIS1			SPTDX		1	SLUSIS7			SPTDX		1
SLUSIS1			ACC		0.2	SLUSIS7			ACC		0.2
SLUSIS1			SPACCSX		0.2	SLUSIS7			SPACCSX		0.2
SLUSIS1			SPACCDX		0.2	SLUSIS7			SPACCDX		0.2
SLUSIS1			DELTASISH		1	SLUSIS7			DELTASISH		1
SLUSIS1			DELTASISV		-0.3	SLUSIS7			DELTASISV		0.3
SLUSIS1			INERZIAH		1	SLUSIS7			INERZIAH		1
SLUSIS1			INERZIAV		-0.3	SLUSIS7			INERZIAV		0.3
SLUSIS1			TRENO1		0	SLUSIS7			TRENO1		0
SLUSIS1			TRENO2		0	SLUSIS7			TRENO2		0
SLUSIS2	Linear Add	No	DEAD		1	SLUSIS8	Linear Add	No	DEAD		1
SLUSIS2			PERM		1	SLUSIS8			PERM		1
SLUSIS2			SPTSX		1	SLUSIS8			SPTSX		1
SLUSIS2			SPTDX		1	SLUSIS8			SPTDX		1
SLUSIS2			ACC		0.2	SLUSIS8			ACC		0.2
SLUSIS2			SPACCSX		0.2	SLUSIS8			SPACCSX		0.2
SLUSIS2			SPACCDX		0.2	SLUSIS8			SPACCDX		0.2
SLUSIS2			DELTASISH		1	SLUSIS8			DELTASISH		1
SLUSIS2			DELTASISV		-0.3	SLUSIS8			DELTASISV		0.3
SLUSIS2			INERZIAH		1	SLUSIS8			INERZIAH		1
SLUSIS2			INERZIAV		-0.3	SLUSIS8			INERZIAV		0.3
SLUSIS2			TRENO1		0.2	SLUSIS8			TRENO1		0
SLUSIS2			TRENO2		0	SLUSIS8			TRENO2		0.2
SLUSIS3	Linear Add	No	DEAD		1	SLUSIS9	Linear Add	No	DEAD		1
SLUSIS3			PERM		1	SLUSIS9			PERM		1
SLUSIS3			SPTSX		1	SLUSIS9			SPTSX		1
SLUSIS3			SPTDX		1	SLUSIS9			SPTDX		1
SLUSIS3			ACC		0.2	SLUSIS9			ACC		0.2
SLUSIS3			SPACCSX		0.2	SLUSIS9			SPACCSX		0.2
SLUSIS3			SPACCDX		0.2	SLUSIS9			SPACCDX		0.2
SLUSIS3			DELTASISH		1	SLUSIS9			DELTASISH		1
SLUSIS3			DELTASISV		-0.3	SLUSIS9			DELTASISV		0.3
SLUSIS3			INERZIAH		1	SLUSIS9			INERZIAH		1
SLUSIS3			INERZIAV		-0.3	SLUSIS9			INERZIAV		0.3
SLUSIS3			TRENO1		0.2	SLUSIS9			TRENO1		0.2
SLUSIS3			TRENO2		0.2	SLUSIS9			TRENO2		0.2
SLUSIS4	Linear Add	No	DEAD		1	SLUSIS10	Linear Add	No	DEAD		1
SLUSIS4			PERM		1	SLUSIS10			PERM		1
SLUSIS4			SPTSX		1	SLUSIS10			SPTSX		1
SLUSIS4			SPTDX		1	SLUSIS10			SPTDX		1
SLUSIS4			ACC		0.2	SLUSIS10			ACC		0.2
SLUSIS4			SPACCSX		0.2	SLUSIS10			SPACCSX		0.2
SLUSIS4			SPACCDX		0.2	SLUSIS10			SPACCDX		0.2
SLUSIS4			DELTASISH		-1	SLUSIS10			DELTASISH		-1
SLUSIS4			DELTASISV		-0.3	SLUSIS10			DELTASISV		0.3
SLUSIS4			INERZIAH		-1	SLUSIS10			INERZIAH		-1
SLUSIS4			INERZIAV		-0.3	SLUSIS10			INERZIAV		0.3
SLUSIS4			TRENO1		0	SLUSIS10			TRENO1		0
SLUSIS4			TRENO2		0	SLUSIS10			TRENO2		0
SLUSIS5	Linear Add	No	DEAD		1	SLUSIS11	Linear Add	No	DEAD		1
SLUSIS5			PERM		1	SLUSIS11			PERM		1
SLUSIS5			SPTSX		1	SLUSIS11			SPTSX		1
SLUSIS5			SPTDX		1	SLUSIS11			SPTDX		1
SLUSIS5			ACC		0.2	SLUSIS11			ACC		0.2
SLUSIS5			SPACCSX		0.2	SLUSIS11			SPACCSX		0.2
SLUSIS5			SPACCDX		0.2	SLUSIS11			SPACCDX		0.2
SLUSIS5			DELTASISH		-1	SLUSIS11			DELTASISH		-1
SLUSIS5			DELTASISV		-0.3	SLUSIS11			DELTASISV		0.3
SLUSIS5			INERZIAH		-1	SLUSIS11			INERZIAH		-1
SLUSIS5			INERZIAV		-0.3	SLUSIS11			INERZIAV		0.3
SLUSIS5			TRENO1		0.2	SLUSIS11			TRENO1		0.2
SLUSIS5			TRENO2		0	SLUSIS11			TRENO2		0
SLUSIS6	Linear Add	No	DEAD		1	SLUSIS12	Linear Add	No	DEAD		1
SLUSIS6			PERM		1	SLUSIS12			PERM		1
SLUSIS6			SPTSX		1	SLUSIS12			SPTSX		1
SLUSIS6			SPTDX		1	SLUSIS12			SPTDX		1
SLUSIS6			ACC		0.2	SLUSIS12			ACC		0.2
SLUSIS6			SPACCSX		0.2	SLUSIS12			SPACCSX		0.2
SLUSIS6			SPACCDX		0.2	SLUSIS12			SPACCDX		0.2
SLUSIS6			DELTASISH		-1	SLUSIS12			DELTASISH		-1
SLUSIS6			DELTASISV		-0.3	SLUSIS12			DELTASISV		0.3
SLUSIS6			INERZIAH		-1	SLUSIS12			INERZIAH		-1
SLUSIS6			INERZIAV		-0.3	SLUSIS12			INERZIAV		0.3
SLUSIS6			TRENO1		0.2	SLUSIS12			TRENO1		0.2
SLUSIS6			TRENO2		0.2	SLUSIS12			TRENO2		0.2

Galleria GA02: Relazione tecnico  
 descrittiva e di predimensionamento

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBOQ	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	50 DI 55

SLUSIS13	Linear Add	No	DEAD	1	SLUSIS19	Linear Add	No	DEAD	1
SLUSIS13			PERM	1	SLUSIS19			PERM	1
SLUSIS13			SPTSX	1	SLUSIS19			SPTSX	1
SLUSIS13			SPTDX	1	SLUSIS19			SPTDX	1
SLUSIS13			ACC	0.2	SLUSIS19			ACC	0.2
SLUSIS13			SPACCSX	0.2	SLUSIS19			SPACCSX	0.2
SLUSIS13			SPACCDX	0.2	SLUSIS19			SPACCDX	0.2
SLUSIS13			DELTASISH	0.3	SLUSIS19			DELTASISH	0.3
SLUSIS13			DELTASISV	-1	SLUSIS19			DELTASISV	-1
SLUSIS13			INERZIAH	0.3	SLUSIS19			INERZIAH	0.3
SLUSIS13			INERZIAV	-1	SLUSIS19			INERZIAV	-1
SLUSIS13			TRENO1	0	SLUSIS19			TRENO1	0
SLUSIS13			TRENO2	0	SLUSIS19			TRENO2	0
SLUSIS14	Linear Add	No	DEAD	1	SLUSIS20	Linear Add	No	DEAD	1
SLUSIS14			PERM	1	SLUSIS20			PERM	1
SLUSIS14			SPTSX	1	SLUSIS20			SPTSX	1
SLUSIS14			SPTDX	1	SLUSIS20			SPTDX	1
SLUSIS14			ACC	0.2	SLUSIS20			ACC	0.2
SLUSIS14			SPACCSX	0.2	SLUSIS20			SPACCSX	0.2
SLUSIS14			SPACCDX	0.2	SLUSIS20			SPACCDX	0.2
SLUSIS14			DELTASISH	0.3	SLUSIS20			DELTASISH	0.3
SLUSIS14			DELTASISV	-1	SLUSIS20			DELTASISV	-1
SLUSIS14			INERZIAH	0.3	SLUSIS20			INERZIAH	0.3
SLUSIS14			INERZIAV	-1	SLUSIS20			INERZIAV	-1
SLUSIS14			TRENO1	0.2	SLUSIS20			TRENO1	0.2
SLUSIS14			TRENO2	0	SLUSIS20			TRENO2	0
SLUSIS15	Linear Add	No	DEAD	1	SLUSIS21	Linear Add	No	DEAD	1
SLUSIS15			PERM	1	SLUSIS21			PERM	1
SLUSIS15			SPTSX	1	SLUSIS21			SPTSX	1
SLUSIS15			SPTDX	1	SLUSIS21			SPTDX	1
SLUSIS15			ACC	0.2	SLUSIS21			ACC	0.2
SLUSIS15			SPACCSX	0.2	SLUSIS21			SPACCSX	0.2
SLUSIS15			SPACCDX	0.2	SLUSIS21			SPACCDX	0.2
SLUSIS15			DELTASISH	0.3	SLUSIS21			DELTASISH	0.3
SLUSIS15			DELTASISV	-1	SLUSIS21			DELTASISV	-1
SLUSIS15			INERZIAH	0.3	SLUSIS21			INERZIAH	0.3
SLUSIS15			INERZIAV	-1	SLUSIS21			INERZIAV	-1
SLUSIS15			TRENO1	0.2	SLUSIS21			TRENO1	0.2
SLUSIS15			TRENO2	0.2	SLUSIS21			TRENO2	0.2
SLUSIS16	Linear Add	No	DEAD	1	SLUSIS22	Linear Add	No	DEAD	1
SLUSIS16			PERM	1	SLUSIS22			PERM	1
SLUSIS16			SPTSX	1	SLUSIS22			SPTSX	1
SLUSIS16			SPTDX	1	SLUSIS22			SPTDX	1
SLUSIS16			ACC	0.2	SLUSIS22			ACC	0.2
SLUSIS16			SPACCSX	0.2	SLUSIS22			SPACCSX	0.2
SLUSIS16			SPACCDX	0.2	SLUSIS22			SPACCDX	0.2
SLUSIS16			DELTASISH	-0.3	SLUSIS22			DELTASISH	-0.3
SLUSIS16			DELTASISV	-1	SLUSIS22			DELTASISV	-1
SLUSIS16			INERZIAH	-0.3	SLUSIS22			INERZIAH	-0.3
SLUSIS16			INERZIAV	-1	SLUSIS22			INERZIAV	-1
SLUSIS16			TRENO1	0	SLUSIS22			TRENO1	0
SLUSIS16			TRENO2	0	SLUSIS22			TRENO2	0
SLUSIS17	Linear Add	No	DEAD	1	SLUSIS23	Linear Add	No	DEAD	1
SLUSIS17			PERM	1	SLUSIS23			PERM	1
SLUSIS17			SPTSX	1	SLUSIS23			SPTSX	1
SLUSIS17			SPTDX	1	SLUSIS23			SPTDX	1
SLUSIS17			ACC	0.2	SLUSIS23			ACC	0.2
SLUSIS17			SPACCSX	0.2	SLUSIS23			SPACCSX	0.2
SLUSIS17			SPACCDX	0.2	SLUSIS23			SPACCDX	0.2
SLUSIS17			DELTASISH	-0.3	SLUSIS23			DELTASISH	-0.3
SLUSIS17			DELTASISV	-1	SLUSIS23			DELTASISV	-1
SLUSIS17			INERZIAH	-0.3	SLUSIS23			INERZIAH	-0.3
SLUSIS17			INERZIAV	-1	SLUSIS23			INERZIAV	-1
SLUSIS17			TRENO1	0.2	SLUSIS23			TRENO1	0.2
SLUSIS17			TRENO2	0	SLUSIS23			TRENO2	0
SLUSIS18	Linear Add	No	DEAD	1	SLUSIS24	Linear Add	No	DEAD	1
SLUSIS18			PERM	1	SLUSIS24			PERM	1
SLUSIS18			SPTSX	1	SLUSIS24			SPTSX	1
SLUSIS18			SPTDX	1	SLUSIS24			SPTDX	1
SLUSIS18			ACC	0.2	SLUSIS24			ACC	0.2
SLUSIS18			SPACCSX	0.2	SLUSIS24			SPACCSX	0.2
SLUSIS18			SPACCDX	0.2	SLUSIS24			SPACCDX	0.2
SLUSIS18			DELTASISH	-0.3	SLUSIS24			DELTASISH	-0.3
SLUSIS18			DELTASISV	-1	SLUSIS24			DELTASISV	-1
SLUSIS18			INERZIAH	-0.3	SLUSIS24			INERZIAH	-0.3
SLUSIS18			INERZIAV	-1	SLUSIS24			INERZIAV	-1
SLUSIS18			TRENO1	0.2	SLUSIS24			TRENO1	0.2
SLUSIS18			TRENO2	0.2	SLUSIS24			TRENO2	0.2

Tabella 8 – Combinazioni di carico SLU in condizioni sismiche.

Galleria GA02: Relazione tecnico  
 descrittiva e di predimensionamento

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBOQ	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	51 DI 55

RAR1	Linear Add	No	DEAD		1
RAR1			PERM		1
RAR1			SPTSX		1
RAR1			SPTDX		1
RAR1			ACC		1
RAR1			SPACCSX		0
RAR1			SPACCDX		0
RAR1			TRENO1		0
RAR1			TRENO2		0
RAR2	Linear Add	No	DEAD		1
RAR2			PERM		1
RAR2			SPTSX		1
RAR2			SPTDX		1
RAR2			ACC		1
RAR2			SPACCSX		0
RAR2			SPACCDX		0
RAR2			TRENO1		0.8
RAR2			TRENO2		0
RAR3	Linear Add	No	DEAD		1
RAR3			PERM		1
RAR3			SPTSX		1
RAR3			SPTDX		1
RAR3			ACC		1
RAR3			SPACCSX		0
RAR3			SPACCDX		0
RAR3			TRENO1		0
RAR3			TRENO2		0.8
FREQ1	Linear Add	No	DEAD		1
FREQ1			PERM		1
FREQ1			SPTSX		1
FREQ1			SPTDX		1
FREQ1			ACC		0.75
FREQ1			SPACCSX		0
FREQ1			SPACCDX		0
FREQ1			TRENO1		0.2
FREQ1			TRENO2		0
FREQ2	Linear Add	No	DEAD		1
FREQ2			PERM		1
FREQ2			SPTSX		1
FREQ2			SPTDX		1
FREQ2			ACC		0.8
FREQ2			SPACCSX		0
FREQ2			SPACCDX		0
FREQ2			TRENO1		0
FREQ2			TRENO2		0.2
FREQ3	Linear Add	No	DEAD		1
FREQ3			PERM		1
FREQ3			SPTSX		1
FREQ3			SPTDX		1
FREQ3			ACC		0.8
FREQ3			SPACCSX		0
FREQ3			SPACCDX		0
FREQ3			TRENO1		0.2
FREQ3			TRENO2		0.2
QPE1	Linear Add	No	DEAD		1
QPE1			PERM		1
QPE1			SPTSX		1
QPE1			SPTDX		1
QPE1			ACC		0
QPE1			SPACCSX		0
QPE1			SPACCDX		0

Tabella 9 – Combinazioni di carico SLE.

### 10.3 VERIFICHE STR

Di seguito si riportano l'involuppo delle azioni sollecitanti agenti sugli elementi strutturali per la combinazione di carico allo stato limite ultimo (SLU) e sismico (SLV).

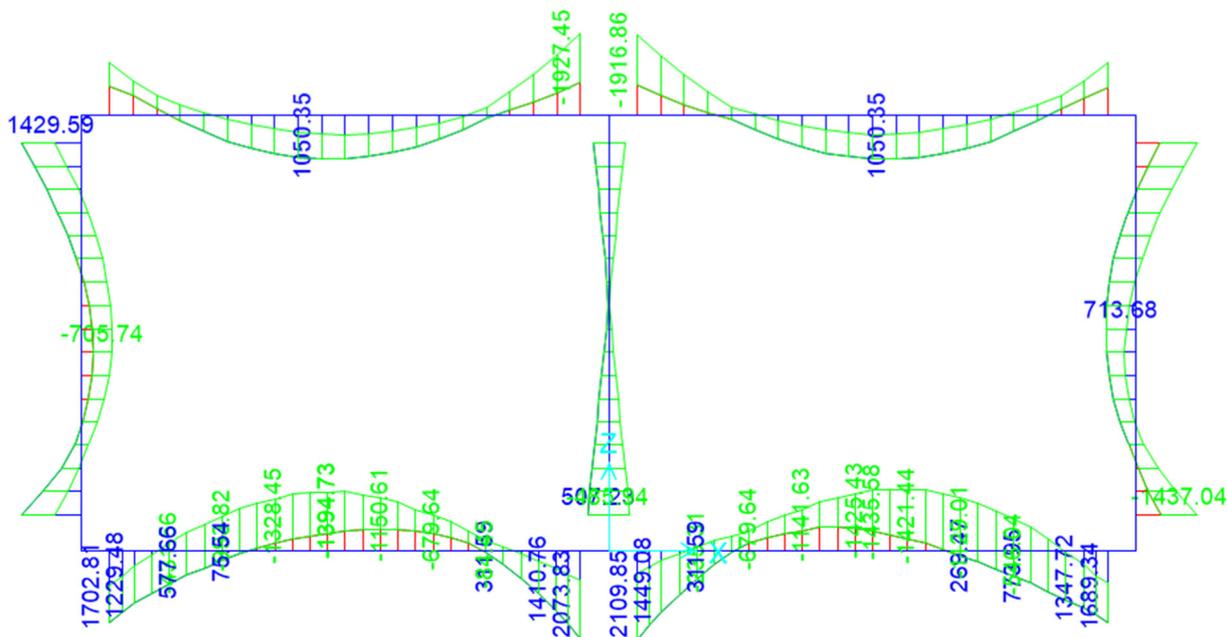


Figura 22 – Momento SLU.

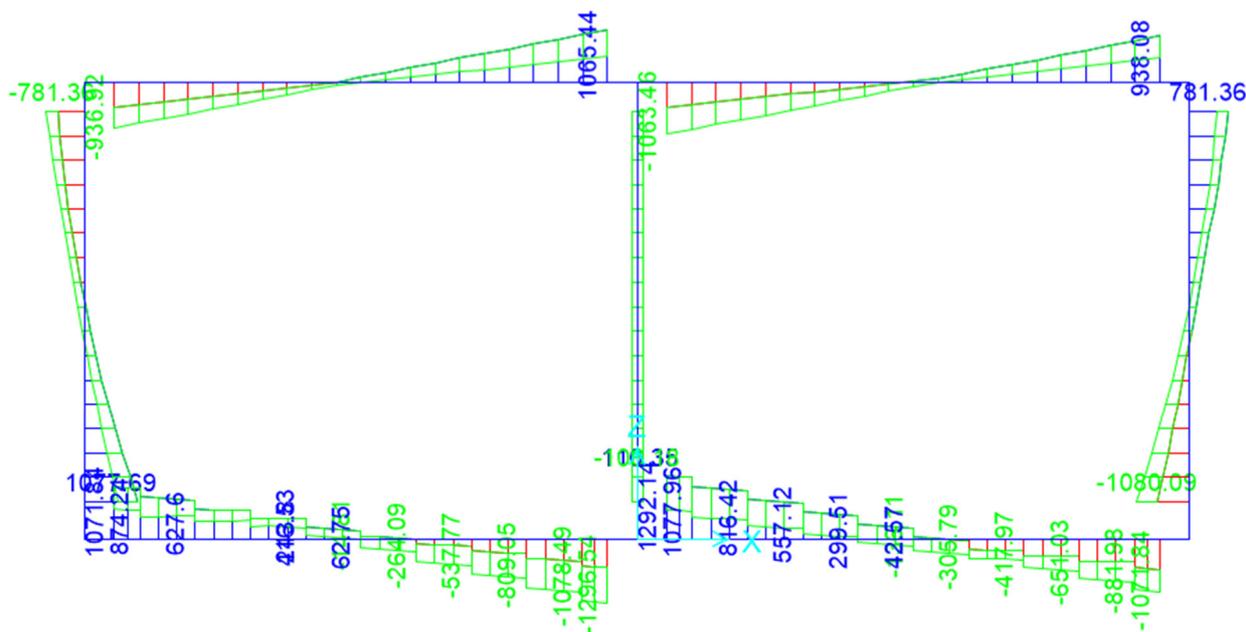


Figura 23 – Taglio SLU.

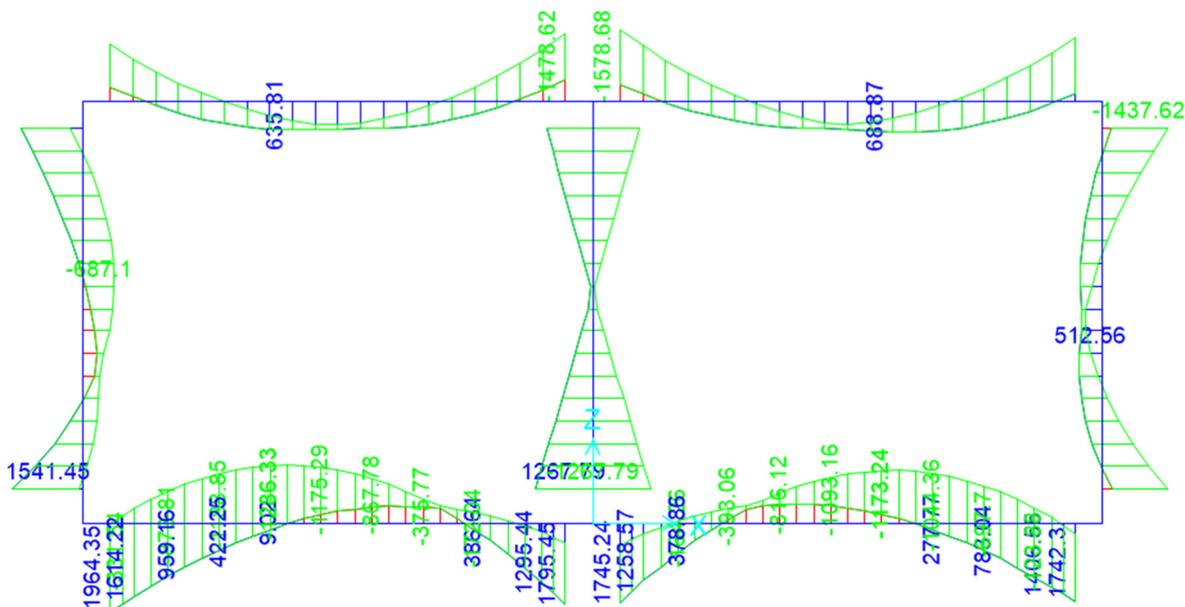


Figura 24 – Momento SLV.

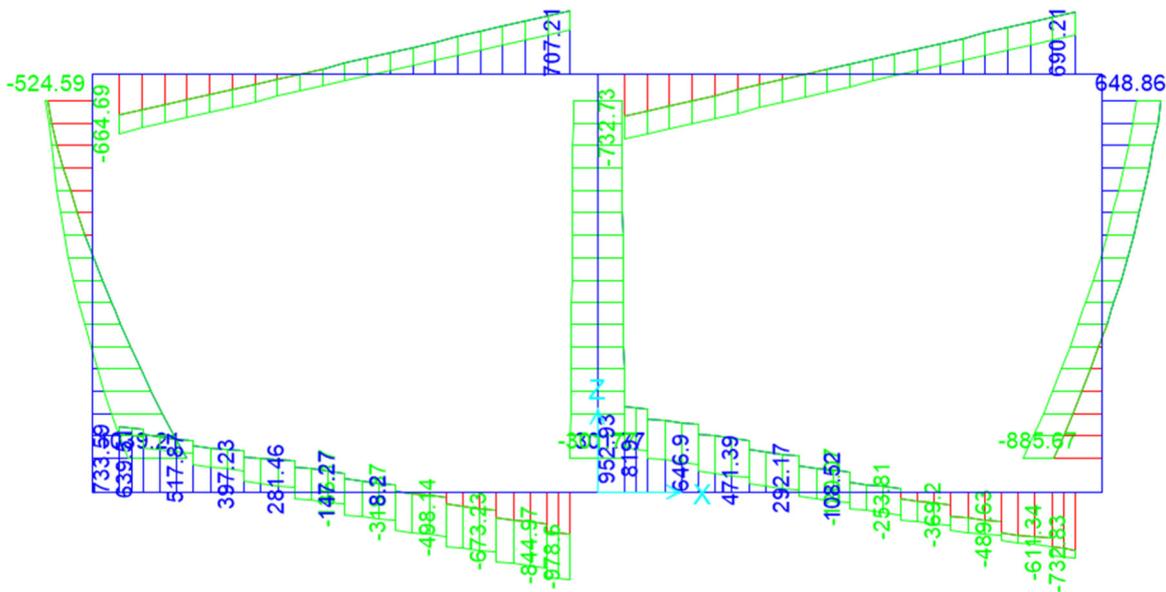


Figura 25 – Taglio SLV.

Dalle sollecitazioni ricavate si deduce che è la combinazione statica la più gravosa. Le sollecitazioni ottenute sono compatibili con le caratteristiche inerziali e di resistenza delle strutture dell'opera.

La modellazione eseguita è cautelativa rispetto alla condizione reale in quanto le sollecitazioni sono state assegnate completamente alla struttura scatolare, senza tener conto dell'ausilio della presenza dei diaframmaesterni.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO <b>IB0Q</b>	LOTTO <b>3A R 10</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GA 02 00 001</b>	REV. <b>B</b>

## 11 VERIFICHE AL SOLLEVAMENTO

### 11.1 TAPPO DI FONDO

Lo spessore del tappo di fondo di entrambi i modelli elencati al paragrafo 9 è stato valutato in maniera speditiva senza ricorrere a calcoli accurati, che invece dovranno essere svolti nelle successive fasi progettuali.

Tuttavia, è verosimile immaginare che sarà necessario prevedere un opportuno sistema di sfiati e relativo aggotamento locale dell'acqua di falda, al fine di ridurre la sottospinta idraulica e, di conseguenza, contenere lo spessore del tappo di fondo.

### 11.2 SOLETTA DI FONDO

Nelle fasi costruttive, quando ancora non è stato completato lo scatolare interno ed effettuato il rinterro sulla soletta superiore, per garantire la stabilità al sollevamento della soletta di fondo è necessario effettuare il drenaggio delle acque di sottospinta.

Nelle successive fasi di progettazione verrà definito nel dettaglio il sistema di drenaggio e aggotamento delle acque.

### 11.3 STRUTTURA DEFINITIVA

Nella sua configurazione finale la struttura scatolare interna risulta verificata nei confronti del galleggiamento. Considerando la condizione più gravosa, con battente idraulico e larghezza di scavo maggiori, la verifica risulta soddisfatta.

VERIFICA AL GALLEGGIAMENTO - GA02		
$\gamma_w$	10 kN/mc	peso volume acqua
$\gamma_{cls}$	25 kN/mc	peso volume cls
$\gamma_{ric}$	20 kN/mc	peso volume terreno ricoprimento
$h_{w1}$	12 m	altezza del battente idraulico
B	27,5 m	Larghezza base scatolare
h	11,6 m	altezza totale scatolare
h	8,9 m	altezza netta scatolare
$S_{sol,sup}$	1,2 m	spessore soletta superiore
$S_{sol,inf}$	1,5 m	spessore soletta di base
$S_{pied}$	1,2 m	spessore piedritti
$H_{ric}$	3 m	altezza ricoprimento
$P_{scatolare}$	2657,3 kN	Peso struttura scatolare
$P_{ricoprimento}$	1650 kN	Peso ricoprimento
$S_w$	3300 kN	Sottospinta
$\gamma_{stab}$	0,9	coefficiente azione stabilizzante
$\gamma_{instab}$	1,1	coefficiente azione destabilizzante
$F_{stab}$	3876,5 kN	forza stabilizzante
$F_{inst}$	3630 kN	forza destabilizzante

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI</b> <b>TRENTO</b>					
	Galleria GA02: Relazione tecnico descrittiva e di predimensionamento	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IB0Q	3A R 10	RH	GA 02 00 001	B	55 DI 55

- L'altezza del battente idraulico è pari a 12 m;
- La sottospinta idraulica vale 120 kN/mq che, moltiplicato per la larghezza dello scavo, vale 3300 kN/m;
- Il peso dello scatolare è pari alla somma della soletta superiore e inferiore e dei tre piedritti, 2657.3 kN/m;
- Il peso del rinterro, di spessore medio pari a 3 m, vale 1650 kN/m;

Moltiplicando le azioni instabilizzanti per il coefficiente  $\gamma = 1.1$  e le azioni stabilizzanti per il coefficiente  $\gamma = 0.9$ , si ottiene  $F_{STAB} = 3876.5 \text{ kN/m} > F_{INSTAB} = 3630 \text{ kN/m}$ , pertanto la verifica a galleggiamento risulta soddisfatta.

Nelle fasi costruttive, come per la soletta di base, quando ancora non è stato completato lo scatolare interno ed effettuato il rinterro sulla soletta superiore, per garantire la stabilità al sollevamento della struttura è necessario effettuare il drenaggio e l'aggottamento delle acque di sottospinta.