

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J81H02000000001

## S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

## COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE)

## TRATTA PARMA - VICOFERTILE

GEOTECNICA

TAPPO DI FONDO

RELAZIONE DI CALCOLO

SCALA:

-

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

I P 0 0   0 0   D   2 6   R H   G E 0 0 0 0   0 0 2   A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Cucino	Feb-22	P. Scarano	Feb-22	G.Fadda	Feb-22	A.Perego Feb-22
				<i>P. Scarano</i>		<i>G.Fadda</i>		

1	PREMESSA .....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI .....	5
2.1	Normative di riferimento .....	5
2.2	Documenti di riferimento .....	6
2.3	Software Impiegati .....	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	8
4	problematiche geotecniche e soluzioni tecniche individuate.....	10
5	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA – GEOTECNICA .....	14
5.1	Inquadramento geologico .....	14
5.2	Caratterizzazione e Modellazione Geotecnica.....	14
6	MODELLO DI CALCOLO.....	16
6.1	Modellazione Strutturale .....	16
6.1.1	Parametri di spinta del terreno.....	16
7	APPROCCI PROGETTUALI .....	19
7.1	Combinazioni di carico.....	19
7.2	Metodo agli stati limite ed approcci di progetto.....	20
8	MODELLO DI CALCOLO E VERIFICHE DEL TAPPO DI FONDO .....	22
8.1	Verifica a sollevamento senza tappo di fondo.....	22
8.2	Verifica a sollevamento con tappo di fondo.....	29
8.2.1	Parametri di resistenza e deformazione tappo di fondo.....	29
8.2.2	Verifica a sollevamento per GA01 .....	29
8.2.3	Verifica a sollevamento per GA02 .....	42
8.3	Verifica a sollevamento per GA04 .....	53
8.4	Verifica a sollevamento per GA05 .....	64
8.5	Verifica a sollevamento per GA06 .....	74
8.6	Verifica a sollevamento per GA07 .....	84
8.7	Verifica a sollevamento per GA08 .....	94
9	CONCLUSIONI.....	104

	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b>  <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>												
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26RH</td> <td>GE00002</td> <td>A</td> <td>3 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26RH	GE00002	A	3 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26RH	GE00002	A	3 di 104								

## 1 PREMESSA

Con “Pontremolese” viene comunemente intesa la linea ferroviaria Parma – La Spezia, linea che congiunge come trasversale la linea Tirrenica con la dorsale Roma-Firenze-Bologna-Milano.

Nel 1976 entra a far parte del Corridoio Plurimodale Tirreno-Brennero (Ti-Bre) e fra gli anni '80 e '90 vengono realizzati il raddoppio delle tratte Vezzano Ligure-S.Stefano di Magra, e Ghiare di Berceto-Solignano e successivamente viene realizzato il prolungamento del raddoppio Solignano-Fornovo. A seguito dell’emanazione della Legge n. 443 del 21 dicembre 2001 (Legge Obiettivo), la restante parte da raddoppiare della linea (Parma-Osteriazza e Berceto-Chiesaccia) è stata inserita fra le opere strategiche.

Con Delibera n.19 del 8 maggio 2009, pubblicata sulla G.U.R.I. n. 301 del 29 dicembre 2009, il CIPE approva il Progetto Preliminare del Completamento del 2003. Delle tratte comprese tra Parma e Osteriazza e tra Berceto e Chiesaccia, vengono individuati tre lotti funzionali:

- Parma-Osteriazza
- Berceto-Pontremoli
- Pontremoli-Chiesaccia.

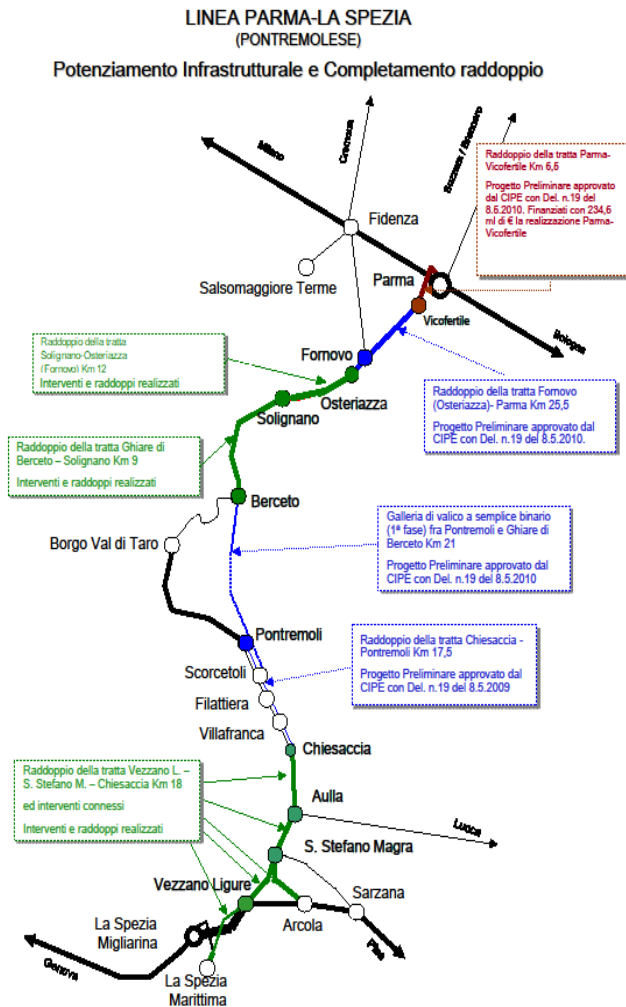
Di questi tre lotti funzionali, nella stessa Delibera, è stato individuato il primo, quello Parma-Osteriazza, come lotto prioritario, a sua volta suddiviso nei tre sub lotti Parma-Vicofertile, Vicofertile-Collecchio e Collecchio-Osteriazza.

Il progetto in oggetto è relativo al progetto definitivo del raddoppio della tratta Parma- Vicofertile

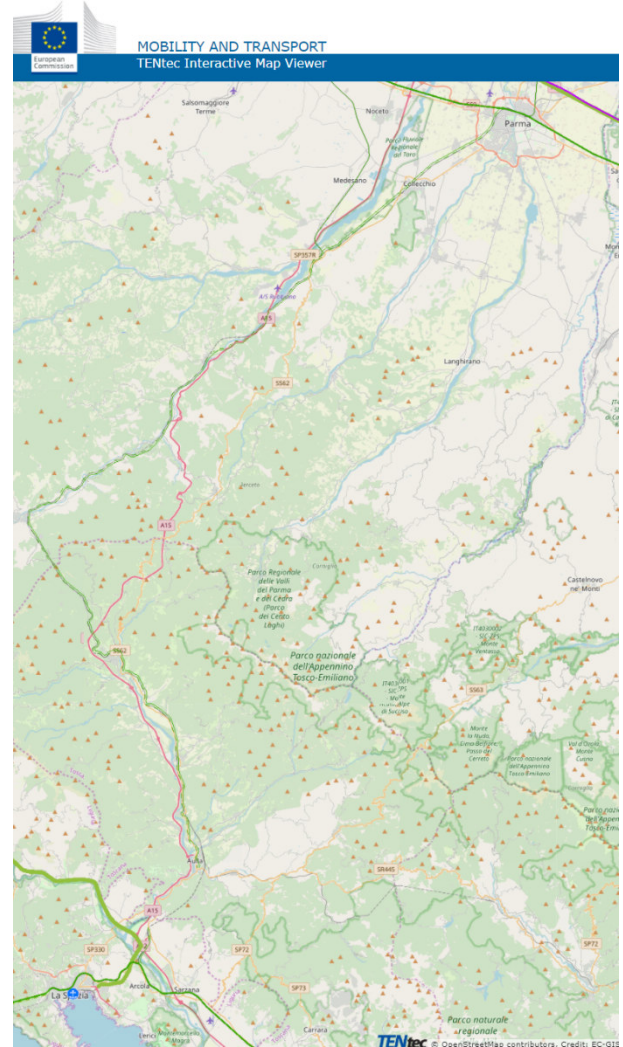
Rispetto al tracciato sviluppato nel Progetto Preliminare del 2004, il Progetto Definitivo vede una variante di tracciato per la parte d’innesto del raddoppio nei binari della stazione di Parma: la coppia di binari garantisce le relazioni merci Fornovo Bologna (direzioni P/D) e il solo binario dispari garantisce le relazioni viaggiatori con La Spezia attestata a Parma (evitando di fuori uscire dal corridoio urbanistico).

Tale variante, oltre a portare notevoli benefici ferroviari nella Stazione di Parma, permetterà di risolvere all’interno dell’abitato di Parma le interferenze della linea Pontremolese con la viabilità ordinaria e di rendere disponibile alla città un tratto di circa 3,5 km (il vecchio binario di tracciato).

Nel seguente schema si riporta lo stato attuale della linea con evidenziati i tratti già raddoppiati, quelli in corso di realizzazione e di progettazione.



**Figura 1-1**



**Figura 1-2**

Il presente documento riporta la verifica del tappo di fondo in jet grouting previsto fra i diaframmi delle gallerie artificiali, al fine di prevenire fenomeni di sollevamento/sifonamento del fondo scavo.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26RH</td> <td>GE00002</td> <td>A</td> <td>5 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26RH	GE00002	A	5 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26RH	GE00002	A	5 di 104								

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

### 2.1 Normative di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative.

- Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018;
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al DM 17/01/2018 pubblicata sulla GU n. 35 del 11/02/2019;
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- Norma Europea UNI ENV 1990 – Eurocodice 0 - Basi di calcolo;
- Norma Europea UNI ENV 1991 – Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture;
- Norma Europea UNI ENV 1992 – Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo;
- Norma Europea UNI EN 1998 – Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.
- UNI EN 11104– “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”. Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1:2016 – “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”;
- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26RH</td> <td>GE00002</td> <td>A</td> <td>6 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26RH	GE00002	A	6 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26RH	GE00002	A	6 di 104								

## 2.2 Documenti di riferimento

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

Descrizione Elaborato	Codifica Elaborato
<b>GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE BD (pk.1+840,00 - 2+100,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO DELLO SCATOLARE	IP0000D26CLGA0100001A
<b>GA01 - GALLERIA ARTIFICIALE BD (pk.1+840,00 - 2+100,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/2 e 2/2	IP0000D26PZGA0100001A IP0000D26PZGA0100002A
<b>GA02 - GALLERIA ARTIFICIALE BP (pk.1+790,00 - 1+935,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO DELLO SCATOLARE	IP0000D26CLGA0200001A
<b>GA02 - GALLERIA ARTIFICIALE BP (pk.1+790,00 - 1+935,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/2 e 2/2	IP0000D26PZGA0200001A IP0000D26PZGA0200002A
<b>GA04 - GALLERIA ARTIFICIALE BP (pk.2+000,00 - 2+100,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO DELLO SCATOLARE	IP0000D26CLGA0400001A
<b>GA04 - GALLERIA ARTIFICIALE BP (pk.2+000,00 - 2+100,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/2 e 2/2	IP0000D26PZGA0400001A IP0000D26PZGA0400002A
<b>GA05 – GA SEZIONE VARIABILE (pk.2+100,00 - 2+420,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO METODO MILANO	IP0000D26CLGA0500001A
<b>GA05 – GA SEZIONE VARIABILE (pk.2+100,00 - 2+420,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/2 e 2/2	IP0000D26PZGA0500001A IP0000D26PZGA0500002A
<b>GA06 – GALLERIA ARTIFICIALE DB (pk.2+420,00 - 3+145,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO METODO MILANO	IP0000D26CLGA0600001A
<b>GA06 – GALLERIA ARTIFICIALE DB (pk.2+420,00 - 3+145,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/4, 2/4, 3/4, 4/4	IP0000D26PZGA0600001A IP0000D26PZGA0600002A IP0000D26PZGA0600003A IP0000D26PZGA0600004A
<b>GA07 – GA SEZIONE ALLARGATA (pk.3+145,00 - 3+490,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO METODO MILANO	IP0000D26CLGA0700001A
<b>GA07 – GA SEZIONE ALLARGATA (pk.3+145,00 - 3+490,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/2, 2/2	IP0000D26PZGA0700001A IP0000D26PZGA0700002A
<b>GA08 - GALLERIA ARTIFICIALE DB (pk.3+490,00-3+760,00)</b> RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO METODO MILANO	IP0000D26CLGA0800001A
<b>GA08 - GALLERIA ARTIFICIALE DB (pk.3+490,00-3+760,00)</b> CARPENTERIA - TAV. 1/2 e 2/2	IP0000D26PZGA0800001A IP0000D26PZGA0800002A
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	IP0000D26RGGE0000001A

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26RH</td> <td>GE00002</td> <td>A</td> <td>7 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26RH	GE00002	A	7 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26RH	GE00002	A	7 di 104								

### 2.3 Software Impiegati

I software utilizzati per la progettazione sono:

- “PARATIE PLUS”      Versione 21.0 della      HarpaCeas S.r.l. di Milano
- “PLAXIS 2D”      Versione 2021      Bentley

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto.

- **MAGRONE**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C12/15**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 15$  MPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : X0

- **SOLETTA SUPERIORE**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35$  Mpa
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86$  Mpa
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32$  GPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITÀ minima : S4
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO :  $< 0.5$
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 25mm
- COPRIFERRO :  $C = 40$ mm ( $\pm 0.5$ )

- **SOLETTA INFERIORE (FONDAZIONE)**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35$  Mpa
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86$  Mpa
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32$  GPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITÀ minima : S3
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO :  $< 0.5$
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 32mm
- COPRIFERRO :  $C = 40$ mm ( $\pm 0.5$ )

- **RIFODERE ED ELEVAZIONI**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35$  Mpa
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86$  Mpa
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32$  GPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2



- CLASSE DI LAVORABILITÀ minima : S3
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO : < 0.5
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 32mm
- COPRIFERRO : C = 40mm (± 0.5)

• **DIAFRAMMI**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35$  Mpa
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86$  Mpa
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32$  GPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITÀ minima : S4
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO : < 0.5
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 32mm
- COPRIFERRO : C = 60mm (± 0.5)

Pannelli in c.a. scavati con benna mordente, perforazione sostenuta con fanghi bentonitici.

• **ACCIAIO IN BARRE PER C.A.**

- B450C Saldabile Controllato In Stabilimento
- Resistenza di calcolo :  $f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391$  Mpa
- Modulo Elastico :  $E_s = 210$  Gpa

- **JET GROUTING:** Colonne di diametro minimo  $\Phi 1000$ mm realizzate mediante iniezione ad alta pressione (50Mpa) di miscele cementizie, in quantità predeterminata, con cemento tipo 425, rapporto A/C miscela 0.8 – 1.2, per garantire una resistenza media a compressione >4 Mpa.

## 4 PROBLEMATICHE GEOTECNICHE E SOLUZIONI TECNICHE INDIVIDUATE

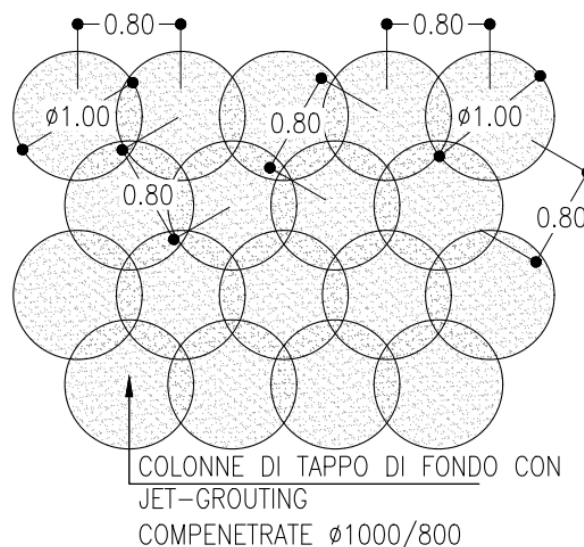
La soluzione progettuale per il raddoppio della tratta ferroviaria tra Parma e Vicofertile è caratterizzata da uno sviluppo complessivo di 8136.59 m. L'elemento singolare che si incontra lungo il tracciato, procedendo da Parma in direzione La Spezia, è rappresentato dalla gallerie artificiali per un sviluppo complessivo di 1960 m.

Dopo un tratto pianeggiante, il tracciato entra in galleria artificiale alla pk 1+790, attraversando materiali prevalentemente coesivi costituiti da argille limose e limi argillosi con locali intercalazioni limoso sabbiose e sbbiose. Le indagini geognostiche effettuate mostrano la presenza di importanti orizzonti ghiaiosi il cui tetto si colloca a profondità variabili tra 10 e 15 m circa dal piano campagna; in particolare, in base alle stratigrafie elaborate, lo scavo della galleria artificiale lambisce il tetto delle ghiaie a partire dalla pk 2+420 circa per poi attestarsi entro tali depositi fino alla fine del tratto in sotterraneo alla pk 3+750.

Per la tratta ferroviaria in esame è stata individuata nella galleria artificiale la principale problematica che può presentare potenziali situazioni di criticità, data dal fatto che il livello piezometrico risulta superiore al fondo scavo.

La struttura eseguita con il metodo Milano, è costituita da un portale, le cui pareti sono fatte da diaframmi di spessore pari a 80/100 cm e rifodera interna di spessore pari a 60 cm. I pannelli sono collegati in testa da un solettone di spessore 120 cm. L'opera è completata dal solettone di fondo.

Al fine di evitare problemi di sollevamento/sifonamento del fondo scavo si prevede di eseguire un tappo di fondo in jet grouting fra i diaframmi, costituito da colonne compenstrate  $\phi 1000/800$  mm, realizzate da piano campagna dopo l'esecuzione dei pannelli della paratia.



**Figura 4-1: disposizione planimetrica colonne in jet grouting**

La profondità di esecuzione del tappo di fondo e lo spessore delle colonne sono variabili lungo il tracciato delle gallerie artificiali, in funzione del livello di falda di progetto e delle caratteristiche di permeabilità delle unità geotecniche attraversate.

- Dove il solettone delle GA poggia direttamente sullo strato costituito da ghiaie e pertanto permeabile, la testa delle colonne è prevista da tale quota.
- Dove il solettone poggia sul substrato di argilla impermeabile, le colonne sono previste a partire dallo strato ghiaioso sottostante (5 m circa al di sotto del fondo scavo).

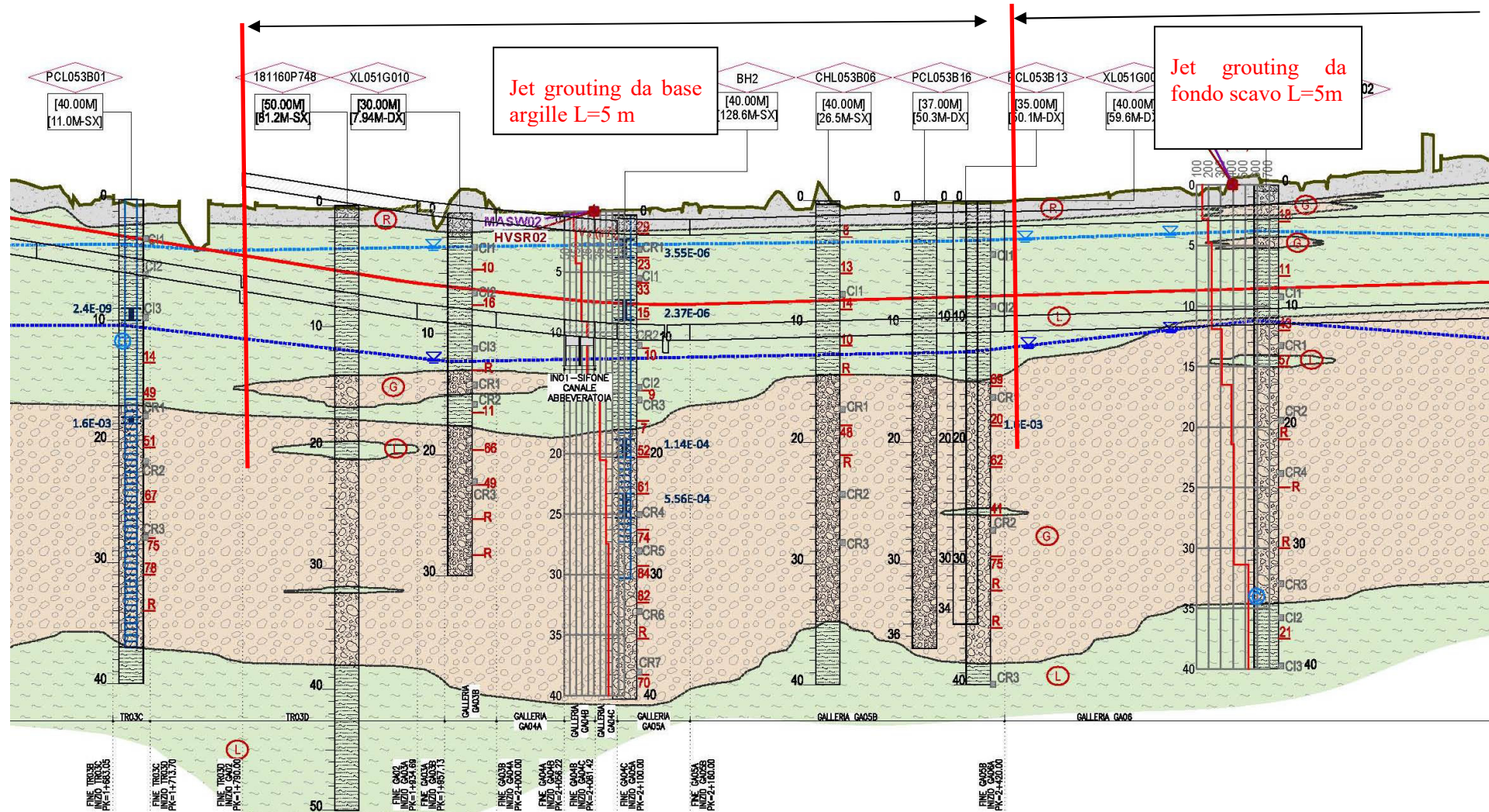
Di seguito, per ogni singola GA, vengono riportate le caratteristiche del tappo di fondo previsto.

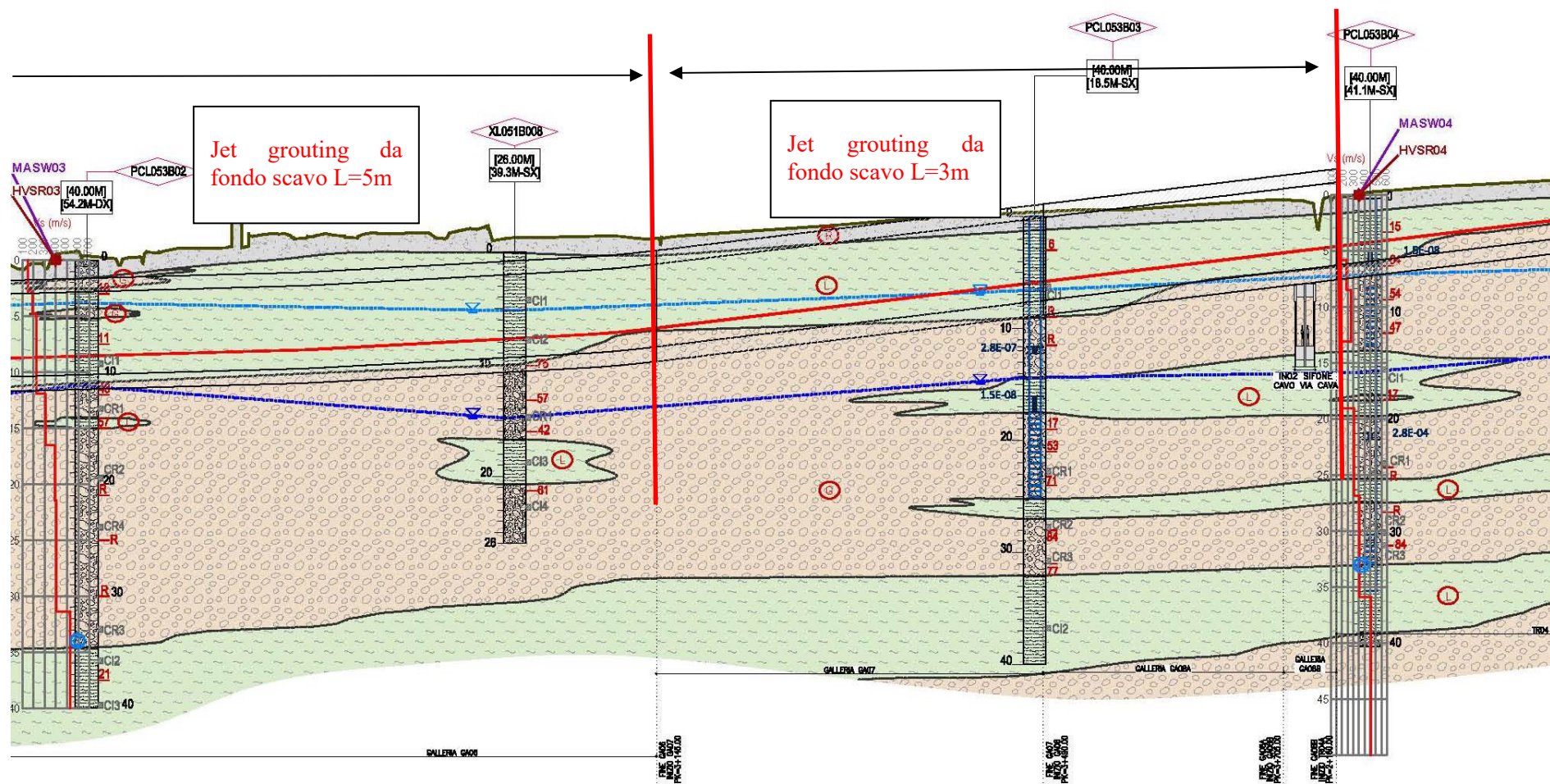
	TAPPO DI FONDO (JET GROUTING)					
	PK INIZIO	PK FINE	QUOTA INIZIO (da p.f)	QUOTA FINE (da p.f)	LUNGHEZZA DELL'APLICAZIONE	SPESSORE DELL'APLICAZIONE
GA01	1+888,00	2+100,00	7,50 m	12,50 m	212,00 m	5,00 m
GA02	1+888,00	1+934,69	7,50 m	12,50 m	46,69 m	5,00 m
GA03	1+934,69	2+000,00	7,50 m	12,50 m	65,31 m	5,00 m
GA04	2+000,00	2+100,00	7,50 m	12,50 m	100,00 m	5,00 m
GA05	2+100,00	2+420,00	7,50 m	12,50 m	320,00 m	5,00 m
GA06	2+420,00	2+450,00	7,50 m	12,50 m	30,00 m	5,00 m
	2+450,00	3+145,00	2,80 m	7,80 m	695,00 m	5,00 m
GA07	3+145,00	3+490,00	2,80 m	5,80 m	345,00 m	3,00 m
GA08	3+490,00	3+752,00	2,80 m	5,80 m	262,00 m	3,00 m

**Tabella 4-1: caratteristiche colonne in jet grouting, tappo di fondo GA**

Lo schema in tabella è evidenziato anche nello stralcio del profilo geotecnico riportato di seguito.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	12 di 104





 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO RHGE00003	REV A

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA – GEOTECNICA

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

### 5.1 Inquadramento geologico

Da un punto di vista geologico, le gallerie artificiali comprendono le seguenti formazioni:

#### Ghiaia (G o A1):

Argille limose e limi argillosi di colore marrone chiaro, nocciola, avana e grigio, generalmente consistenti con frustoli carboniosi e livelli decimetrici a forte componente organica. Sono presenti locali intercalazioni limoso sabbiose e sabbiose, localmente ghiaiose. Si rinvencono concrezioni carbonatiche da millimetriche a centimetriche (calcinelli)

#### Limo Argilloso (L o A2):

Ghiaia, ghiaia sabbiosa e con sabbia, localmente limosa e/o argillosa di colore marrone chiaro e avana da media a grossolana, eterometrica, morfologicamente mediamente evoluta ed evoluta, poligenica, generalmente di natura calcarea, marnosa ed arenacea, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentimetriche, presenti ciottoli sparsi subarrotondati (diametro anche maggiore di 10 cm)

### 5.2 Caratterizzazione e Modellazione Geotecnica

Tutte le gallerie artificiali sono caratterizzate dalla presenza delle stesse unità geotecniche in uguale successione. Infatti, in tutte le aree si registra la presenza di limo argilloso appoggiato alla ghiaia. Per i dettagli della caratterizzazione geotecnica si rimanda alla "Relazione Geotecnica (IP0000D26RGGE0000001A)".

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati nelle analisi di simulazione e verifiche, in riferimento alla stratigrafia assunta, sono riportati nella tabella seguente:

**Tabella 5-1** Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

TRATTA 3 – DAL KM 1+550 AL KM 2+850 - PCL053B01, 181160P748, XL051G010, BH2, CHL053B06, PCL053B16, PCL053B13, XL051G009, PCL053B02, MASW02, HVSR02, MASW03 e HVSR03																
UNITA'	DA	A	Nspt	$\gamma_n$	$\phi'$	$c'$ ( $^{\circ}$ )	$C_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op2}$	$E_{op1}$	OCR	CR	RR	kh ( $^{**}$ )	H falda da p.c. ( $^{***}$ )
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	( $^{\circ}$ )	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	[m/s]	[m]
L	0.00	13.00-16.00	8-49	19	27	12-8	60-90	35-60	70-140	14-27	7-14	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	2,5-6,5
G	13.00-16.00	38.00	20-100	19.0	37	0	-	130-180	300-400	60-80	30-40				2.03E-04	
L	>38		21	19	27	8	150	90	200	40	20,0	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
TRATTA 4 – DAL KM 2+850 AL KM 3+250 - XL051B008																
UNITA'	DA	A	Nspt	$\gamma_n$	$\phi'$	$c'$ ( $^{\circ}$ )	$C_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op2}$	$E_{op1}$	OCR	CR	RR	kh ( $^{**}$ )	H falda da p.c. ( $^{***}$ )
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	( $^{\circ}$ )	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	[m/s]	[m]
L	0.00	8,00-13,00	-	19	27	12-8	60-80	35-60	70-140	14-27	7-14	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	6,0-6,5
G	8,00-13,00	30,00-35,00	42-75	19.0	37	0	-	130-180	300-400	60-80	30-40				2.03E-04	
L	>35		-	19	27	8	150	90	200	40	20,0	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	15 di 104

**TRATTA 5 – DAL KM 3+250 AL KM 3+900 - PCL053B03, PCL053B04, MASW04 e HVSR04**

UNITA'	DA	A	Nspt	$\vartheta_n$	$\varphi'$	$c'$ ( $^{\circ}$ )	$C_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op2}$	$E_{op1}$	OCR	CR	RR	kh ( $^{**}$ )	H falda da p.c. ( $^{***}$ )
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	( $^{\circ}$ )	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	[m/s]	[m]
L	0.00	4.00-8.00	6-15	19	27	12	60	30-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	6,0-8,0
G	4.00-8.00	14	47-100	19	37	0	-	90-130	200-300	40-60	20-30				2.03E-04	
L	14	19.00	17	19	27	8	100	60-70	140-160	28-32	14-16	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	19.00	25	17-100	19	37	0	-	140-160	320-370	65-75	32-37					
L	25	27	-	19	27	8	120	85	195	39	19	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	27	33	77-100	19	37	0	-	180	400	80	40					
L	>33		-	19	27	8	160	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26CL</td> <td>RHGE00003</td> <td>A</td> <td>16 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	16 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	16 di 104								

## 6 MODELLO DI CALCOLO

### 6.1 Modellazione Strutturale

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

Allo scopo si impiega il programma di calcolo "PARATIE PLUS" Versione 21.0 della HarpaCeas S.r.l. di Milano.

I diaframmi, la soletta superiore e la fondazione sono discretizzati con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

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

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

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

#### 6.1.1 Parametri di spinta del terreno

Il programma impiegato richiede, ovviamente, la definizione di parametri geotecnici degli strati in cui è stato suddiviso il terreno al contorno dell'opera riportati ai paragrafi precedenti.

Il problema dell'interazione suolo-struttura consiste nel valutare il raggiungimento dello stato di equilibrio del terreno al variare delle deformazioni della struttura in quanto la tensione orizzontale  $\sigma'_h$  che lo scheletro solido del terreno esercita sulla parete verticale della struttura è funzione dello spostamento che essa subisce.

L'analisi di interazione ha inizio dallo stato indisturbato del terreno che è in equilibrio in condizioni litostatiche:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v \quad \text{pressione a riposo}$$

Secondo la relazione di Kulhawy [1989], il coefficiente di spinta a riposo dipende dalla resistenza del terreno e dal rapporto di sovraconsolidazione del terreno OCR secondo la seguente relazione:

$$K_0 = K_0^{nc} * OCR^m$$

dove:

- $K_0^{nc}$  è il coefficiente di spinta a riposo per terreni normal-consolidati che secondo Jaky [1936] può essere posto pari a  $K_0 = (1 - \text{sen } \varphi')$ ;
- $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0,40 e 0,70.

Con lo scavo, lo stato di equilibrio litostatico viene perturbato e le spinte variano in funzione dello spostamento:



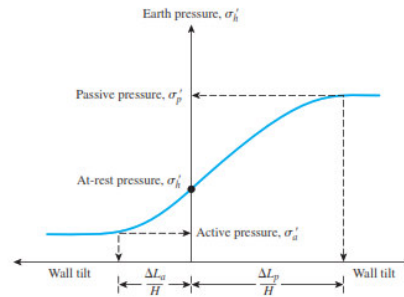


Figure 13.2 Variation of the magnitude of lateral earth pressure with wall tilt

Table 13.1 Typical Values of  $\Delta L_a/H$  and  $\Delta L_p/H$

Soil type	$\Delta L_a/H$	$\Delta L_p/H$
Loose sand	0.001–0.002	0.01
Dense sand	0.0005–0.001	0.005
Soft clay	0.02	0.04
Stiff clay	0.01	0.02

La tensione  $\sigma'_a$  “attiva” sul paramento viene calcolata come:

$$\sigma'_a = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot (K_a)^{0,50} \quad \text{pressione attiva}$$

dove:

- $K_a$  = coefficiente di spinta attiva;
- $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace alla generica profondità;
- $c'$  = coesione efficace.

In condizioni statiche,  $K_a$  è funzione dell'angolo di attrito efficace dello scheletro solido  $\phi'$ , dell'angolo di attrito fra struttura e terreno  $\delta$  dell'inclinazione  $\beta$  del paramento di monte della struttura di sostegno e dell'inclinazione del terrapieno a tergo dell'opera.

La tensione  $\sigma'_p$  “passiva” sul paramento viene, parimenti, calcolata come:

$$\sigma'_p = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot (K_p)^{0,50} \quad \text{pressione passiva}$$

dove:

- $K_p$  = coefficiente di spinta passiva.

Il software utilizzato è in grado, dunque, in funzione del campo di spostamento risultante nei vari step di analisi, di risalire all'entità della spinta in ogni fase a partire dal valore iniziale di spinta a riposo.

Le rigidzze delle molle schematizzanti i vari strati di terreno sono proporzionali ai loro moduli elastici.

Per strutture di sostegno alla pressione esercitata dallo scheletro solido deve essere sommata la pressione esercitata dall'acqua assumendo schemi di filtrazione idonei in funzione delle condizioni stratigrafiche ed al contorno. In presenza di falda, va ovviamente aggiunta la pressione idrostatica che alla generica profondità, può essere valutata come di seguito:

$$u = \gamma_w \cdot Z$$

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	18 di 104

In definitiva, l'espressione generale per il calcolo della pressione verticale efficace alla generica profondità  $z$ , in caso di eventuale presenza di sovraccarichi sul piano limite e falda è la seguente:

$$\sigma'_v = \gamma \cdot (z - h_w) + \gamma' \cdot h_w + q$$

Essendo:

- $\gamma$ : peso di volume naturale del terreno;
- $\gamma'$ : peso di volume del terreno immerso;
- $h_w$ : altezza di falda rispetto al piano orizzontale posto a quota  $z$ ;
- $q$ : intensità del sovraccarico presente su piano limite.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26CL</td> <td>RHGE00003</td> <td>A</td> <td>19 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	19 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	19 di 104								

## 7 APPROCCI PROGETTUALI

Le azioni considerate per la verifica delle gallerie artificiali sono le seguenti:

- **Azioni permanenti strutturali (G<sub>1</sub>):** peso proprio degli elementi strutturali;
- **Azioni permanenti non strutturali (G<sub>2</sub>):** spinta del terreno a monte e a valle dell'opera.
- **Azioni variabili (Q<sub>k</sub>):** carico variabile sul piano campagna atto a simulare la presenza di sovraccarichi variabili in fase costruttiva legato alle varie fasi realizzative;
- **Azione sismica (E):** Accelerazione orizzontale e verticale come definita al C. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

### 7.1 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3.

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_F$ ,  $\gamma_M$  e  $\gamma_R$  (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>												
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26CL</td> <td>RHGE00003</td> <td>A</td> <td>20 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	20 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	20 di 104								

## 7.2 Metodo agli stati limite ed approcci di progetto

Come prescritto nella normativa vigente, per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

### SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera.

### SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO RHGE00003	REV A

**Tabella 7-1** Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I N.T.C. 2018)

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	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 7-2** Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC2018)

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	$\gamma_r$	$\gamma_r$	1,0	1,0

**Tabella 7-3** Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.I – N.T.C. 2018).

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

**Tab. 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0
	Sfavorevole		1,5

<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 7-4:** Coefficienti parziali per le verifiche nei confronti degli stati limite di sollevamento (Tabella 6.2.III – N.T.C. 2018).

## 8 MODELLO DI CALCOLO E VERIFICHE DEL TAPPO DI FONDO

Nei paragrafi successivi, per ogni galleria artificiale, si riportano le verifiche a sollevamento del tappo di fondo.

Viene prima riportata la verifica a sollevamento senza intervento in jet grouting, nel caso di fondo scavo all'interno dello strato argilloso.

### 8.1 Verifica a sollevamento senza tappo di fondo

Tale verifica è condotta con riferimento alla sezione della GA02. Lo spessore di argilla presente fra il fondo scavo e la ghiaia sottostante è pari a 4.5 m.

Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura (sollevamento interno).

Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

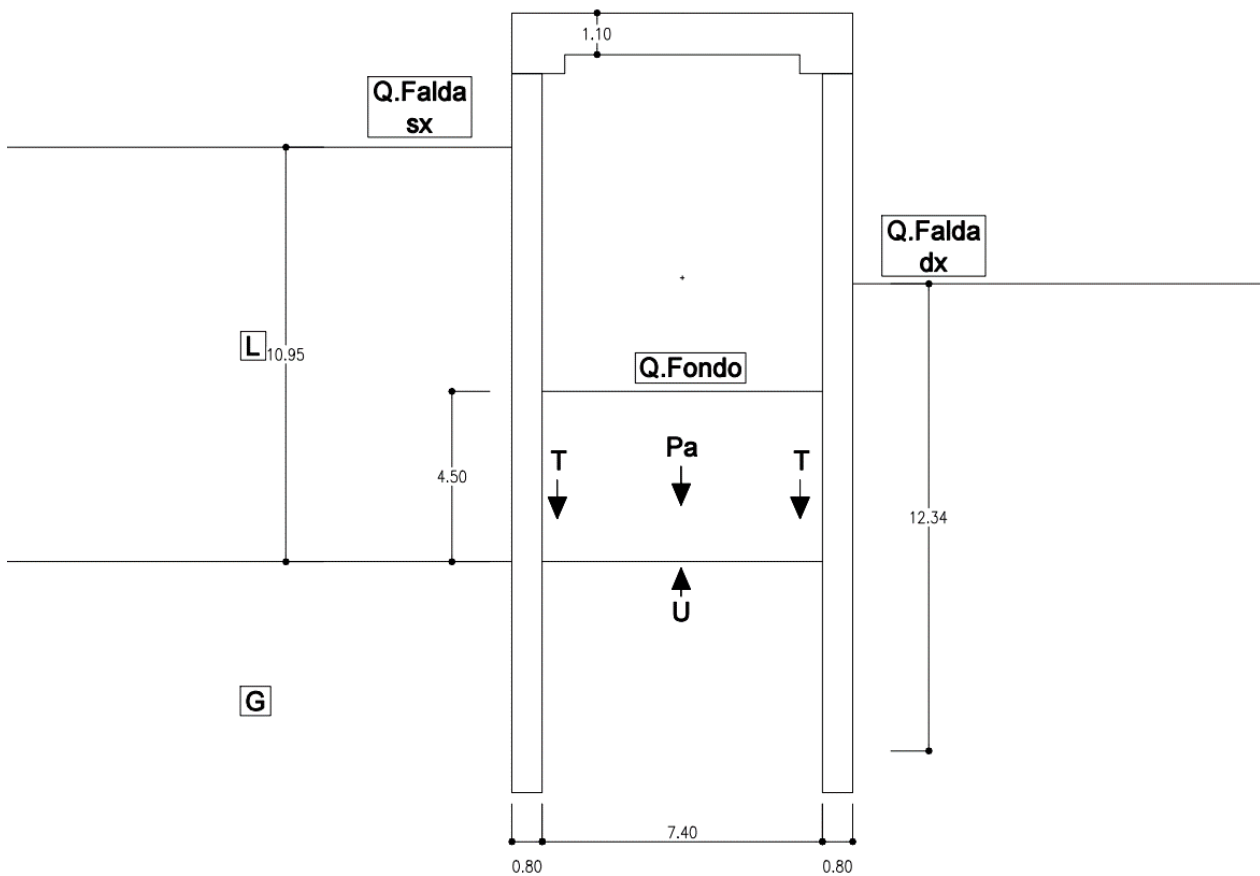


Figura 8-1 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo (sollevamento esterno).

Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

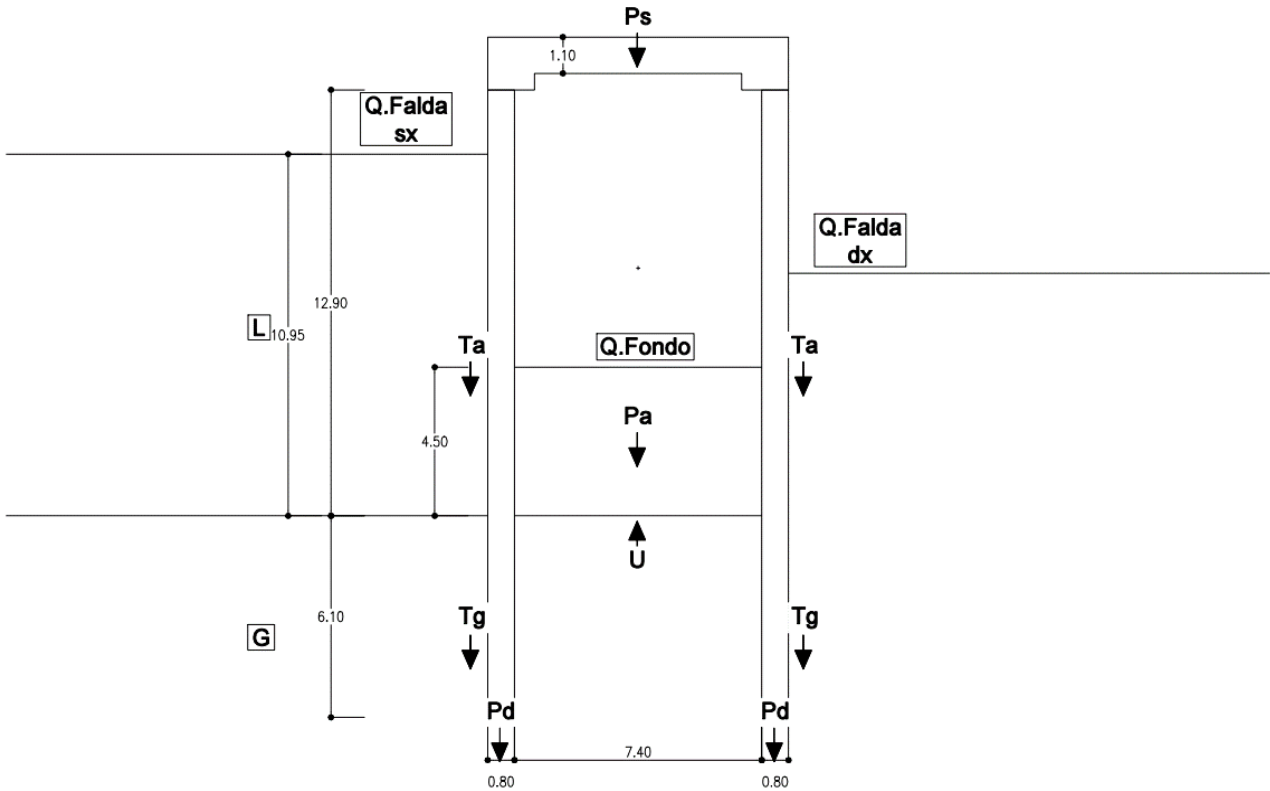


Figura 8-2 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	24 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pa** : Peso della argilla;

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

#### Ghiaia:

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

$\phi$  = angolo di attrito del terreno, pari a 37°.

#### Argilla:

$$T = \tau_a \times L$$

$\tau_a$  = adesione argilla diaframma  $\alpha \times c_u$

$c_u$  = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$\alpha$  = coefficiente di riduzione della coesione non drenata, pari a 0.35.

per pali trivellati:

$$c_u < 25 \quad \alpha = 0,7$$

$$25 < c_u < 70 \quad \alpha = 0,7 - 0,008 (c_u - 25)$$

$$70 < c_u \quad \alpha = 0,35$$

**Tabella 8-1: valori di  $\alpha$  (Fondazioni – Viggiani)**

L = lunghezza tratto considerato.

$$\tau_a = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Il valore della  $\sigma h'$  nel tratto in ghiaia dipende dallo stato tensionale mobilitato ed è compreso fra tensione di spinta attiva a quella passiva del terreno. Tale valore è determinato con l'ausilio del codice di calcolo PARATIE.

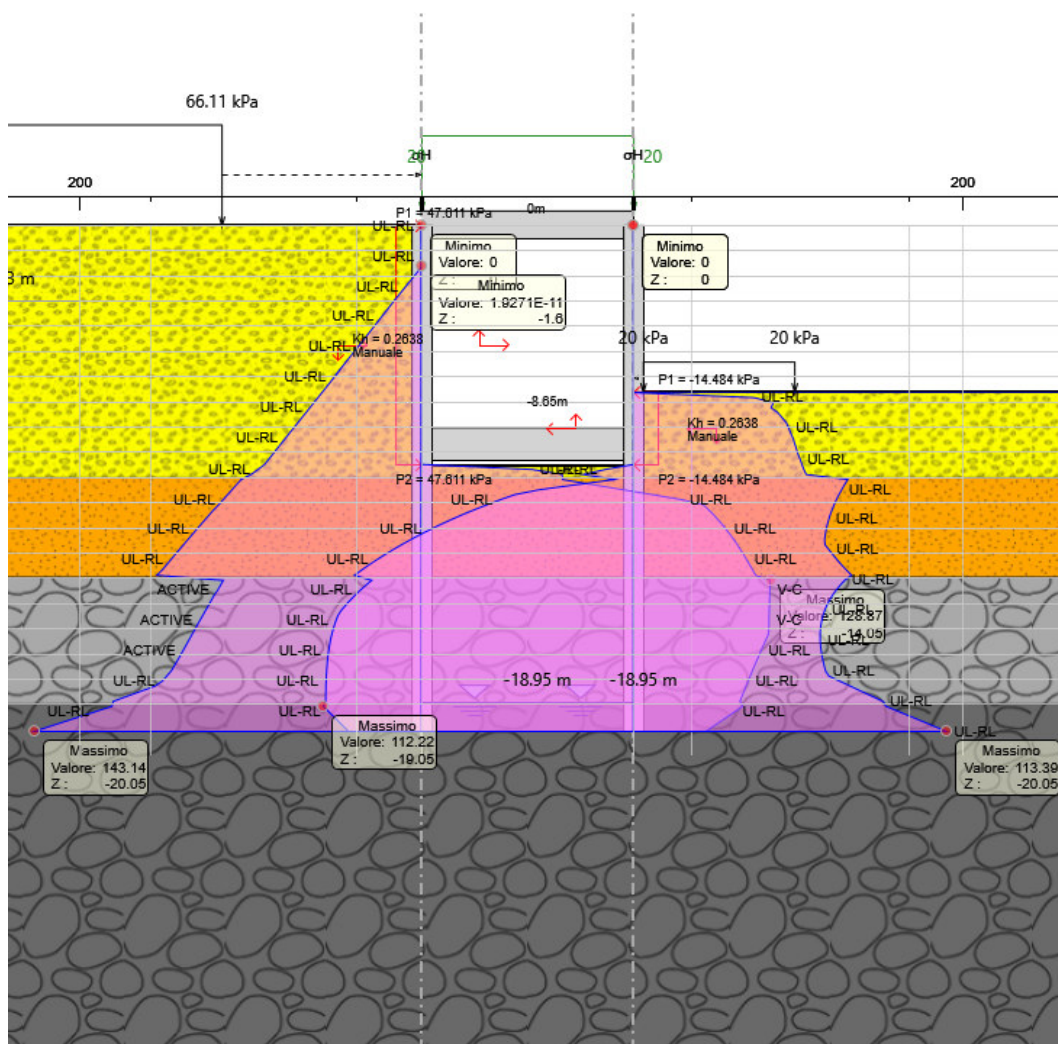
Con il programma di calcolo PARATIE sono state simulate le fasi esecutive dell'opera.

0. Condizione geostatica.



1. Esecuzione dei diaframmi
2. Scavo per installazione soletta sommitale.
3. Installazione soletta sommitale.
4. Fondo scavo a -10 m.

Si sono quindi determinate le spinte orizzontali agenti sulla paratia nella fase di scavo fra i diaframmi (fase 4).



**Figura 8-3: fase 5 – spinte orizzontali dei terreni**

Nella verifica a sollevamento, a favore di sicurezza, si prende a riferimento la tensione orizzontale minima rilevata dal programma nel tratto considerato, pari a 58 kPa per il lato esterno.

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	26 di 104


Verifica a sollevamento interno

$$(Pa+2T)x0.9/(Ux1.1)>1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(Pa+2Pd+2T+Ps)x0.9/(Ux1.1)>1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26CL</td> <td>RHGE00003</td> <td>A</td> <td>27 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	27 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	27 di 104								

<b>Verifica a sollevamento. Interna</b>			
<b>GA02</b>			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	10,95	m
Spessore argilla sopra ghiaia	spa	4,50	m
peso specifico tappo argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo di argilla</b>	<b>Pa</b>	<b>632,70</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>810,30</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
<b>Resistenza di attrito argilla-diaframma</b>	<b>Ta</b>	<b>118,13</b>	<b>kN/m</b>
Resistenza di attrito tappo argilla diaframma	2T	236,25	kN/m <sup>3</sup>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(2T+Pa)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>0,88</b>	

**Figura 8-4** Sollevamento interno

Verifica a sollevamento. Esterna			
GA02			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	10,95	m
Spessore argilla	spa	4,50	m
peso specifico argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo argilla</b>	<b>Pa</b>	<b>632,70</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>985,50</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	12,90	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	338,63	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	58,00	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	6,10	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	353,80	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	266,61	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1210,46</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	0,80	m
Lunghezza diaframmi	L	19,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>760,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,10	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>247,50</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(Pa+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>2,37</b>	

**Figura 8-5 Sollevamento esterno**

La verifica interna non risulta essere soddisfatta. La verifica esterna è soddisfatta.

È necessario quindi prevedere la presenza del tappo di fondo anche dove il fondo scavo interessa lo strato coesivo.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26CL</td> <td>RHGE00003</td> <td>A</td> <td>29 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	29 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	29 di 104								

## 8.2 Verifica a sollevamento con tappo di fondo

### 8.2.1 Parametri di resistenza e deformazione tappo di fondo

Al terreno trattato con le colonne in jet grouting si assume un peso specifico e angolo di attrito pari a quelli del terreno in cui viene eseguito (Unità G), e i seguenti valori di resistenza a rottura e di modulo elastico:

$$\sigma_c = 2500 \text{ kPa}$$

$$E = 2500 \text{ Mpa}$$

Il valore di coesione è determinato dalla seguente espressione:

$$c = 0.5 \times \sigma_c \times (1 - \sin \phi) / \cos \phi$$

$$\phi = 37^\circ$$

Si ottiene un valore di coesione pari a 623 kPa.

Nelle successive verifiche ai terreni trattati con le colonne in jet grouting vengono assegnati i seguenti parametri geotecnici di calcolo. La coesione e il modulo elastico a favore di sicurezza vengono ulteriormente ridotti rispetto a quelli sopra stimati:

Peso specifico	19.0 kN/m <sup>3</sup> ;
Angolo di attrito	37°
Coesione	300 kPa
Modulo Elastico	800 MPa

### 8.2.2 Verifica a sollevamento per GA01

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PLAXIS 2D.

Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PLAXIS, sono di seguito riportate:

1. Inizializzazione geostatica.
2. Attivazione dei sovraccarichi (carico della struttura esistente e della ferrovia esistente)
3. Scavo fino all'elevazione del diaframma
4. Realizzazione di tappo di fondo e diaframmi.
5. Realizzazione di soletta superiore e riempimento.
6. Scavo fino al livello del fondazione.
7. Realizzazione di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

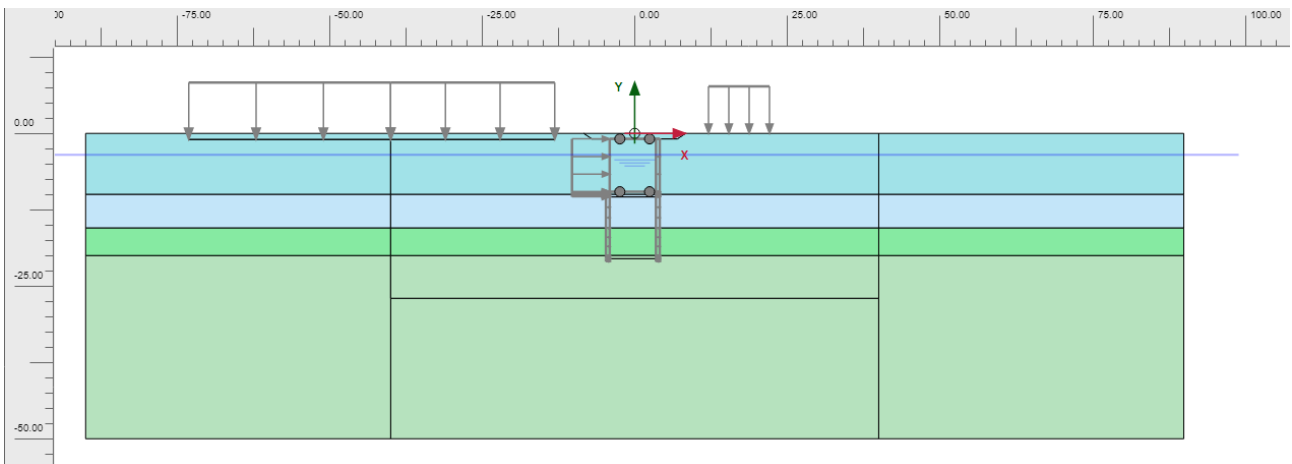
TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	30 di 104

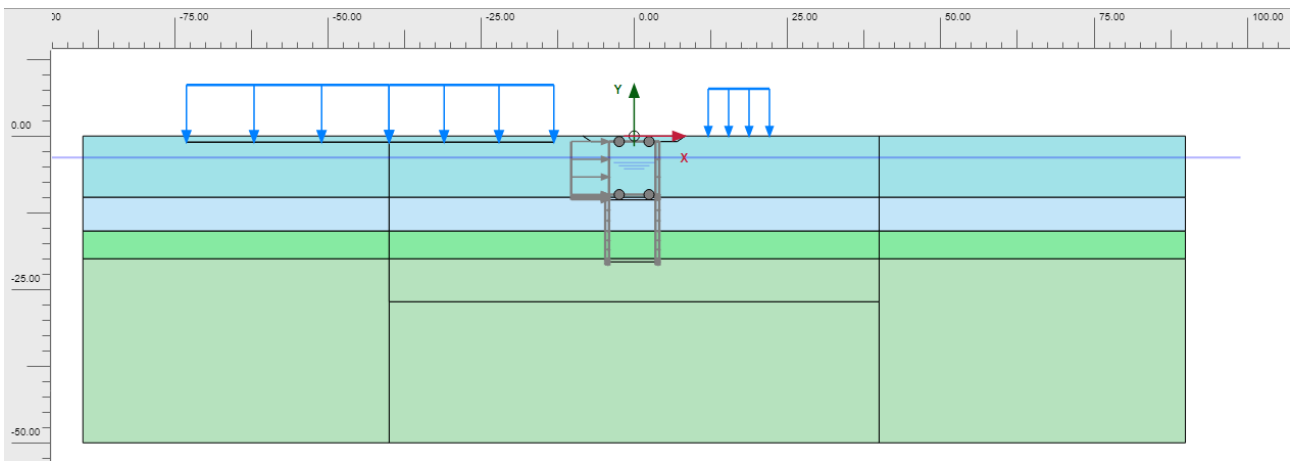
8. Finalizzazione della struttura.

9. Applicazione l'azione sismica.

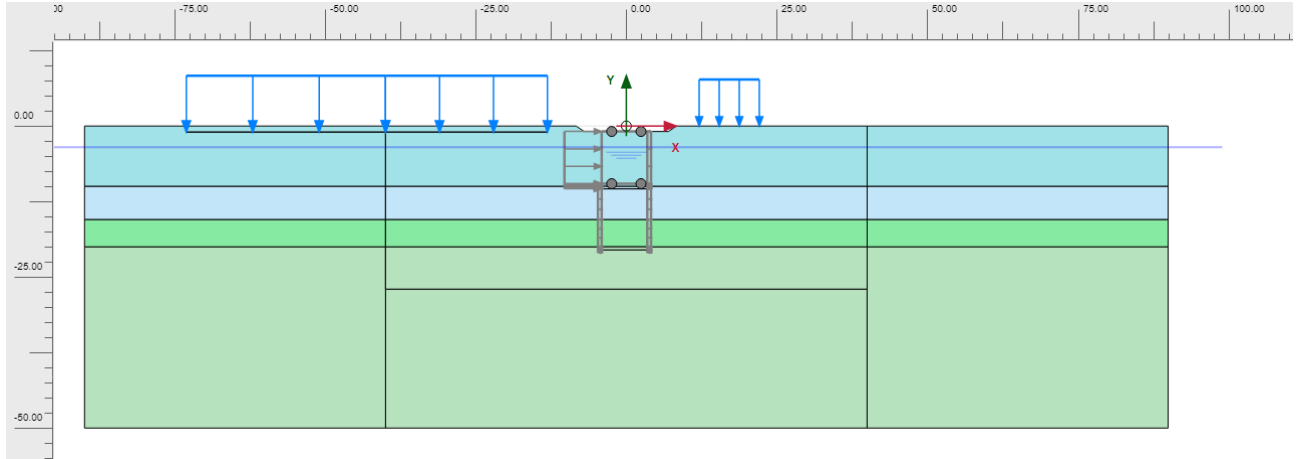
Di seguito si riportano gli estratti delle fasi di calcolo.



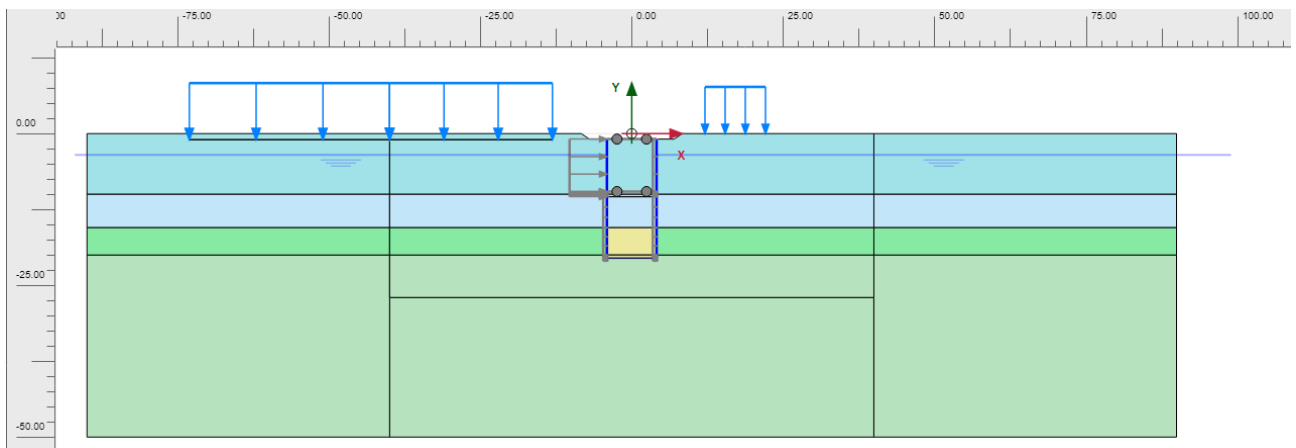
**Figure 1** Fase 1: Inizializzazione geostatica.



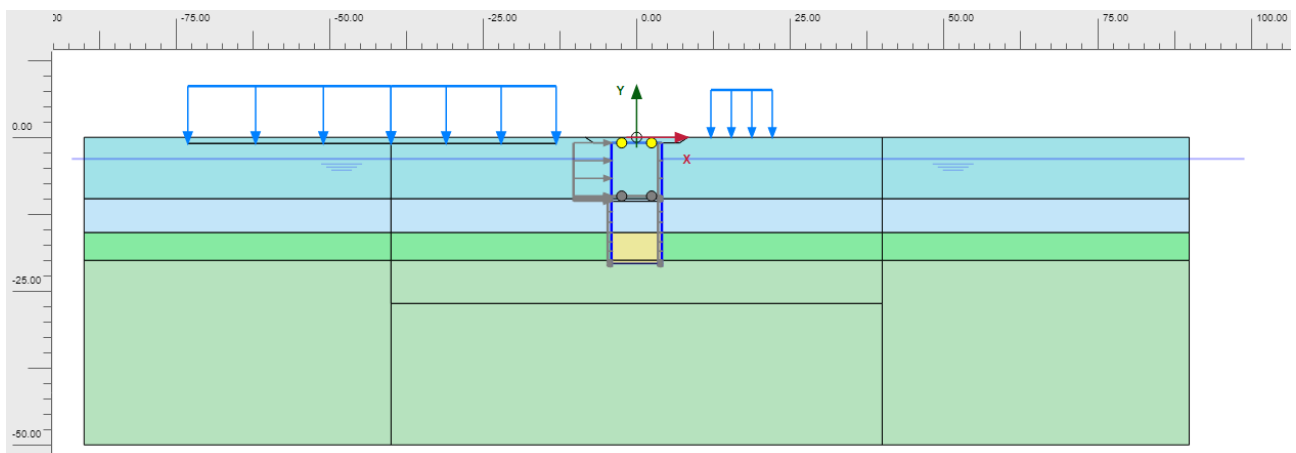
**Figure 2** Fase 2: Attivazione dei sovraccarichi



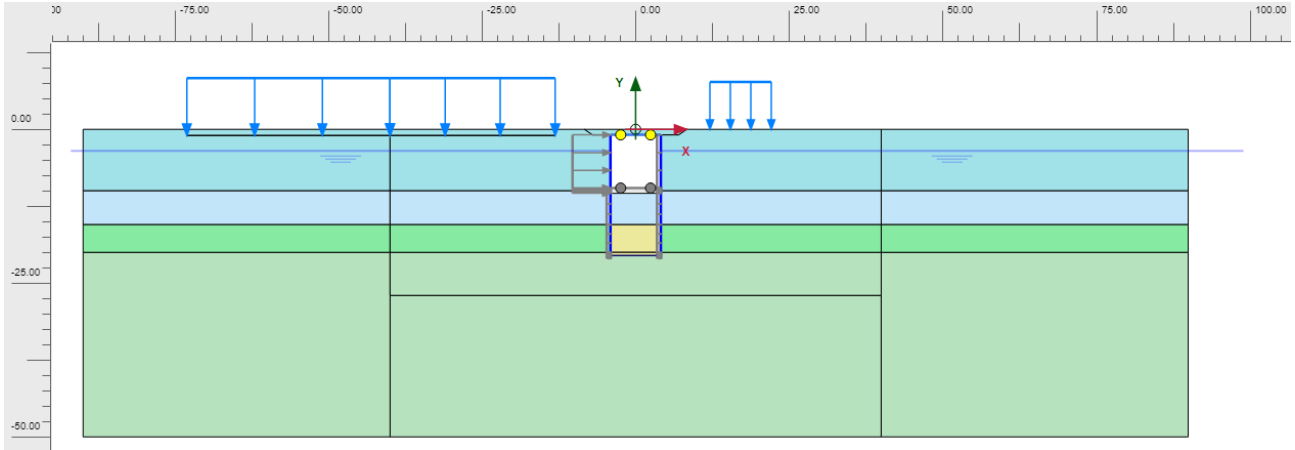
**Figure 3** Fase 3: Scavo fino all'elevazione del diaframma.



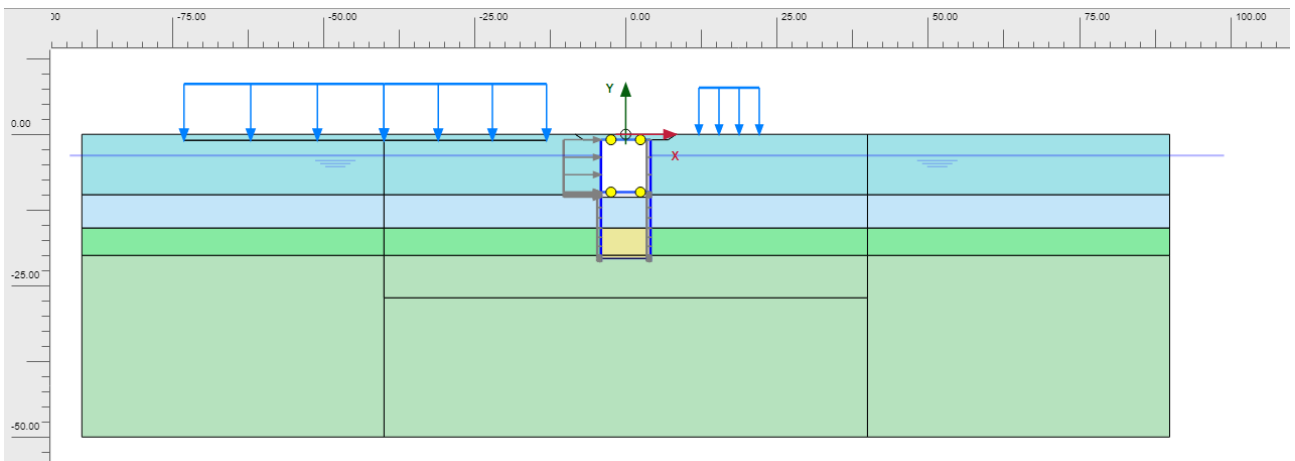
**Figure 4** Fase 4: Realizzazione di tappo di fondo e diaframmi



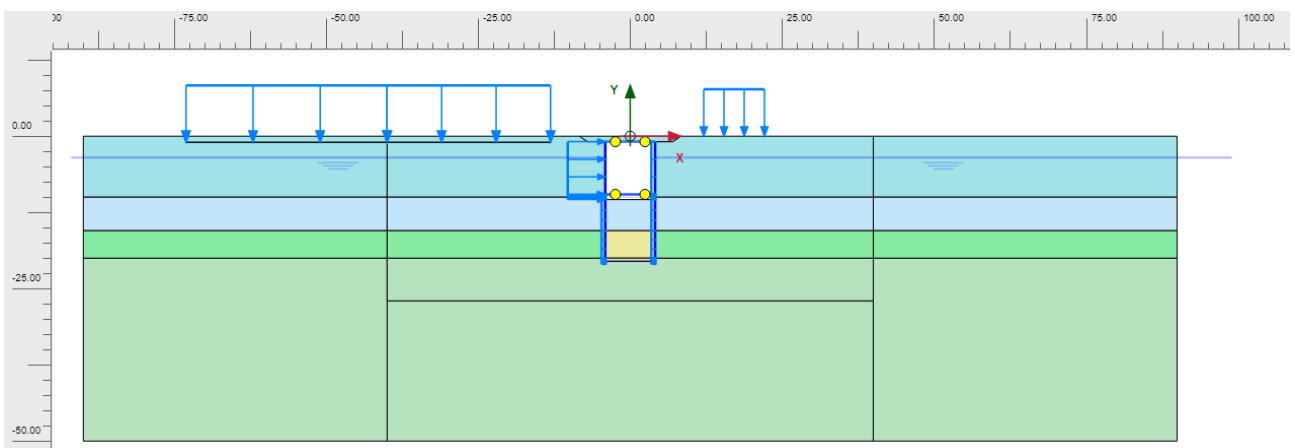
**Figure 5** Fase 5: Realizzazione di soletta superiore e riempimento.



**Figure 6** Fase 6: Scavo fino al livello del fondazione.



**Figure 7** Fase 7: Realizzazione di fondazione.



**Figure 8** Fase 8: Applicazione l'azione sismica



PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	33 di 104

Si considerano 2 casi distinti.

Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

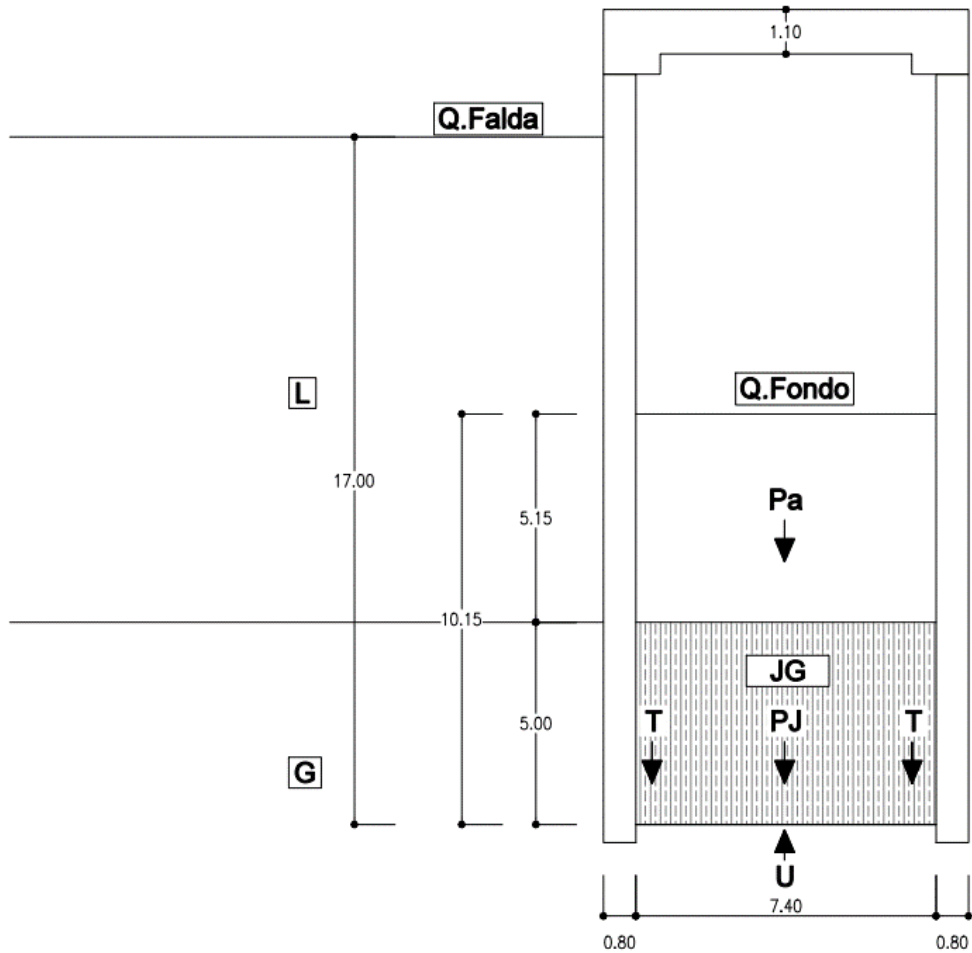


Figura 8-6 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

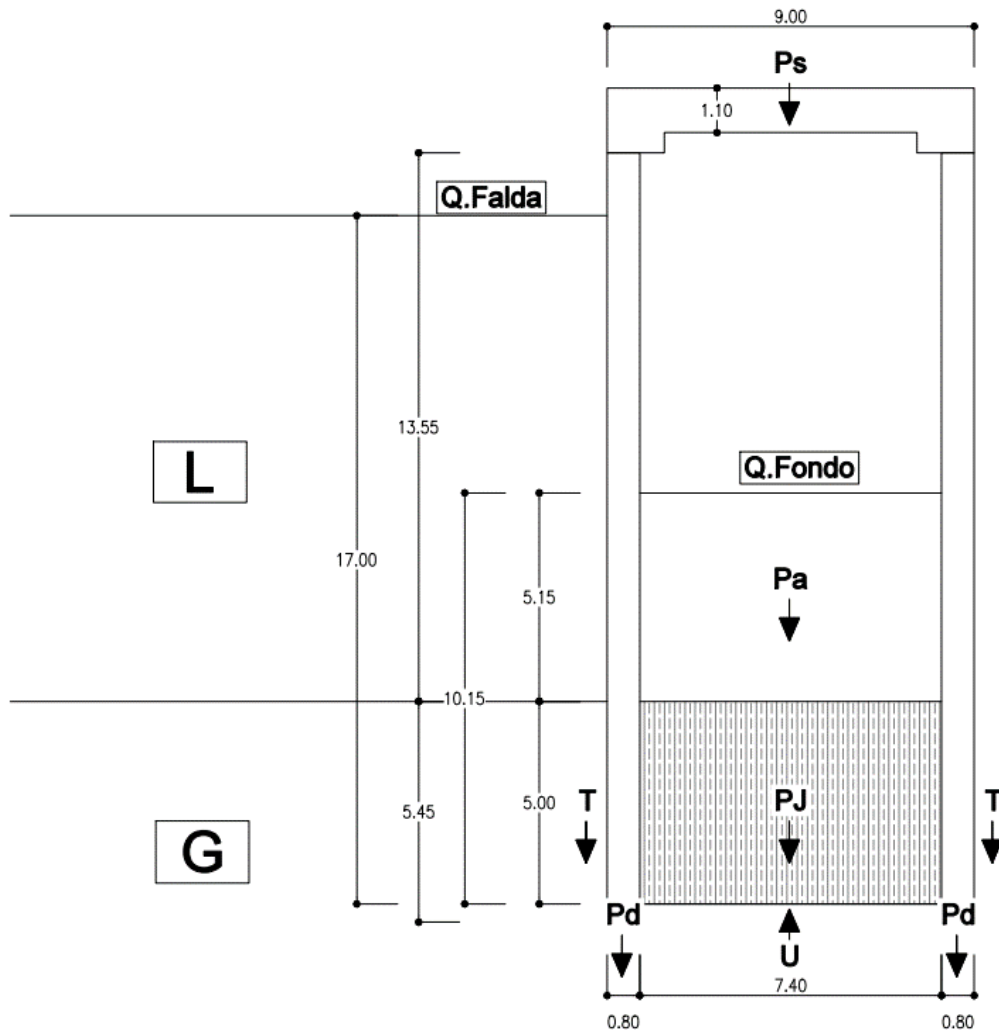


Figura 8-7 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	35 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia (37°).

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PLAXIS.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PLAXIS è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (10,15 \times 10 + (10,15 - 5,0) \times 10) \times 5/2 = 382.5 \text{ kN/m}$$

**Argilla**

$$T = ta \times L$$

$$ta = \alpha \times cu$$

cu = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$ta = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 6.

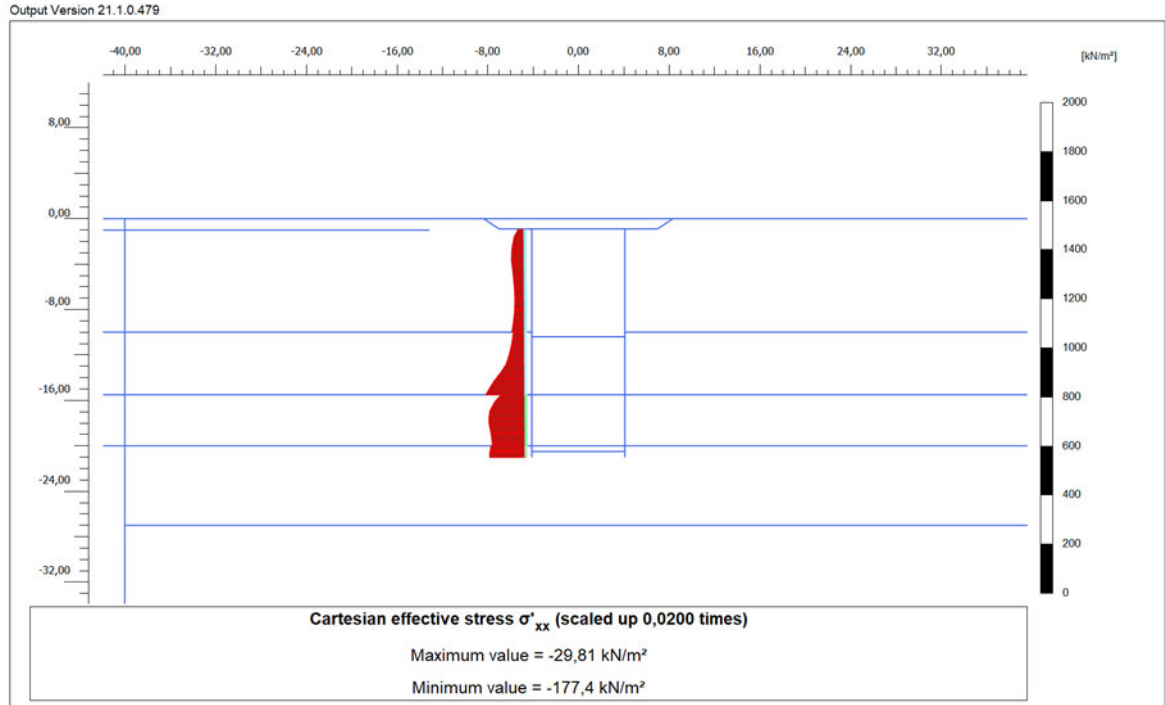


Figura 8-8 tensioni orizzontali esterne – Diaframma di sinistra

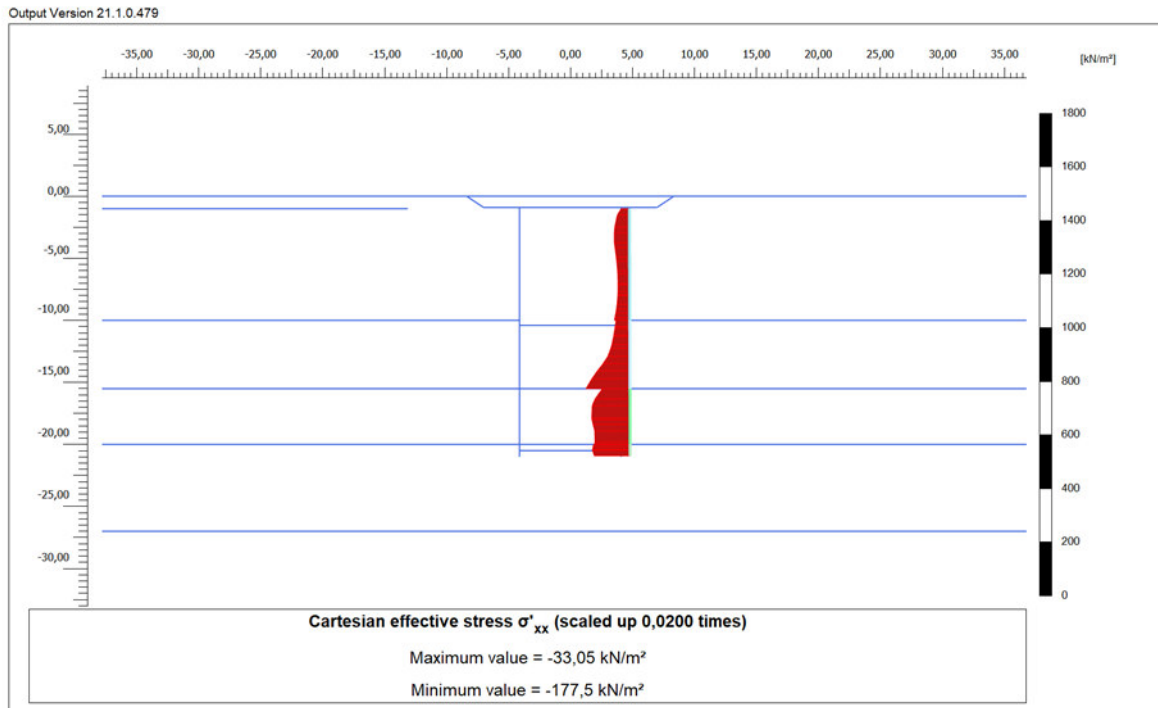
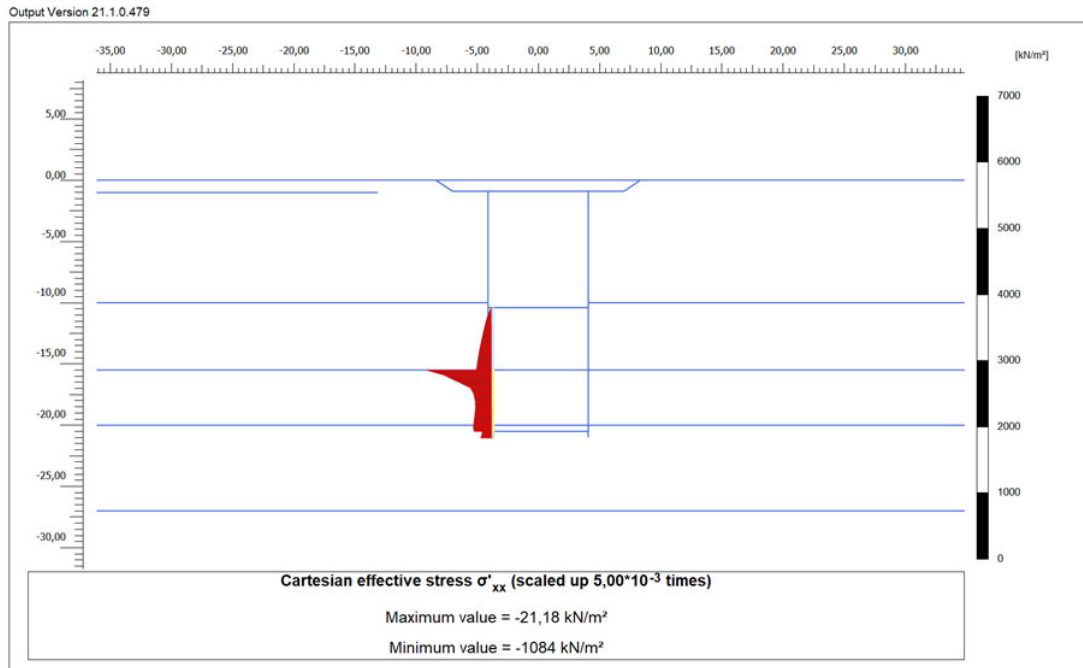
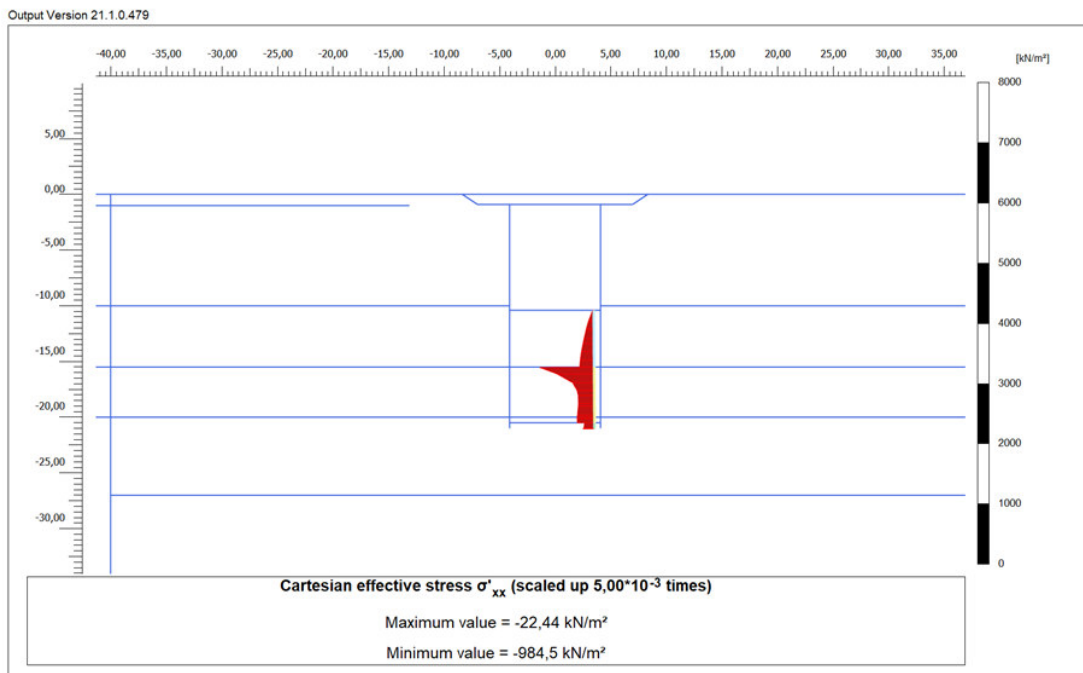


Figura 31 tensioni orizzontali esterne – diaframma di destra



**Figura 32** tensioni orizzontali interne – diaframma di sinistra



**Figura 33** tensioni orizzontali interne – diaframma di destra

I valori minimi delle tensioni nei tratti in ghiaia (lato esterno) e jet grouting (lato interno) sono:

Il valore è di 110 kPa per il lato interno.

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	38 di 104

Il valore è 45,73 kPa per il lato esterno.

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	39 di 104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

Verifica a sollevamento. Interna GA01			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	17,00	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	10,15	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	5,15	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>724,09</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1258,00</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	5,15	m
<b>Resistenza di attrito argilla-diaframma</b>	<b>Ta</b>	<b>135,19</b>	<b>kN/m</b>
tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	110,00	kPa
Spinta orizzontale totale tratto in jet grouting	F	550,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua tratto in jet grouting	W	382,50	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b>TJ=(F-W)<math>\delta</math></b>	<b>126,22</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>Resistenza totale di attrito interna</b>	<b>T=2(Ta+Tj)</b>	<b>522,82</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(Pj+2T+Pa)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>1,27</b>	

**Figura 8-9** Sollevamento interno



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 41 di 104

<b>Verifica a sollevamento. Esterna GA01</b>			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	17,00	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	5,15	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>724,09</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1530,00</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	13,55	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	355,69	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	45,73	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	5,45	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	249,21	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	187,79	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1086,96</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	0,80	m
Lunghezza diaframmi	L	19,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>760,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,10	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>247,50</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(P_j+P_a+2T+2P_d+P_s)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>1,88</b>	

**Figura 8-10** Sollevamento interno

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO RHGE00003	REV A

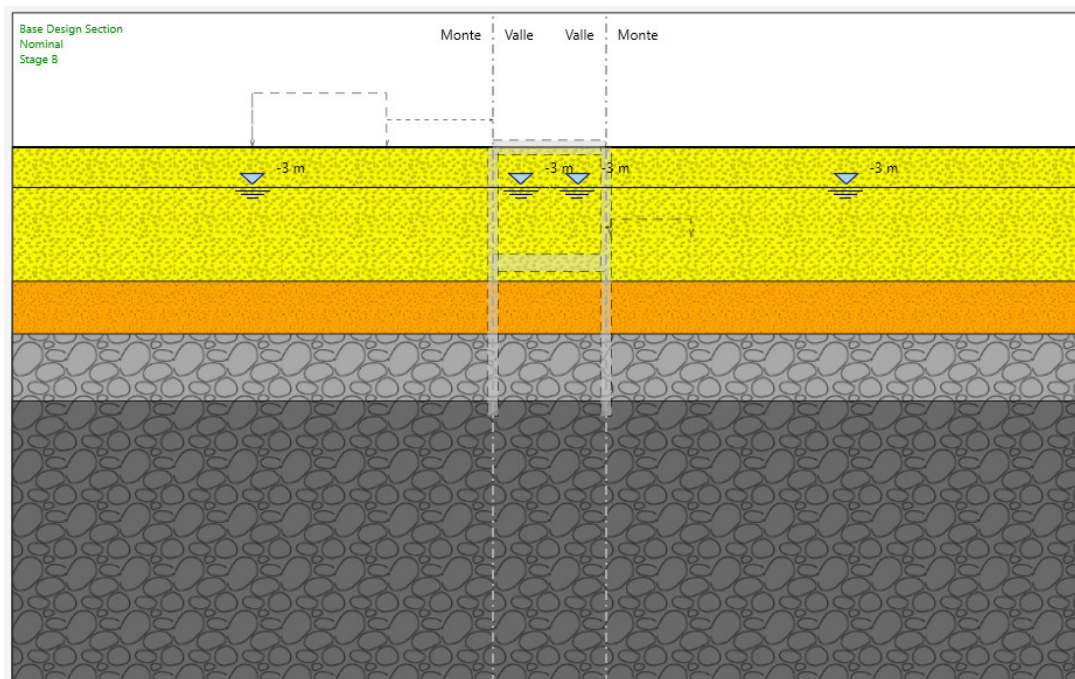
### 8.2.3 Verifica a sollevamento per GA02

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PARATIE.

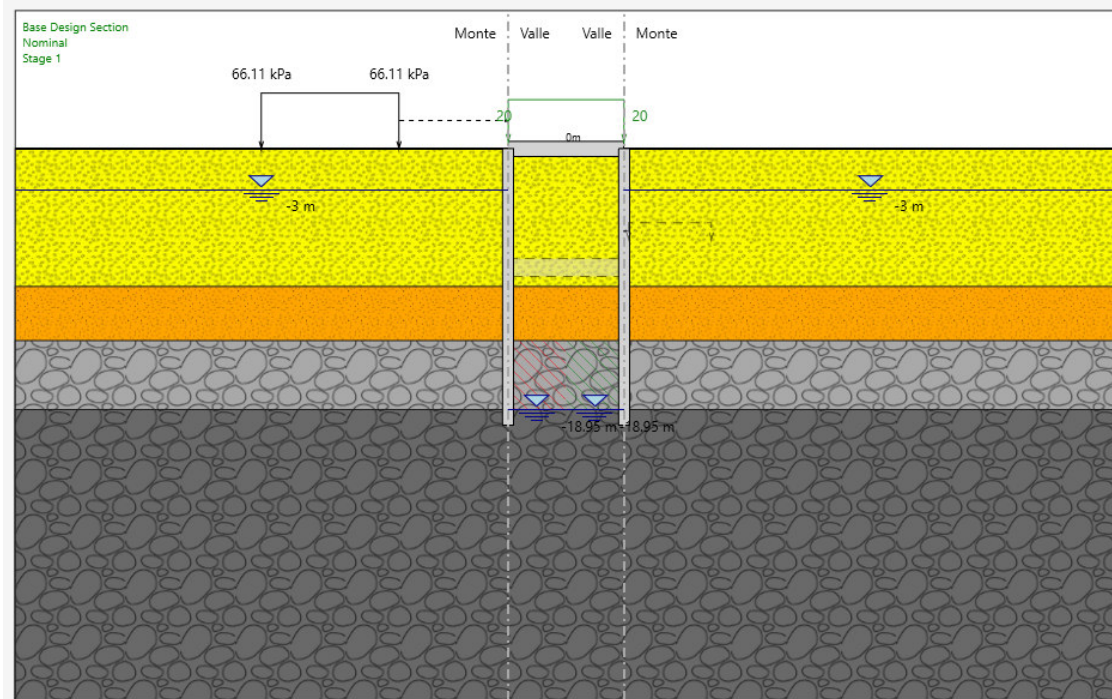
Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PARATIE, sono di seguito riportate:

1. Inizializzazione geostatica;
2. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma, della soletta superiore, carico del ferrovia esistente e riempimento;
3. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m;
4. Realizzazione della fondazione;
5. Scavo per la rampa di NV02 vicino al diaframma sul lato destro fino al livello di -6.61m
6. Attivazione azione sismica.

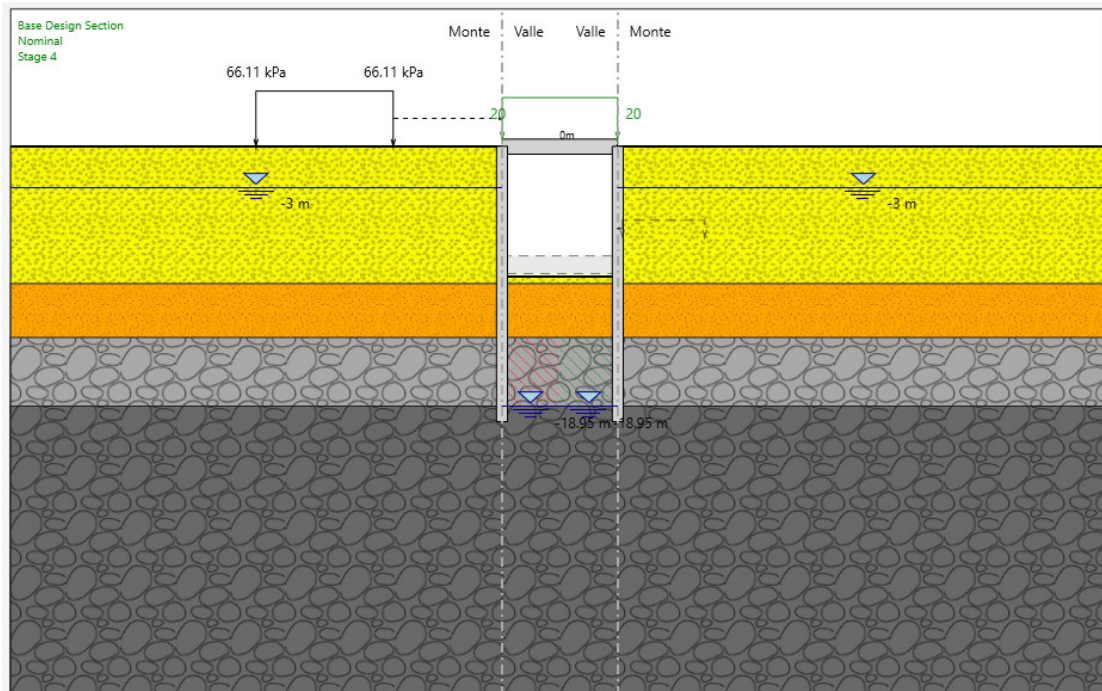
Di seguito si riportano gli estratti dei fasi di calcolo.



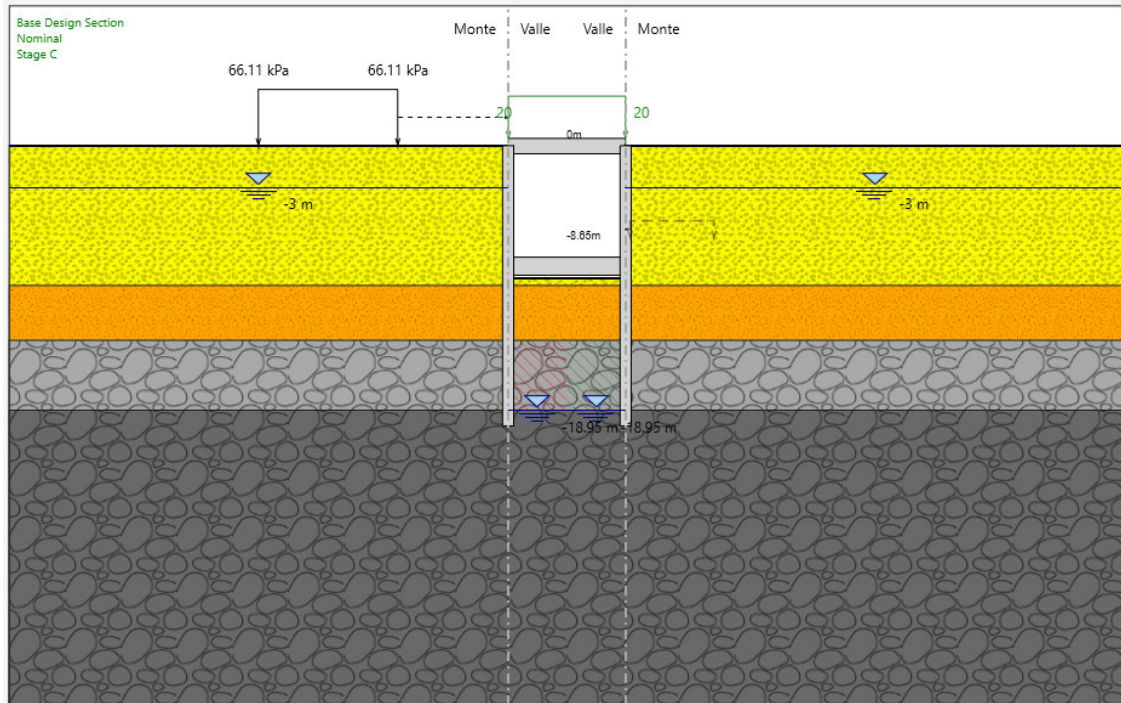
**Figura 8-11:** Inizializzazione geostatica;



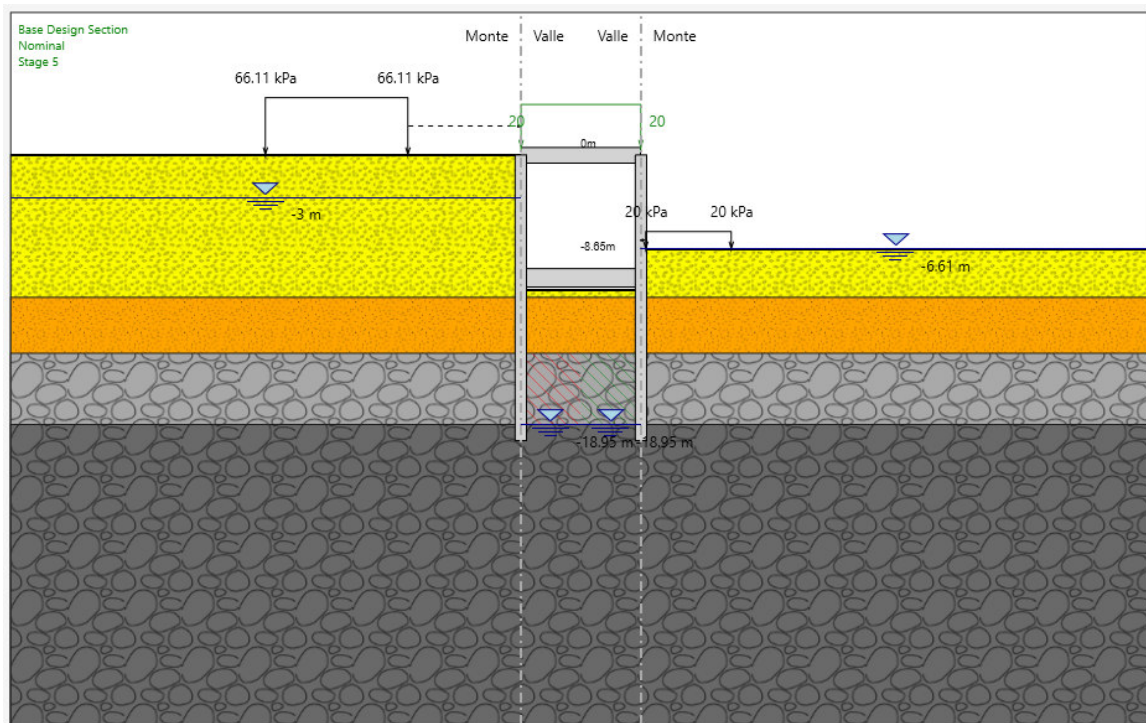
**Figura 8-12: Fase 1** – Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting \*), del diaframma, della soletta superiore, carico del ferrovia esistente(\*\*) e riempimento (\*\*\*)



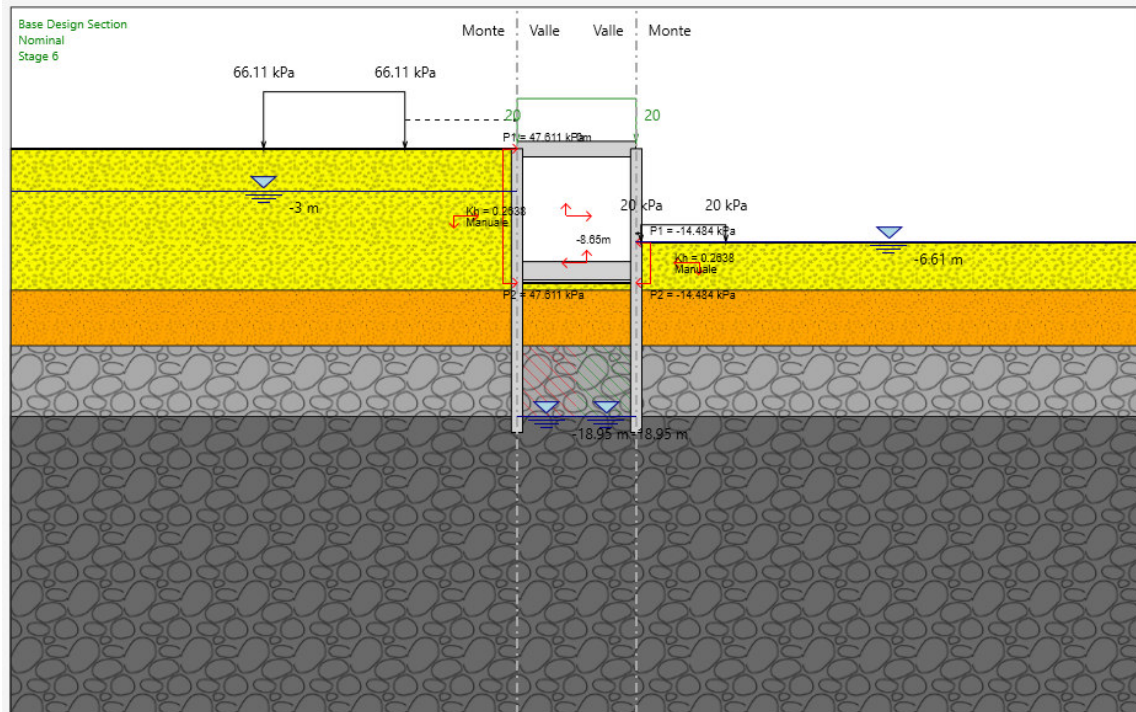
**Figura 8-13: Fase 2** – Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m;



**Figura 8-14: Fase 3 - Realizzazione della fondazione;**



**Figura 8-15: Fase 4 - Scavo per la rampa di NV02 vicino al diaframma sul lato destro fino al livello di -6.61m**



**Figura 8-16: Fase 5 - Attivazione azione sismica.**

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 46 di 104

Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

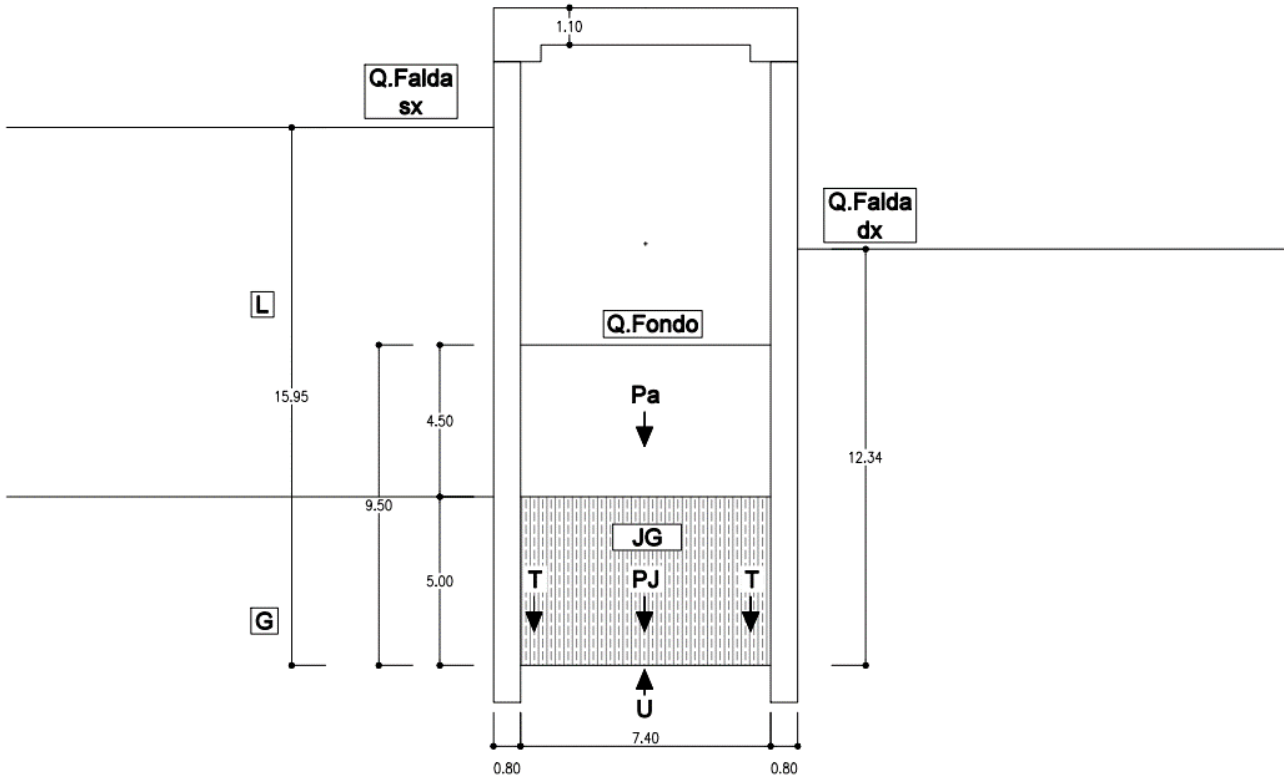


Figura 8-17 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

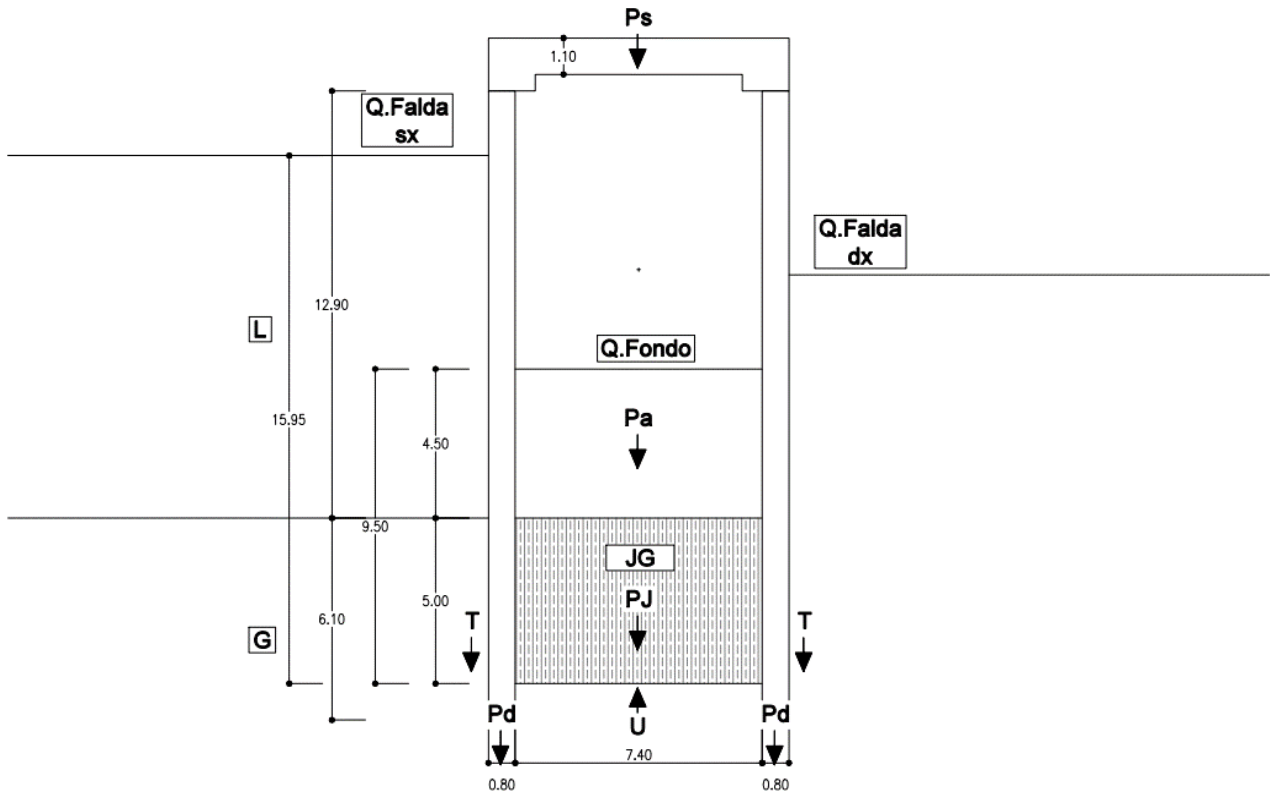


Figura 8-18 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	48 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PARATIE.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PARATIE è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (9,50 \times 10 + (9,50 - 5,0) \times 10) \times 5/2 = 350 \text{ kN/m}$$

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia (37°).

**Argilla**

$$T = t_a \times L$$

$$t_a = \alpha \times c_u$$

$c_u$  = coesione non drenata, pari a 80 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$t_a = 75 \times 0.35 = 28 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 5.



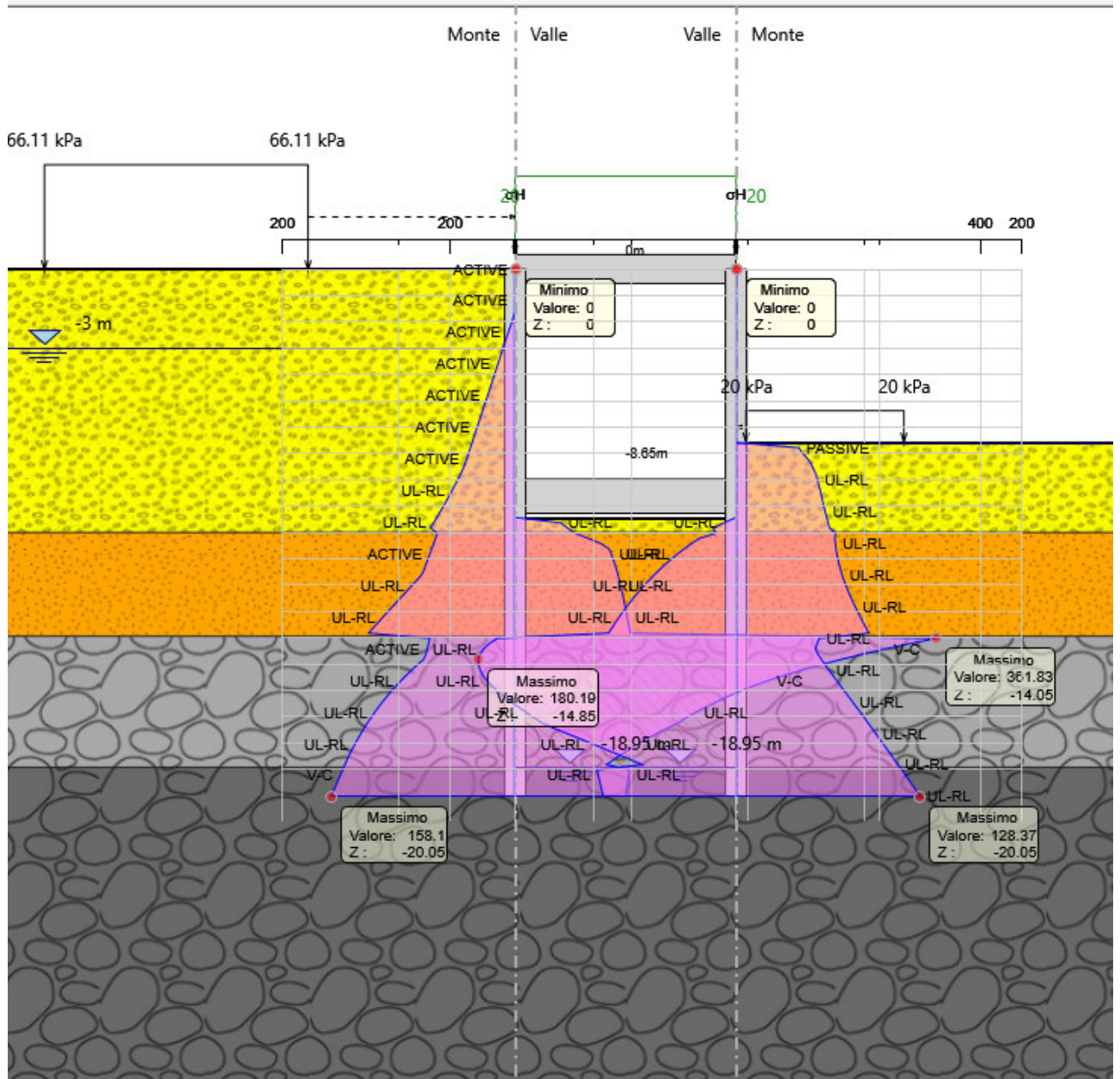


Figura 8-19 Le spinte dei terreni orizzontali

Il valore di tensione minimo è di 74 kPa per il lato interno.

Il valore di tensione minimo è 58 kPa per il lato esterno.

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	50 di 104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 51 di 104

Verifica a sollevamento. Interna			
GA02			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	14,15	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	9,50	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	4,50	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>632,70</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1046,73</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	28,00	kPa
Tratto agente attrito argille	L	4,50	m
<b>Resistenza di attrito argilla-diaframma</b>	<b>Ta</b>	<b>126,00</b>	<b>kN/m</b>
tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	74,00	kPa
Spinta orizzontale totale tratto in jet grouting	F	370,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua tratto in jet grouting	W	350,00	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b>Tj=(F-W)<math>\delta</math></b>	<b>15,07</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>Resistenza totale di attrito interna</b>	<b>T=2(Ta+Tj)</b>	<b>282,14</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(Pj+2T+Pa)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>1,26</b>	

Figura 8-20 Sollevamento interno

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO


TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 52 di 104

Verifica a sollevamento. Esterna			
GA02			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	14,15	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	4,50	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>632,70</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1273,05</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	12,90	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	338,63	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	58,00	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	6,10	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	353,80	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	266,61	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1210,46</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	0,80	m
Lunghezza diaframmi	L	19,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>760,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,10	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>247,50</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(Pj+Pa+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>2,28</b>	

Figura 8-21 Sollevamento interno

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO RHGE00003	REV A

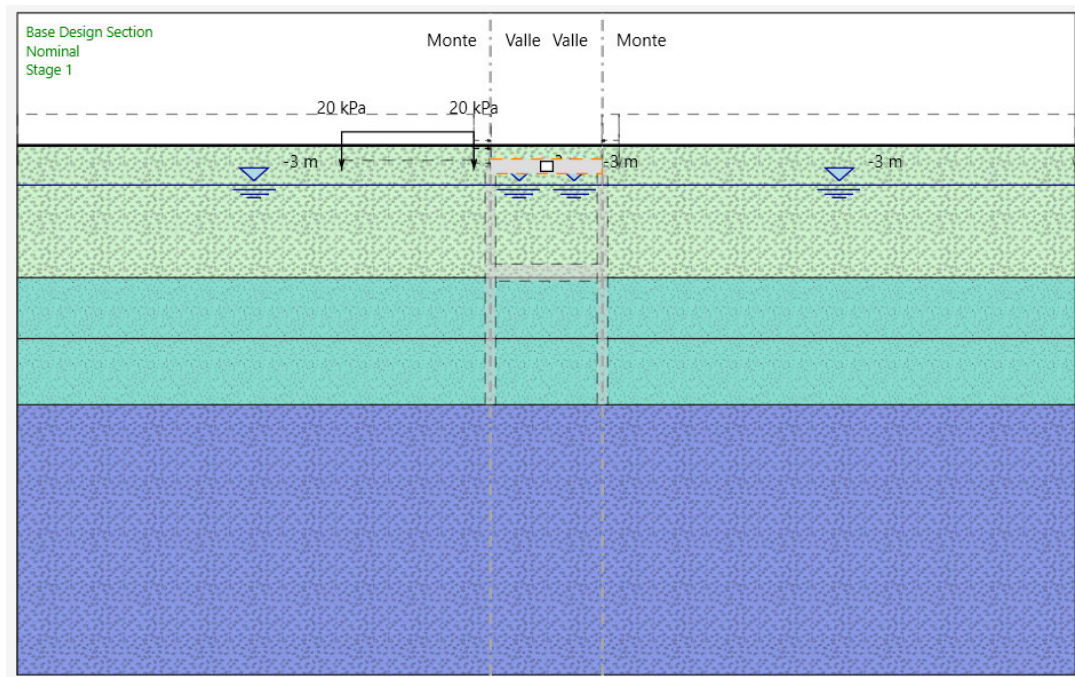
### 8.3 Verifica a sollevamento per GA04

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PARATIE.

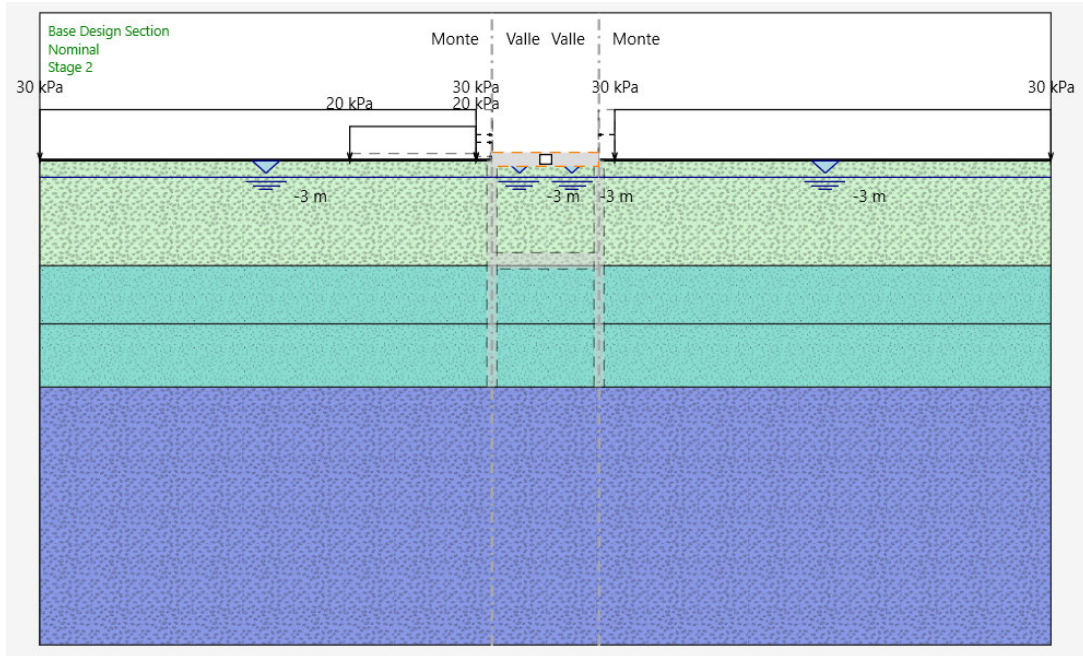
Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PARATIE, sono di seguito riportate:

1. Inizializzazione geostatica;
2. Scavo fino a quota -1.6m;
3. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore;
4. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -10.50m;
5. Realizzazione della fondazione e riempimento;
6. Attivazione azione sismica.

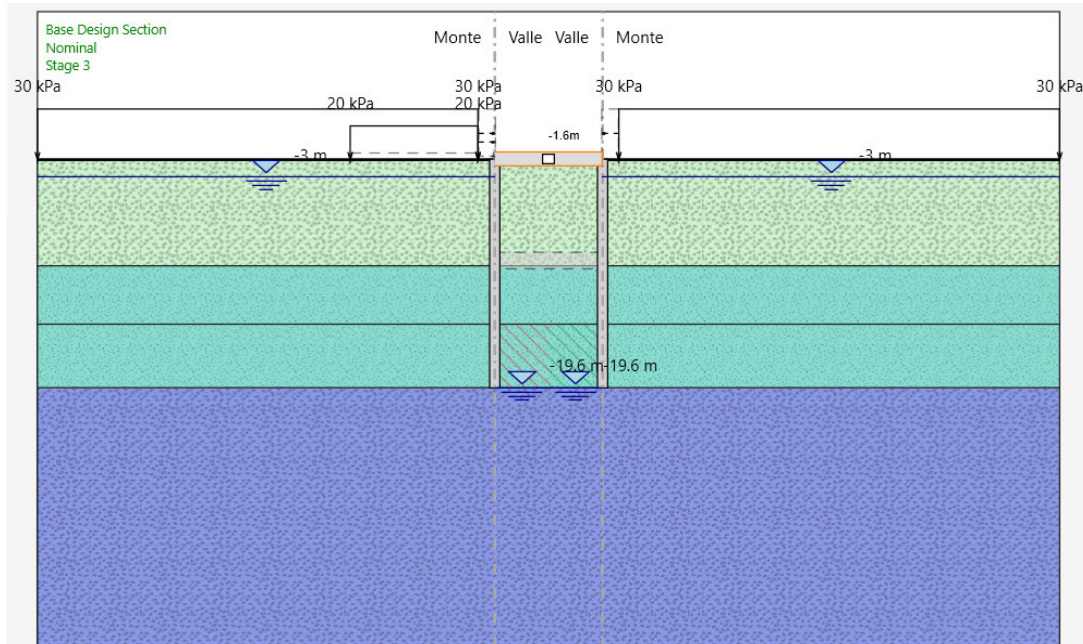
Di seguito si riportano gli estratti dei fasi di calcolo.



**Figura 8-22:** Inizializzazione geostatica;



**Figura 8-23 Fase 2 – Scavo fino a quota -1.6m;**



**Figura 8-24 Fase 3 – Realizzazione del tappo di fondo, del diaframma e della soletta superiore**

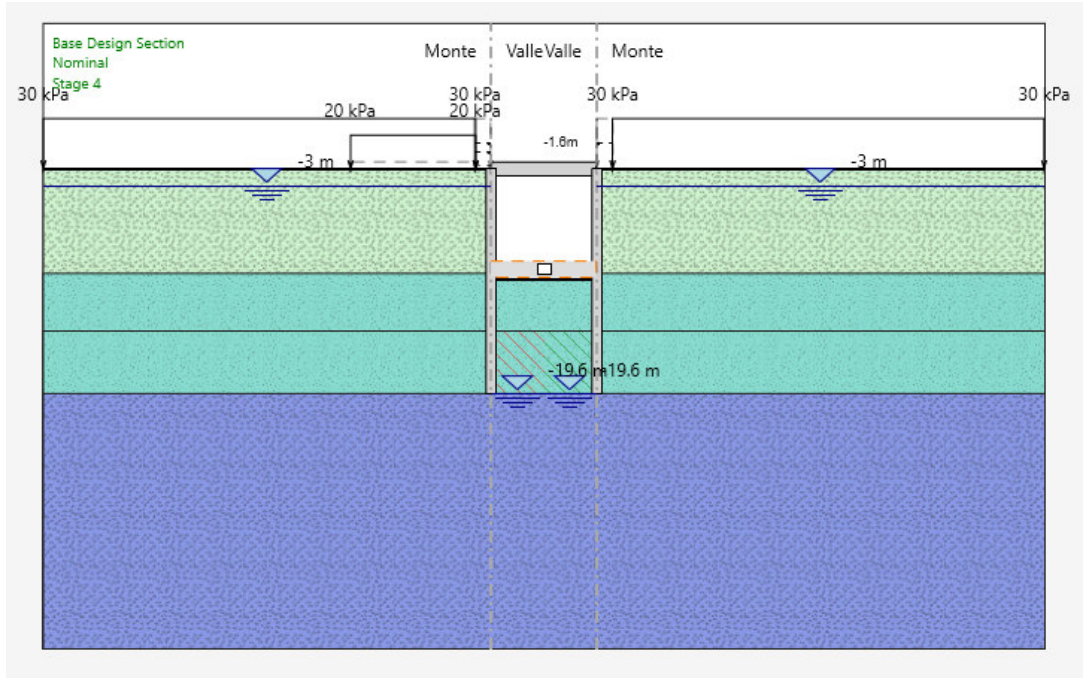


Figura 8-25 Fase 4 - Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -10.50m

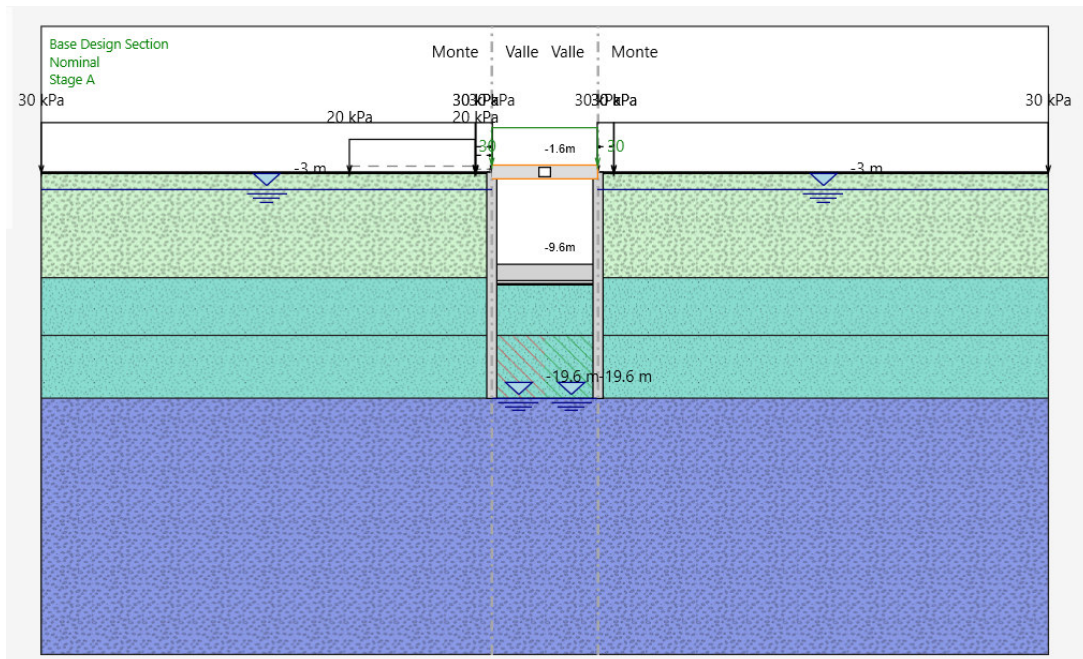
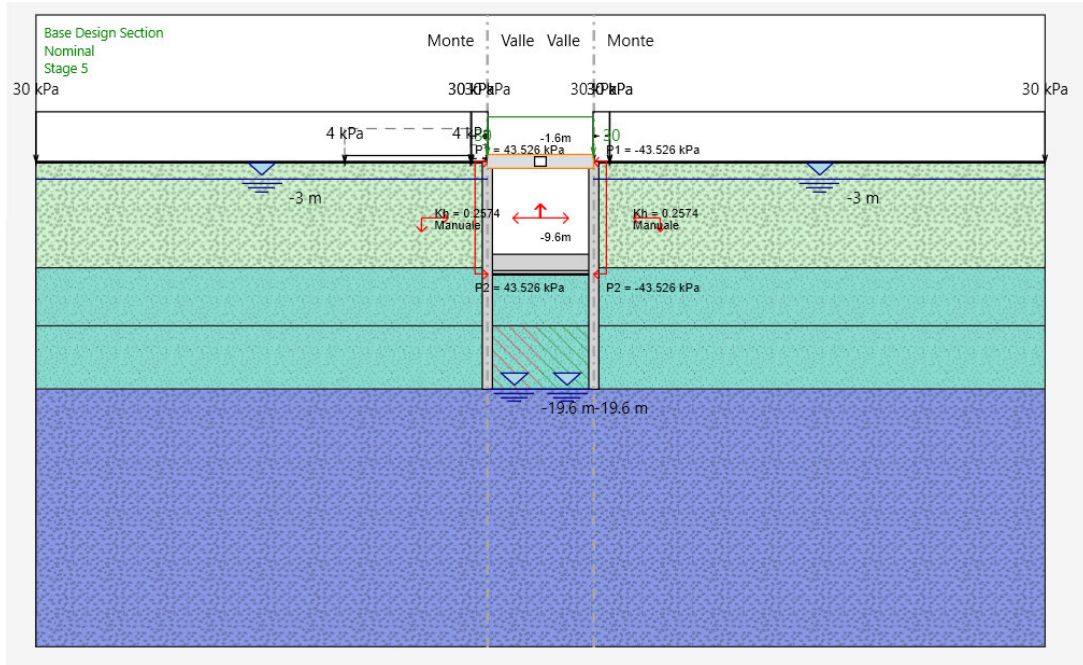


Figura 8-26 Fase 5 - Realizzazione della fondazione e riempimento



**Figura 8-27 Fase 6 - Attivazione azione sismica**



Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

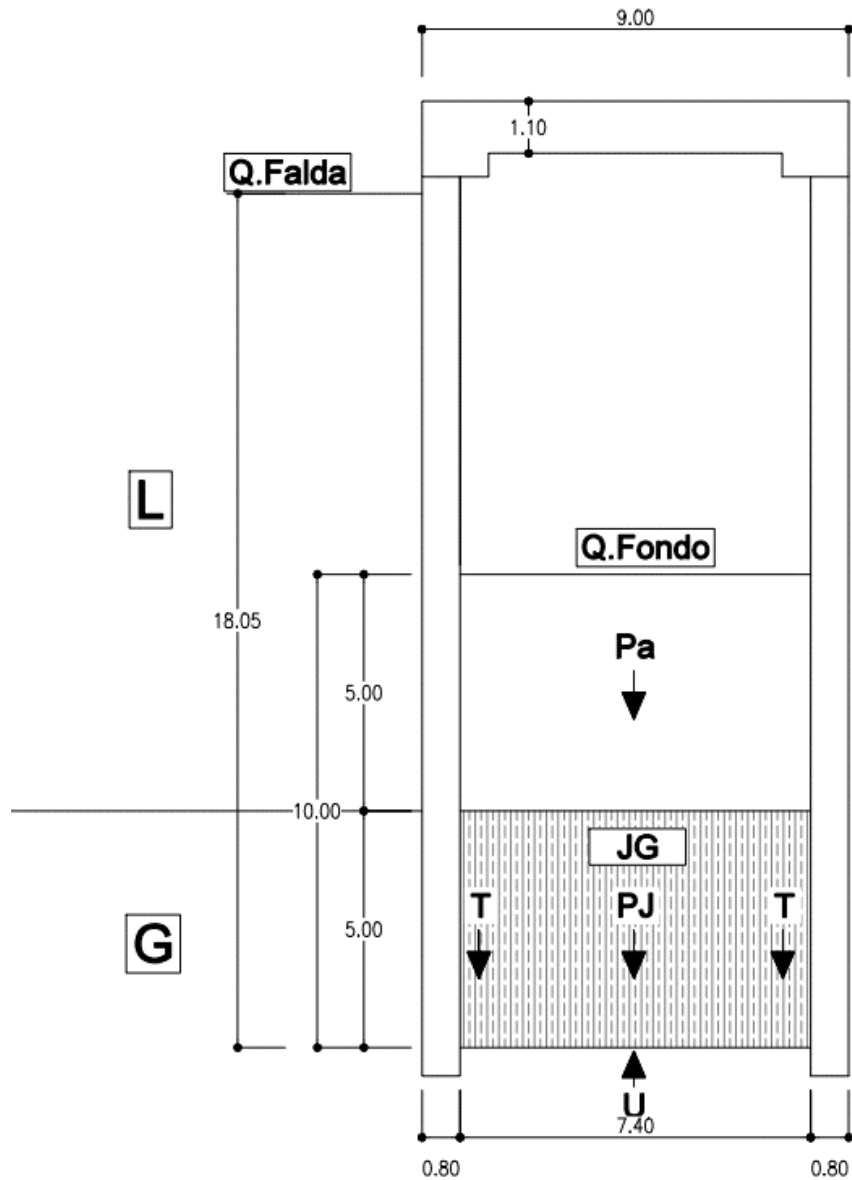


Figura 8-28 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

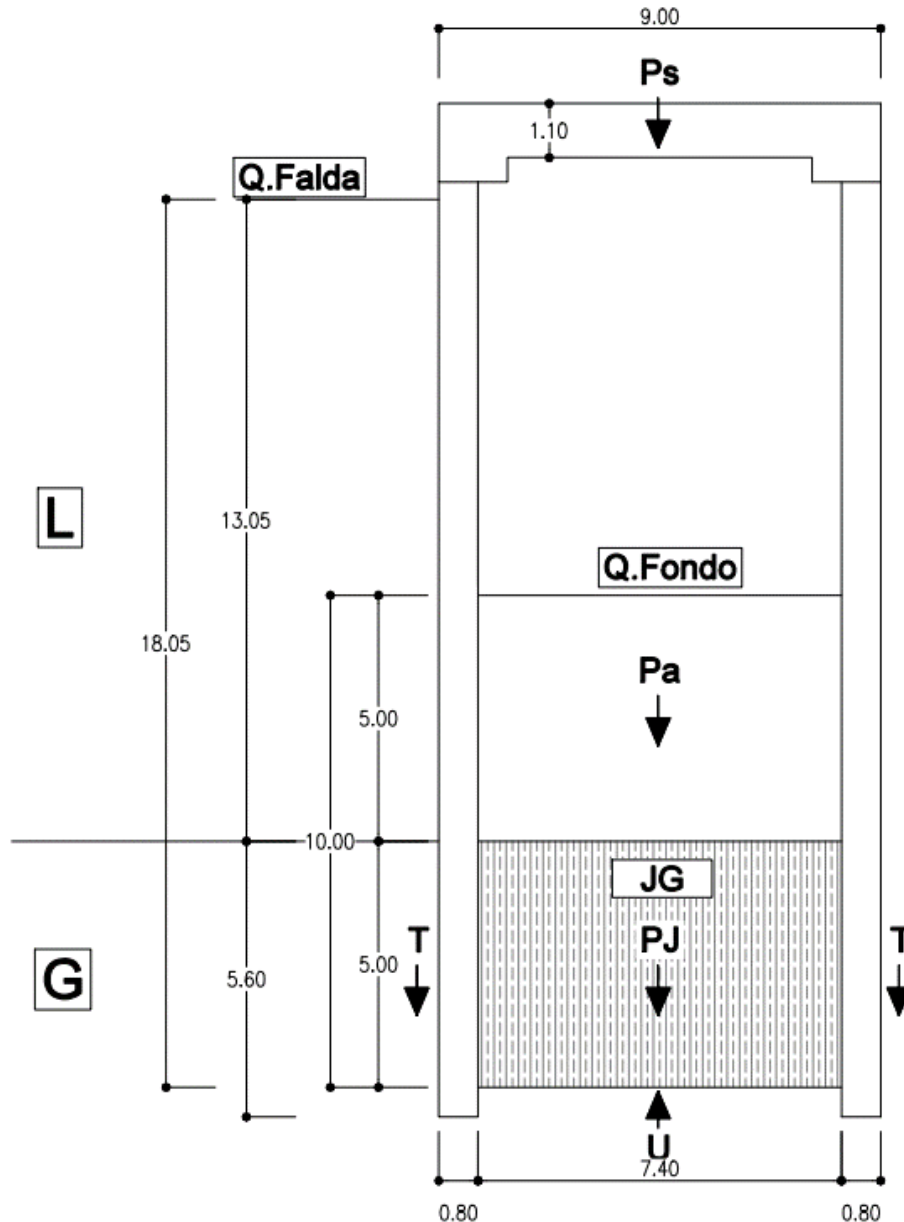


Figura 8-29 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	59 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PARATIE.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PARATIE è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (10,0 \times 10 + (10,0 - 5,0) \times 10) \times 5/2 = 375 \text{ kN/m}$$

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia (37°).

**Argilla**

$$T = t_a \times L$$

$$t_a = \alpha \times c_u$$

$c_u$  = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$t_a = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 5.

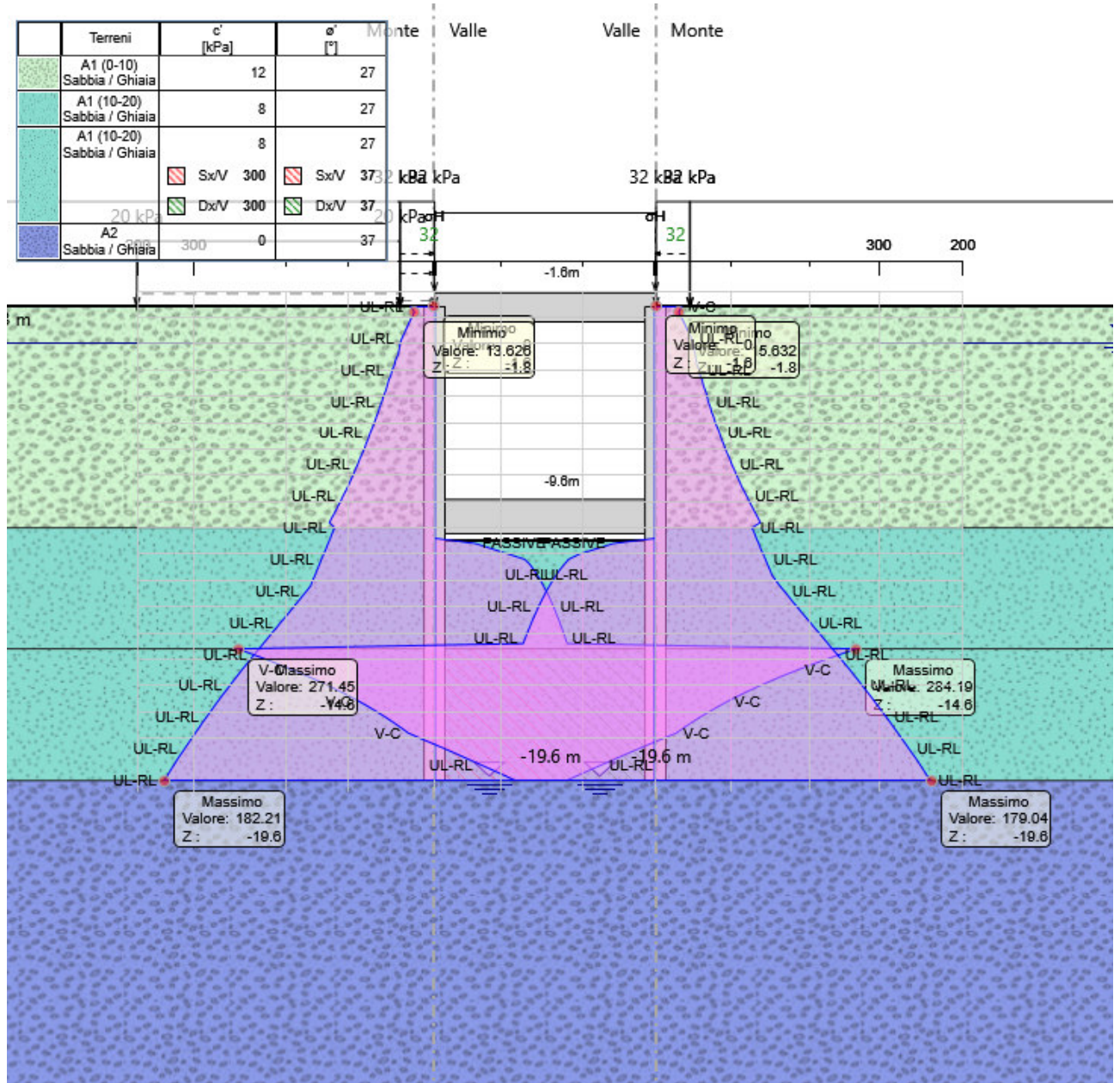


Figura 8-30 Le spinte dei terreni orizzontali

Il valore di tensione minimo è di 91 kPa per il lato interno.

Il valore di tensione minimo è 118 kPa per il lato esterno.

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	61 di 104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	62 di 104

Verifica a sollevamento. Interna GA04			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	18,05	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	10,00	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	5,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1335,70</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	5,00	m
<b>Resistenza di attrito argilla-diaframma</b>	<b>Ta</b>	<b>131,25</b>	<b>kN/m</b>
tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	110,00	kPa
Spinta orizzontale totale tratto in jet grouting	F	550,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua tratto in jet grouting	W	375,00	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b>Tj=(F-W)<math>\delta</math></b>	<b>131,87</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>Resistenza totale di attrito interna</b>	<b>T=2(Ta+Tj)</b>	<b>526,24</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(Pj+2T+Pa)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>1,18</b>	

Figura 8-31 Sollevamento interno

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 63 di 104

Verifica a sollevamento. Esterna			
GA04			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	18,05	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	5,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	7,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>703,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1624,50</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	13,05	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	342,56	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	118,00	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	5,60	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	660,80	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	497,95	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1681,02</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	0,80	m
Lunghezza diaframmi	L	19,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>760,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,10	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>247,50</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(Pj+Pa+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>2,06</b>	

Figura 8-32 Sollevamento interno

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

## 8.4 Verifica a sollevamento per GA05

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PARATIE.

Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PARATIE, sono di seguito riportate:

1. Scavo fino a quota -1.83m;
2. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore;
3. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -11.50m;
4. Realizzazione della fondazione e riempimento;
5. Attivazione azione sismica.

Di seguito si riportano gli estratti dei fasi di calcolo.

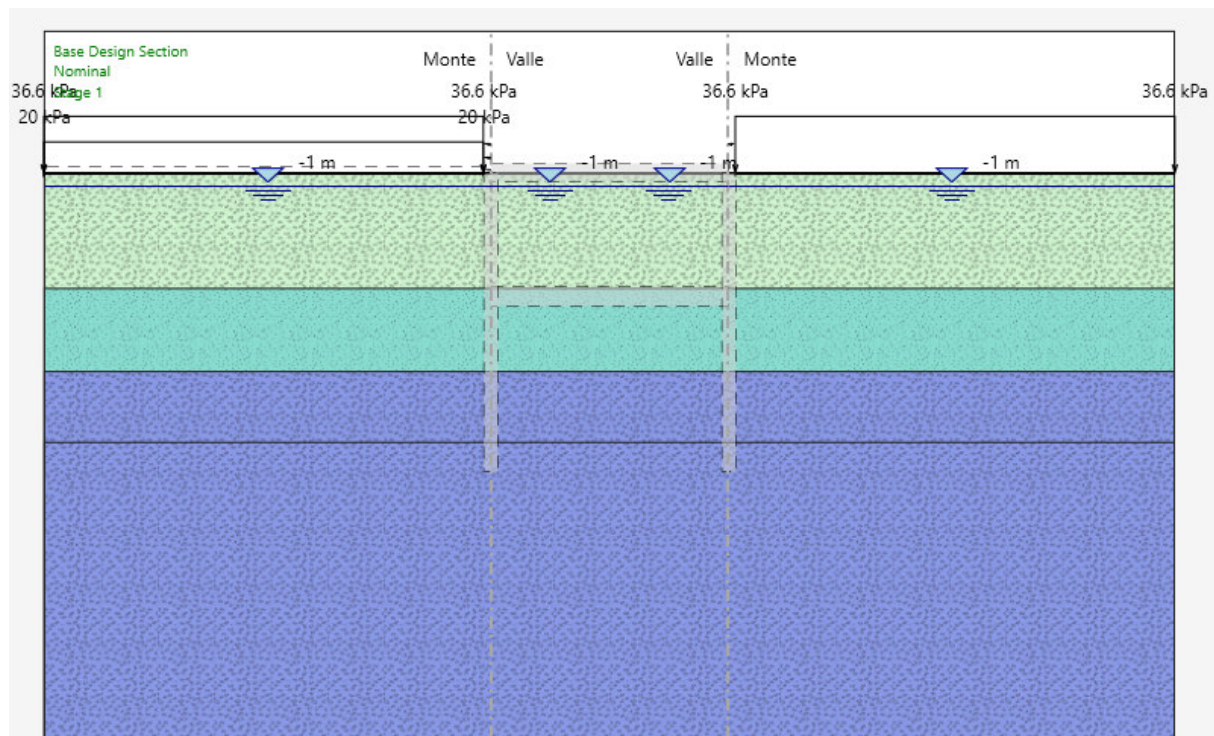
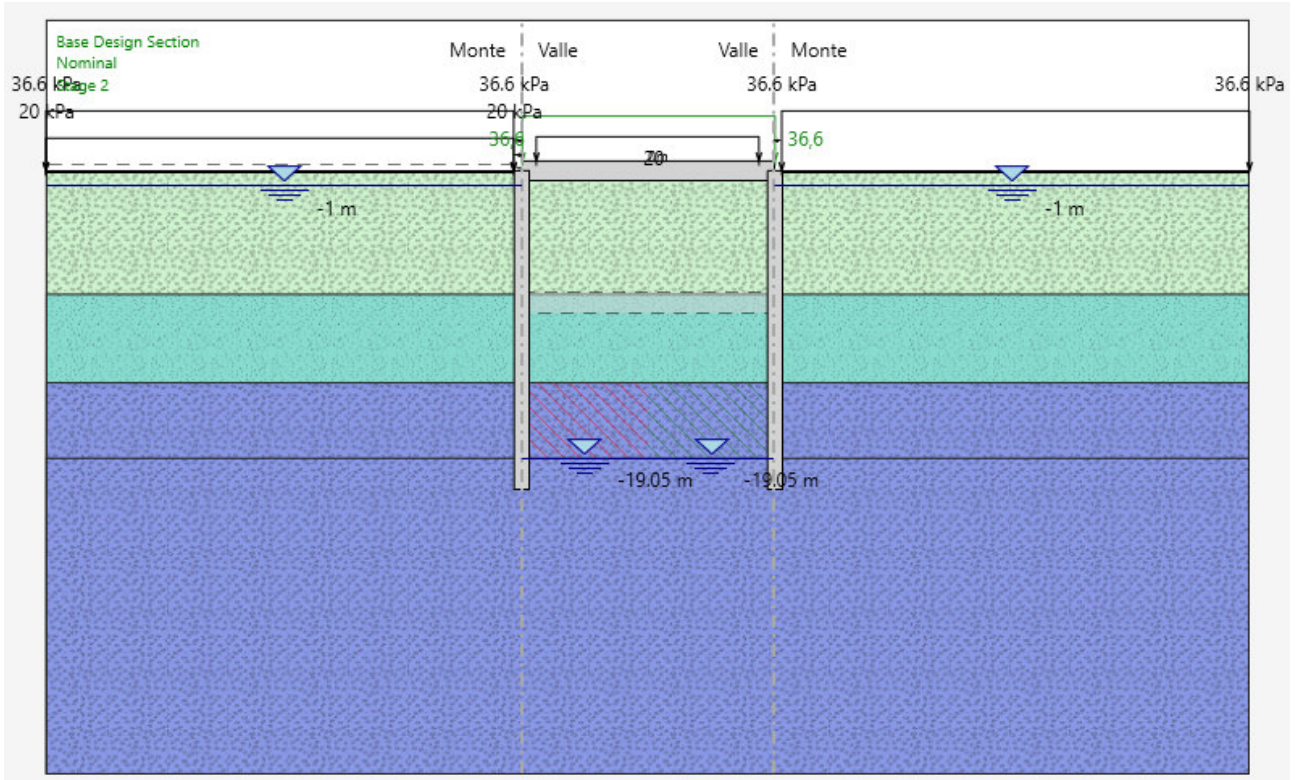
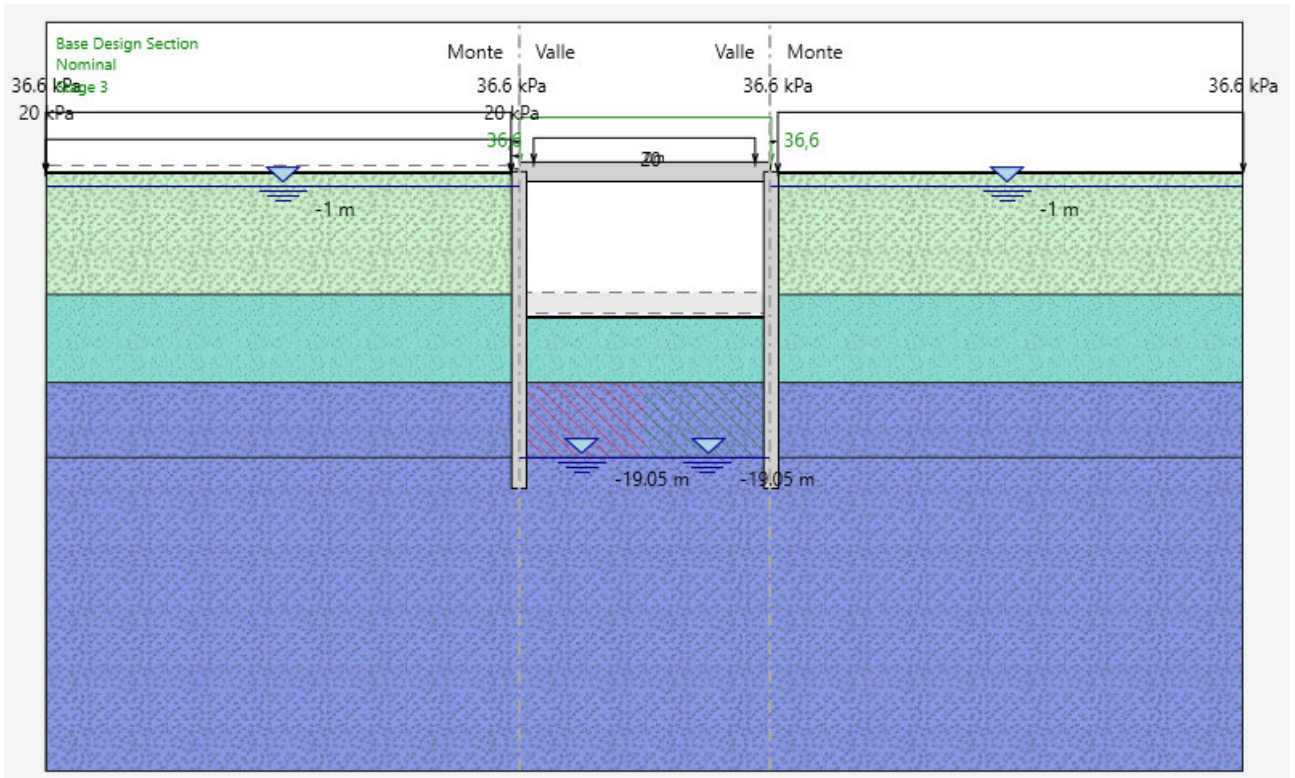


Figura 8-33 Fase 1 – Scavo fino a quota -1.8m;

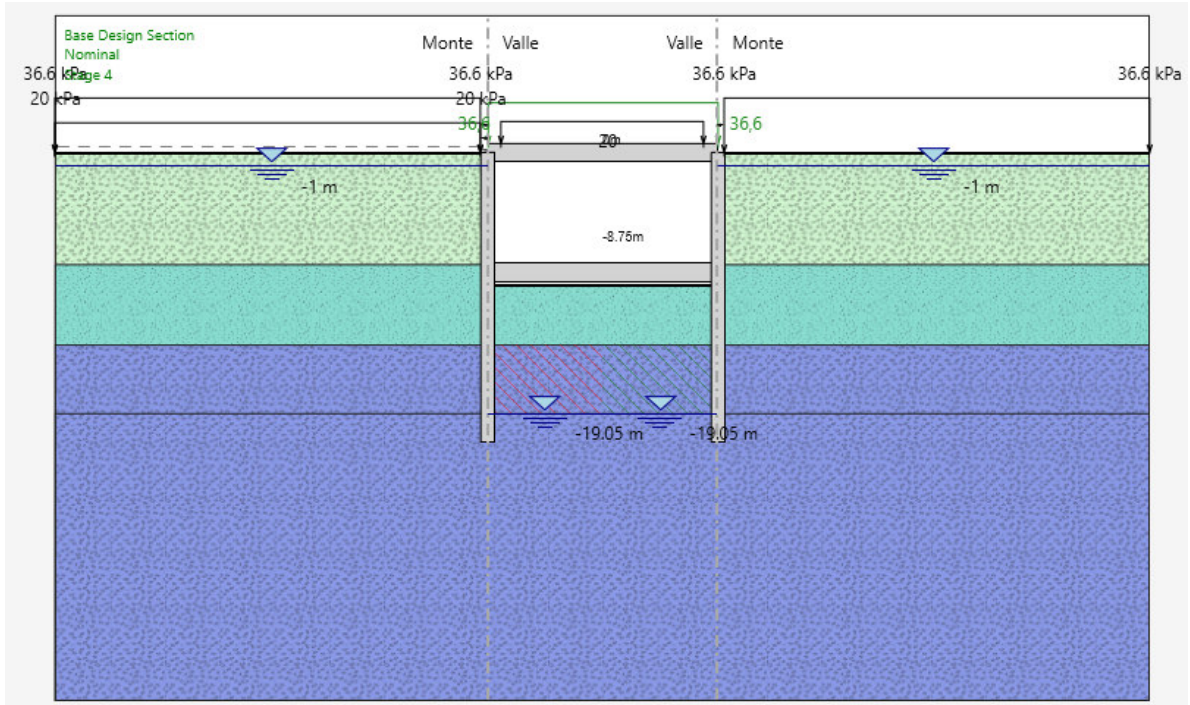




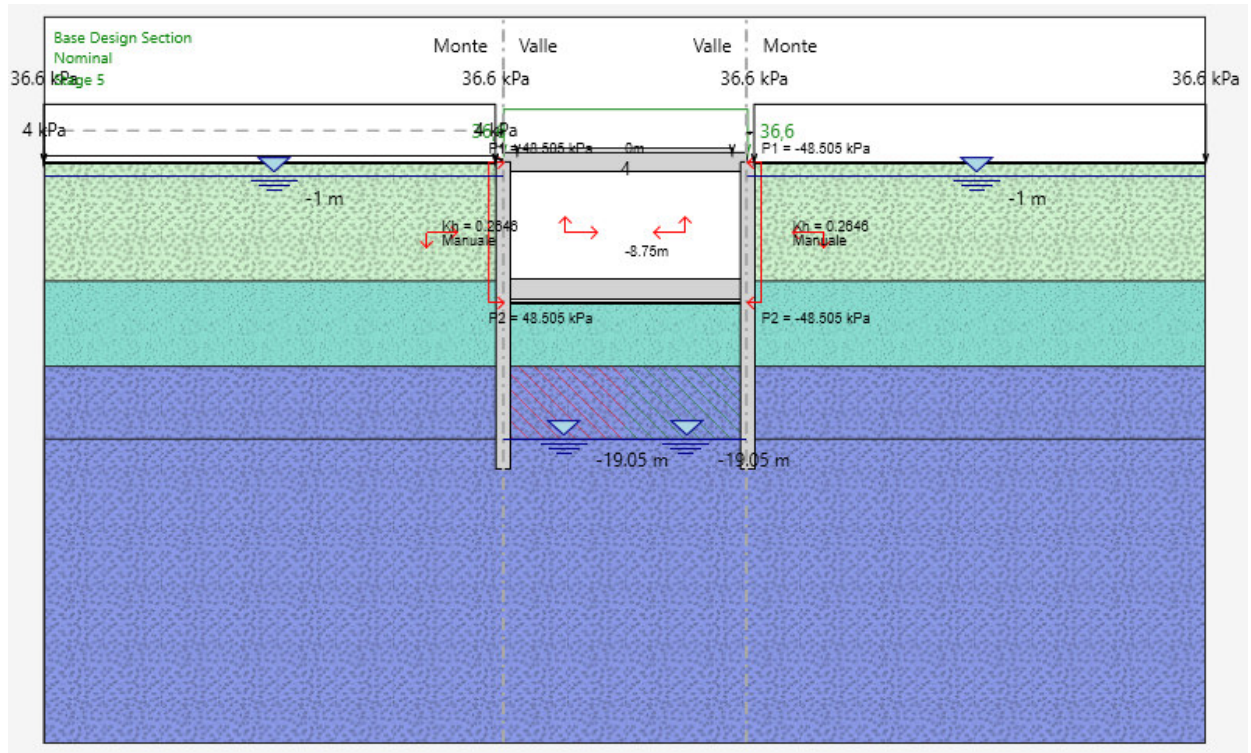
**Figura 8-34 Fase 2** Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore



**Figura 8-35 Fase 3** –Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -11.50m



**Figura 8-36 Fase 4 - Realizzazione della fondazione e riempimento**



**Figura 8-37 Fase 5 - Attivazione azione sismica**

Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

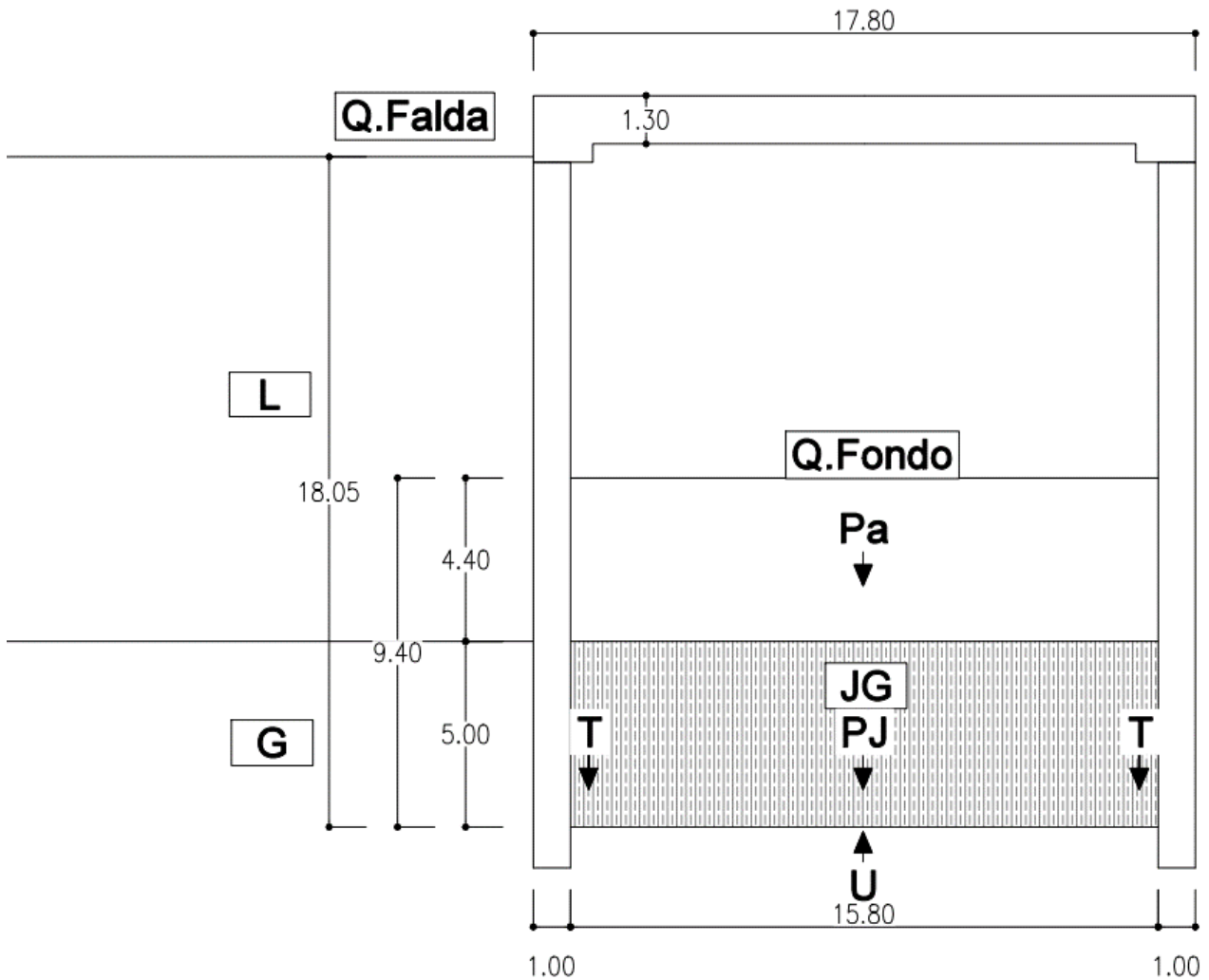


Figura 8-38 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

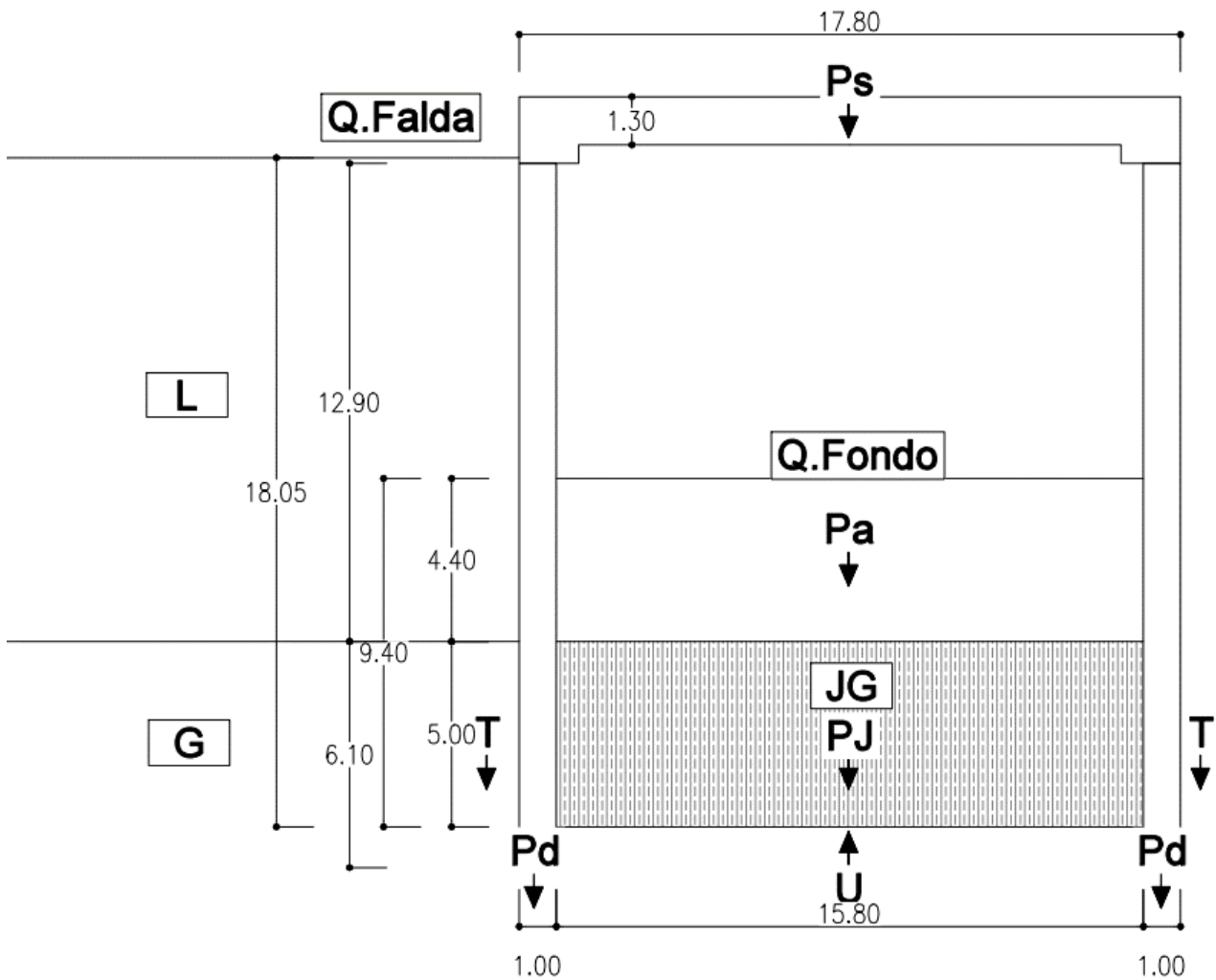


Figura 8-39 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	69 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PARATIE.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PARATIE è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (9,40 \times 10 + (9,40 - 5,0) \times 10) \times 5/2 = 345 \text{ kN/m}$$

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia (37°).

**Argilla**

$$T = t_a \times L$$

$$t_a = \alpha \times c_u$$

$c_u$  = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$t_a = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 4.

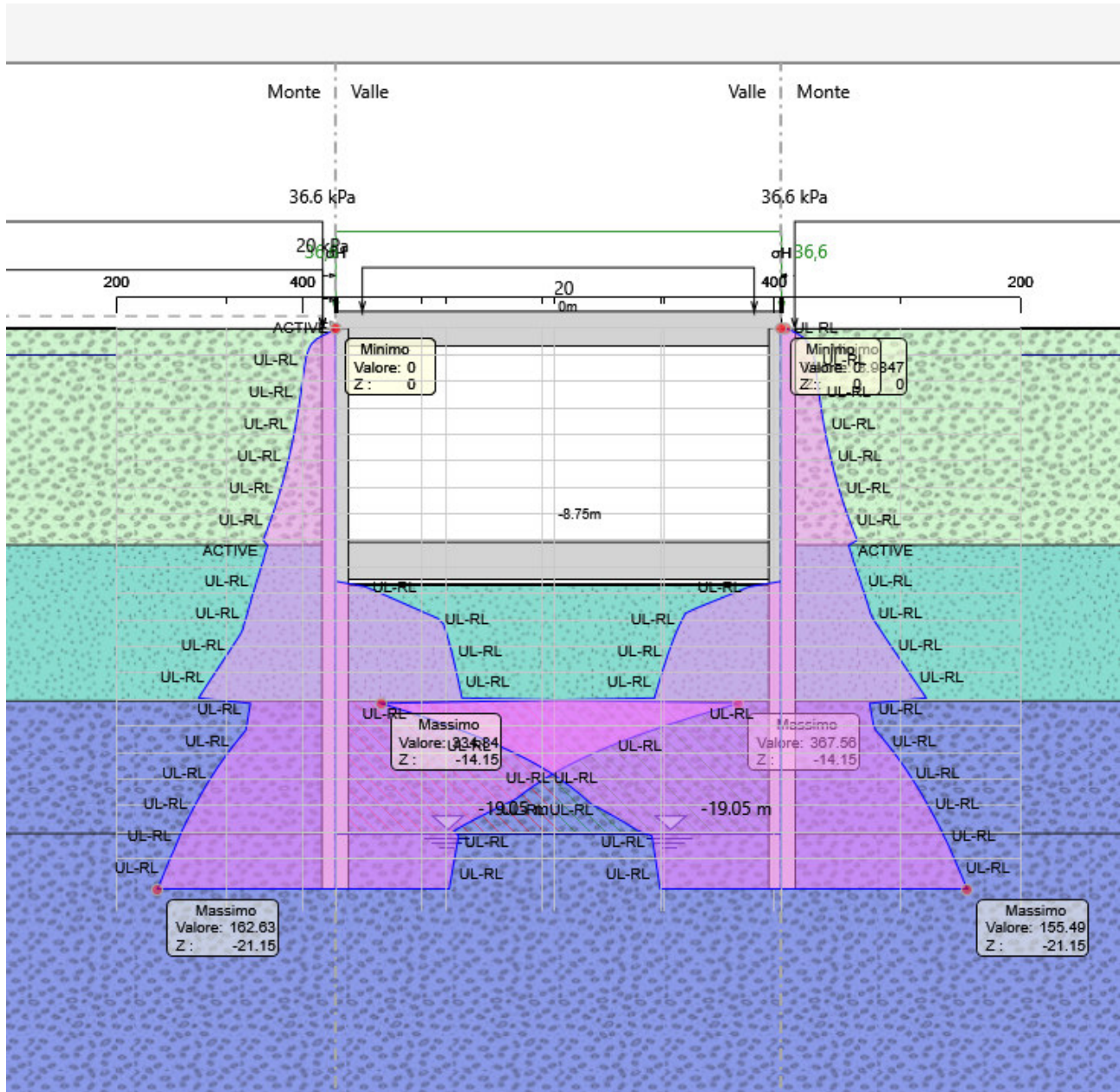


Figura 8-40 Le spinte dei terreni orizzontali

Il valore di tensione minimo è di 180 kPa per il lato interno.

Il valore di tensione minimo è 76 kPa per il lato esterno.

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
<b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	71 di 104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

**PROGETTO DEFINITIVO**
**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	72 di 104

<b>Verifica a sollevamento. Interna GA05</b>			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	18,05	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	9,40	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	4,40	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	15,80	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>1501,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>1320,88</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>2851,90</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	4,40	m
<b>Resistenza di attrito argilla-diaframma</b>	<b>Ta</b>	<b>115,50</b>	<b>kN/m</b>
tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	180,00	kPa
Spinta orizzontale totale tratto in jet grouting	F	900,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua tratto in jet grouting	W	345,00	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b>Tj=(F-W)<math>\delta</math></b>	<b>418,22</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>Resistenza totale di attrito interna</b>	<b>T=2(Ta+Tj)</b>	<b>1067,44</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(Pj+2T+Pa)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>1,12</b>	

**Figura 8-41 Sollevamento interno**



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 73 di 104

<b>Verifica a sollevamento. Esterna GA05</b>			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	18,05	m
Spessore argilla sopra jet grouting	spa	4,40	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting/argilla	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	15,80	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>1501,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Peso argilla sopra jet grouting</b>	<b>Pa</b>	<b>1320,88</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>3212,90</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	12,90	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	338,63	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	76,00	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	6,10	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	463,60	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	349,35	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1375,95</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	1,00	m
Lunghezza diaframmi	L	19,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>950,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,30	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>578,50</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(Pj+Pa+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>1,46</b>	

**Figura 8-42** Sollevamento interno

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO RHGE00003	REV A

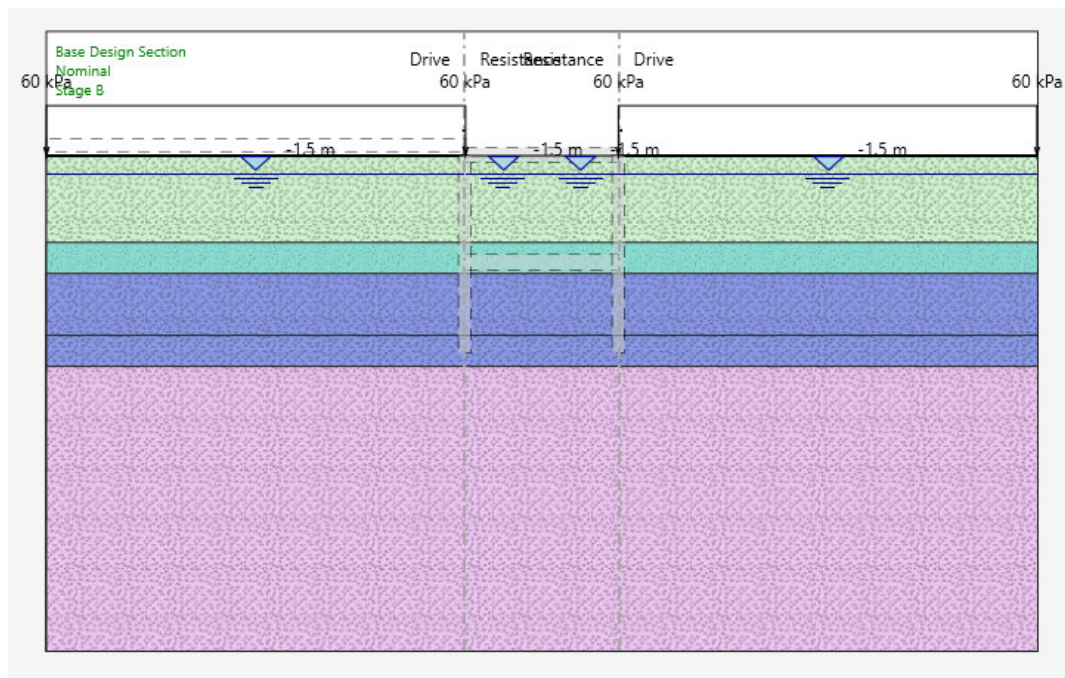
## 8.5 Verifica a sollevamento per GA06

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PARATIE.

Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PARATIE, sono di seguito riportate:

1. Inizializzazione geostatica;
2. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma, della soletta superiore, riempimento e della linea esistente;
3. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m;
4. Realizzazione della fondazione;
5. Attivazione azione sismica.

Di seguito si riportano gli estratti dei fasi di calcolo.



**Figura 8-43** Inizializzazione geostatica;

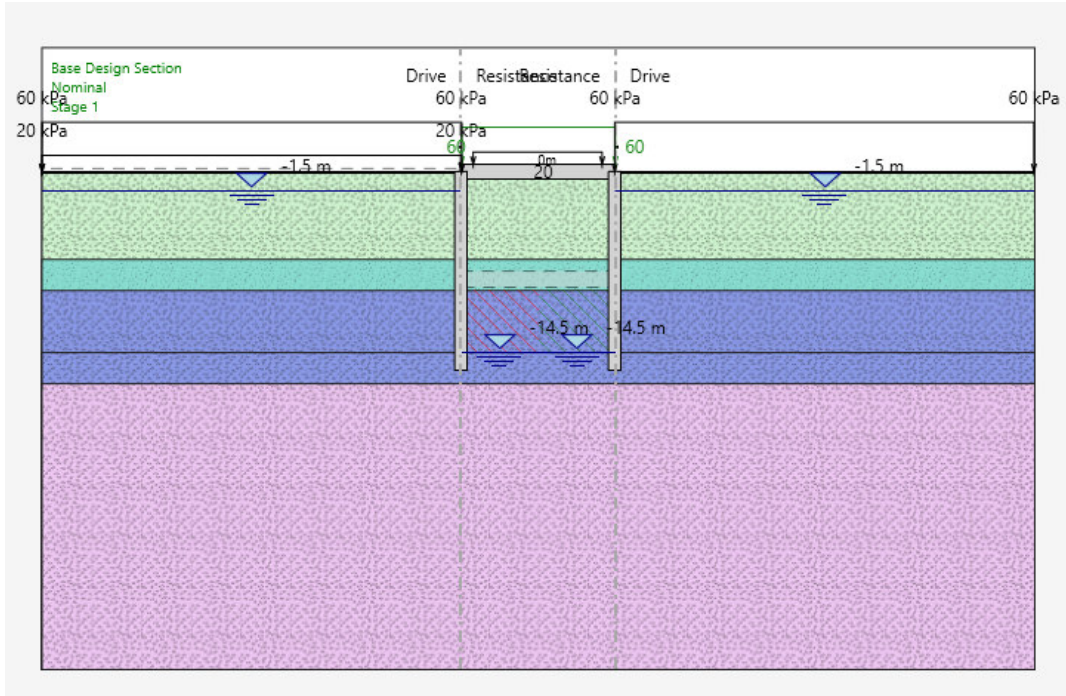


Figura 8-44 Realizzazione del tappo di fondo, del diaframma, della soletta superiore, riempimento e della linea esistente

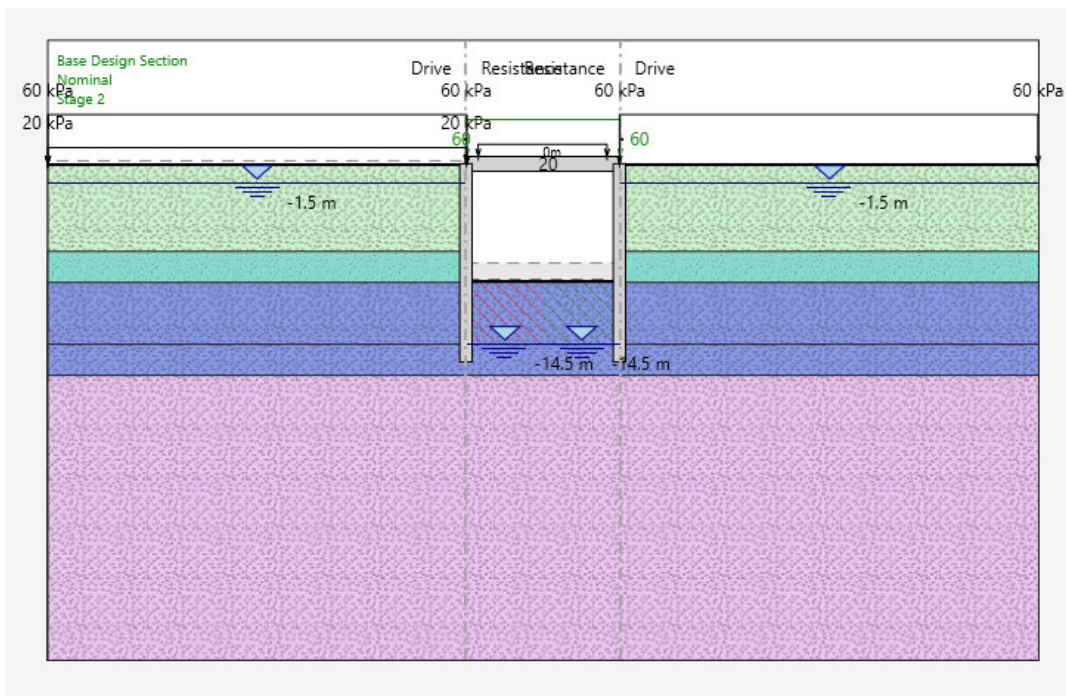


Figura 8-45 Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m

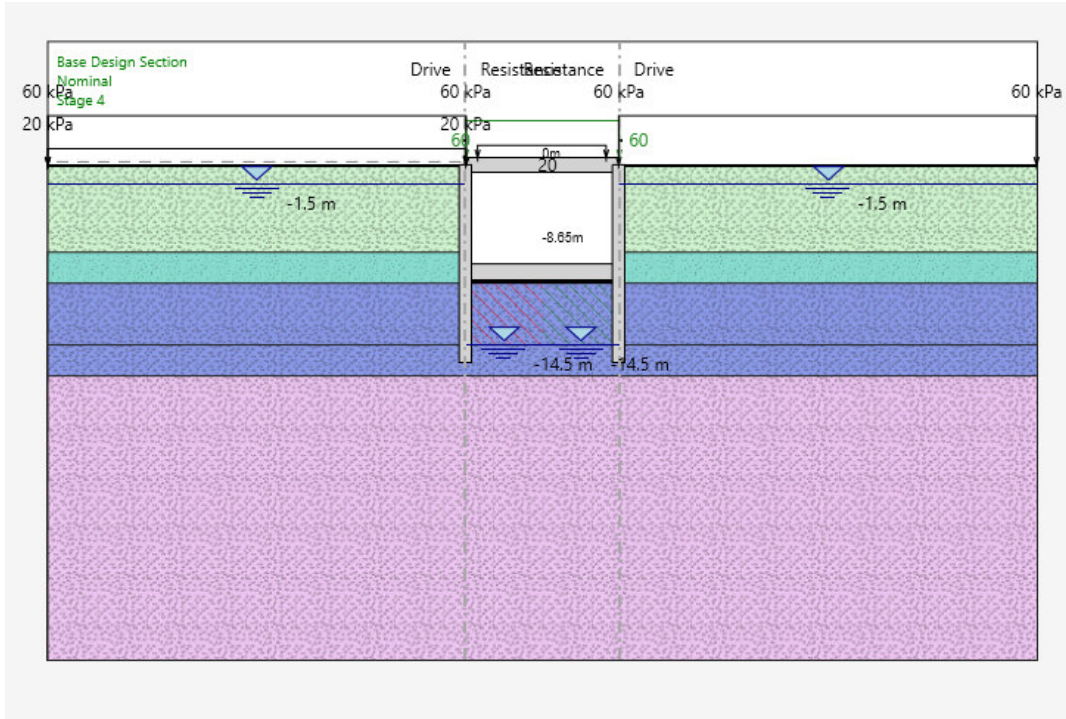


Figura 8-46 Realizzazione della fondazione

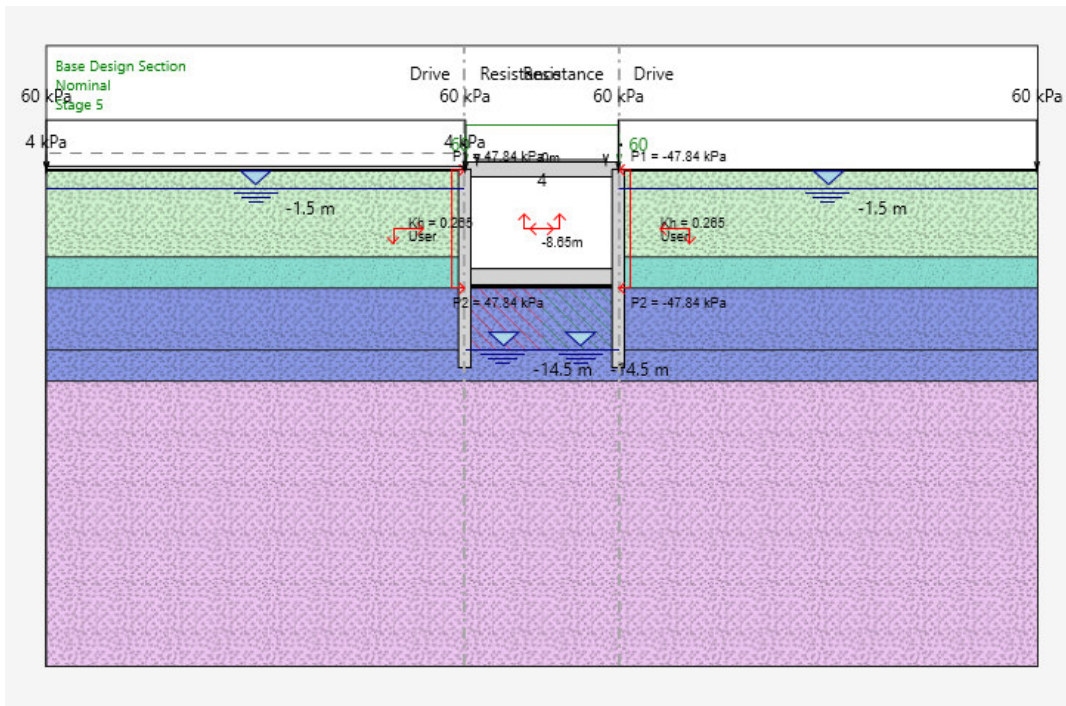


Figura 8-47 Fase 4 - Attivazione azione sismica

Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

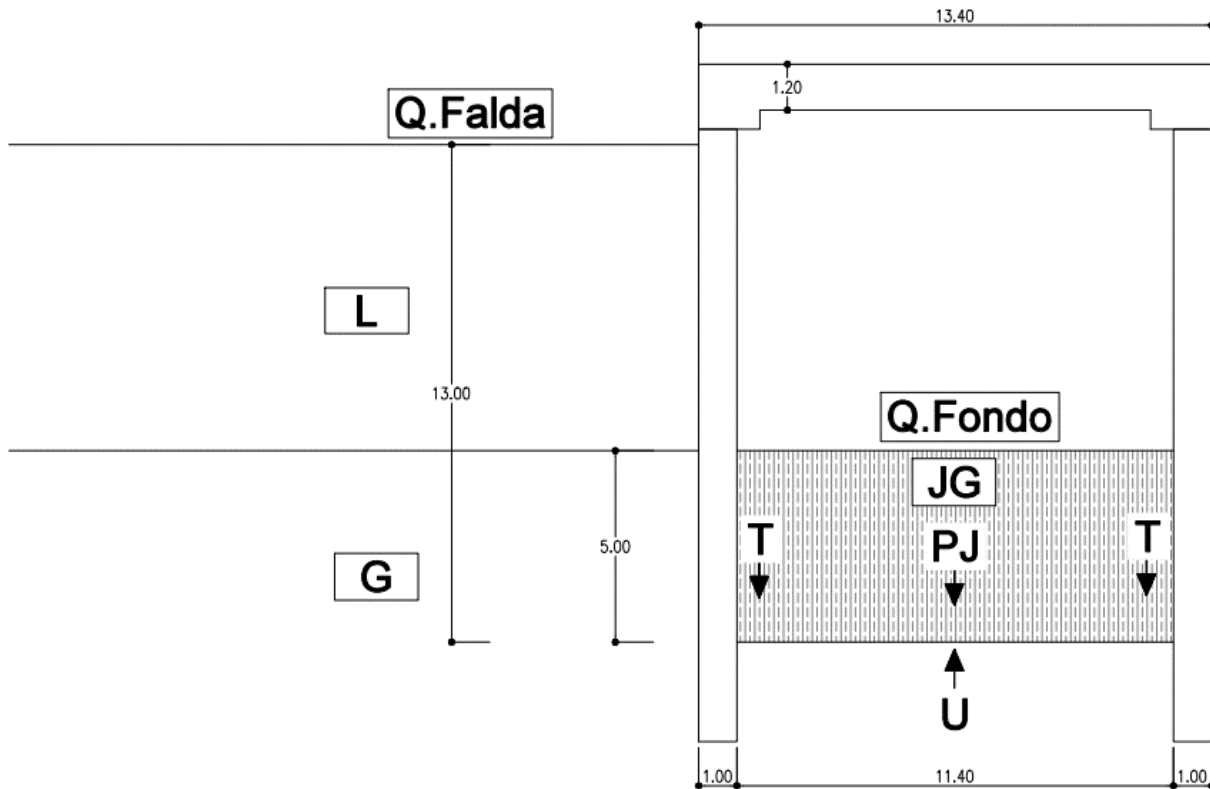


Figura 8-48 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

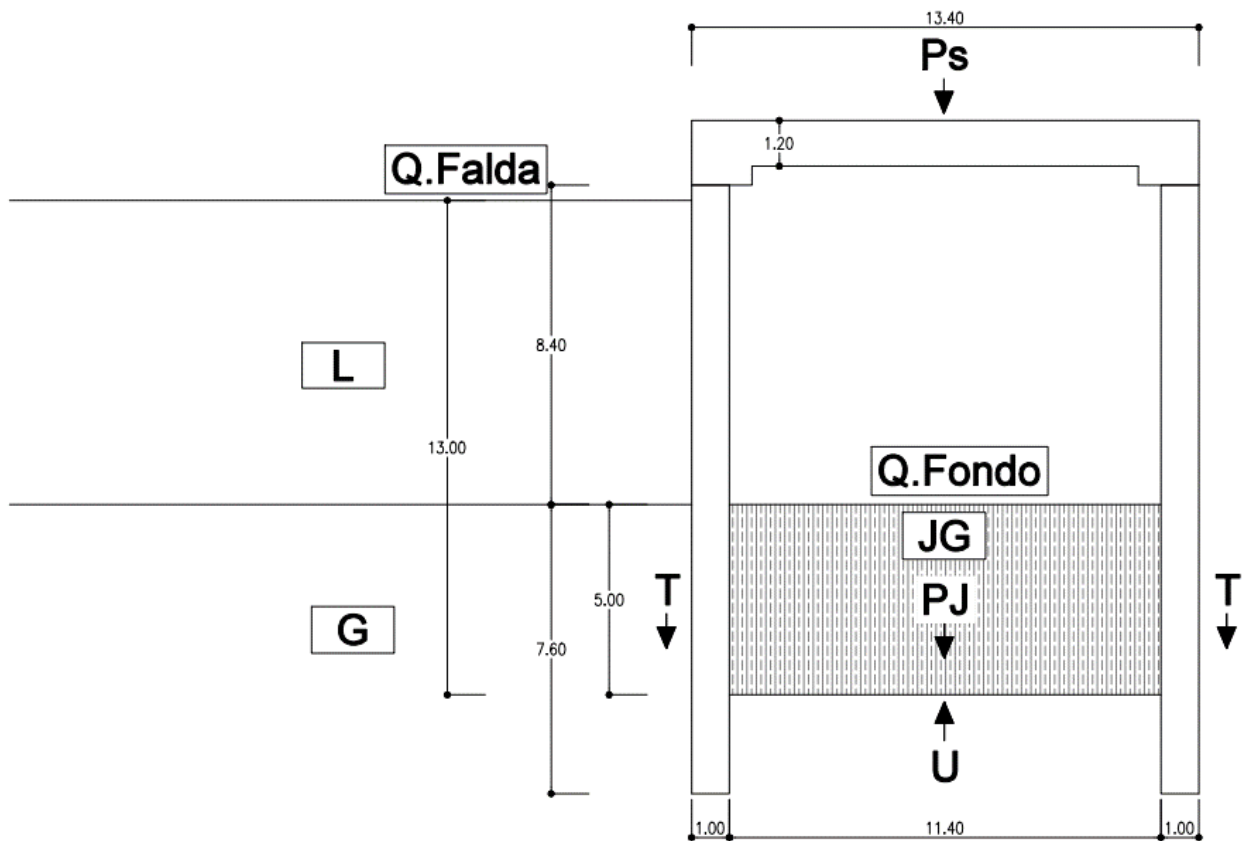


Figura 8-49 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	79 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PARATIE.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PARATIE è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (5,0 \times 10) \times 5/2 = 125 \text{ kN/m}$$

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia ( $37^\circ$ ).

**Argilla**

$$T = t_a \times L$$

$$t_a = \alpha \times c_u$$

$c_u$  = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$t_a = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 4.

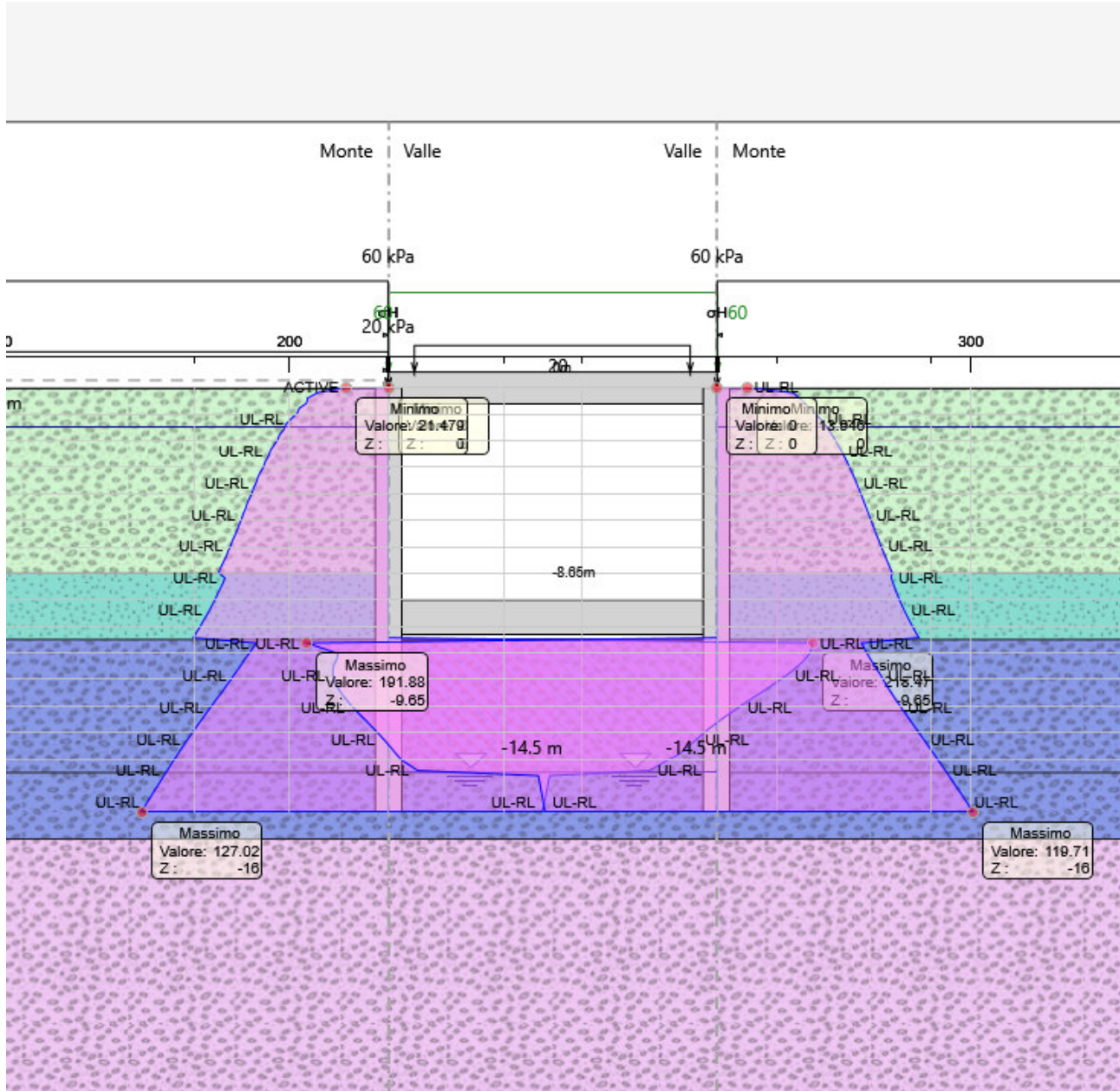


Figura 8-50 Le spinte dei terreni orizzontali

Il valore di tensione minimo è di 150 kPa per il lato interno.

Il valore di tensione minimo è 67 kPa per il lato esterno.



PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 81 di  
104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

Verifica a sollevamento. Interna			
GA06			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	13,00	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	5,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico tappo jet grouting	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	11,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>1083,00</b>	<b>kN</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1482,00</b>	<b>kN</b>
Tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	150,00	kPa
Tratto agente attrito jet diaframma	L	5,00	m
Spinta orizzontale totale su jet grouting	F	750,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua su jet grouting	W	125,00	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b><math>2T=2(F-W)\delta</math></b>	<b>941,94</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(P+2T)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>1,12</b>	

Figura 8-51 Sollevamento interno

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 83 di 104

<b>Verifica a sollevamento. Esterna</b>			
<b>GA06</b>			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	13,00	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	5,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	5,00	m
peso specifico jet grouting	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	11,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>1083,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1742,00</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	8,40	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	220,50	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	67,00	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	7,60	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	509,20	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	383,71	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1208,42</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	1,00	m
Lunghezza diaframmi	L	16,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>800,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,20	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>402,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(P+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>1,64</b>	

**Figura 8-52 Sollevamento interno**

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

## 8.6 Verifica a sollevamento per GA07

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PARATIE.

Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PARATIE, sono di seguito riportate:

1. Scavo fino a quota -1.0m;
2. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore;
3. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m;
4. Realizzazione della fondazione e riempimento;
5. Attivazione azione sismica.

Di seguito si riportano gli estratti dei fasi di calcolo.

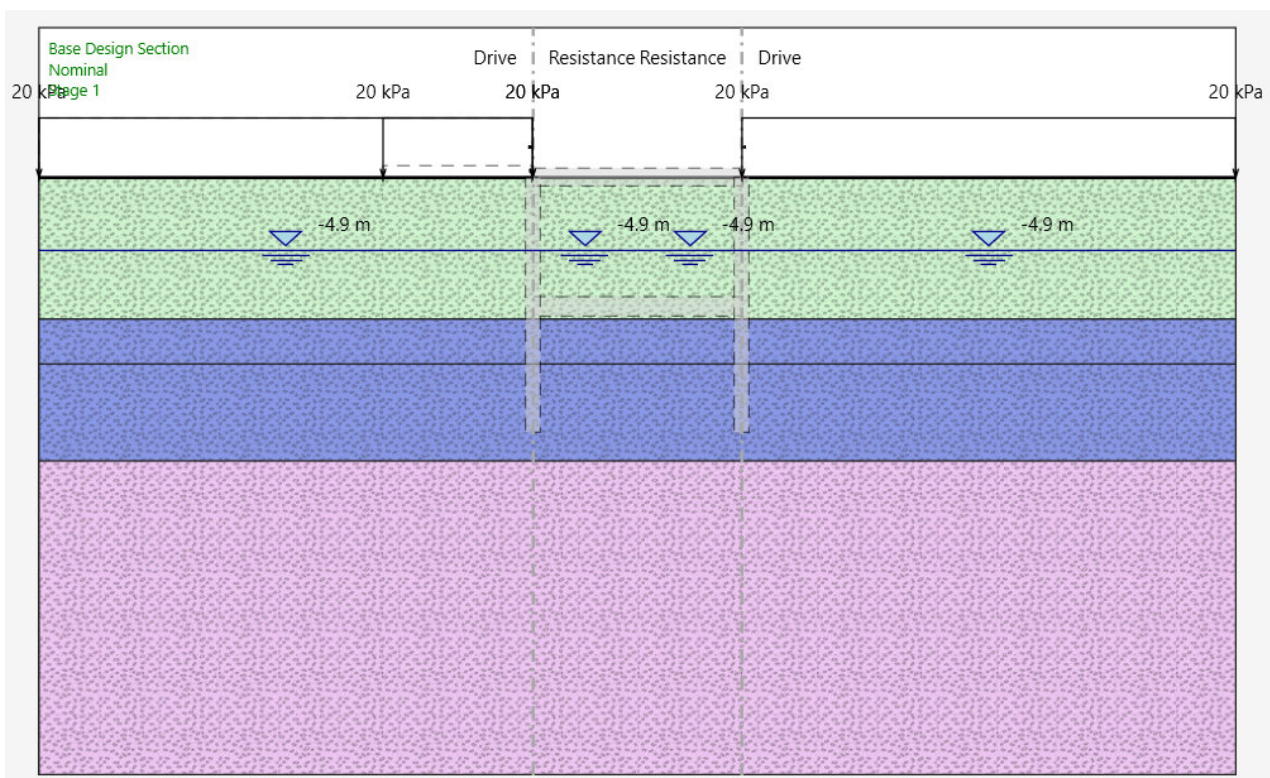
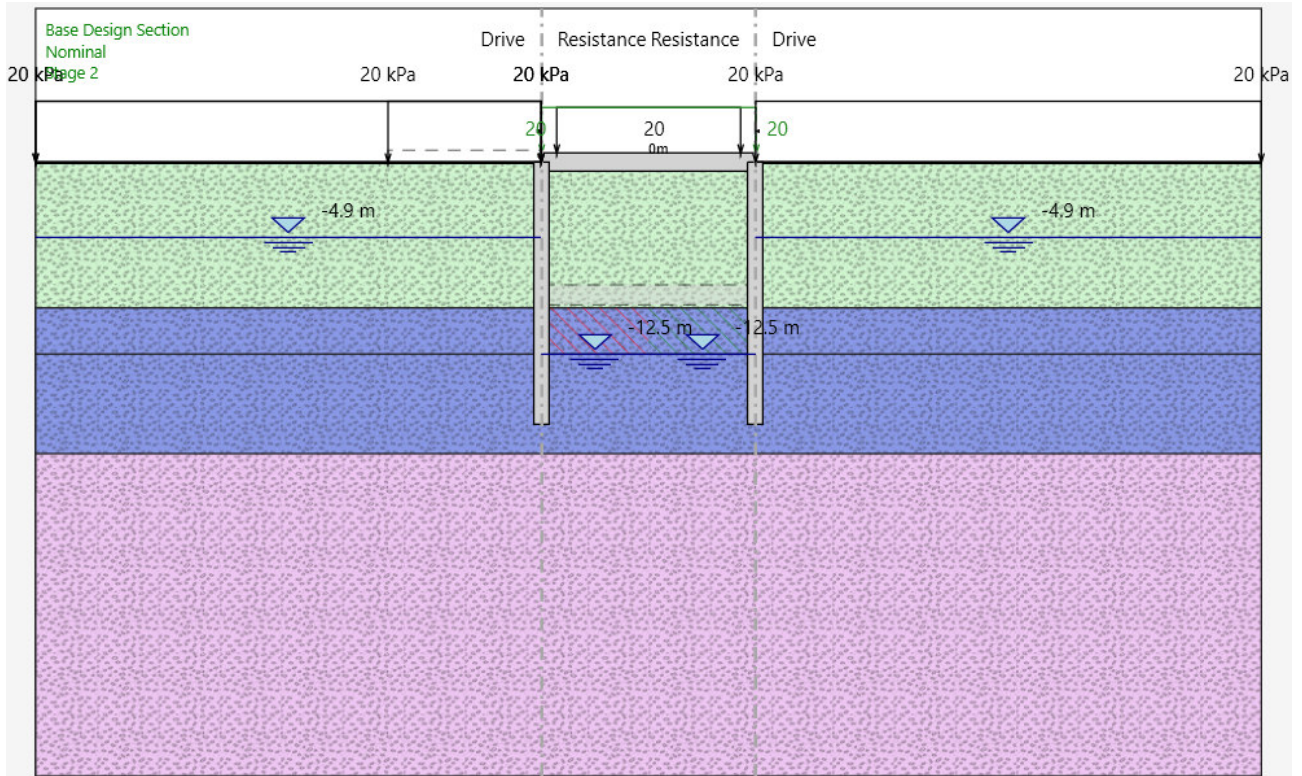
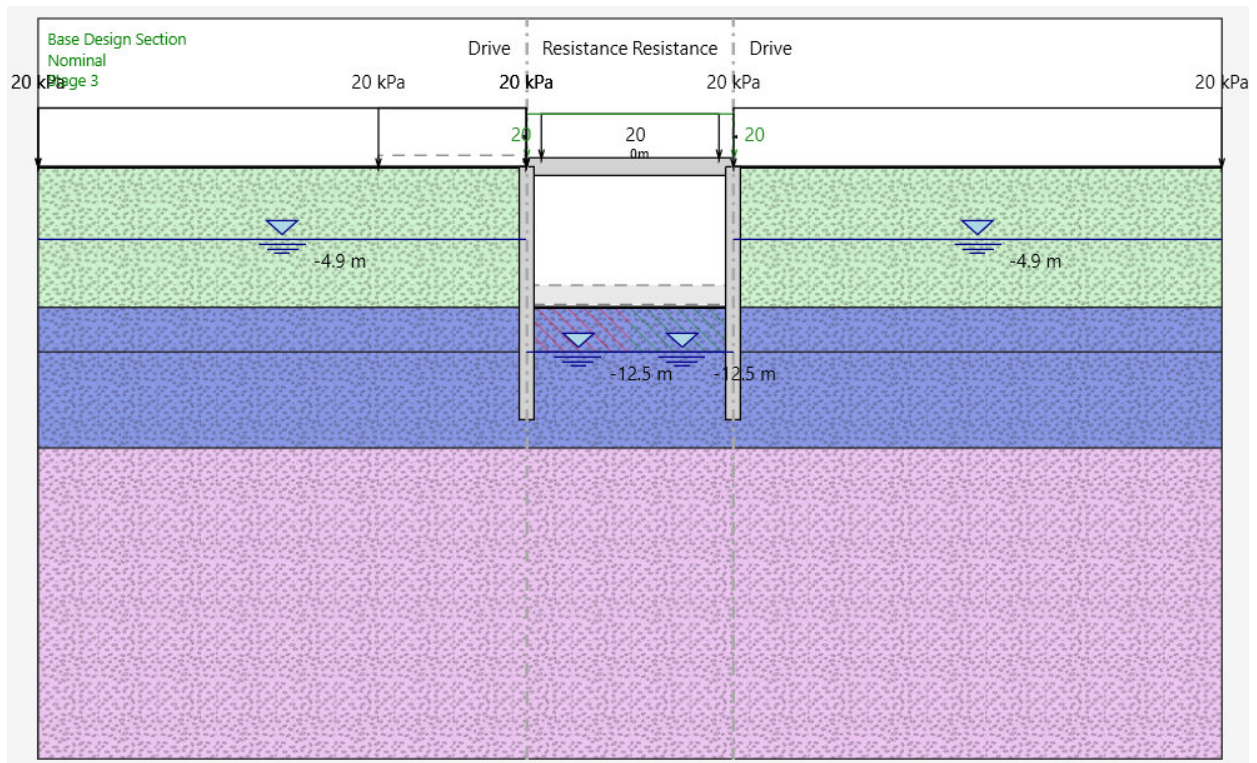


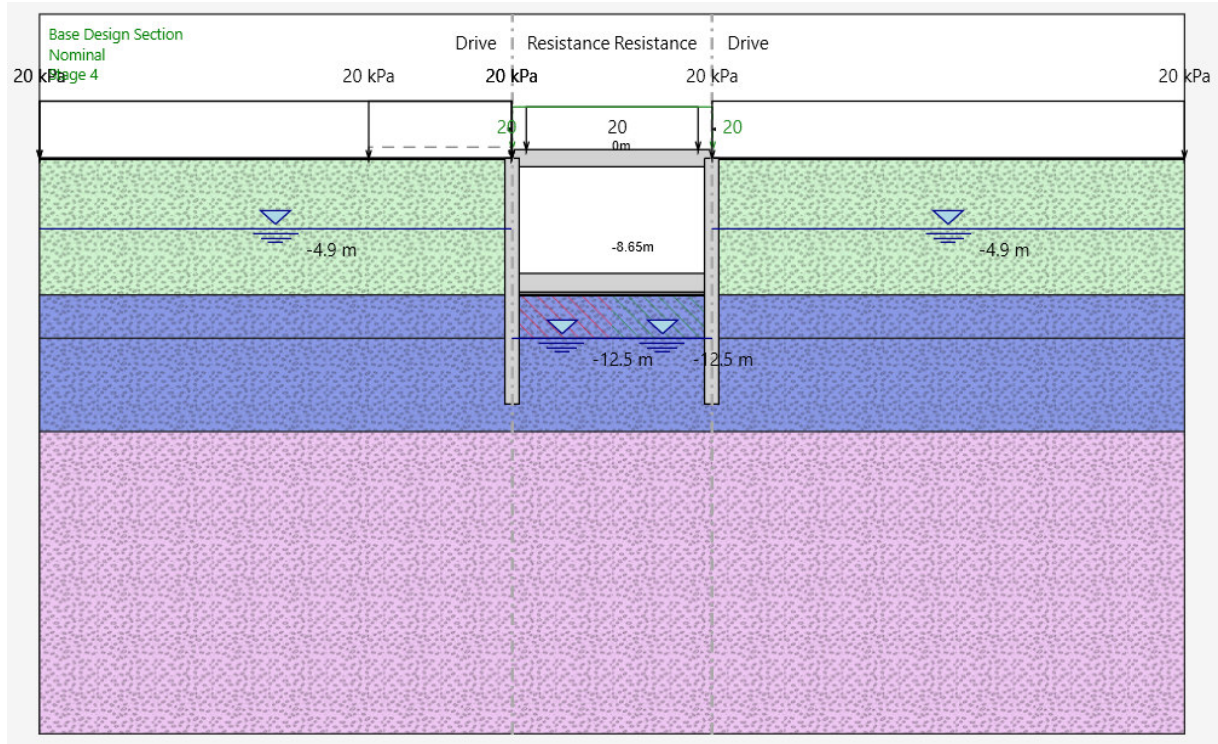
Figura 8-53 Fase 1 – Scavo fino a quota -1.0m;



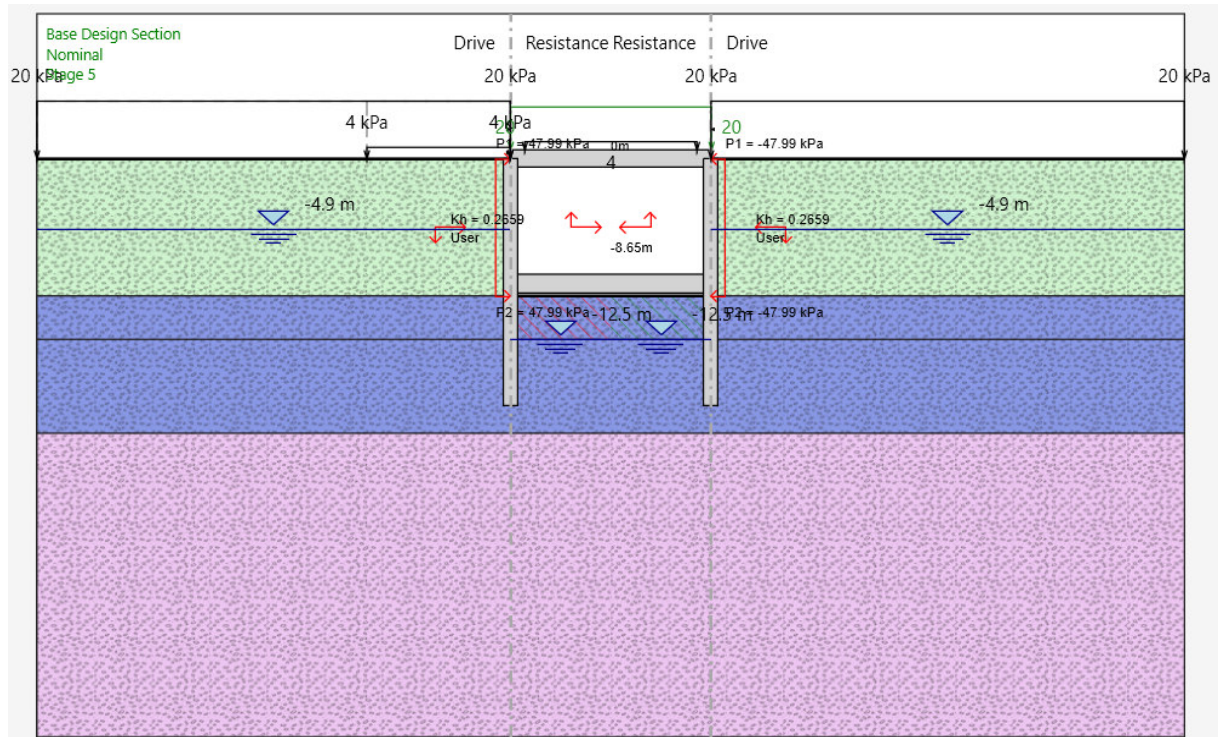
**Figura 8-54 Fase 2** Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore



**Figura 8-55 Fase 3** –Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m



**Figura 8-56 Fase 4 - Realizzazione della fondazione e riempimento**



**Figura 8-57 Fase 5 - Attivazione azione sismica**

Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

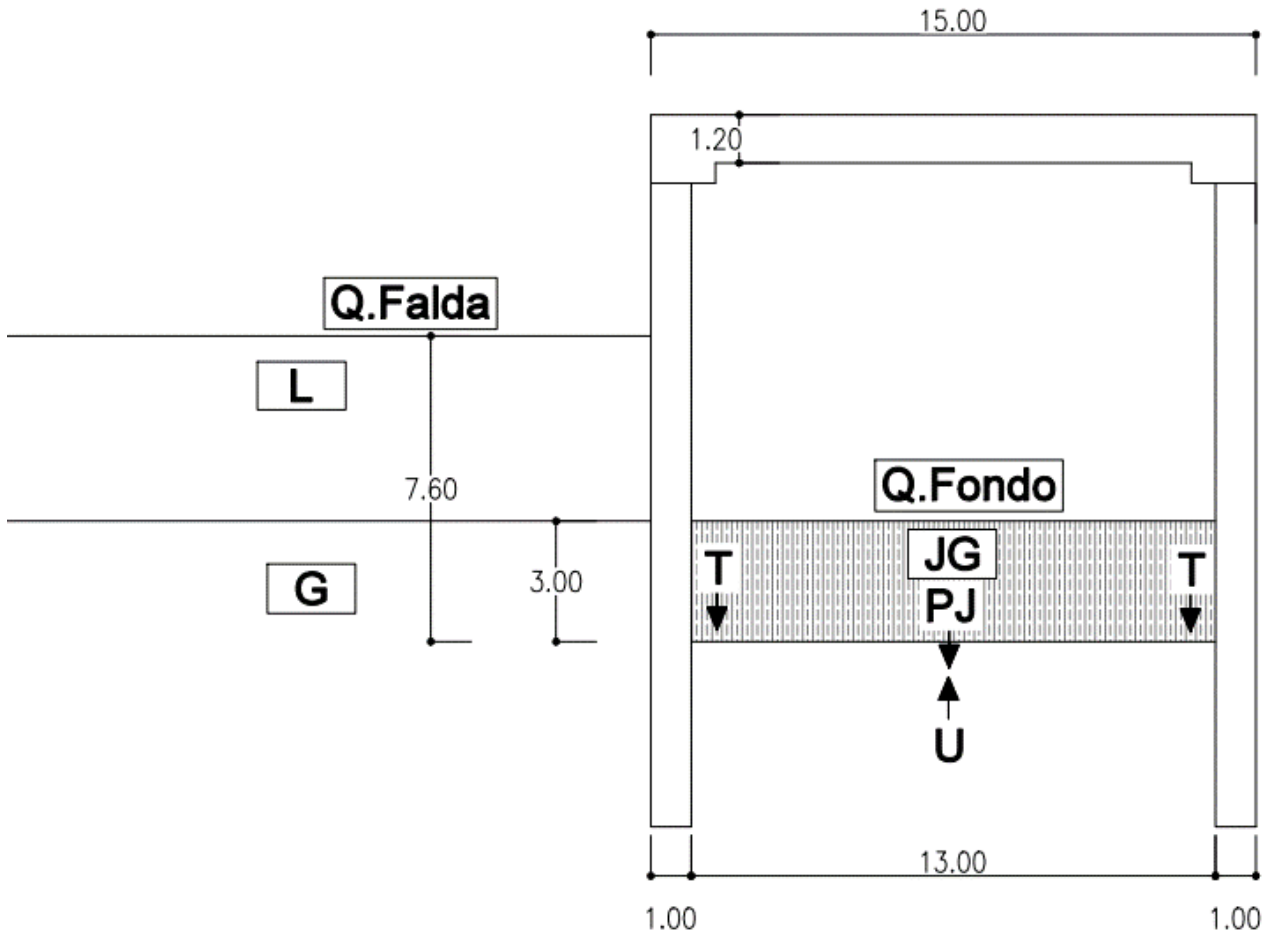


Figura 8-58 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

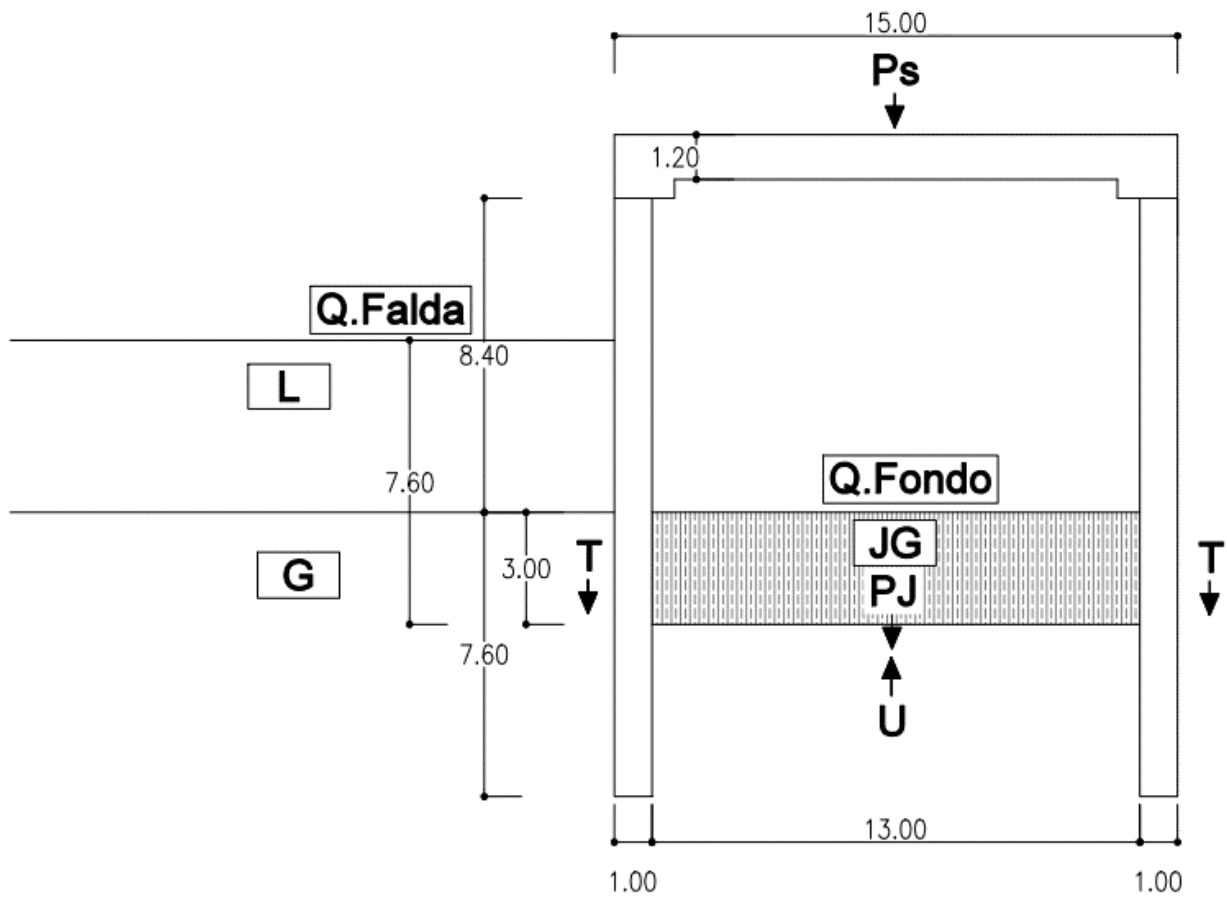


Figura 8-59 Sollevamento esterno



PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	89 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PARATIE.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PARATIE è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (3,0 \times 10) \times 3/2 = 45 \text{ kN/m}$$

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia (37°).

**Argilla**

$$T = t_a \times L$$

$$t_a = \alpha \times c_u$$

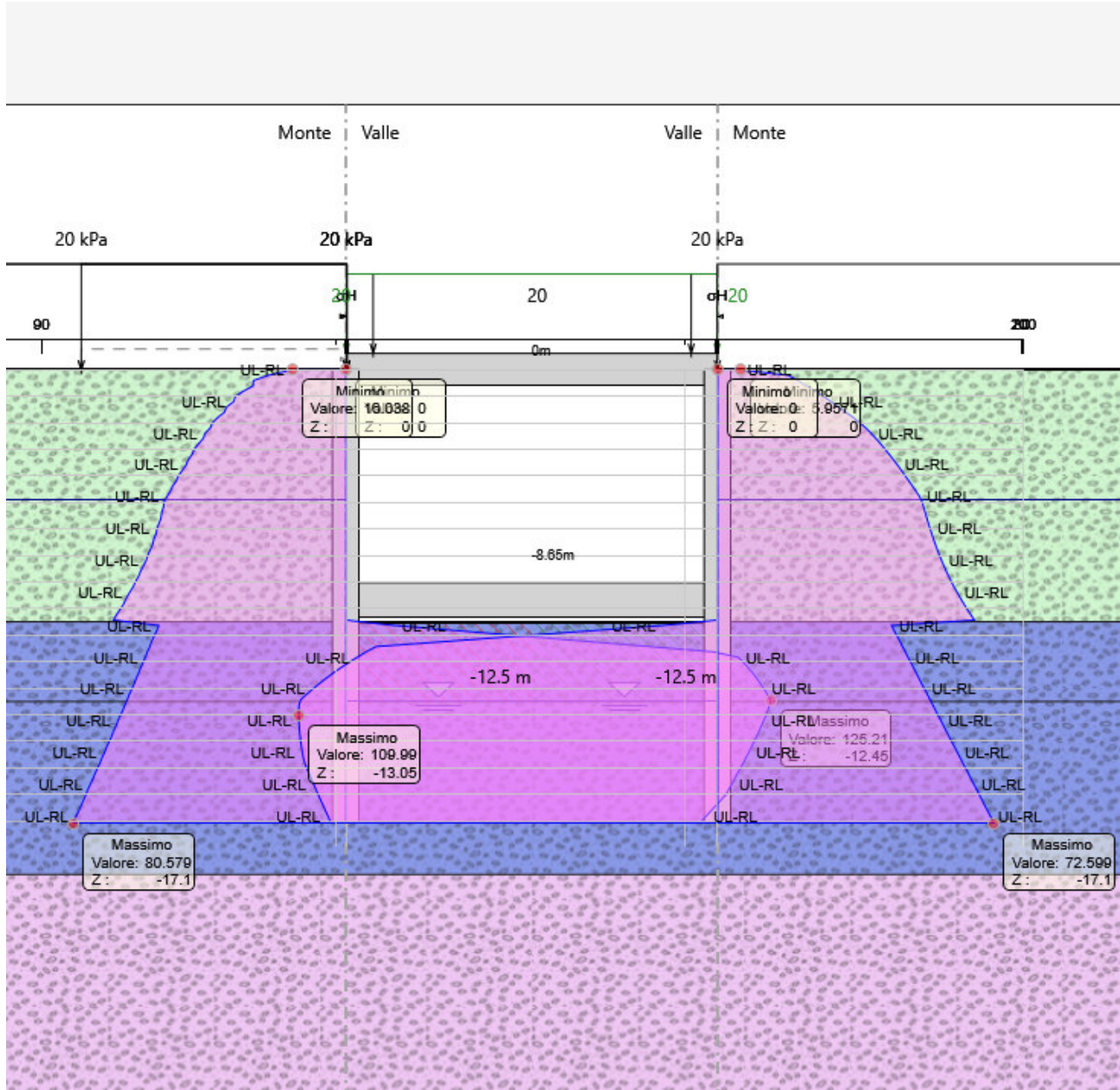
$c_u$  = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$t_a = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 4.



**Figura 8-60** Le spinte dei terreni orizzontali

Il valore di tensione minimo è di 140 kPa per il lato interno.

Il valore di tensione minimo è 45,73 kPa per il lato esterno.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV FOGLIO

IP00 00 D26CL RHGE00003 A 91 di  
104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

Verifica a sollevamento. Interna			
GA07			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	7,60	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	3,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	3,00	m
peso specifico tappo jet grouting	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	13,00	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>741,00</b>	<b>kN</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>988,00</b>	<b>kN</b>
Tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	140,00	kPa
Tratto agente attrito jet diaframma	L	3,00	m
Spinta orizzontale totale su jet grouting	F	420,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua su jet grouting	W	45,00	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b><math>2T=2(F-W)\delta</math></b>	<b>565,17</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(P+2T)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>1,1</b>	

Figura 8-61 Sollevamento interno

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV    FOGLIO

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

IP00    00    D26CL    RHGE00003    A    93 di 104

<b>Verifica a sollevamento. Esterna</b>			
<b>GA07</b>			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	7,60	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	3,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	3,00	m
peso specifico jet grouting	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	13,00	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>741,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>1140,00</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	8,40	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	220,50	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	45,73	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	7,60	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	347,55	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	261,90	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>964,79</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	1,00	m
Lunghezza diaframmi	L	16,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>800,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,20	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>450,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(P+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>2,12</b>	

**Figura 8-62** Sollevamento interno

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

## 8.7 Verifica a sollevamento per GA08

Al fine di eseguire la verifica a sollevamento del fondo scavo è necessario calcolare le spinte orizzontali agenti sulla paratia in corrispondenza della fase di massimo scavo. Tali valori sono stati determinati con il codice di calcolo PARATIE.

Le fasi esecutive dell'opera, condotte con il codice di calcolo PARATIE, sono di seguito riportate:

1. Scavo fino a quota -1.0m;
2. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore;
3. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m;
4. Realizzazione della fondazione e riempimento;
5. Attivazione azione sismica.

Di seguito si riportano gli estratti dei fasi di calcolo.

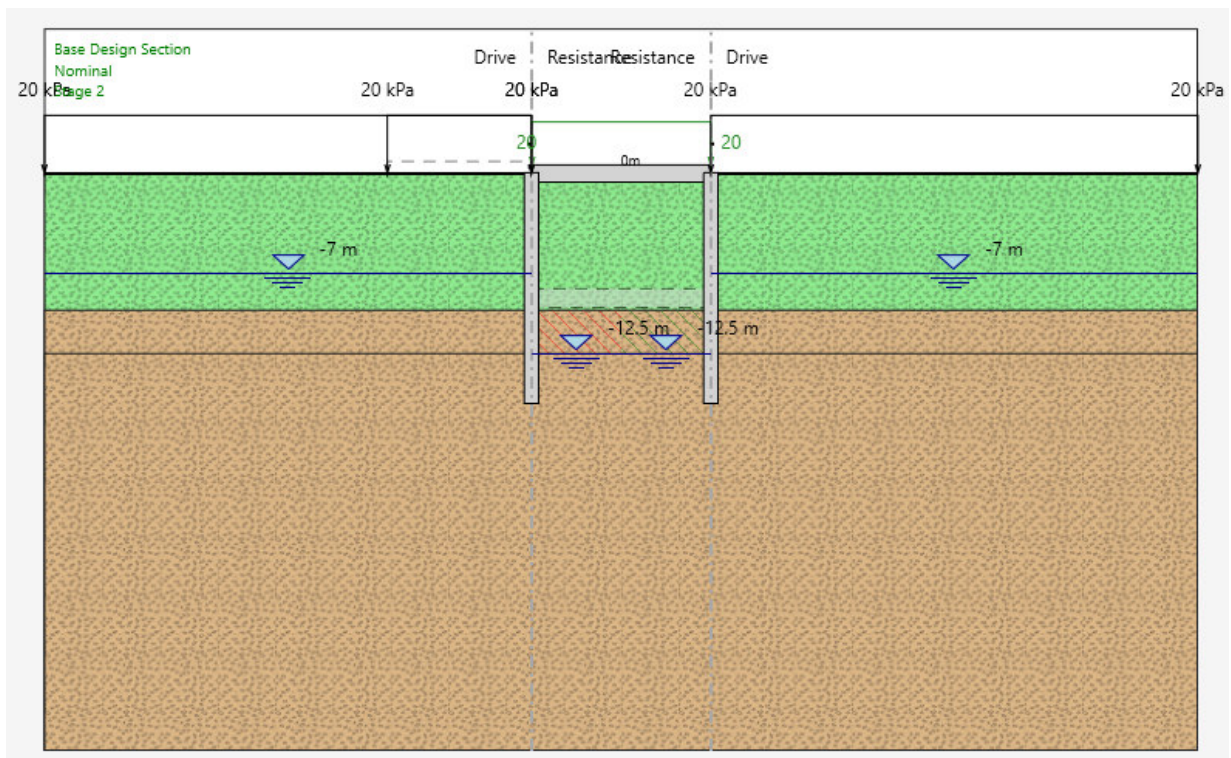
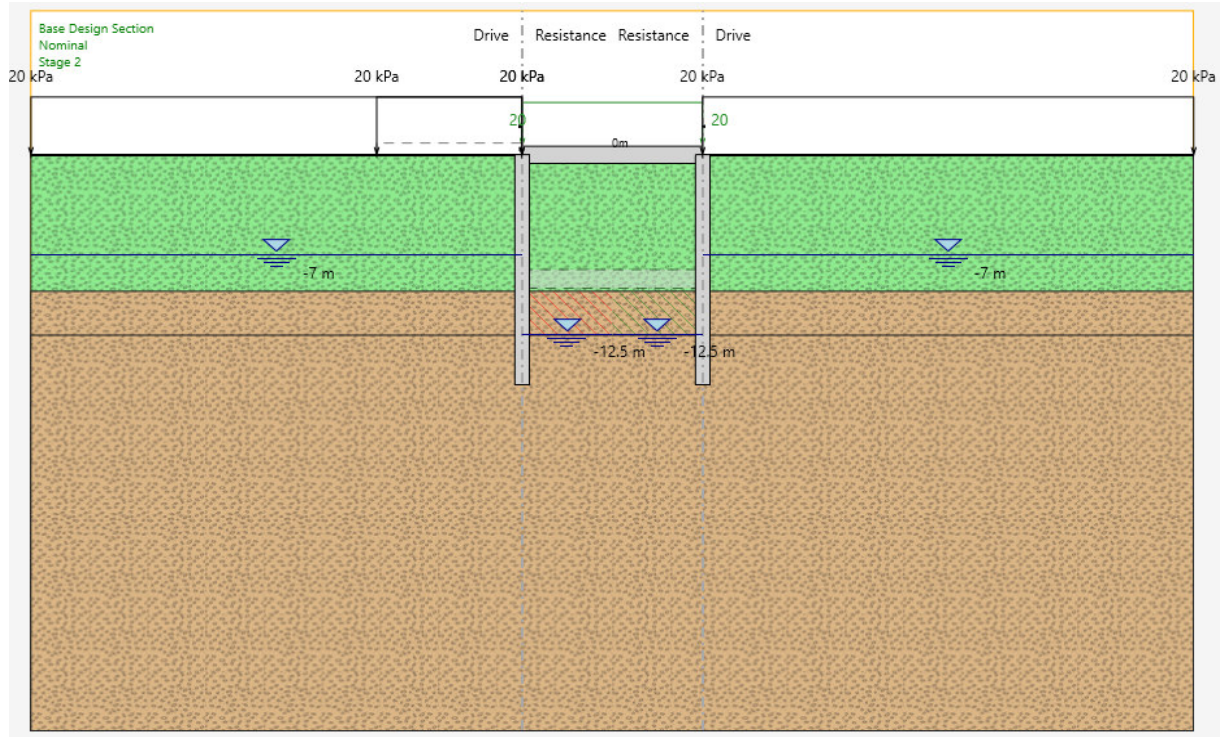
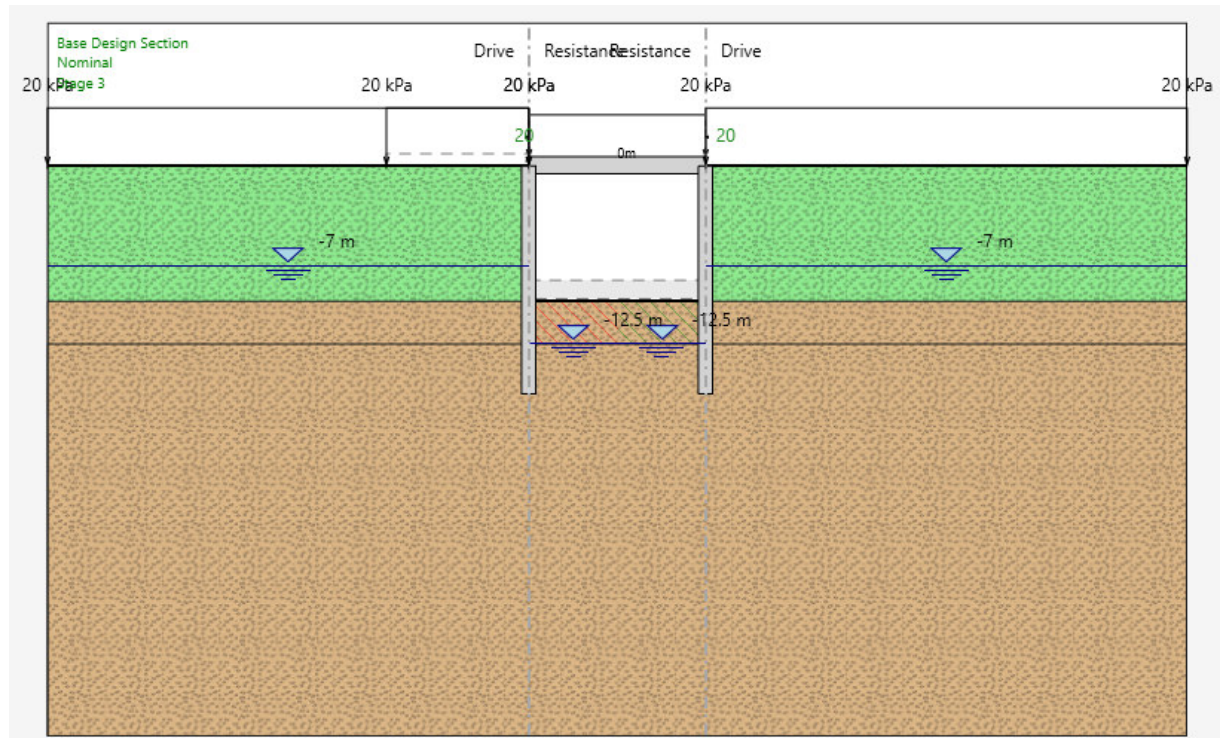


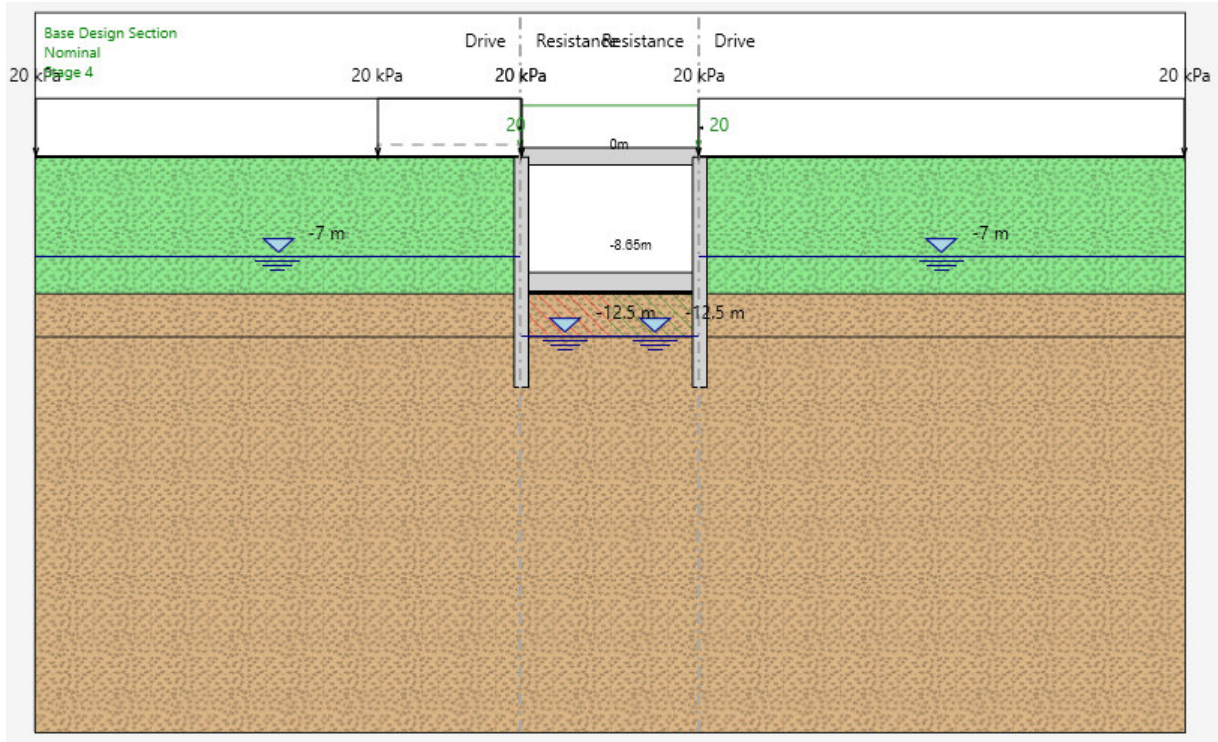
Figura 8-63 Fase 1 – Scavo fino a quota -1.0m;



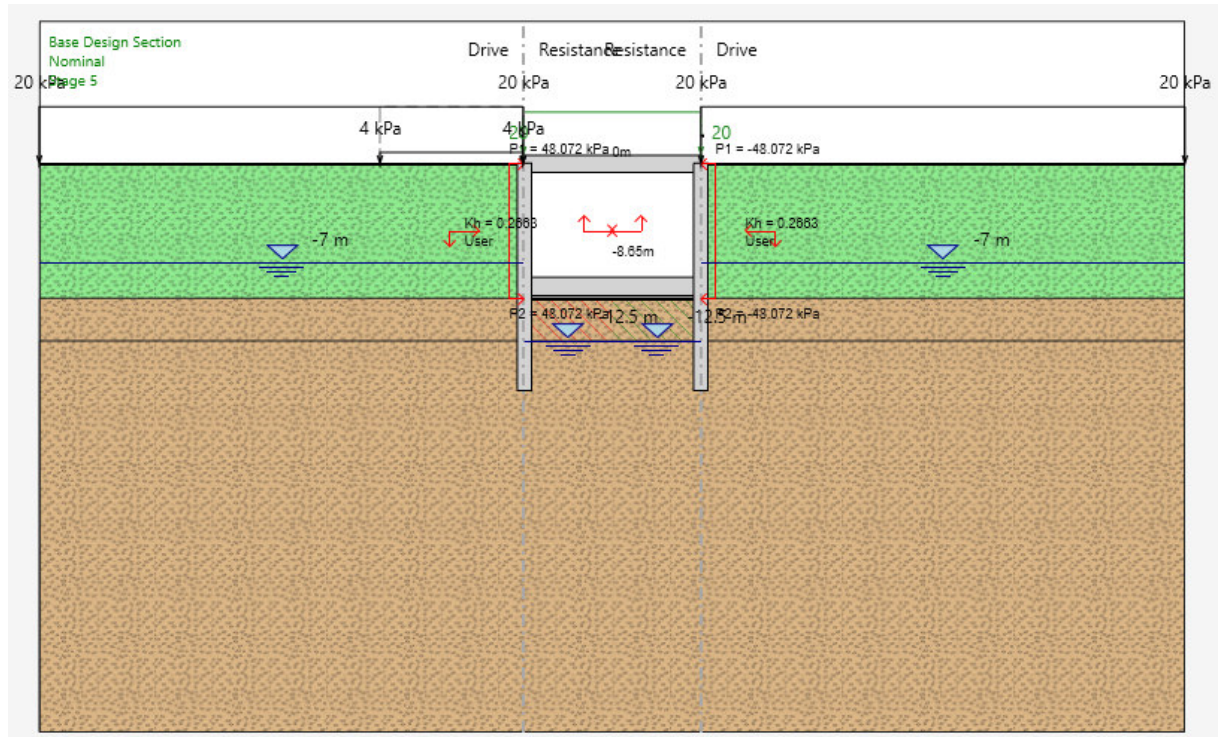
**Figura 8-64 Fase 2** Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting), del diaframma e della soletta superiore



**Figura 8-65 Fase 3** –Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -9.50m



**Figura 8-66 Fase 4 - Realizzazione della fondazione e riempimento**



**Figura 8-67 Fase 5 - Attivazione azione sismica**



Si considerano 2 casi distinti. Sollevamento del tappo di fondo interno alla diaframmatura. Sollevamento interno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

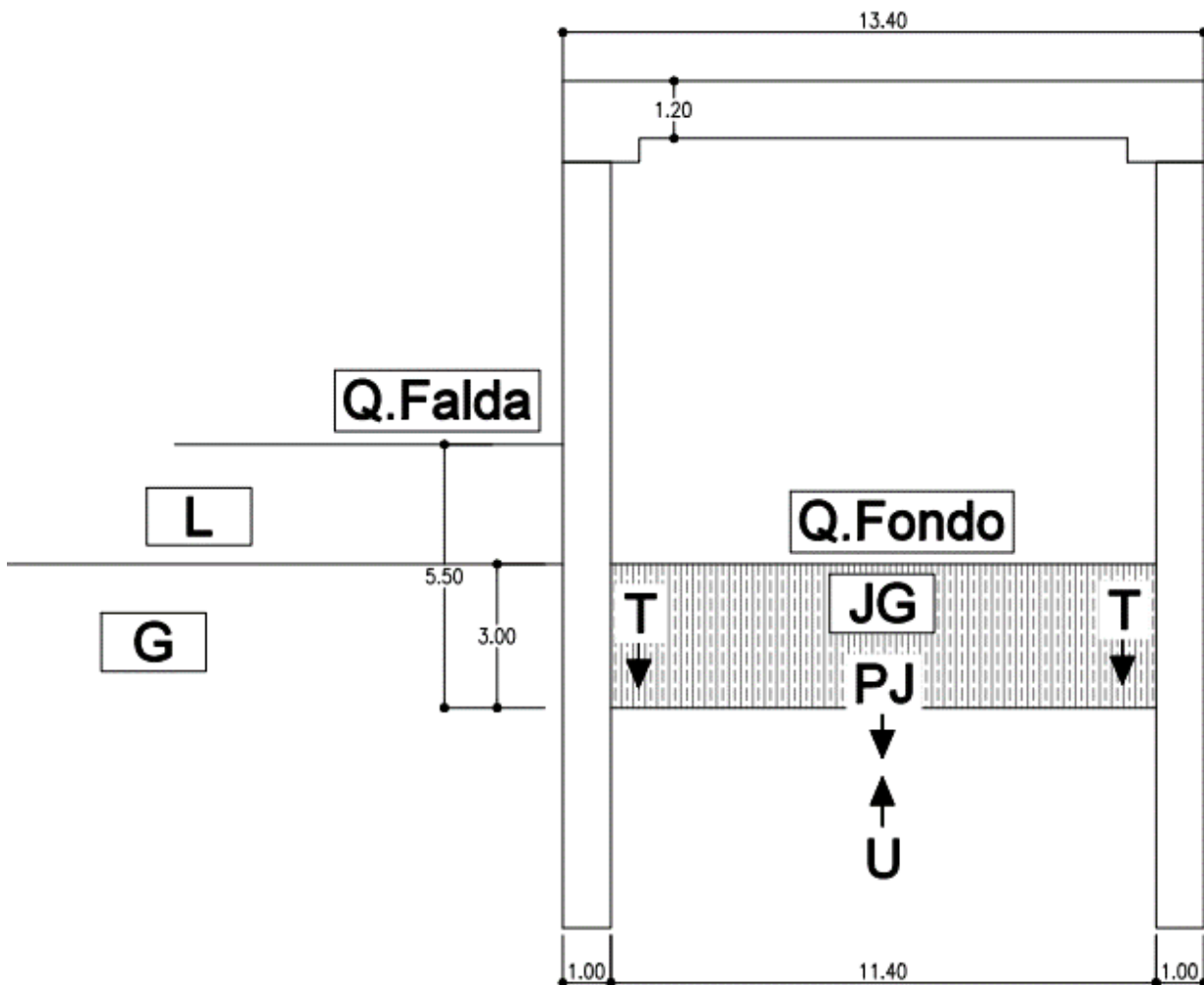


Figura 8-68 Sollevamento interno

Sollevamento di tutta la diaframmatura insieme al tappo di fondo. Sollevamento esterno. Di seguito le forze che entrano in gioco nella verifica.

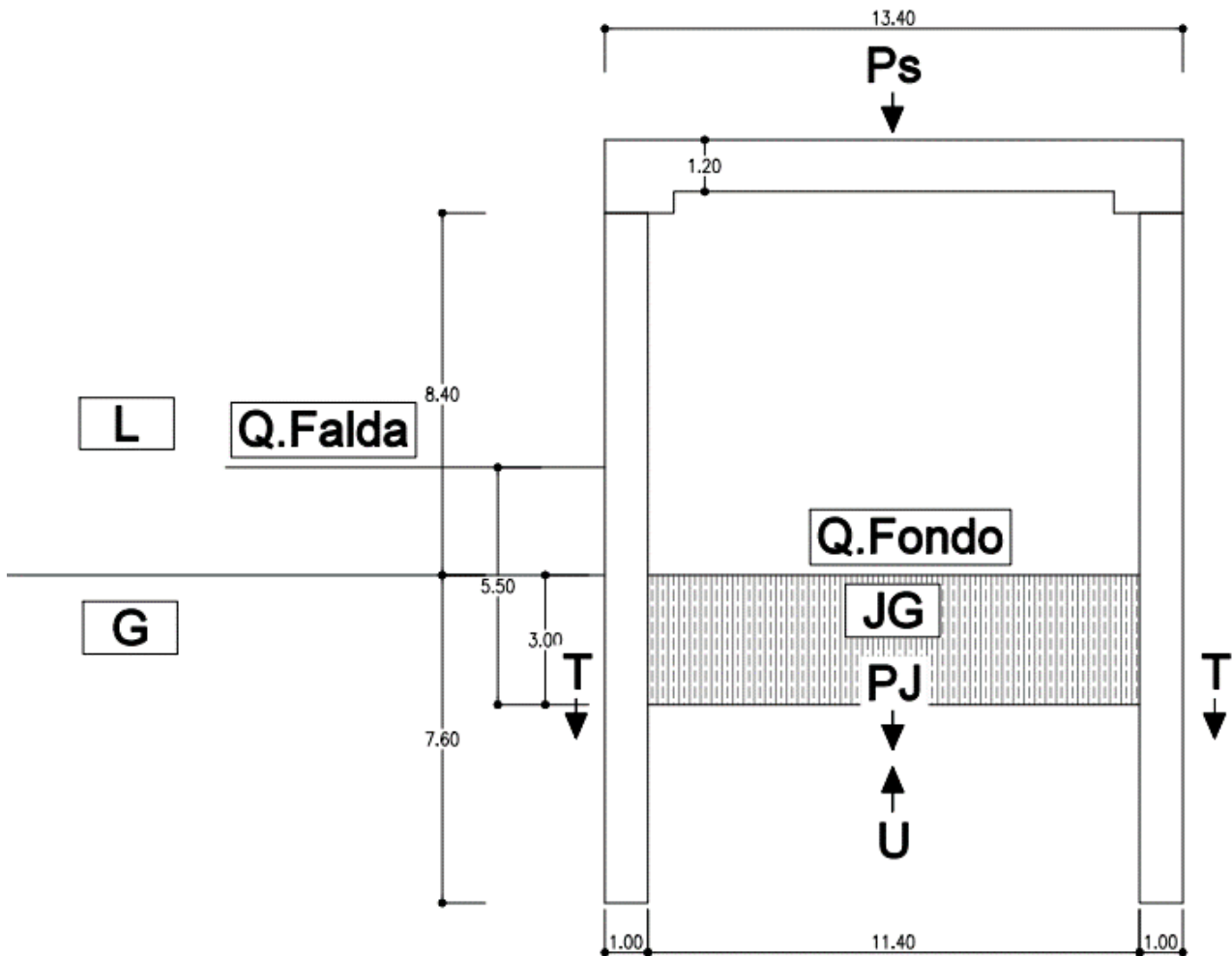


Figura 8-69 Sollevamento esterno

PROGETTO DEFINITIVO

TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	99 di 104

**Ps** :Peso della soletta sommitale;

**Pj** : Peso del tappo di fondo (in jet grouting o in argilla);

**U** : Sottospinta idraulica;

**Pd** : Peso dei diaframmi;

**T** :Attrito fra diaframma e tappo di fondo (sollevamento interno), o fra diaframma e terreno esterno (sollevamento esterno);

Il valore di T è calcolato secondo le seguenti formulazioni:

Ghiaia e tappo di fondo in jet grouting

$$T = \sigma h' \times L \times \tan(\phi)$$

Dove:

L : Lunghezza tratto.

$\sigma h'$  : Tensione orizzontale efficace nel tratto considerato.

Nel caso degli strati di terreno non trattati con le colonne in jet grouting (ghiaie) tale valore corrisponde all'output di PARATIE.

Nel caso degli strati di terreno trattati con le colonne in jet grouting (tappo di fondo), all'output del programma PARATIE è necessario sottrarre la spinta dell'acqua agente all'interno del jet grouting. Si considera nelle verifiche un valore di pressione dell'acqua variabile dalla spinta idrostatica (con battente d'acqua pari a quello di monte alla base del jet grouting) fino a 0 in corrispondenza della quota di fondo scavo.

**Nel caso in esame la spinta dell'acqua è pari a:**

$$W = (3,0 \times 10) \times 3/2 = 45 \text{ kN/m}$$

$\phi$  = angolo di attrito del terreno interagente con la paratia (37°).

**Argilla**

$$T = t_a \times L$$

$$t_a = \alpha \times c_u$$

$c_u$  = coesione non drenata, pari a 75 kPa (valore medio)

$$\alpha = 0.35$$

L = lunghezza tratto considerato.

$$t_a = 75 \times 0.35 = 26,25 \text{ kPa}$$

Si riportano di seguito le spinte dei terreni orizzontali agenti in corrispondenza della fase 4.

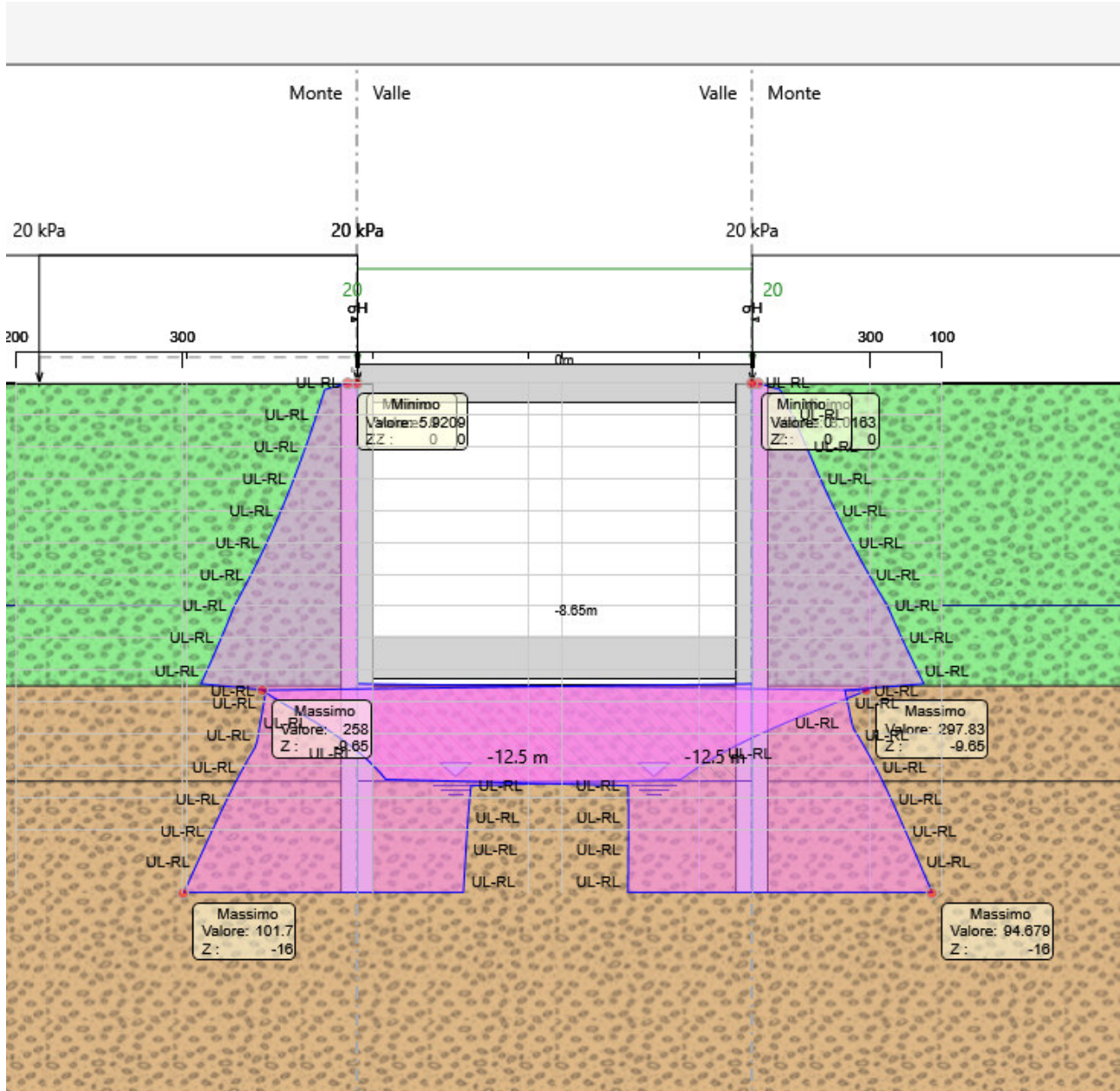


Figura 8-70 Le spinte dei terreni orizzontali

Il valore di tensione minimo è di 187 kPa per il lato interno.

Il valore di tensione minimo è 77,24 kPa per il lato esterno.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	101 di 104

Verifica a sollevamento interno

$$(P_j + 2T) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Verifica a sollevamento esterno

$$(P_j + 2P_d + 2T + P_s) \times 0.9 / (U \times 1.1) > 1$$

Si riporta di seguito la verifica a sollevamento.

Verifica a sollevamento Interna GA08			
Altezza acqua da fondo jet grouting	Hw	5,50	m
Altezza interna dell'acqua dal fondo dello scavo al fondo del jet grouting	Hwi	3,00	m
spessore tappo jet grouting	spj	3,00	m
peso specifico tappo jet grouting	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito jet grouting	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	11,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso blocco tappo in jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>649,80</b>	<b>kN</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>627,00</b>	<b>kN</b>
Tensione orizzontale jet grouting (PARATIE) valore minimo	sh	187,00	kPa
Tratto agente attrito jet diaframma	L	3,00	m
Spinta orizzontale totale su jet grouting	F	561,00	kN/m
Spinta orizzontale acqua su jet grouting	W	45,00	kN/m
Aderenza diaframmi jet grouting	$\delta$	0,75	kPa
<b>Resistenza di attrito tappo jet grouting-diaframma</b>	<b><math>2T=2(F-W)\delta</math></b>	<b>777,67</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
<b>FS sollevamento</b>	<b><math>(P+2T)*0,9/(U*1,1)</math></b>	<b>1,86</b>	

Figura 8-71 Sollevamento interno

<b>Verifica a sollevamento Esterna</b>			
<b>GA08</b>			
Altezza acqua da fondo tappo jet grouting	Hw	5,50	m
spessore tappo jet grouting	spj	3,00	m
peso specifico jet grouting	$\gamma_j$	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito ghiaie	$\varphi$	37,00	°
Larghezza scavo	Lp	11,40	m
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso tappo jet grouting</b>	<b>Pj</b>	<b>649,80</b>	<b>kN/m</b>
<b>Sottospinta idraulica</b>	<b>U</b>	<b>737,00</b>	<b>kN/m</b>
Tensione attrito argille	ta	26,25	kPa
Tratto agente attrito argille	L	8,40	m
Resistenza di attrito in argilla	Ta	220,50	kN/m
tensione orizzontale ghiaie (PARATIE) valore minimo	sh	77,24	kPa
Tratto agente attrito ghiaie	L	7,60	m
Spinta orizzontale totale su ghiaie	F	587,02	kN/m
aderenza diaframmi ghiaie	$\delta$	0,75	
Resistenza di attrito ghiaie	Tg	442,35	kN/m
<b>Resistenza di attrito terreno diaframma</b>	<b>2(Ta+Tg)</b>	<b>1325,71</b>	<b>kN/m</b>
Spessore diaframmi	spd	1,00	m
Lunghezza diaframmi	L	16,00	m
Peso specifico calcestruzzo	$\gamma_c$	25,00	kN/m <sup>3</sup>
<b>Peso diaframmi</b>	<b>2Pd</b>	<b>800,00</b>	<b>kN/m</b>
spessore soletta sommitale	sps	1,20	m
<b>Peso soletta sommitale</b>	<b>Ps</b>	<b>402,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>FS sollevamento</b>	<b>(P+2T+2Pd+Ps)*0,9/(U*1,1)</b>	<b>3,53</b>	

**Figura 8-72** Sollevamento interno

In entrambi i casi i coefficienti di sicurezza sono superiori a 1. Le verifiche sono soddisfatte.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)</b></p> <p><b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b></p>												
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>TAPPO DI FONDO - RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26CL</td> <td>RHGE00003</td> <td>A</td> <td>104 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	104 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IP00	00	D26CL	RHGE00003	A	104 di 104								

## 9 CONCLUSIONI

L'esecuzione di scavi importanti al di sotto della falda in corrispondenza delle gallerie artificiali comporta la necessità di prevedere un tappo di fondo in jet grouting fra i diaframmi.

Il tappo viene sempre eseguito in corrispondenza degli strati granulari.

Le caratteristiche delle colonne (profondità e lunghezza di trattamento), variano in funzione della profondità della falda e della variazione della stratigrafia dei terreni presenti lungo il tracciato delle gallerie artificiali.

Le verifiche a sollevamento del tappo di fondo progettato sono soddisfatte per tutti i casi analizzati.