

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C09000000005

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LOTTO 3A

CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

GEOTECNICA

Valutazione dell'interferenza delle opere con la falda

SCALA:

-

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

I B 0 Q 3 A R 1 0 R H G E 0 0 0 6 0 0 3 B

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

File: IB0Q3AR10RHGE0006003B



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

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

LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI
TRENTO

Valutazione dell'interferenza delle opere
con la falda

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IBOQ

3A R 10

RH

GE 0006 003

B

2 DI 18

Sommario

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3	INDIVIDUAZIONE DELLA SEZIONE OGGETTO DI ANALISI	5
4	SIMULAZIONI NUMERICHE	8
4.1	CODICE DI CALCOLO	8
4.2	MODELLO implementato	8
4.3	FASI DI CALCOLO	10
5	RISULTATI	12
5.1	SIMULAZIONE 1	14
5.2	SIMULAZIONE 2	15
5.3	SIMULAZIONE 3	16
6	CONCLUSIONI	17

Valutazione dell'interferenza delle opere con la falda	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 003	B	3 DI 18

1 PREMESSA

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

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

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

Il nuovo tracciato ferroviario si sviluppa per circa 13 km sulla sinistra orografica della Val d'Adige, tra i confini della Val Lagarina fino al tessuto insediativo della città di Trento, tra le località Acquaviva a sud e Roncafort a Nord. L'opera è costituita principalmente da una galleria naturale di linea, a doppia canna a singolo binario per uno sviluppo circa 10.5 km. La riconnessione alla linea esistente Verona – Brennero avviene mediante tratti in trincea e rilevato in stretto affiancamento. In particolare, le trincee e le gallerie artificiali sono realizzate con paratie di diaframmi aventi lunghezza fino a circa 22m da piano campagna, che costituiscono un potenziale ostacolo al libero deflusso delle acque sotterranee.



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

Nella presente relazione sono riportati i risultati di alcune analisi di carattere preliminare volte a fornire una valutazione quantitativa dell'impatto della realizzazione delle opere in progetto con la falda.

2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1] Geotecnica – Relazione geotecnica generale – IB0Q 3A R 10 RH GE 00 06 001 B;
- [2] Geotecnica - Profilo geotecnico lato nord – IB0Q 3A R 10 F5 GE 00 06 002 B
- [3] Geologia e idrogeologia – Relazione geologica ed idrogeologica – IB0Q 3A R 69 RG GE 00 01 001;
- [4] Geologia e idrogeologia – Carta idrogeologica – IB0Q 3A R 69 G4 GE 00 02 002.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Valutazione dell'interferenza delle opere con la falda	PROGETTO IBOQ	LOTTO 3A R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 0006 003	REV. B

3 INDIVIDUAZIONE DELLA SEZIONE OGGETTO DI ANALISI

Le analisi svolte, come detto, hanno lo scopo di valutare l'impatto della realizzazione delle opere in progetto sulla circolazione delle acque sotterranee. In particolare, lo studio ha l'obiettivo di confrontare la situazione *ante-operam* (falda in campo libero) con la situazione *post-operam*, nella quale le paratie di diaframmi delle trincee profonde e delle gallerie artificiali possono rappresentare un ostacolo al libero deflusso sotterraneo.

Lungo tutto il tracciato, al fine di ridurre al minimo tale ostacolo, si è adottata la scelta progettuale di limitare la lunghezza delle paratie di diaframmi evitando, ove possibile, di intestarli nello strato limoso di base.

Le analisi sono state svolte cautelativamente con riferimento ad una sezione ritenuta maggiormente rappresentativa delle condizioni critiche rispetto al tema in esame. L'individuazione della sezione rappresentativa è stata basata sia sulle conoscenze disponibili circa l'assetto della circolazione sotterranea nell'area di intervento (profondità e gradiente della falda), sia sulle caratteristiche delle opere in progetto (presenza diaframmi).

Dagli studi di carattere idrogeologico disponibili, si evince che, nell'ambito del territorio interessato dalla infrastruttura in progetto, l'area in cui la falda è più prossima al piano di campagna, e dove peraltro questa presenta un gradiente maggiore, ricade in prossimità dello scalo Filzi. In tale zona le opere in progetto prevedono la realizzazione della TR03, costituita da setti aventi profondità pari a circa 22 m.

Per la definizione del gradiente idraulico nella zona dello scalo Filzi si è fatto riferimento ai dati dello studio condotto da ISER (2013) (cfr. Relazione Geologica [3]), che ha compreso il prelievo di campioni per analisi chimiche e in campagne freatimetriche in pozzi e piezometri superficiali (da alcuni metri di profondità fino a qualche decina di metri), allo scopo di ricostruire la freatimetria e la facies geochemica delle acque della falda superficiale. Il monitoraggio con prelievo di campioni è stato eseguito nei periodi di novembre 2012, febbraio 2013, maggio 2013 e agosto 2013. Negli elaborati geologici il tracciamento della falda in zona Scalo Filzi è stato ricavato a partire dai dati di febbraio 2013, cioè alla situazione riprodotta nel documento "Mappatura ambientale della città di Trento, Carta delle isofreatiche, 5-6 Febbraio 2013"; la scelta deriva dal fatto che la ricostruzione di febbraio 2013 corrisponde ad un momento di alto piezometrico.

Il gradiente idraulico che ne risulta, in direzione pressoché NNE-SSO, è circa 1 m ogni 550 metri circa nella zona tra le progressive 11+200 e 12+200, diminuendo verso Nord (1 m ogni 750 m circa) tra le progressive 12+200 e 13+100. In termini di pendenza, quindi, si tratta di valori compresi tra 0.18% e 0.20%, nel primo tratto citato, e tra 0.13% e 0.15% nel tratto successivo (Figura 2). In media dunque si registra un gradiente di 0.15%-0.17%. È plausibile che tale gradiente possa variare in funzione delle condizioni idrogeologiche ed idrologiche al contorno, quali periodi di piogge prolungati o limitati che possono anche modificare leggermente i rapporti di mutua influenza tra il corso del fiume Adige e le falde superficiali oggetto di studio.

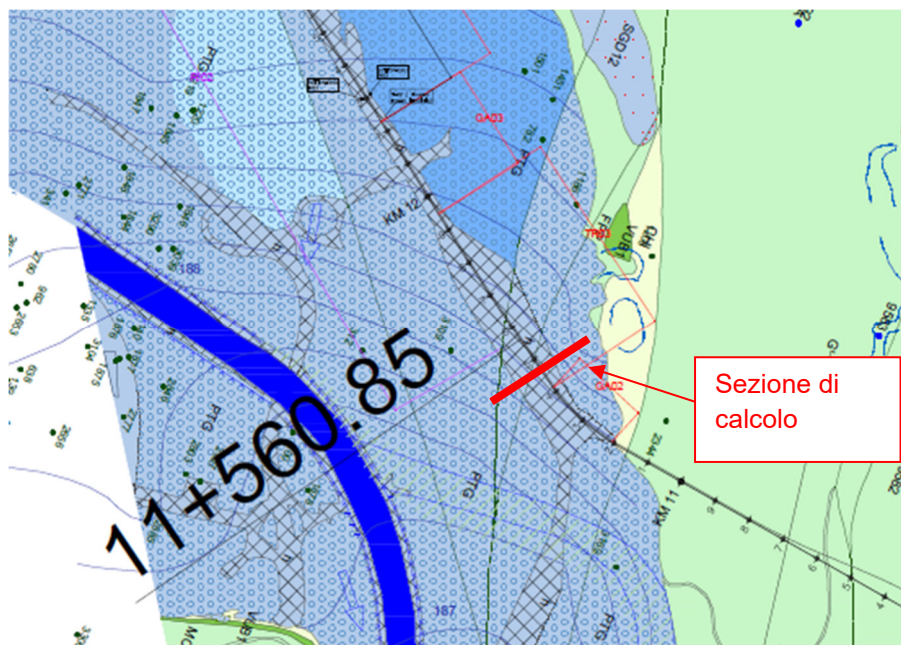


Figura 2 – Stralcio carta idrogeologica con indicazione della sezione di calcolo.

Come accennato, la scelta della sezione di progetto su cui impostare il modello numerico è stata effettuata con un approccio conservativo, riferendosi alla zona con il gradiente idraulico maggiore e in cui la falda risulta più prossima al piano di campagna. Sulla base dei dati disponibili è stata quindi estratta la sezione alla progressiva 11+560.85 km che ricade nella WBS TR03, in cui la falda, secondo i dati di febbraio 2013, si posiziona ad una quota massima di circa 188.5 m.s.l.m., con una variabilità tra 188.5 e 189.5 m.s.l.m. (mediamente a circa 3 m dal piano campagna) in funzione del periodo a cui viene riferito il dato (Figura 2).

Dal punto di vista geologico/geotecnico la sezione selezionata ricade nella zona in cui c'è maggior presenza dell'unità limoso-argillosa (Unità L nella Relazione Geotecnica [1]), riscontrata sia nella fascia più superficiale, sia più in profondità al di sotto dello strato sabbioso (Unità S nella Relazione Geotecnica [2]). Si riporta a seguire uno stralcio del citato Profilo Geotecnico [2] con indicazione della sezione di calcolo (Figura 3).

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Valutazione dell'interferenza delle opere con la falda	PROGETTO IB0Q	LOTTO 3A R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 0006 003	REV. B

4 SIMULAZIONI NUMERICHE

4.1 CODICE DI CALCOLO

L'analisi di filtrazione è stata eseguita in regime di moto stazionario attraverso il codice di calcolo bidimensionale agli elementi finiti PLAXIS 2D, sulla base della caratterizzazione dei terreni, dei livelli idrici previsti e di diverse condizioni al contorno (assenza e presenza di strutture interrato).

Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti (sviluppato dalla Delft University of Technology) bidimensionale in grado di tenere conto del comportamento del terreno seguendo la variazione dello stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e negli eventuali elementi strutturali collegati con i quali interagisce.

Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plane strain) o a condizioni assialsimmetriche (axisymmetric).

Il codice, sviluppato per le analisi di tipo geotecnico, consente di avere diverse applicazioni, come lo studio delle deformazioni sotto l'effetto di carichi esterni e le verifiche di stabilità. Il terreno è schematizzato attraverso una *mesh* costituita da elementi triangolari a 6 o 15 nodi. Il programma permette anche l'inserimento di elementi strutturali di vario tipo. Ai diversi tipi di materiale sono attribuiti i parametri fisici, meccanici e di permeabilità e viene definito il modello costitutivo e il tipo di comportamento (drenato, non drenato, non poroso). Il programma infine consente di studiare i moti di filtrazione nel terreno, in regime di moto stazionario, sulla base della definizione preliminare dei livelli di falda, della permeabilità dei terreni e delle condizioni al contorno specificate.

Nel caso in esame è stato impiegato il modulo aggiuntivo del programma, Plaxis Flow, che permette di studiare il flusso delle acque sotterranee in stato stazionario. Il codice simula il comportamento insaturo e anisotropo del suolo e permette di calcolare simultaneamente i cambiamenti di pressione eseguendo un'analisi di variazione del flusso.

4.2 MODELLO IMPLEMENTATO

Il modello di calcolo è stato impostato a partire dalla sezione descritta nei paragrafi precedenti, il cui assetto stratigrafico già illustrato viene di seguito riproposto con l'indicazione dei parametri di permeabilità definiti nella Relazione Geotecnica [1].

Unità	Prof. da p.c. (m) da - a	Descrizione	k (m/s)
L	0-3	Limi, limi con argille e argillosi	$10E^{-5} \div 10E^{-7}$
S	3-12	Sabbie, sabbie con ghiaie e ghiaiose	$10E^{-4} \div 10E^{-6}$
L	12-30	Limi, limi con argille e argillosi	$10E^{-5} \div 10E^{-7}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Valutazione dell'interferenza delle opere con la falda	PROGETTO IBOQ	LOTTO 3A R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 0006 003	REV. B

Considerando il fatto che la permeabilità dei terreni è caratterizzata tramite un intervallo di valori, sono state effettuate tre diverse simulazioni, differenziate in base al valore di permeabilità assunta; in particolare sono stati sviluppate:

- La **Simulazione 1** in cui le permeabilità sono quelle corrispondenti ai valori medi degli intervalli definiti;

Unità geotecnica	k (m/s)
L	10^{-6}
S	10^{-5}

- La **Simulazione 2**, in cui si considerano le condizioni limite (valore minimo) per i limi, e il valore medio per le sabbie;

Unità geotecnica	k (m/s)
L	10^{-7}
S	10^{-5}

- La **Simulazione 3**, con valori di permeabilità minimi per entrambe le unità.

Unità geotecnica	k (m/s)
L	10^{-7}
S	10^{-6}

La falda è stata considerata, a favore di sicurezza, con pendenza riferita ad un gradiente pari a 0.35%, come riportato in Figura 4: tale gradiente è stato originato assegnando ai due contorni verticali del modello ($x = -100$ e $x = 100$), un carico idraulico rispettivamente pari a 96.33 a valle (contorno verticale in sx) m e 97.03 m a monte (contorno verticale in dx), con piano campagna orizzontale, impostato fittiziamente a quota $y=100$ m. In definitiva, quindi, si è proceduto considerando la falda ad una profondità di partenza pari a -3 m circa dal p.c. sul punto estremo di monte, e applicando alla stessa il gradiente di 0.35% verso valle per la larghezza dell'intero modello ($0.35\% \times 200\text{m} = 0.7\text{m}$), fino a giungere nel punto estremo di valle la profondità di -3.7m dal p.c.

È opportuno evidenziare che le ipotesi adottate per la falda sono cautelative, considerando che il gradiente è stato assunto sensibilmente maggiore rispetto a quello discusso nel paragrafo 3 e, inoltre, che quanto riportato nel citato paragrafo è riferito alla variazione della falda lungo le linee di flusso che hanno un'angolazione di circa 45 gradi rispetto al tracciato, per cui in corrispondenza della sezione di calcolo considerata sarebbe effettivamente da considerare un valore inferiore del gradiente, pari alla componente perpendicolare al tracciato.

Le condizioni al contorno idrauliche per tutte le simulazioni implementate prevedono che i limiti del modello siano drenati lungo tutti i bordi (verticali e orizzontali), ad eccezione del limite orizzontale superiore.

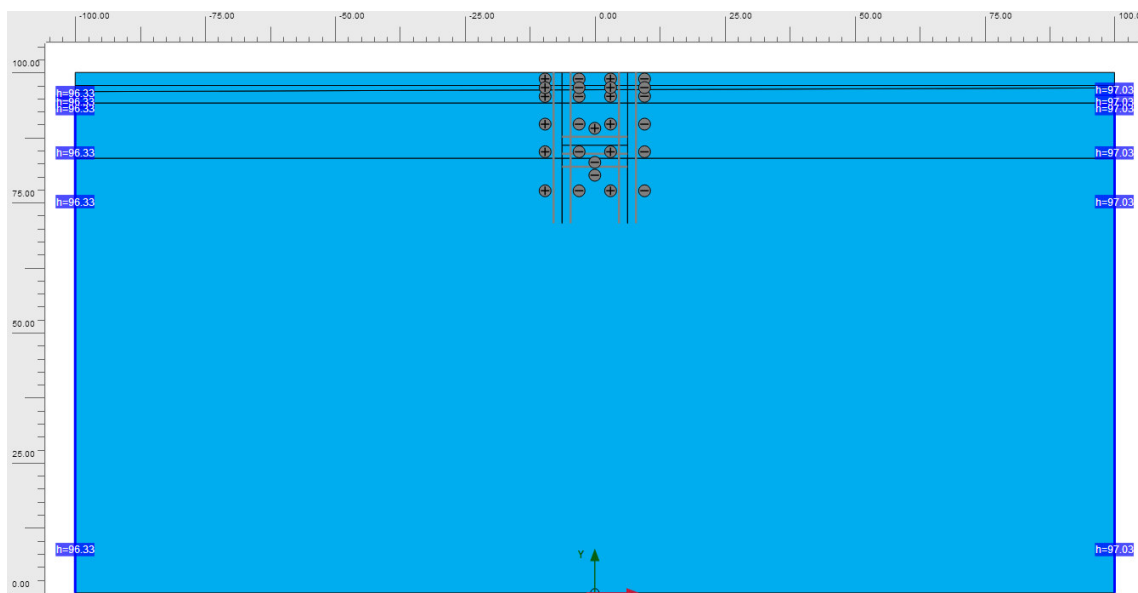


Figura 4 – Condizioni idrauliche.

4.3 FASI DI CALCOLO

Le analisi sono state effettuate considerando le seguenti fasi:

- *fase 1*: falda indisturbata (condizione *ante-operam*) con falda impostata come da paragrafo precedente (Figura 5);
- *fase 2*: realizzazione dei diaframmi (condizione *post-operam*), considerati con contorno impermeabile (Figura 6);

Per ognuno delle 3 simulazioni indicate nel paragrafo 4.3 è stata valutata la variazione della quota della falda tra una fase e l'altra, al fine di stimare numericamente l'effetto della realizzazione dell'opera sulla stessa, rispetto allo stato iniziale.

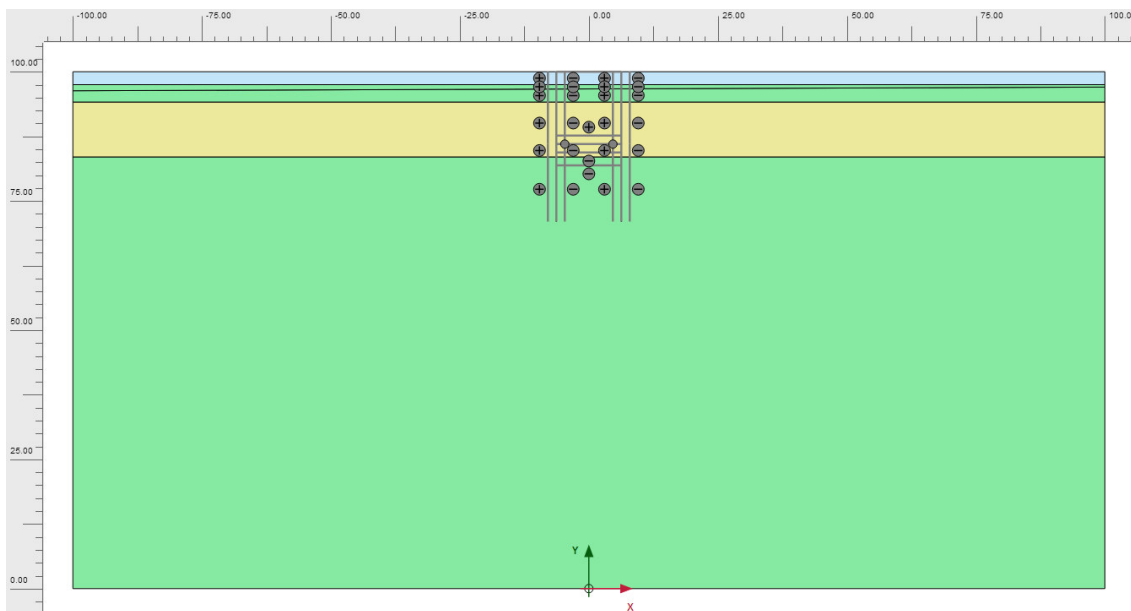


Figura 5 – Fase 1 – condizione indisturbata (ante-operam)

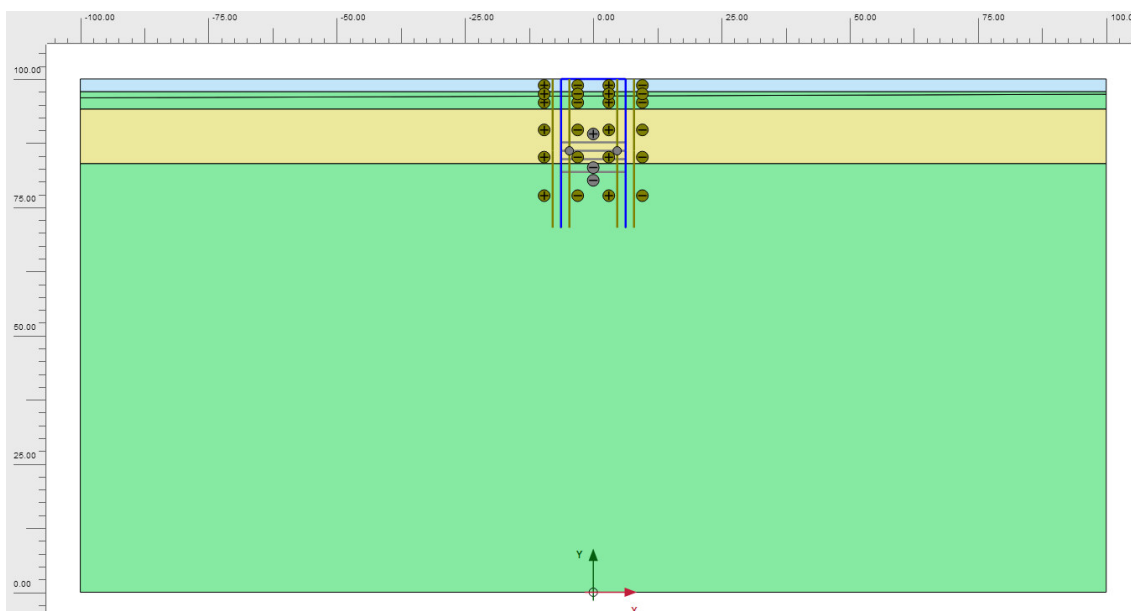


Figura 6 – Fase 2 – presenza dei diaframmi (post-operam)

5 RISULTATI

A partire dal modello di calcolo descritto, per ciascuna simulazione considerata viene riportato un confronto tra l'andamento delle pressioni interstiziali calcolate nelle fasi 1 e 2. Nello specifico, l'andamento delle pressioni viene valutato sulle due sezioni verticali poste immediatamente a monte dell'opera ($x = 6.5$ m, a destra nel modello) e a valle dell'opera ($x = -6.5$ m, a sinistra nel modello); si tratta sostanzialmente delle sezioni corrispondenti alla posizione dei due diaframmi.

Prima di discutere i risultati relativi alle singole simulazioni, è possibile riportare osservazioni generali sull'effetto dell'opera basandosi sui dati ottenuti dalla Simulazione 1. A tal riguardo, in Figura 7 è riportato l'andamento del flusso prima e dopo la realizzazione dei diaframmi: in fase 1 l'andamento del flusso è concentrato principalmente nello strato più permeabile (Unità S - Sabbie e ghiaie sabbiose); a seguito della realizzazione dei diaframmi si nota come la loro presenza realizzi un ostacolo idraulico che produce la deviazione del flusso per consentire il superamento dal basso dei citati setti.

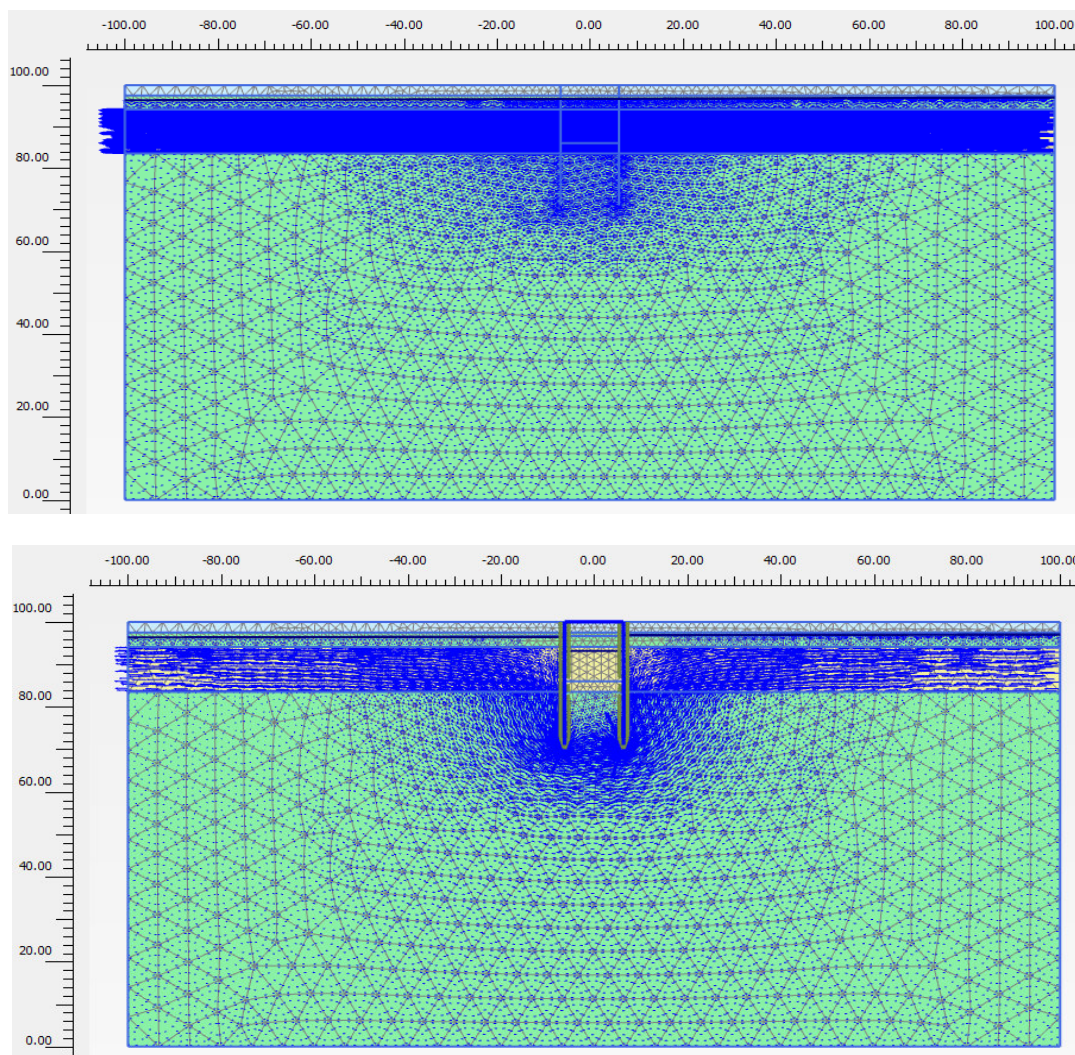


Figura 7 – Andamento del flusso d'acqua: Fase 1 (in alto) e Fase 2 (in basso).

La figura 8 riporta, invece, un ingrandimento nell'intorno della testa dei diaframmi in cui viene evidenziata la variazione dell'andamento della falda a seguito della realizzazione dei diaframmi. Si nota come nella fase 1 (*ante operam*) la falda abbia l'andamento lineare di partenza, mentre in fase 2 (*post operam*) subisce un innalzamento a monte (destra) e un abbassamento a valle (sinistra) rispetto all'andamento originario, naturalmente interrotta in figura dalla presenza dei setti.

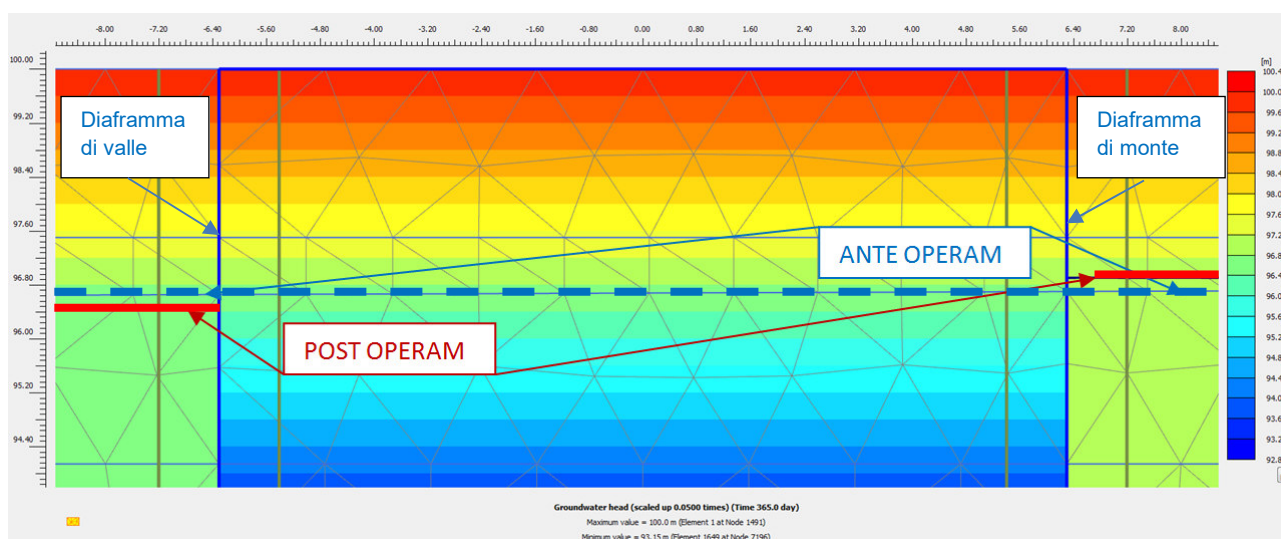


Figura 8 – indicazione delle quote di falda: confronto fase 1 (*ante operam*) e fase 2 (*post operam*)

Naturalmente, la variazione di quota a monte e a valle, seppur minima, comporta una conseguente variazione delle pressioni interstiziali nelle due sezioni di monte e di valle, per cui la valutazione degli andamenti di tali pressioni nelle due fasi consente di operare un diretto confronto tra le varie simulazioni al fine di ottenere le ricercate conclusioni preliminari sulle analisi eseguite. Nei paragrafi che seguono sono quindi riportati i risultati per le 3 simulazioni eseguite in termini di variazioni delle pressioni interstiziali lungo la profondità in corrispondenza dei diaframmi di monte e valle dell'opera.

5.1 SIMULAZIONE 1

Nella Simulazione 1 i terreni delle unità geotecniche sono caratterizzati con le permeabilità medie.

La variazione del livello di falda derivante dalla presenza dell'opera è leggibile dal grafico di Figura 9 nel quale si riporta l'andamento della pressione dell'acqua sulle verticali di controllo di monte e valle in fase 1 (*ante-operam*) e fase 2 (*post-operam*).

Come si può notare, a seguito della realizzazione dei diaframmi (fase 2) il diagramma delle pressioni parte da un'altezza superiore di circa 20 cm rispetto alla condizione indisturbata (fase 1), mentre a valle la variazione si manifesta come una diminuzione di entità confrontabile (circa 20 cm) tra fase 1 e fase 2.

Il confronto mostra, pertanto, che la presenza dell'opera genera un innalzamento della falda di circa 20 cm a monte e un abbassamento di 20 cm a valle.

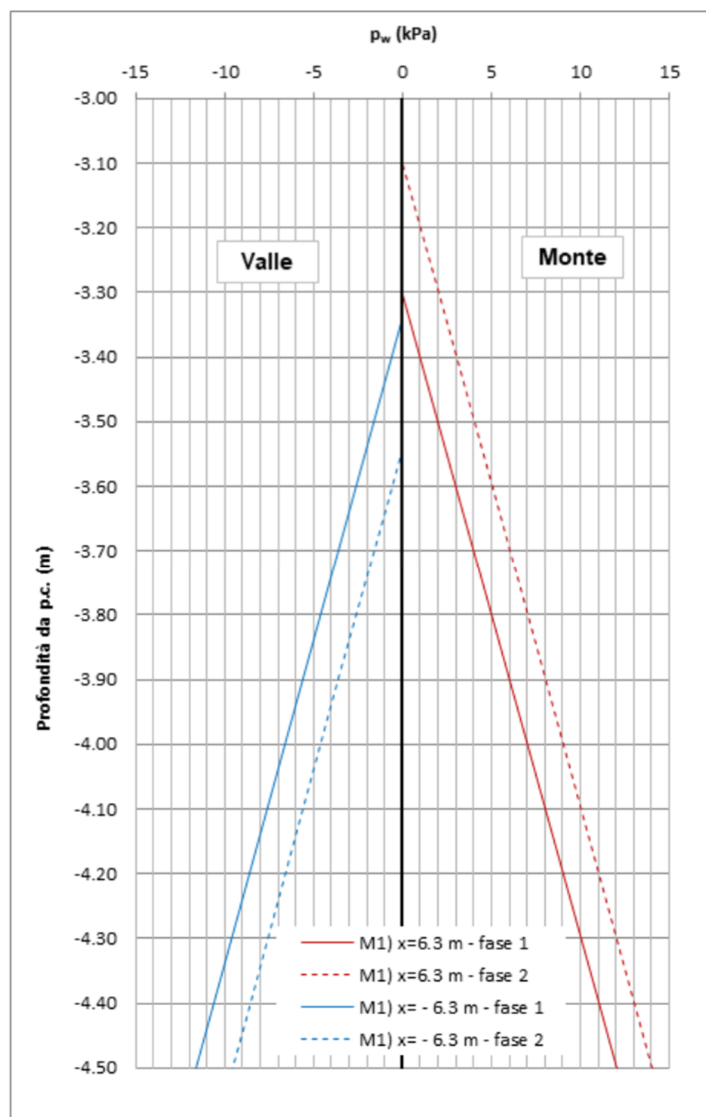


Figura 9 – Simulazione 1: andamento pressione dell'acqua lungo le verticali corrispondenti ai diaframmi di monte ($x=6.3$ m) e valle ($x=-6.3$ m)

5.2 SIMULAZIONE 2

Nella Simulazione 2 si considerano le condizioni limite (valore minimo) per i Limi, e il valore medio per le Sabbie.

Analogamente al caso precedente, si può verificare dalla Figura 10 che la presenza dell'opera genera un innalzamento della falda di circa 30 cm a monte e un abbassamento di circa 30 cm a valle .

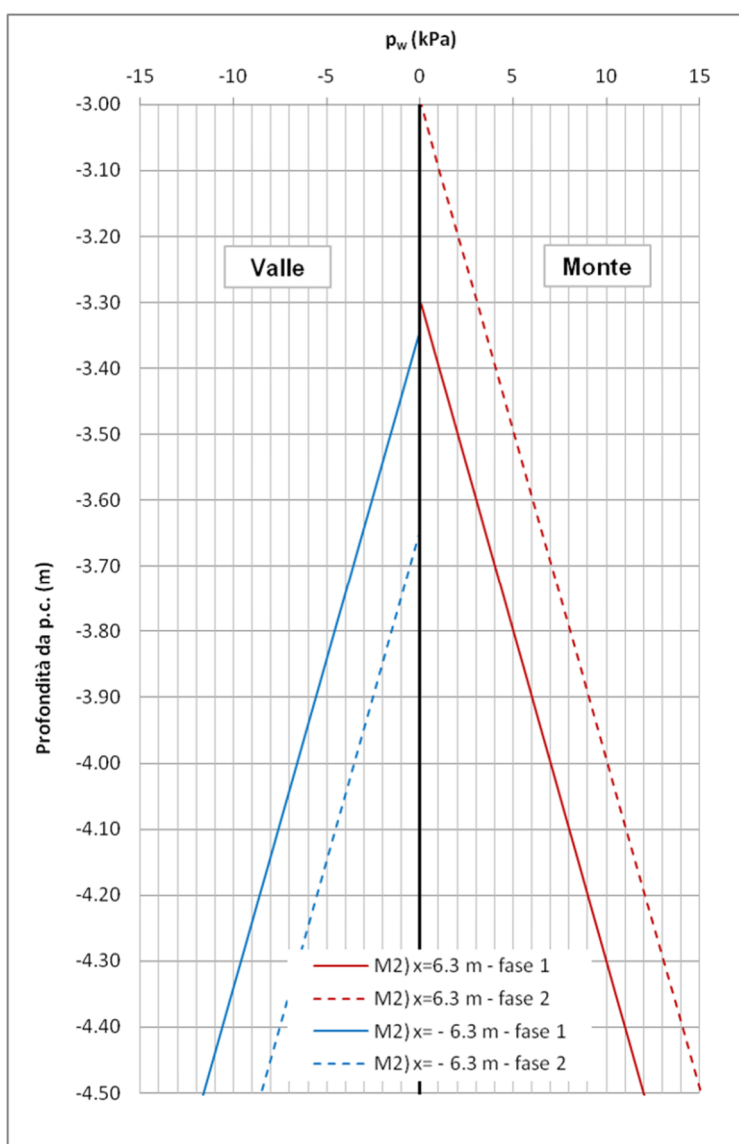


Figura 10 – Simulazione 2: andamento pressione dell'acqua lungo le verticali corrispondenti ai diaframmi di monte ($x=6.3$ m) e valle ($x=-6.3$ m)

5.3 SIMULAZIONE 3

Per quanto riguarda la Simulazione 3, il modello è caratterizzato dai valori minimi della permeabilità per entrambe le unità geotecniche, la Figura 11 riporta un innalzamento della falda a monte di circa 20 cm in fase 2 ed un conseguente abbassamento a valle di entità simile.

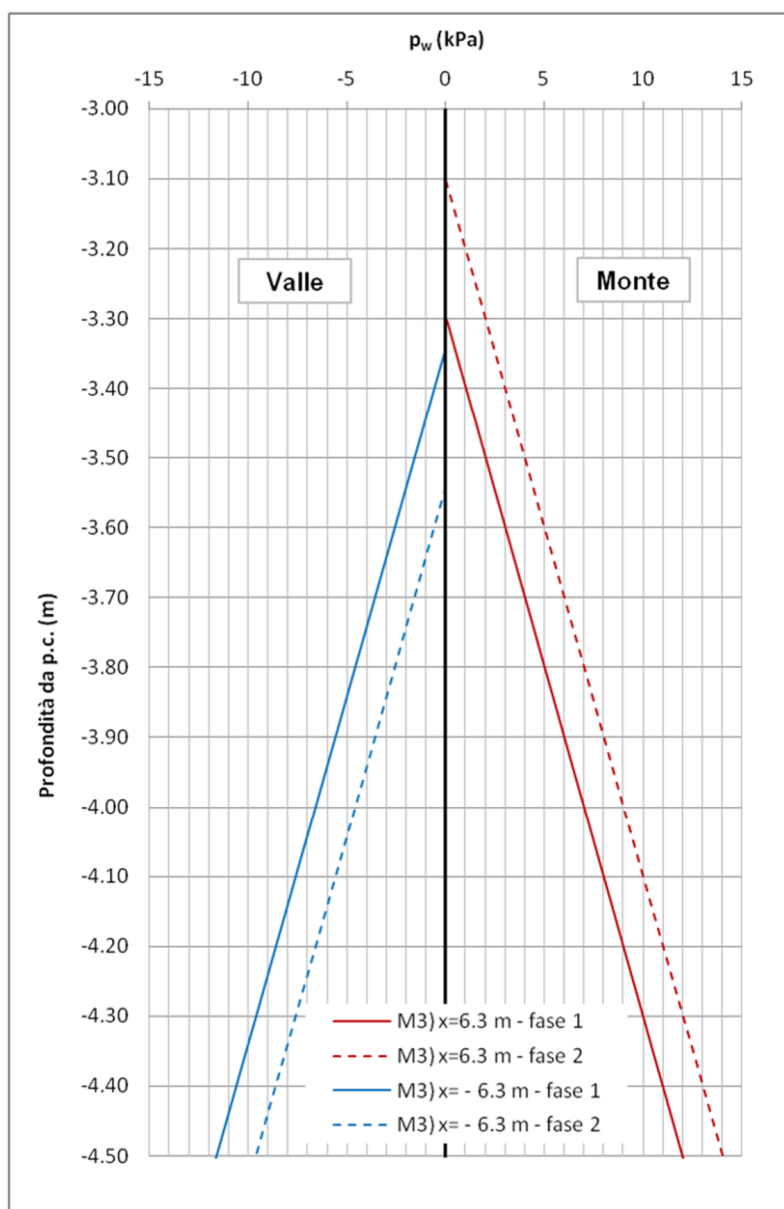


Figura 11 – Simulazione 3: andamento pressione dell'acqua lungo le verticali corrispondenti ai diaframmi di monte (x=6.3m) e valle (x=-6.3m)



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

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

LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI
TRENTO

Valutazione dell'interferenza delle opere
con la falda

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IBOQ

3A R 10

RH

GE 0006 003

B

17 DI 18

6 CONCLUSIONI

Le figure sotto-riportate consentono il confronto diretto tra gli andamenti delle pressioni interstiziali calcolate in fase 2 (*post operam*) sulle verticali di monte e di valle, per ciascuna delle simulazioni considerate, oltre a presentare il riferimento relativo al caso indisturbato (fase 1).

È possibile osservare come nella Simulazione 2, nella quale il modello risulta caratterizzato da una differenza di permeabilità maggiore fra le unità L e S, risulti una maggiore variazione della quota di falda (30 cm) rispetto agli altri due casi (20 cm), in aumento a monte e in diminuzione a valle.

Il valore massimo calcolato con le simulazioni, pari a 30 cm, rappresenta l'ordine di grandezza del fenomeno che può prodursi nella realtà, avendo assunto come validi i dati di input del modello, disponibili al presente stadio di progettazione, in termini di assetto stratigrafico, permeabilità e condizioni della falda. La perturbazione stimata, prodotta dalla realizzazione delle opere sulla falda può essere considerata accettabile in quanto compatibile con le condizioni idrogeologiche del sito e l'attuale uso del suolo.

Inoltre, particolare attenzione è stata rivolta al dimensionamento dei diaframmi, limitandone le lunghezze al fine di ridurre l'ostacolo al naturale deflusso delle acque sotterranee.

In tal senso, nelle successive fasi di progettazione si ritiene opportuno comunque approfondire le conoscenze circa le caratteristiche dell'acquifero e delle permeabilità delle unità geotecniche interessate dal fenomeno in studio, al fine di confermare i risultati delle analisi effettuate.

Si osserva in ultimo che i risultati ottenuti, sebbene derivino da una modellazione semplificata che schematizza un fenomeno spiccatamente 3D con un modello 2D, possono ritenersi comunque conservativi per le assunzioni fatte sul gradiente, già anticipate nel par. 3.

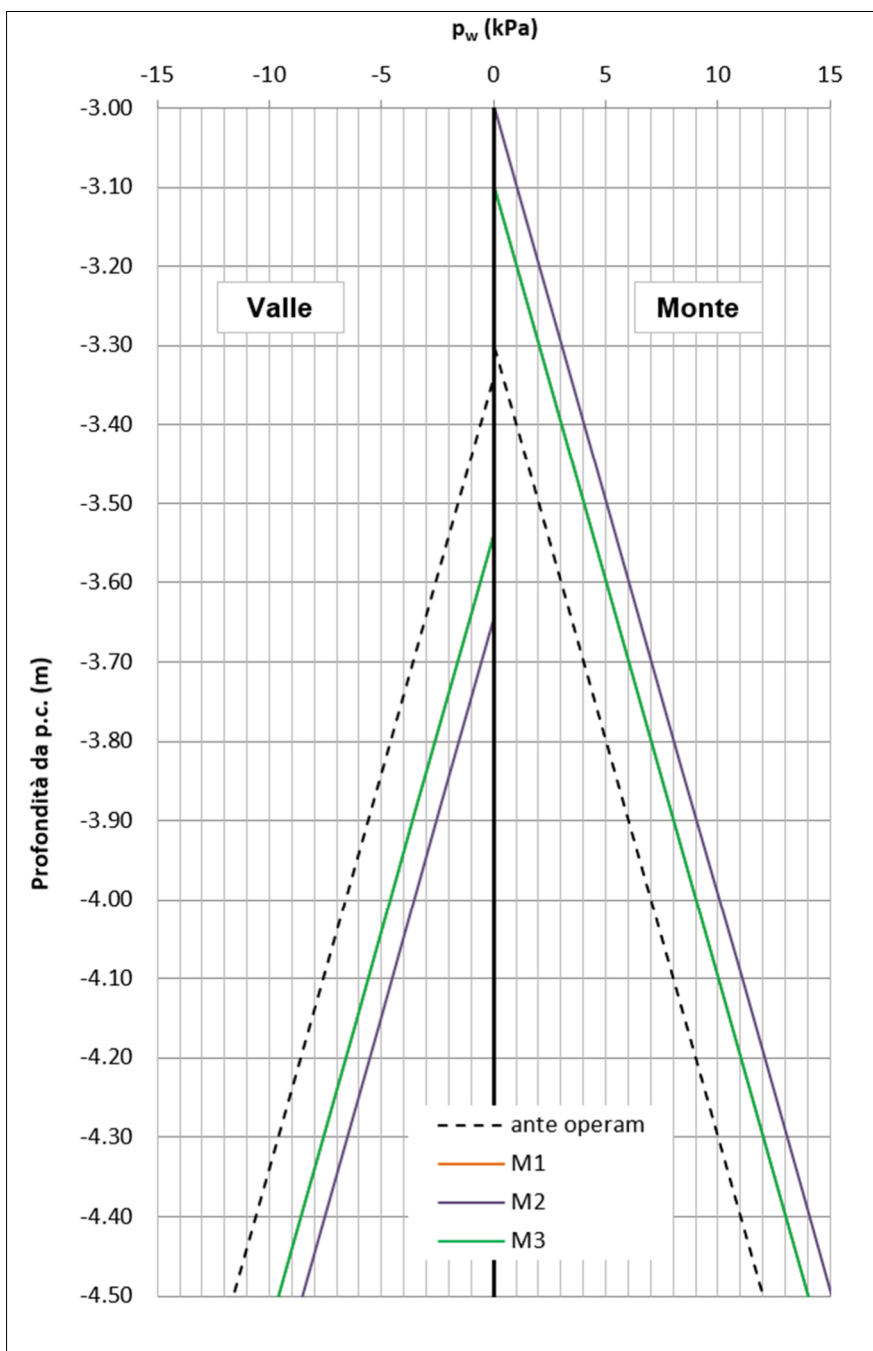


Figura 12 – Andamento della pressione interstiziale con la profondità lungo le verticali di controllo corrispondenti ai diaframmi di monte e valle: confronto tra le varie simulazioni e la condizione ante-operam (M1=Simulazione 1 – M2= Simulazione 2 – M3=Simulazione 3)