

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO**

**INTERCONNESSIONE NOVI LIGURE ALTERNATIVA ALLO SHUNT**

**MODELLO NUMERICO IDROGEOLOGICO**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. E. Pagani	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R O	G E 0 0 0 0	0 0 2	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP 	28/07/2015	Rocksoil 	28/07/2015	A. Palomba 	28/07/2015	

n. Elab.:

File: A3010XDCVROGE0000002A

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>A3010XDCVROGE0000002A</p>	<p>Foglio 3 di 47</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1.     PREMESSA.....		4
2.     CARATTERISTICHE DELL'OPERA.....		4
3.     NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....		8
4.     CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA DELL'INTERVENTO.....		9
4.1.   Aspetti geologici.....		9
4.2.   Aspetti geomorfologici.....		9
4.3.   Indagini geognostiche.....		11
5.     CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DELL'AREA D'INTERVENTO.....		13
5.1.   Caratteristiche idrogeologiche.....		13
5.2.   Piezometria e sistemi di flusso.....		14
6.     DESCRIZIONE DEL MODELLO.....		17
6.1.   Codice numerico (FeFlow 6.0).....		17
6.2.   Costruzione del modello 3D.....		17
6.3.   Struttura del modello numerico.....		18
6.4.   Simulazione del flusso in condizioni naturali (ante-operam).....		21
6.5.   Simulazione per la previsione delle portate transitorie attese nel corso della fase di scavo.....		24
6.5.1.  BP – stima del drenaggio tra la pk 1+700 e 1+800.....		25
6.5.2.  BD – stima del drenaggio tra la pk 1+589 e 1+689.....		28
6.5.3.  BD – stima del drenaggio tra la pk 1+182 e 1+222.....		29
6.5.4.  BD – stima del drenaggio tra la pk 0+974 e 1+074.....		31
6.5.5.  Sintesi del drenaggio atteso in fase di scavo su tutte le tratte dell'opera.....		33
6.6.   Valutazione degli impatti sulle risorse circostanti.....		35
6.6.1.  Impatti sul breve periodo causati dall'abbassamento del livello di falda.....		35
6.7.   Impatti sul lungo periodo successivi alla realizzazione dell'interconnessione.....		38
6.7.1.  Simulazione in assenza di by-pass drenante.....		39
6.7.2.  Simulazione in presenza di by-pass drenante.....		44

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 4 di 47</span>

## 1. PREMESSA

Il presente rapporto riporta i risultati delle simulazioni numeriche effettuate per la realizzazione dell'interconnessione di Novi Ligure. L'analisi effettuata costituisce una fase di studio del Progetto Definitivo e si inserisce nell'ambito del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi". Le simulazioni numeriche sono state realizzate su un modello tridimensionale esteso su un intorno significativo dell'Interconnessione di Novi Ligure, alternativa allo Shunt. Il modello numerico è stato realizzato per i seguenti scopi:

- Valutazione dell'efficacia di alcuni accorgimenti progettuali pianificati per minimizzare gli impatti dell'opera sulla falda
- Definizione degli effetti idraulici transitori dell'acquifero dovuti al drenaggio temporaneo di alcune tratte dell'opera
- Definizione degli effetti idraulici permanenti in acquifero dovuti all'interazione tra la falda e le opere definitive in progetto

Preliminarmente alla realizzazione del modello numerico, è stata effettuata una ricostruzione della distribuzione piezometrica riferibile al livello massimo di falda. Tale ricostruzione è stata utilizzata sia ai fini progettuali per un dimensionamento adeguato delle opere in funzione dell'altezza massima di falda attesa, sia per la calibrazione del modello numerico stesso.

## 2. CARATTERISTICHE DELL'OPERA

L'interconnessione di Novi Ligure rappresenta un'opera di collegamento tra la linea ferroviaria storica Tortona-Novì Ligure e la nuova opera. L'interconnessione è divisa in due binari, uno pari ed uno dispari (rispettivamente abbreviati come BP e BD), illustrati in Figura 1. Su ogni binario è prevista la realizzazione delle seguenti opere:

<b>Binario Pari</b>			
<b>Da pk</b>	<b>A pk</b>	<b>Lungh. (m)</b>	<b>Tipo di opera</b>
0+000	0+337	340	Camerone
0+337	1+330	993	Galleria Naturale
1+330	1+360.5	30.5	Galleria Artificiale "Tipo 1"
1+360.5	1+491.5	131	Galleria Artificiale "Tipo 2"
1+491.5	1+644	152.5	Trincea tra Diaframmi "Tipo 1"
1+644	1+825	181	Trincea tra Diaframmi "Tipo 2"
1+825	1+918	93	Trincea Naturale
1+918	2+353	435	Rilevato

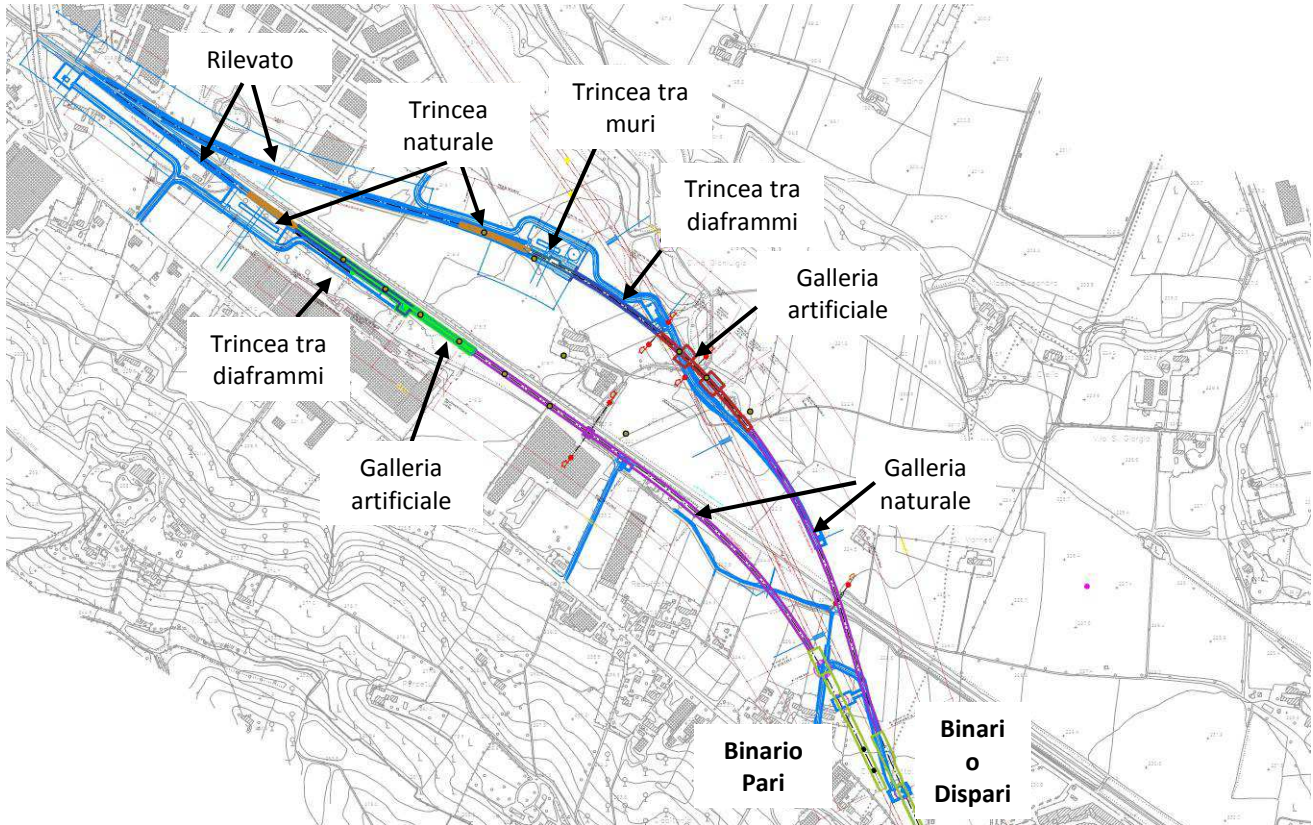
<b>Binario Dispari</b>			
<b>Da pk</b>	<b>A pk</b>	<b>Lungh. (m)</b>	<b>Tipo di opera</b>
0+000	0+349	352	Camerone
0+349	1+074	725	Galleria Naturale
1+074	1+104.5	30.5	Galleria Artificiale "Tipo 1"
1+104.5	1+172	67.5	Galleria Artificiale "Tipo 2"
1+172	1+182	10	Galleria Artificiale "Tipo 3"
1+182	1+222	40	Galleria Artificiale "Tipo 4"
1+222	1+252	30	Galleria Artificiale "Tipo 3"
1+252	1+269.5	17.5	Galleria Artificiale "Tipo 2"
1+269.5	1+299.5	30	Galleria Artificiale "Tipo 4"
1+299.5	1+362	62.5	Galleria Artificiale "Tipo 2"
1+362	1+589	227	Trincea tra diaframmi "Tipo 1"
1+589	1+734	145	Trincea tra muri ad "U"
1+734	1+859	125	Trincea naturale
1+859	2+741	882	Rilevato

Per la descrizione delle caratteristiche costruttive dei singoli tratti di opera si rimanda alla specifica documentazione progettuale. Nell'ambito del presente rapporto risulta utile soffermarsi unicamente sulle caratteristiche idrauliche delle varie tipologie di interventi previsti lungo le diverse tratte del BP e del BD. Questo è infatti l'unico aspetto che ha una rilevanza per lo studio in oggetto relativo alla valutazione degli impatti dell'opera sull'acquifero.

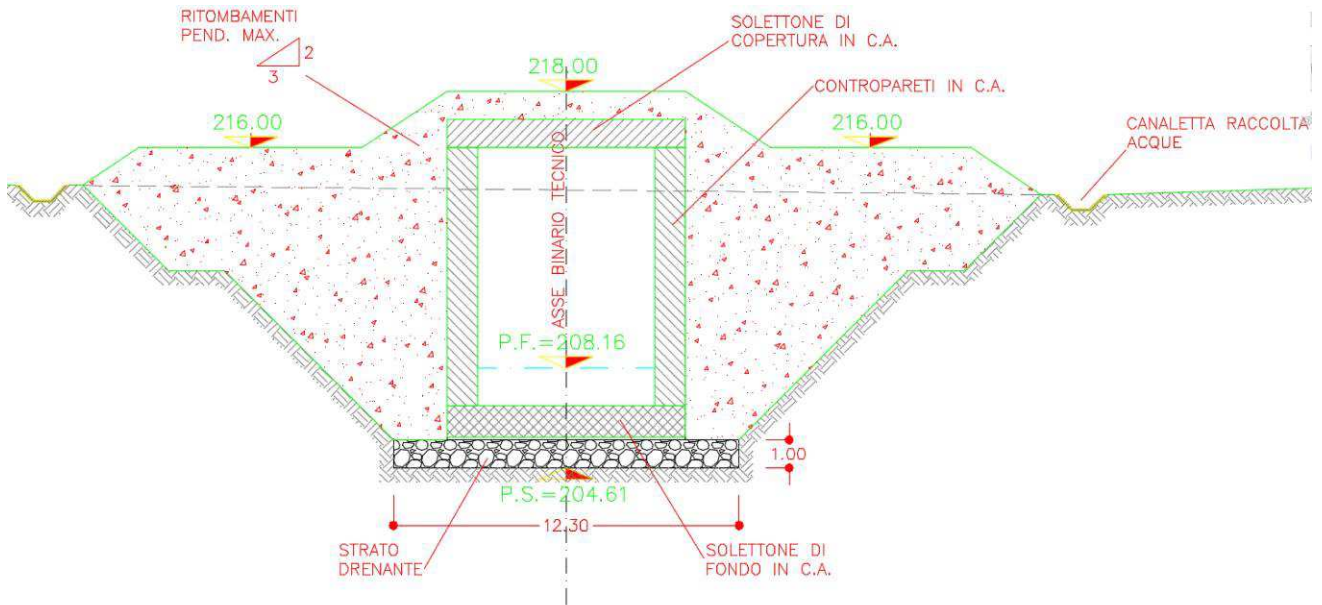
Dal tratto iniziale di costruzione del camerone, fino al tratto finale di galleria artificiale, i due binari ferroviari risultano compresi in uno scatolare in c.a., idraulicamente impermeabile. Esternamente a tale scatolare, le caratteristiche dell'opera cambiano lungo tracciato, in funzione delle condizioni plano-altimetriche del tracciato e delle caratteristiche geotecniche dei materiali in cui l'opera stessa si inserisce. I diaframmi rappresentano un elemento strutturale che può essere assunto come impermeabile e che quindi va considerato nella verifica degli effetti di interferenza con la falda acquifera.

Quindi, i diaframmi e lo scatolare in cui sono inseriti i due binari rappresentano elementi di potenziale sbarramento idraulico della falda. Essi sono stati pertanto considerati nella modellizzazione.

Un altro elemento che risulta essere importante ai fini delle ricadute sull'idrodinamica sotterranea è costituito dalla Galleria Artificiale di "Tipo 4", presente in corrispondenza del BD. La sezione caratteristica di Figura 2 mostra come al piede del solettone di fondo sia prevista la messa in opera di uno strato drenante dello spessore di 1 metro e di ampiezza di oltre 12 m. Tale strato, che si innesta all'interno delle Argille di Lugagnano, è concepito in modo da costituire un bypass per garantire la continuità idraulica alla falda contenuta nei depositi ghiaiosi alluvionali soprastanti le Argille di Lugagnano.



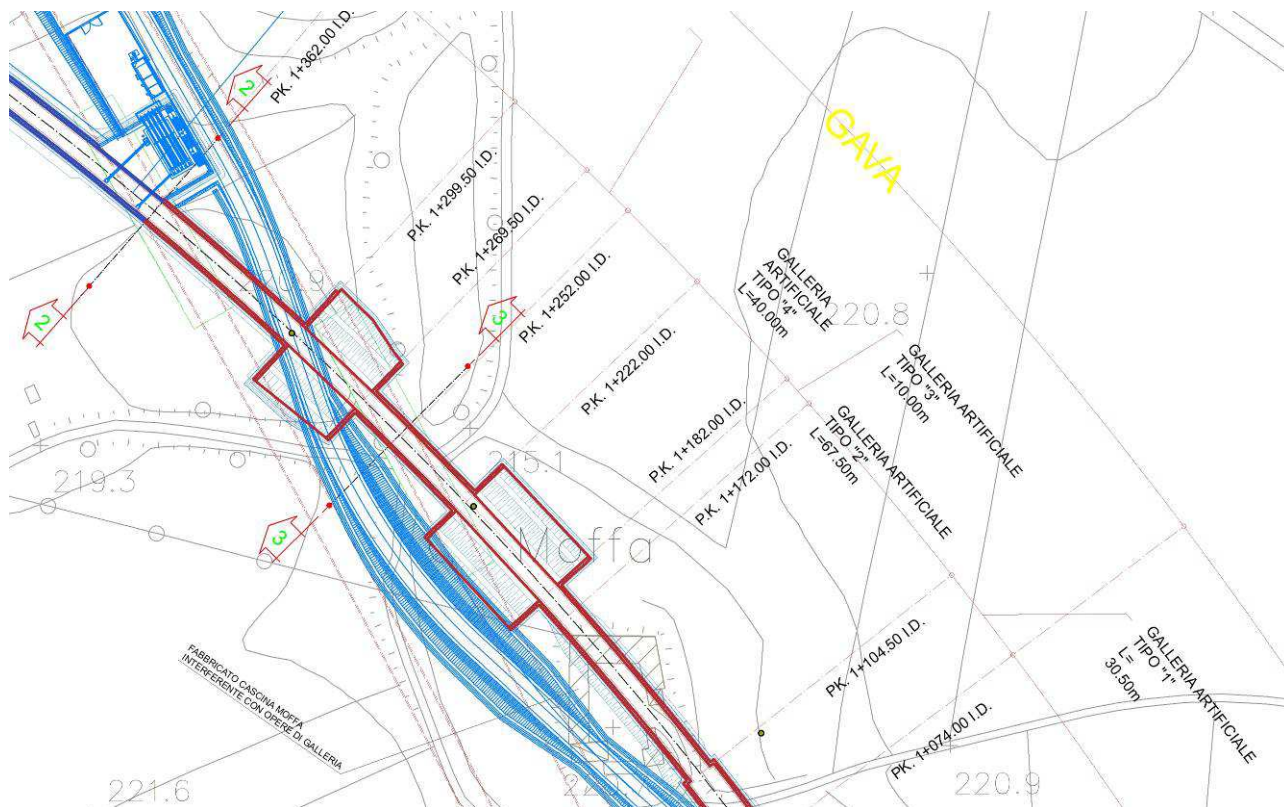
**Figura 1 – Tracciato del Binario Pari e del Binario Dispari dell’Interconnessione Novi Ligure. Per un maggior dettaglio delle caratteristiche planimetriche delle opere fare riferimento agli specifici elaborati progettuali.**





GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A
	Foglio 7 di 47

**Figura 2 – Sezione caratteristica della trincea prevista in corrispondenza della galleria artificiale “Tipo 4”.**



**Figura 3 – Dettaglio planimetrico dell’opera in corrispondenza della galleria artificiale “Tipo 4”.**

La documentazione progettuale consultata è rappresentata dalla Relazione Geologica ed Idrogeologica relativa al settore di Pianura (A301-0X-D-CV-RO-GE00-00-001-D00) e dai profili geologici-idrogeologici (A301-0X-D-CV-FX-GE00-00-001-C02).

Oltre a questi documenti fondamentali sono stati consultati anche altri documenti progettuali relativi al settore di interesse (es. Tavole con sezioni tipo A301-00-D-CV-BZ-GAVA-0X-007-B00, A301-00-D-CV-BZ-TRVA-0X-001-B02, A301-00-D-CV-BZ-TRVB-0X-001-B00, A301-00-D-CV-W9-GAVA-0X-004-B00 e A301-0X-D-CV-BZ-GA41-0X-003-B00).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A
	Foglio 8 di 47

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente documento è stato redatto con riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 11.03.1988 e s.m.i. “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione”.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A
	Foglio 9 di 47

## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA DELL'INTERVENTO

La zona interessata dall'opera in progetto ricade in parte nelle unità sommitali del Bacino Terziario Piemontese (BTP) e in parte all'interno dei sovrastanti depositi post-messiniani, sormontati a loro volta dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

### 4.1. Aspetti geologici

Dal punto di vista geologico l'area d'intervento attraversa il termine basale della successione pliocenica, rappresentato dalle Argille di Lugagnano/Argille Azzurre (aL), poggianti sull'unità dei Conglomerati di Cassano Spinola del Gruppo della Gessoso-Solfifera (BTP). Le Argille Azzurre sono sormontate dai depositi alluvionali quaternari del bacino del T. Scrivia riferibili al Fluviale Medio (fl2).

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Si mostrano localmente bioturbate e contengono resti di bivalvi, gasteropodi, echinidi, pteropodi, associazioni a foraminiferi planctonici e bentonici ed abbondanti frustoli vegetali. Il contenuto fossilifero ed in generale la scarsa frazione carbonatica tendono a diminuire verso la parte alta della formazione. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

I depositi fluviali riferiti al Fluviale Medio (fl2) sono ubicati in corrispondenza dell'ampio terrazzo di Novi Ligure, sospeso di 25-45 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia e che si estende da Serravalle Scrivia a Pozzolo Formigaro in sinistra idrografica del T. Scrivia. Le osservazioni stratigrafiche derivano soprattutto dalle stratigrafie di sondaggio e in minima parte da osservazioni dirette. I depositi fluviali medi (fl2) sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. Dall'analisi granulometrica di 4 campioni raccolti in 1 sito le classi granulometriche risultano così distribuite: 57% ghiaia, 21% sabbia, 15% limo e 7% argilla. La matrice fine, siltoso-arenacea è mediamente alterata. Solo localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt-argillosi. I depositi fluviali medi (fl2) sono ricoperti da suoli che presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri, attualmente utilizzati come strato coltivo. Lo spessore complessivo dei depositi fluviali medi varia da 1-2 metri a 10-15 metri circa. In base al grado di alterazione e ai rapporti con le altre unità, i depositi fluviali medi possono essere indicativamente riferiti al Pleistocene medio-superiore.

### 4.2. Aspetti geomorfologici

L'area di indagine si colloca sulla piana alluvionale terrazzata situata in sponda sinistra idrografica del Torrente Scriva, tra gli abitati di Serravalle Scrivia e Novi Ligure; si tratta di un settore posto in corrispondenza dello sbocco della Valle Scrivia sull'apice del vasto conoide alluvionale che forma la

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A3010XDCVROGE0000002A		Foglio 10 di 47

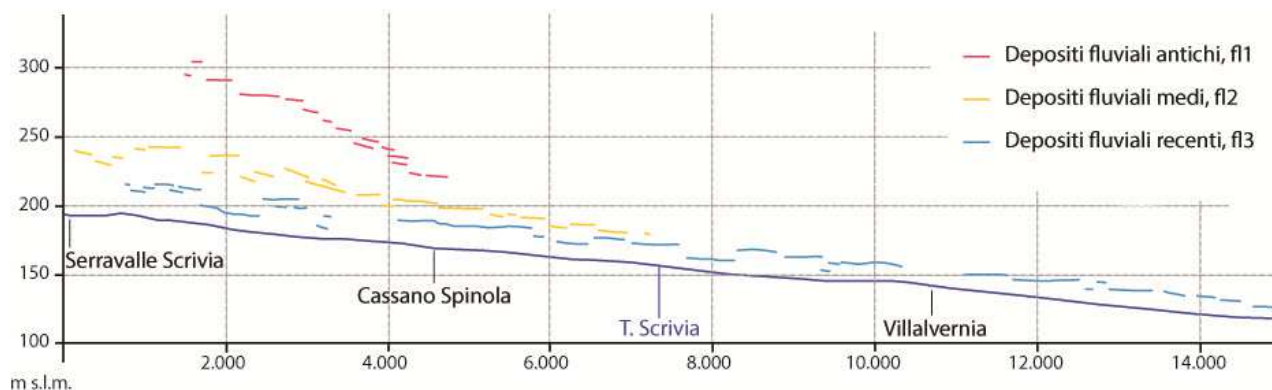
pianura tra Serravalle, Novi, Frugarolo, Castelnuovo Scrivia e Tortona, delimitata, a E e a N, dal corso dei fiumi Orba, Bormida, Tanaro e Po e a E dal corso del T. Grue.

Dal profilo morfostratigrafico realizzato per il tratto del T. Scrivia che va da Serravalle a Villalvernia si può osservare che nella fascia altimetrica compresa tra 305 e 130 m s.l.m. esistono diversi ordini di terrazzi di origine fluviale. I terrazzi, sulla base della loro quota attuale, possono essere schematicamente suddivisi in 3 gruppi principali che corrispondono ad altrettante fasi di modellamento delle superfici e deposizione dei sedimenti.

Il gruppo di terrazzi situato in prossimità della fascia altimetrica più alta, compresa tra 305 e 225 m, è ubicato in prevalenza lungo i fianchi e in parte alla sommità dei rilievi collinari che sovrastano il conoide del T. Scrivia. Questi terrazzi sono modellati e delimitano arealmente i depositi fluviali antichi (fl1).

Il gruppo di terrazzi situato in prossimità della fascia altimetrica intermedia, compresa tra 245 e 175 m, è ubicato in corrispondenza del conoide del T. Scrivia. Questi terrazzi delimitano le estese aree poco acclivi o pianeggianti sulle quali sorgono gli abitati di Serravalle Scrivia, Novi Ligure e, in parte, Pozzolo Formigaro. Questi terrazzi sono modellati e delimitano arealmente i depositi fluviali medi (fl2).

Il gruppo di terrazzi situato in prossimità della fascia altimetrica inferiore, compresa tra 225 e 125 metri, è ubicato in corrispondenza del conoide del T. Scrivia, a poche decine di metri dal suo alveo ordinario. Questi terrazzi sono modellati e delimitano arealmente i depositi fluviali recenti (fl3).



**Figura 4 - Profilo morfostratigrafico del Torrente Scrivia realizzato nel tratto compreso tra gli abitati di Serravalle Scrivia e Villalvernia e riferito al versante idrografico sinistro della Valle Scrivia (non sono stati rappresentati gli ordini di terrazzi riferibili all'evoluzione recente del T. Scrivia - depositi fluviali attuali (a)- in quanto scarsamente rilevanti ai fini dell'opera).**

Il terrazzo su cui si sviluppano le opere in progetto è impostato nei depositi alluvionali del Fluviale Medio (fl2) e si estende con andamento SE-NW tra 230 m e 218 m di quota, con una larghezza, nel tratto interessato dalle opere, compresa tra 1000 e 1200 m; il gradiente morfologico medio è di circa 4.5‰ in senso longitudinale (SE-NW), con drenaggio superficiale diretto dalla base del versante collinare sinistro della Valle Scrivia verso NE.

Il terrazzo fl2 è delimitato a NE da una scarpata fluviale, che immette a un terrazzo sub-pianeggiante sottostante, impostato nei depositi del Fluviale Recente (fl3). Il terrazzo fl3, costituito da depositi alluvionali sottili, è a sua volta inciso dalla scarpata di erosione che delimita l'alveo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 11 di 47</span>

attuale del T. Scrivia, che si trova a una distanza minima di 1800 m dall'asse delle opere in progetto.

La scarpata che delimita il terrazzo fl2 ha in pianta una geometria irregolare, essendo incisa da alcuni corsi d'acqua minori, che si impostano lungo direttrici ad andamento medio N-S, obliquo rispetto all'asse vallivo principale e con drenaggio verso N, determinando incisioni più o meno profonde che interrompono la continuità laterale del terrazzo. In particolare, la testata di una di tali incisioni interseca il tracciato planimetrico dell'interconnessione Dispari presso la Cascina Moffa alla attorno alla pk 1250. Poco a Nord di tale cascina sono presenti due laghetti.

A livello locale quindi, la morfologia è controllata:

- dalla presenza al piede del versante collinare di piccoli conoidi alluvionali, di pertinenza del reticolato idrografico secondario, che sfociano sul terrazzo principale, nonché di sottili accumuli di detrito di versante che raccordano il pendio alla piana alluvionale;
- dalla presenza di alcune linee di drenaggio trasversali rispetto all'asse vallivo;
- da vistosi interventi di riassetto territoriale connessi con interventi di urbanizzazione, in articolare tra la linea ferroviaria attuale e il versante collinare, dove sono presenti diversi insediamenti industriali, in corrispondenza dell'allacciamento tra le interconnessioni e la prevista linea di valico, dove si trova il centro commerciale di Serravalle e all'estremo opposto, dove inizia la periferia di Novi Ligure.

È da segnalare la presenza sul terrazzo in esame di diversi specchi d'acqua che colmano alcune depressioni morfologiche e che danno un'indicazione di quanto possa essere localmente superficiale la falda ospitata nelle alluvioni. In particolare, presso C.na Moffa sono presenti, come precedentemente accennato, due laghetti che occupano il fondo di un'incisione di origine fluviale, legata all'alveo di un piccolo corso d'acqua che prende origine circa 200 m a SE dal cascinale. Questi laghetti si collocano a ridosso del tracciato dell'interconnessione Dispari; il bordo meridionale dello specchio d'acqua più vicino è circa 10 m a N dell'asse di linea. Sull'esatta verticale dell'asse di linea è presente un'ulteriore depressione, posta tra la cascina e il primo laghetto, che all'epoca del rilievo risultava asciutta. Non è chiaro se anche questa depressione possa stagionalmente ospitare un piccolo stagno.

Il terrazzo impostato nei depositi fl2 è tagliato diagonalmente dalla trincea della linea ferroviaria attuale, che corre in direzione SE-NW tra le località di C.na Colombina (a ridosso dell'outlet di Serravalle) e C.na Moffa; la lunghezza totale della trincea è di 1900 ca; la sua profondità massima rispetto al piano campagna circostante è di 11 m ca. nei pressi dell'outlet di Serravalle; la profondità si riduce progressivamente arrivando a 5 m ca. 700 m più a NW e a 1 m ca. 1300 m più a NW. La trincea termina circa 500 m a SE dello stabilimento della NOVI Dolciaria.

#### 4.3. Indagini geognostiche

Le indagini geognostiche disponibili e significative per il settore interessato dall'opera sono elencate di seguito.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>A3010XDCVROGE0000002A</p> <p style="text-align: right;">Foglio 12 di 47</p>

- Indagini Progetto Preliminare: XA301G022, XA301G023, XA301G024, AA301B042, EA301B043 e EA301R044.
- Indagini Progetto Definitivo: SI48.
- Indagini Progetto Esecutivo: L2-S01, L2-S02, L2-S03, L2-S53, L3-S01, L3-S02, L3-S03, L3-S06, L3-S07, L3-S13, L3-S14, L3-S55.
- Indagini Progetto Definitivo – Interconnessione Novi Ligure (2014): S-OV42-1, S-OV42-2, S-OV42-3, S-OV42-4.

Nel complesso, tutte le sezioni indicano la presenza di: i) un intervallo superficiale di 8-15 metri circa di depositi alluvionali sabbioso siltosi con un livello ghiaioso basale discontinuo (0-3 m circa); ii) un substrato argilloso, localmente siltoso, rappresentato dalle formazioni dei Conglomerati di Cassano Spinola e delle Argille di Lugagnano.

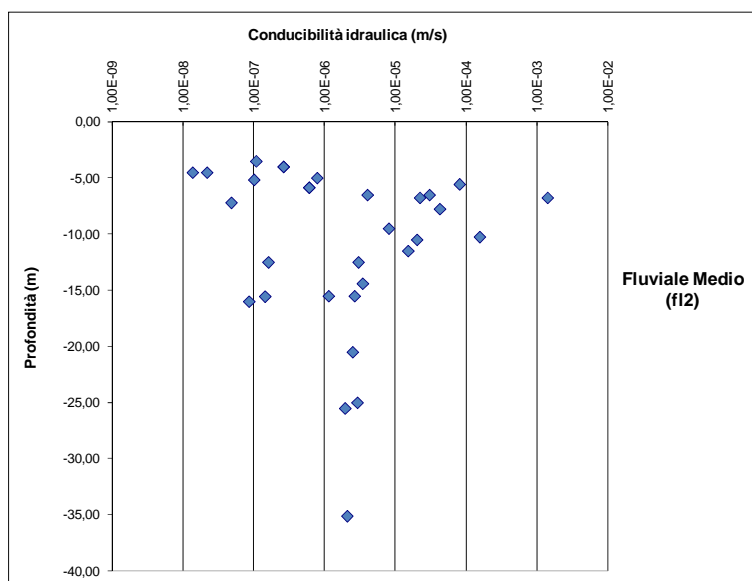
La descrizione dettagliata dei singoli sondaggi è riportata nei rispettivi elaborati.

## 5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DELL'AREA D'INTERVENTO

### 5.1. Caratteristiche idrogeologiche

Dal punto di vista idrogeologico, il settore in cui ricade l'interconnessione di Novi Ligure è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi alluvionali di pianura. Il substrato impermeabile o molto poco permeabile è invece costituito dalle Argille di Lugagnano. I depositi sono di tipo fluviale medio (f12) e sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose con percentuali variabili di matrice fine.

I depositi di tipo fluviale medio sono stati inseriti nel Complesso idrogeologico 3. Tale complesso è caratterizzato da un grado di cementazione variabile e la cui permeabilità è principalmente legata alla porosità primaria del deposito. I depositi f12 interessano direttamente l'opera in progetto lungo entrambi i tracciati, almeno a partire dal punto in cui i depositi fluviali iniziano a comparire in calotta, quindi dalle pk 0+900 (BD) e 0+950 (BP); è comunque possibile che i depositi "f12" compaiano in calotta anche prima, a causa dell'esigua copertura in roccia e di possibili irregolarità della superficie di appoggio basale.



**Figura 5 - Grafico delle conducibilità idrauliche per i depositi alluvionali medi (f12) da prove sui sondaggi del PP, PD e PE.**

I test idraulici eseguiti (Figura 5), mettono in evidenza valori di conducibilità idraulica piuttosto dispersi, compresi in media tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s; localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori (fino a  $1 \times 10^{-3}$  m/s) o minori (fino a  $1 \times 10^{-8}$  m/s) a seconda della presenza di strati differenziabili in relazione a diverse percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla. Un valore medio rappresentativo di f12 è rappresentato da  $5 \times 10^{-5}$  m/s.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 14 di 47</span>

La stratigrafia di questi sedimenti, nota sulla base dei sondaggi eseguiti, evidenzia una successione di orizzonti a composizione limoso-argillosa che possono causare locali effetti di compartimentazione in senso verticale dell'acquifero.

Per quanto riguarda la conducibilità idraulica delle Argille di Lugagnano, i test idraulici eseguiti mostrano valori prevalenti, fuori dalle zone di faglia, compresi tra  $1 \times 10^{-8}$  a  $1 \times 10^{-10}$  m/s. Un valore medio di riferimento è pari  $1 \times 10^{-8}$  m/s.

## 5.2. Piezometria e sistemi di flusso

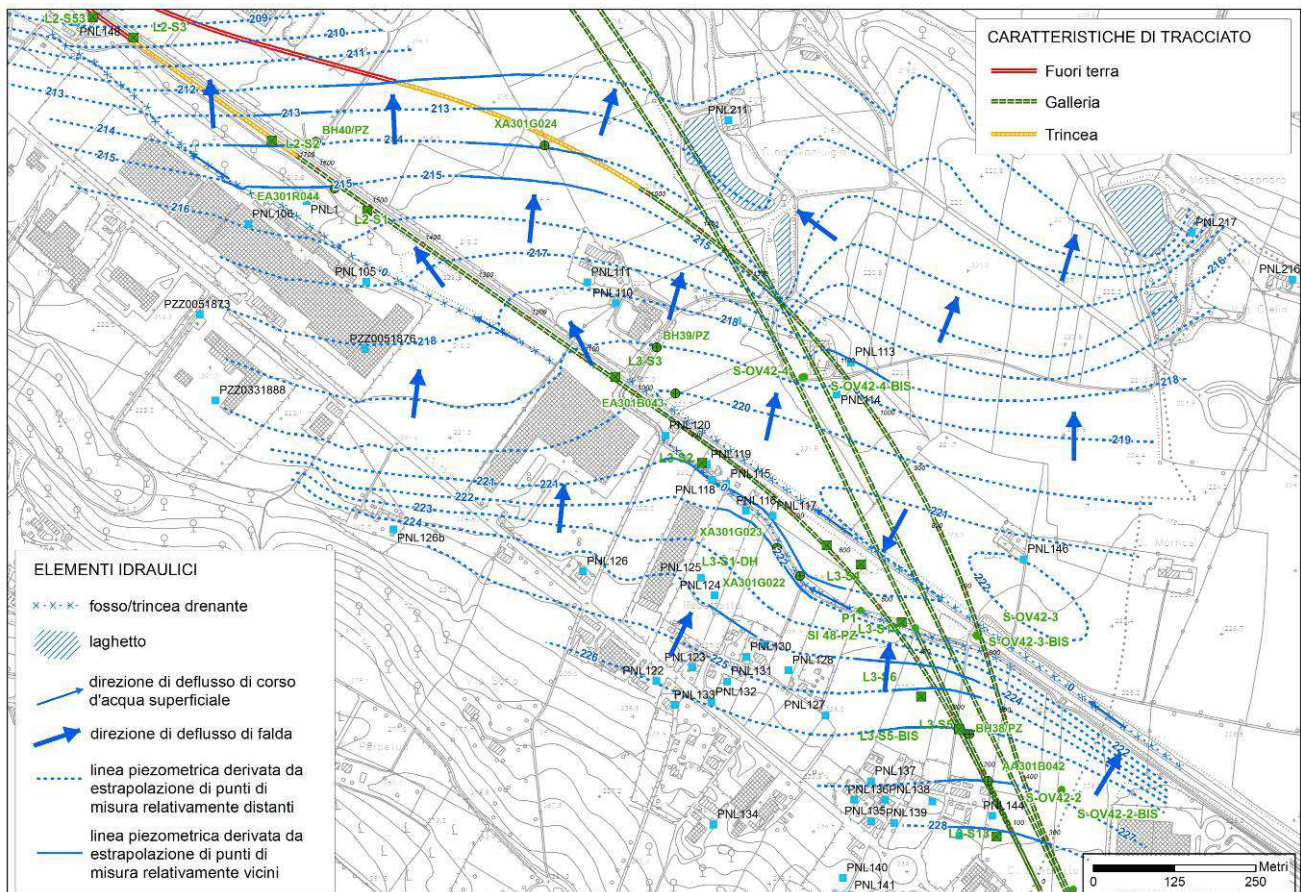
Nel settore in cui ricade l'opera di Interconnessione di Novi Ligure è stata effettuata una ricostruzione dettagliata della piezometria. Per tale ricostruzione sono stati utilizzati i dati derivanti dal monitoraggio piezometrico del PP effettuato nel 2002-2003, i dati ricavati dai piezometri realizzati nell'ambito del PE e i valori di misura disponibili per alcuni pozzi presenti nel settore di interesse. Nell'effettuare la ricostruzione del livello massimo di falda vanno considerati i seguenti aspetti, che hanno un'influenza sulla rappresentatività della ricostruzione stessa:

- La ricostruzione è stata effettuata interpolando valori piezometrici misurati in periodi temporalmente diversi (dal 2002 fino ad oggi). I piezometri che consentono di effettuare una valutazione maggiormente approfondita sul livello minimo e massimo di falda sono quelli del PP, gli unici di cui esista una serie di monitoraggio completa (misura annuale). Tuttavia, i piezometri del PP sono relativamente pochi e per gli altri piezometri e pozzi di cui esistono delle misure queste sono puntuali, quindi i loro valori non necessariamente sono riferibili ad una quota massima o minima di falda. Pertanto, nella ricostruzione piezometrica è stata data maggiore valenza alle serie di valori di PP e un peso relativamente minore ai valori misurati negli altri punti monitorati;
- Per i piezometri del PE non sono quasi mai disponibili delle quote di pc, anche nelle schede di sondaggio originali (ad es. mancano i dati relativamente a L2-S2, L2-S3, L2-S53, etc.). In questa fase la quota di pc è stata attribuita utilizzando i riferimenti di quota deducibili dalle carte topografiche a disposizione. Tuttavia, risulta chiaro che la ricostruzione della piezometria effettuata a partire da questi punti può essere suscettibile di una certa imprecisione;
- Per i pozzi, le misure di livello di cui ci sono stati forniti i dati non sono accompagnate da una descrizione delle condizioni idrauliche del pozzo. In altre parole, non è noto dove sia posizionata la colonna filtrante del pozzo e non è neppure noto quali fossero le condizioni del pozzo nel momento in cui è stata effettuata la misura (es. pozzo in pompaggio, pozzo a riposo, pozzo in disuso);
- Nella ricostruzione sono stati anche considerati i livelli misurati nei laghetti e nei fossi drenanti.

Si è scelto di effettuare una ricostruzione della piezometria massima di falda, la quale costituisce la situazione di maggiore rilevanza per gli effetti sull'acquifero derivati dall'interazione con le opere

sotterranee previste per l'interconnessione. Per tale ricostruzione sono stati presi in considerazione i seguenti punti d'acqua in cui è disponibile almeno una misura di livello:

XA301G023, XA301G024, EA301R044, EA301B043, L2-S2, L2-S3, L2-S53, L3-S1, L3S1-DH, L3-S5, PNL1, PNL212, PNL111, PNL113, PNL121, PNL127, PNL128, PNL211, PNL105, PNL113, L3-S1, PNL126, PNL146.



**Figura 6 – Distribuzione piezometrica relativa al livello massimo di falda.**

Come si può osservare dalla Figura 6, la direzione media di flusso è da Sud a Nord, con locali deviazioni in corrispondenza ai fossi ed ai laghetti. I fossi del Rio Gazzo e della trincea ferroviaria e i laghetti posti a valle del BD, rappresentano tutti elementi idraulici determinanti per il controllo della distribuzione piezometrica del settore. In corrispondenza ai due fossi ed ai laghetti la falda viene a giorno. Il recapito di tali elementi idrici provoca la convergenza delle linee di flusso nelle porzioni di acquifero immediatamente circostanti. I fossi costituiscono elementi di controllo dell'innalzamento massimo del livello piezometrico. Essi agiscono come "troppopieno", lasciando defluire l'acqua in eccesso.

La soggiacenza della falda in condizioni di piezometria massima è dell'ordine di ca 1-2 m, variabili da settore a settore. I valori di minore soggiacenza sono riscontrabili nel settore centro-meridionale dell'area rappresentata in Figura 6. Valori superiori sono invece osservabili nel settore settentrionale, in prossimità della scarpata fluviale che delimita a Nord l'area di ricostruzione della piezometria. Come già detto, la soggiacenza risulta nulla (i.e. livello piezometrico a piano

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A
	Foglio 16 di 47

campagna) in corrispondenza dei fossi e dei laghetti. Inoltre, la piezometria massima si attesta ad un livello coincidente con quello di piano campagna in corrispondenza alla Cascina Moffa.

Le oscillazioni piezometriche stagionali sono dell'ordine di 1-2 m, con valori fino a 3 m in alcuni settori. Oltre ai motivi naturali legati ai cicli stagionali magra-piena, le variazioni piezometriche di questo settore sono presumibilmente ascrivibili anche all'effetto del pompaggio di alcuni pozzi presenti nella zona industriale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 17 di 47</span>

## 6. DESCRIZIONE DEL MODELLO

### 6.1. Codice numerico (FeFlow 6.0)

Il software utilizzato per le simulazioni è Feflow<sup>®</sup> (DHI-Wasy), release 6.2 Feflow è un codice ad elementi finiti che permette di gestire simulazioni di flusso idraulico sotterraneo, in condizioni stazionarie o transitorie, con la possibilità di accoppiare al flusso il trasporto di massa (es. soluti) e/o di calore.

Rispetto ad altri codici di calcolo ad elementi finiti o alle differenze finite, questo software ha il vantaggio di una maggiore flessibilità a livello di gestione della simulazione. Infatti, esso può riprodurre con buon grado di accuratezza anche contesti geometricamente complessi. Nei modelli 3D è possibile replicare le variazioni spaziali sia orizzontali sia verticali dei corpi geologici, arrivando a rappresentare situazioni di forte eterogeneità, come ad esempio chiusure laterali di livelli, contatti geologici complessi, presenza di faglie, etc.

Ad ogni materiale è possibile attribuire conducibilità idrauliche variabili secondo un tensore orientato lungo tre assi x,y,z, mutuamente perpendicolari. Inoltre, il simulatore permette di considerare elementi di canalizzazione del flusso come condotti, fratture o dreni a cui vengono applicate specifiche leggi idrauliche (*discrete features*).

La versione 6.0 (utilizzata nell'ambito delle simulazioni di questo studio) ha un'interfaccia decisamente più flessibile rispetto alle versioni precedenti. Questa versione mette a disposizione una serie di strumenti di visualizzazione e di esportazione di output grafici che consentono all'utente di controllare, attraverso rappresentazioni in pianta o in sezione, l'evoluzione spaziale e temporale dei parametri idrodinamici in tutti i settori del dominio di simulazione. Inoltre, l'evoluzione dei carichi idraulici o delle pressioni in specifici punti di controllo del dominio può essere gestita attraverso la visualizzazione di diagrammi espressi come parametro vs. tempo.

### 6.2. Costruzione del modello 3D

La realizzazione del modello tridimensionale è stata effettuata attraverso strumenti di calcolo geospaziale in ambiente GIS, in particolare tramite l'utilizzo integrato degli applicativi ArcMap e Spatial Analyst

Il processo che ha portato alla creazione di volumi relativi ai diversi complessi idrogeologici è consistito nelle seguenti fasi:

- Creazione di un geodatabase contenente i dati di stratigrafia dei sondaggi con definizione delle quote assolute relative al contatto tra complessi idrogeologici;
- Implementazione del geodatabase attraverso l'inserimento di sondaggi "virtuali" riportanti una stratigrafia interpretativa, frutto dell'estrapolazione di stratigrafie di sondaggi adiacenti. Questo processo di creazione di sondaggi "virtuali" consente di mantenere un controllo sulla successiva fase di creazione delle superfici;

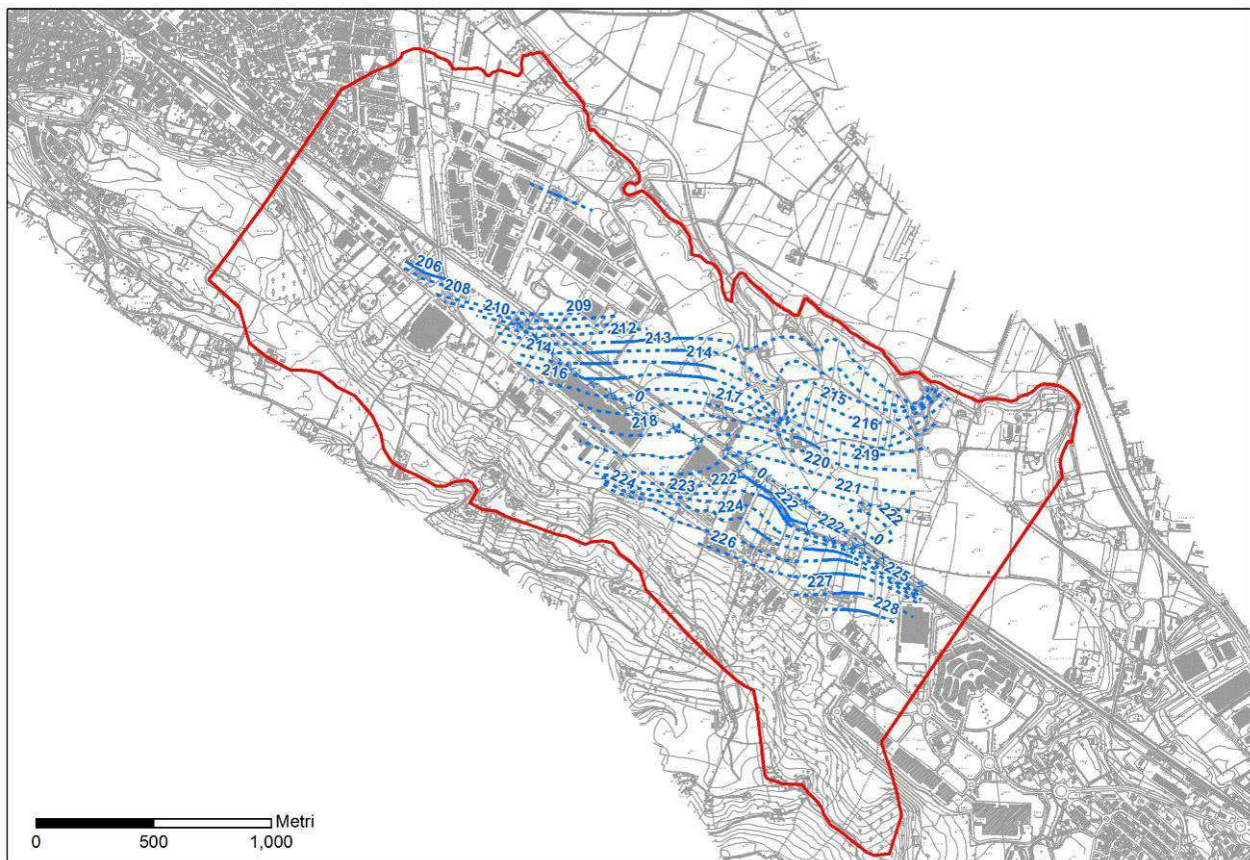


- Generazione geostatistica delle superfici delimitanti i diversi complessi idrogeologici. Le superfici sono state generate attraverso kriging previo controllo dell'affidabilità dei parametri geostatistici utilizzati.

### 6.3. Struttura del modello numerico

Vengono di seguito descritte le caratteristiche geometrico-strutturali utilizzate per la rappresentazione del dominio di modellizzazione. La definizione dei limiti del modello, come noto, deve tenere conto della massima estensione possibile delle perturbazioni indotte dagli elementi che alterano lo stato naturale. In una prima fase è stata quindi ipotizzata una delimitazione delle distanze entro cui si suppone sia circoscritta la circolazione idrica e si estenda la perturbazione dovuta al drenaggio della galleria.

Nel caso del presente modello numerico, i limiti di monte e di valle sono stati fatti coincidere, rispettivamente, con lo spartiacque naturale della zona collinare posta Sud-Ovest di Novi Ligure e dalla scarpata fluviale che sancisce il passaggio tra il terrazzo del Fiume Scrivia, con i depositi f12 a monte ed i depositi f13 a valle (Figura 8). I limiti laterali sono stati disegnati con una direzione NE-SW e corrispondono a direttrici attraverso le quali non è presente un flusso trasversale.



**Figura 7 – Limiti del dominio numerico di discretizzazione, con riportata la distribuzione piezometrica massima ricavata dalle misure effettuate nel settore.**

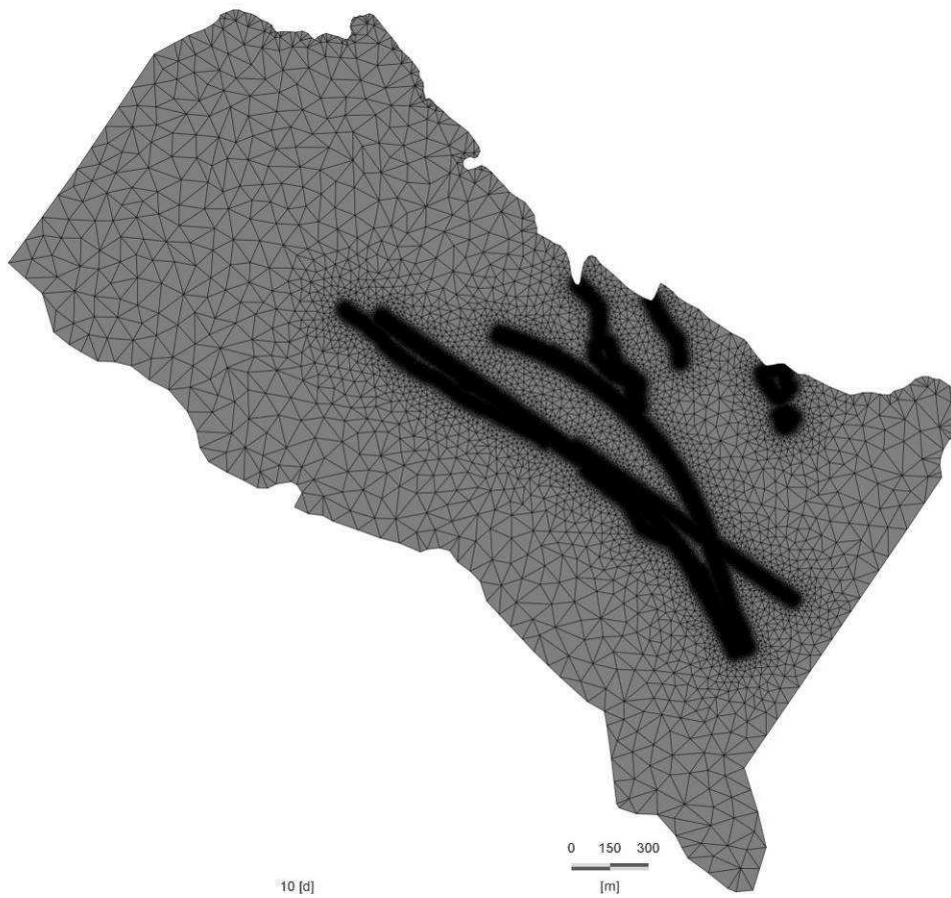


GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <div style="float: right;">Foglio 19 di 47</div>

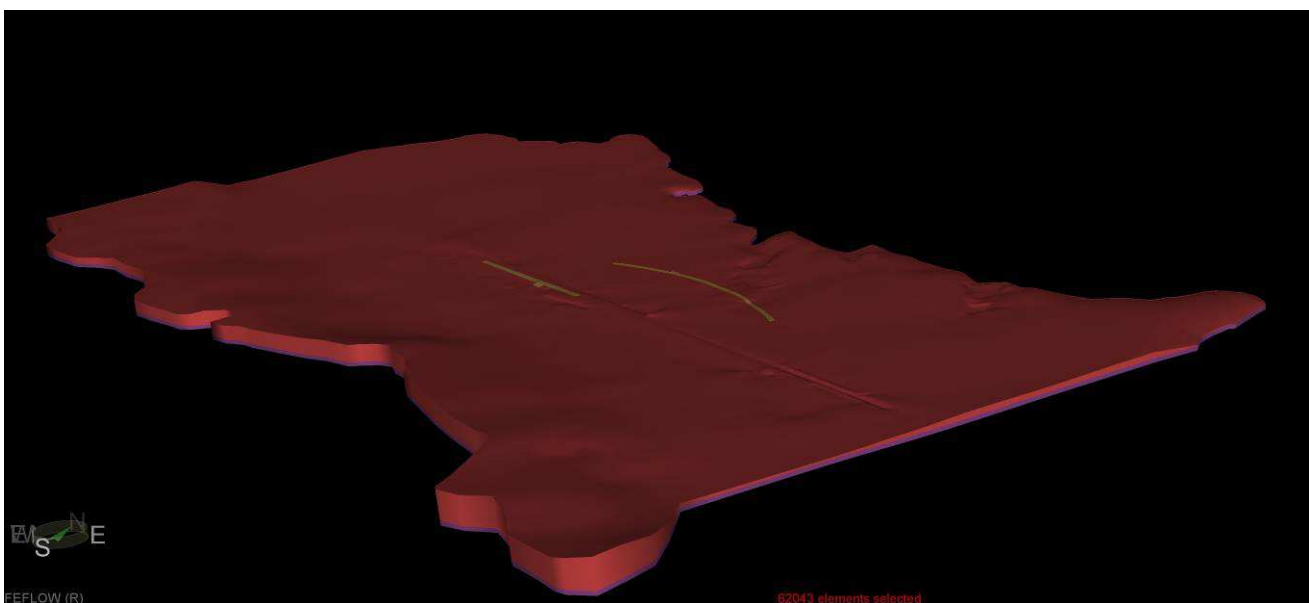
Il limite tra la base dei depositi f12 e il substrato delle aL è stato ricostruito utilizzando i dati stratigrafici dei sondaggi presenti nel settore. Per le zone più distali del dominio di simulazione, ove non sono disponibili dati stratigrafici, tale limite è stato estrapolato utilizzando un criterio di somiglianza con la sovrastante topografia.

Il modello è discretizzato attraverso una maglia di elementi finiti triangolari. Gli elementi sono stati oggetto di un affinamento, specialmente in corrispondenza alle zone in cui è richiesta una maggiore precisione di calcolo, come ad esempio in corrispondenza del tracciato del BD e del BP e degli elementi idraulici superficiali corrispondenti ai fossi ed ai laghetti (Figura 8).

Oltre al affinamento planimetrico, il modello è stato raffinato anche in verticale per permettere il dettaglio di calcolo in corrispondenza ai livelli in cui sono previste le variazioni piezometriche più consistenti. I livelli di discretizzazione verticale sono stati modulati in funzione delle diverse tipologie di simulazione che sono state effettuate. Ad esempio, nelle simulazioni effettuate per la valutazione degli effetti idraulici sull'acquifero di lungo periodo (conseguenti alla messa in opera definitiva dell'interconnessione), sono stati implementati 6 livelli di discretizzazione verticale con un numero complessivo di 1.9E+06 elementi finiti. Nelle simulazioni effettuate per la stima delle portate d'acqua drenate in fase di scavo lungo le diverse tratte dell'opera sono invece stati utilizzati 8 livelli di discretizzazione verticale con un numero di 2.6E+06 elementi finiti. Un numero così elevato di nodi ha implicato lunghe tempistiche di realizzazione delle simulazioni, specialmente quelle in transitorio.

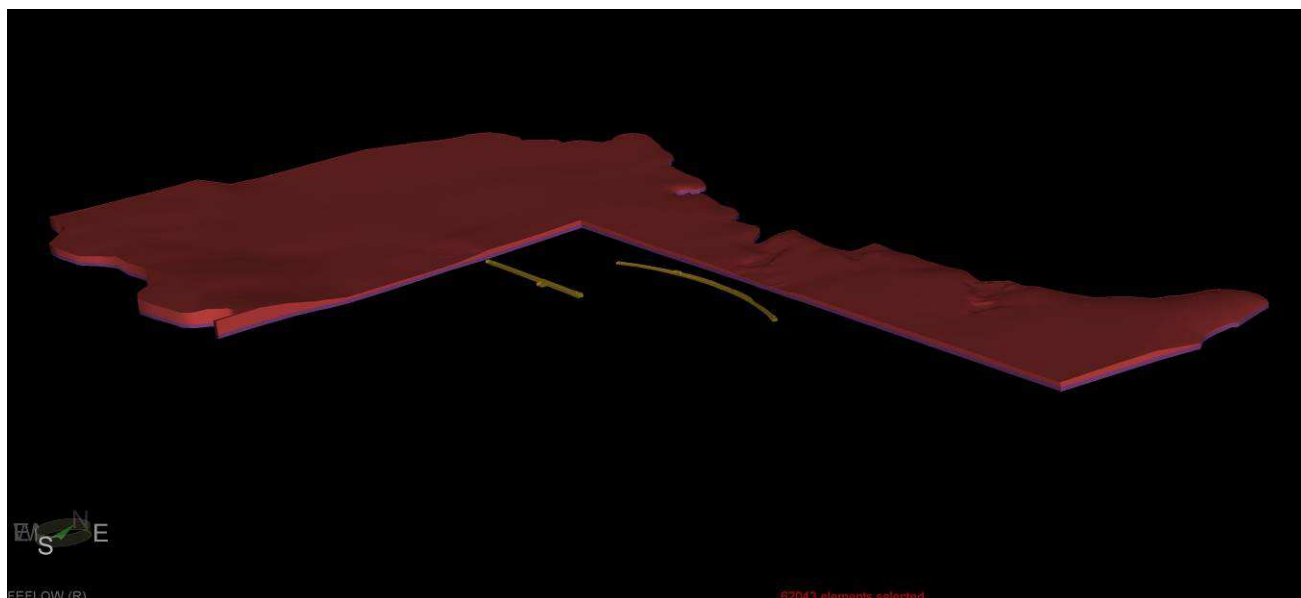


**Figura 8 – Estensione del modello numerico di flusso nel settore di interconnessione di Novi Ligure con visualizzazione delle maglie triangolari di elementi finiti.**



**Figura 9 – Visualizzazione prospettiva del modello 3D, con traccia in giallo del tracciato del BP e del BD.**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 21 di 47</span>



**Figura 10 – Visualizzazione prospettiva del modello 3D sezionato a livello del tracciato del BP e del BD.**

Le pendenze del tracciato ferroviario all’inizio del tratto della galleria sono state tenute debitamente in conto nella discretizzazione del modello in modo che anche in fase di simulazione dei pozzi di pompaggio l’abbattimento del livello di falda risulta rappresentativo rispetto alle reali caratteristiche plano-altimetriche dell’opera.

Le conducibilità idrauliche attribuite ai materiali sono di  $5E-05$  m/s per i depositi relativi al Fluviale Medio e di  $1E-09$  m/s per le Argille di Lugagnano.

#### **6.4. Simulazione del flusso in condizioni naturali (ante-operam)**

La modellizzazione del deflusso naturale della falda (situazione ante-operam) è stata realizzata con lo scopo di ottenere una riproduzione dello stato idraulico rappresentativo della distribuzione piezometrica massima misurata. Si è scelto di utilizzare la piezometria massima come riferimento, e non una distribuzione media, poiché è nelle condizioni di piezometria massima che l’opera può potenzialmente interferire con la falda dando luogo agli impatti più significativi. Le condizioni idrauliche al contorno poste al modello sono consistite in:

- Condizioni di carico idraulico (primo tipo “Dirichlet”) a simulare i carichi idraulici in corrispondenza alla scarpata (bordo di valle) e agli elementi idrici superficiali (fossati e laghetti);
- Condizioni di flusso (secondo tipo “Neumann”) a simulare l’infiltrazione efficace sulla superficie superiore.

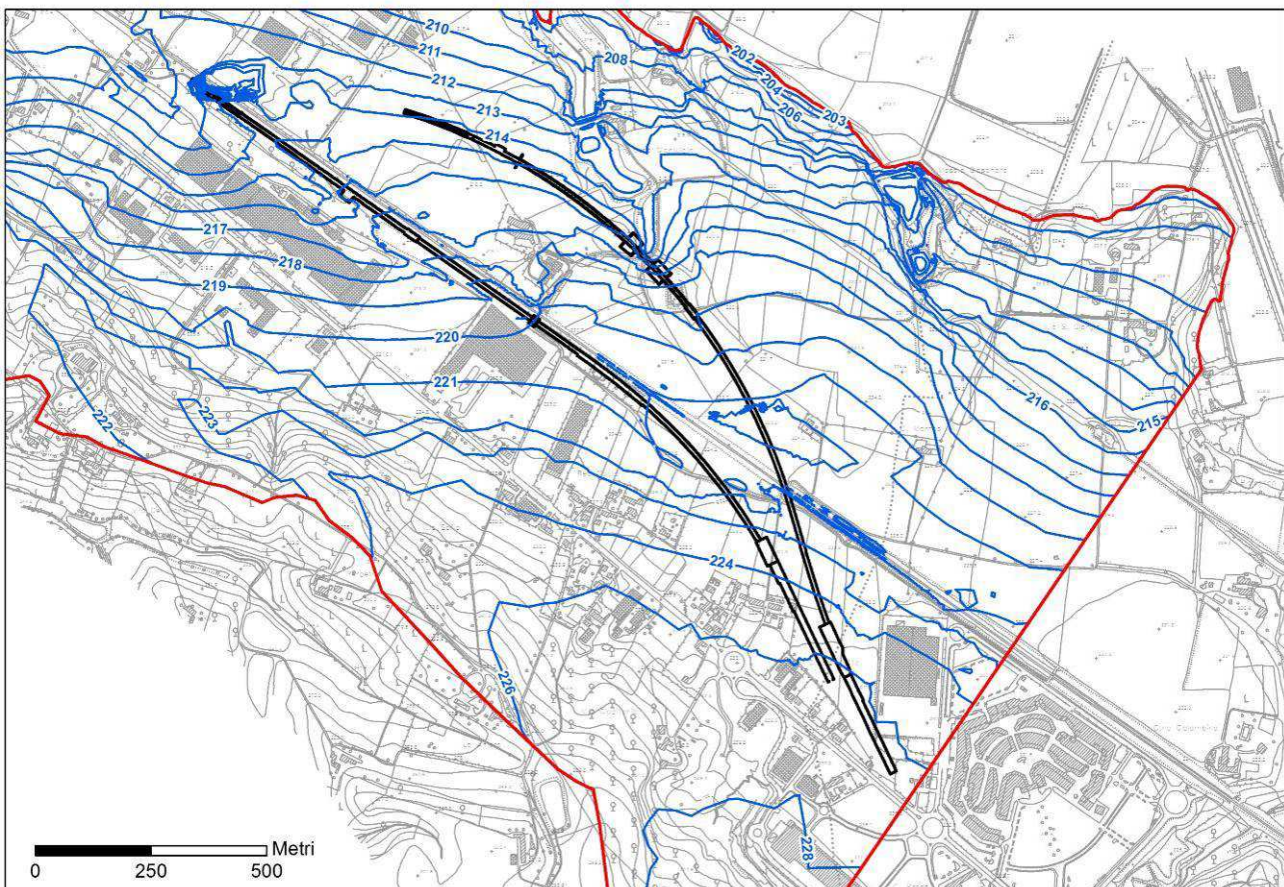
I valori di infiltrazione sono stati applicati considerando dei valori di riferimento più elevati di quelli calcolati attraverso le stime di bilancio idrico. Infatti, le stime di infiltrazione efficace media di questo settore danno un’indicazione di valori compresi tra 340 e 360 mm/anno. Nel processo di



calibrazione del modello, l'infiltrazione rappresenta il parametro che è stato fatto variare in modo da ottenere una calibrazione soddisfacente. I valori di infiltrazione applicati al modello calibrato sono compresi tra 400 e 470 mm/giorno. La calibrazione è stata ottenuta impostando un modello di calcolo transitorio e lasciando equilibrare la pressione della falda su lunghi intervalli di tempo.

La distribuzione piezometrica ottenuta in condizioni di massimo livello è riportata in Figura 11, e con un dettaglio maggiore in Figura 12. La Figura 13 illustra il confronto tra i dati misurati e quelli simulati; i punti di controllo utilizzati per questo confronto sono rappresentati dai cerchi rossi nella figura. Come si può osservare, la calibrazione è abbastanza soddisfacente, con la maggior parte dei dati che si dispongono in prossimità della retta di correlazione. In generale, c'è una lieve sovrastima dei valori di simulazione, tuttavia questa è a vantaggio di una condizione maggiormente conservativa. Questo significa che, assumendo una piezometria massima lievemente più elevata di quella misurata in condizioni ante-operam, la stima degli effetti sulla falda derivanti dall'inserimento delle opere saranno maggiormente a favore di sicurezza.

Si riscontra come nel settore della C.na Moffa la piezometria si attesti ad un livello corrispondente al piano campagna, congruentemente con quanto descritto nel paragrafo 5.2.



**Figura 11 – Risultato della simulazione con piezometria massima calibrata rispetto alla carta di Figura 6.**



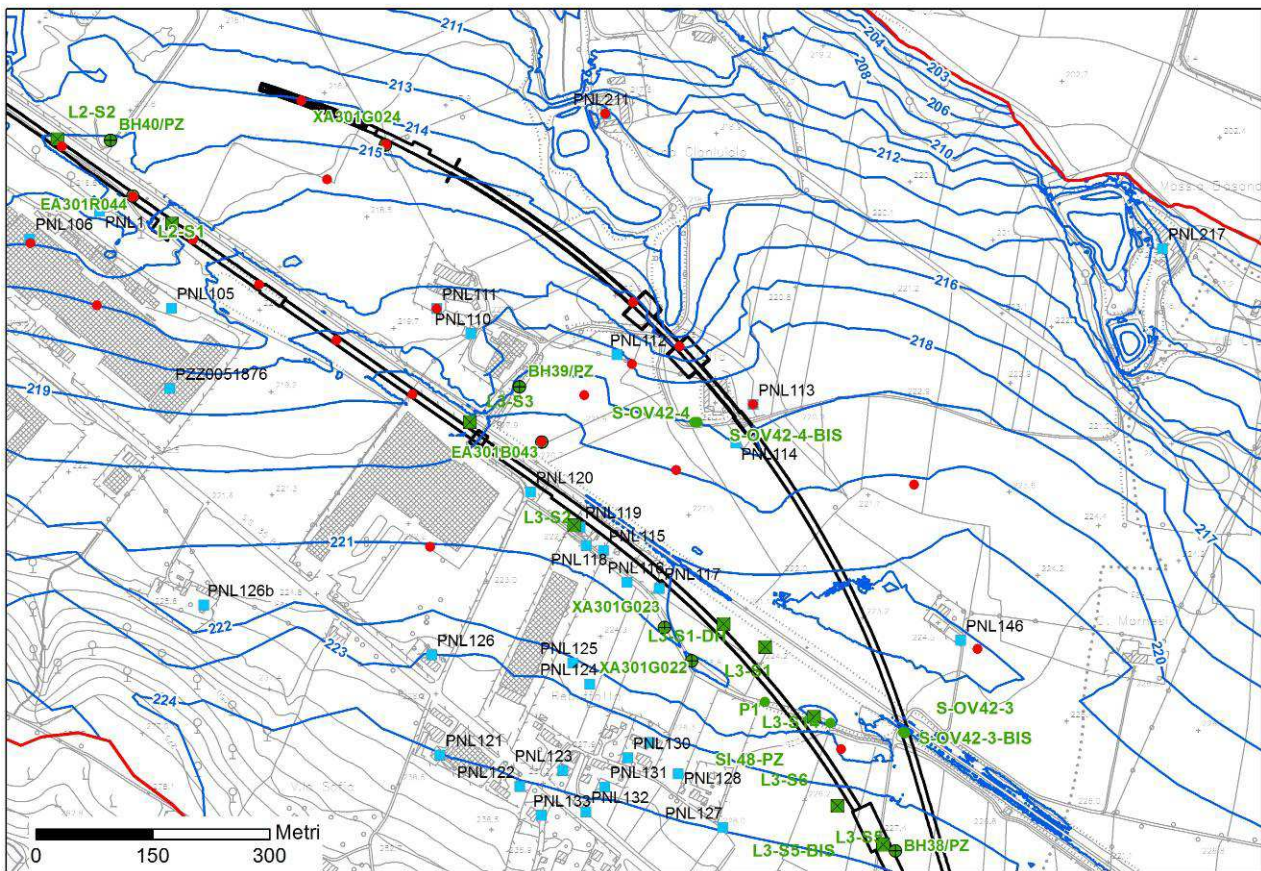


Figura 12 – Dettaglio della distribuzione piezometrica simulata con ubicazione dei piezometri e dei pozzi presenti. In rosso sono riportati i punti di osservazione utilizzati per la calibrazione di Figura 13.

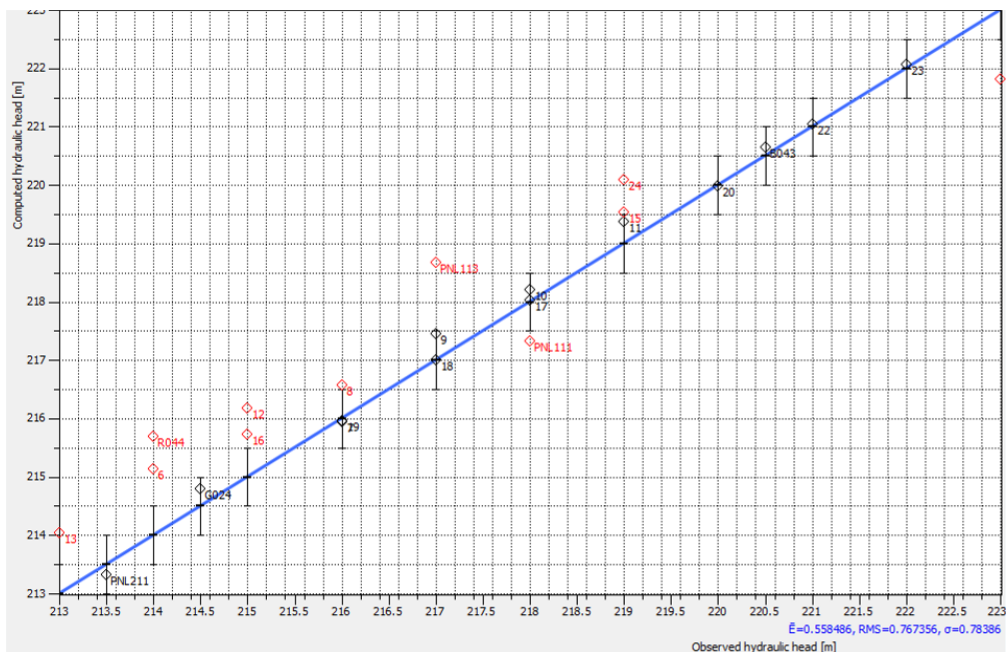


Figura 13 – Diagramma di correlazione tra valori piezometrici misurati e valori simulati (n=24 punti di osservazione); incertezza applicata al dato di misura pari a  $\pm 0.5$  m.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 24 di 47</span>

## 6.5. Simulazione per la previsione delle portate transitorie attese nel corso della fase di scavo

Questo modello considera gli effetti idraulici sulla falda provocati dal drenaggio della falda in corrispondenza a diverse tratte di scavo. A titolo di premessa, va specificato che un drenaggio può verificarsi unicamente in corrispondenza ai tratti in cui non è prevista la realizzazione di diaframmi. Infatti, ove è invece prevista la realizzazione di diaframmi è possibile escludere che si possa verificare un drenaggio laterale della falda. Questo accade perché i diaframmi saranno intestati nelle Argille di Lugagnano, condizione che implicherà l'impermeabilizzazione dell'opera sui lati. L'unico drenaggio che si potrà verificare quando lo scavo avverrà tra i diaframmi, sarà quindi quello che si produce sul fronte di scavo stesso. Per questi tratti è stata fatta una stima analitica, mentre per i tratti in cui è previsto un drenaggio della falda anche dai lati dell'opera è stata effettuata una specifica modellizzazione numerica.

In sostanza, i tratti potenzialmente interessati da un drenaggio della falda che interessa tutta la porzione di scavo, e quindi non il solo fronte di scavo come precedentemente descritto per i diaframmi, sono rappresentati da:

- Per il BP:
  - Tra la pk 1+644 e 1+825, in corrispondenza alla trincea tra diaframmi di "Tipo 2", ove i diaframmi sono unicamente presenti sul lato di valle dell'opera ma non su quello di monte (come invece per la trincea di "Tipo 1")
  - Tra la pk 0+337 e la 1+330, in corrispondenza alla galleria naturale
  - Tra la pk 0+000 e la 0+337, in corrispondenza al camerone
- Per il BD:
  - Tra la pk 1+589 e 1+734, in corrispondenza alla trincea tra muri ad "U"
  - Tra la pk 1+269.5 e 1+299.5 e la 1+182 e 1+222, in corrispondenza alla galleria artificiale di "Tipo 4"
  - Tra la 0+349 e 1+074, in corrispondenza alla galleria naturale
  - Tra la 0+000 e 0+349, in corrispondenza al camerone

Preliminarmente ai risultati del modello, è possibile anticipare che, a livello concettuale, l'entità del drenaggio atteso è considerevolmente diverso per i tratti di opera inseriti all'interno delle Argille di Lugagnano, molto poco permeabili, rispetto a quello atteso per i tratti costruiti all'interno dei depositi del Fluviale Medio, decisamente più permeabili. Per i primi è infatti logico attendersi delle portate decisamente inferiori rispetto ai secondi. Quindi, fondamentalmente, per i tratti in camerone e in galleria naturale le portate possono essere preliminarmente stimate come più basse rispetto a quelle attese per gli altri tratti in galleria artificiale e in trincea.

La stima delle portate di drenaggio attraverso modellizzazione numerica è stata effettuata sulle seguenti tratte:

- Lungo il BP:

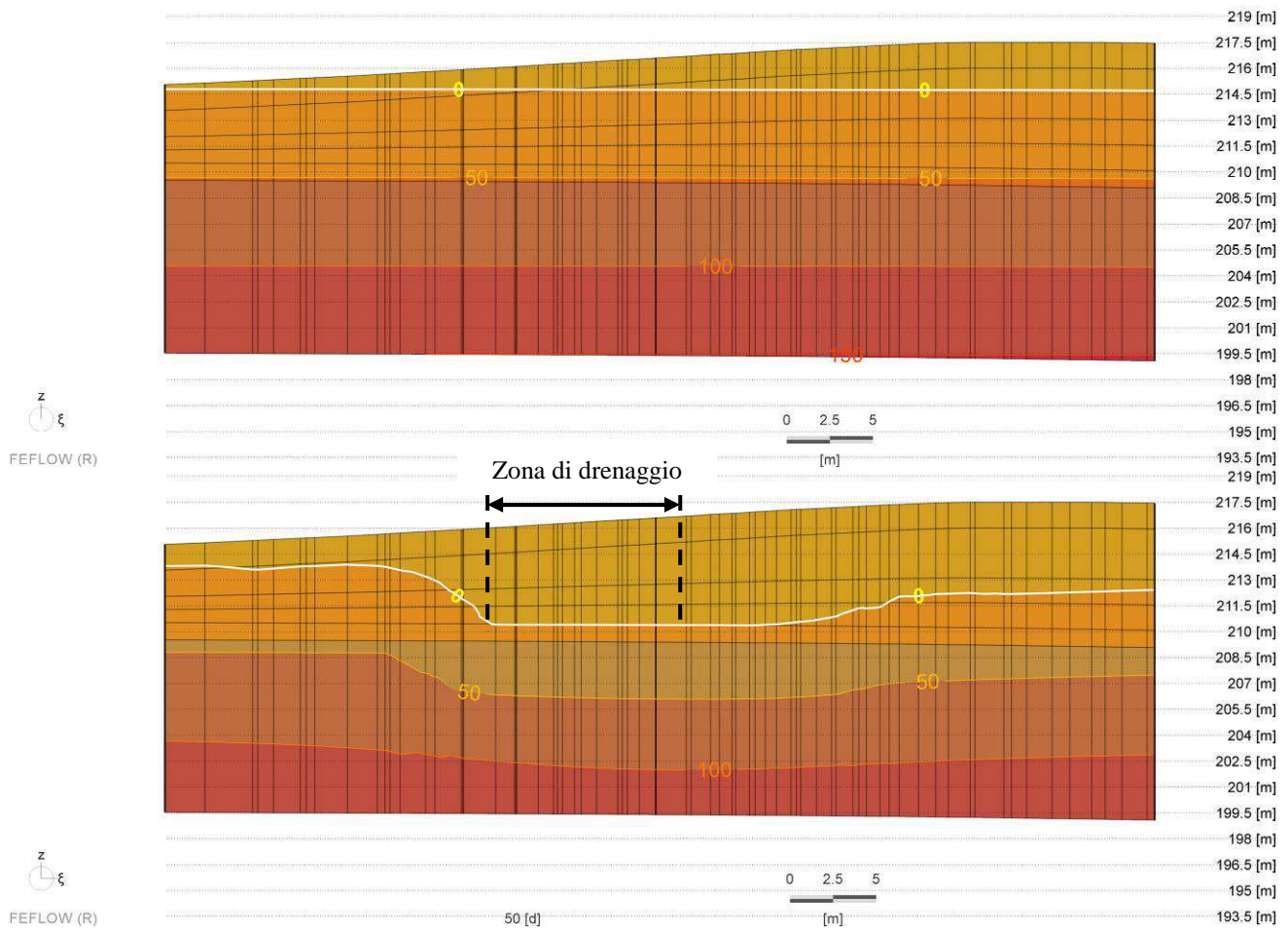
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A
	Foglio 25 di 47

- Tra la pk 1+700 e 1+800, in corrispondenza alla trincea tra diaframmi di “Tipo 2”
- Lungo il BD:
  - Tra la pk 1+589 e 1+734, in corrispondenza alla trincea tra muri ad “U”
  - Tra la pk 1+182 e 1+222, in corrispondenza alla galleria artificiale di “Tipo 4”
  - Tra la pk 0+974 e 1+074, in corrispondenza alla galleria naturale

La stima effettuata lungo queste tratte rappresenta un riferimento sufficiente a fornire un quadro d'insieme relativo all'entità delle portate di drenaggio attese su tutte le tratte in cui è previsto un drenaggio. Le simulazioni sono state realizzate sempre considerando la situazione di piezometria massima come la condizione iniziale. La stima degli impatti sulle altre risorse idriche circostanti dovuti all'aggottamento della falda in corrispondenza ai tratti sopra citati viene fornita nel paragrafo 6.6.1.

#### 6.5.1. *BP – stima del drenaggio tra la pk 1+700 e 1+800*

Questa tratta ricade in un settore di Binario Pari in cui è prevista la realizzazione di una trincea tra diaframmi di “Tipo 2” (diaframmi presenti sul lato di valle). Per l'applicazione del drenaggio sono stati imposti dei carichi idraulici, con vincolo di flusso in sola uscita (“*seepage condition*”) di quota corrispondente alla base del solettone sul quale verrà appoggiato lo scatolare ferroviario. La Figura 14 illustra le variazioni di pressione in acquifero indotte dall'aggottamento della falda.



**Figura 14 - Sezione alla pk 1+700 del BP, con confronto tra la distribuzione di pressione (valori in kPa) prima (sopra) e dopo 50 giorni dall'inizio del drenaggio della trincea (sotto); in bianco è illustrato il livello piezometrico.**

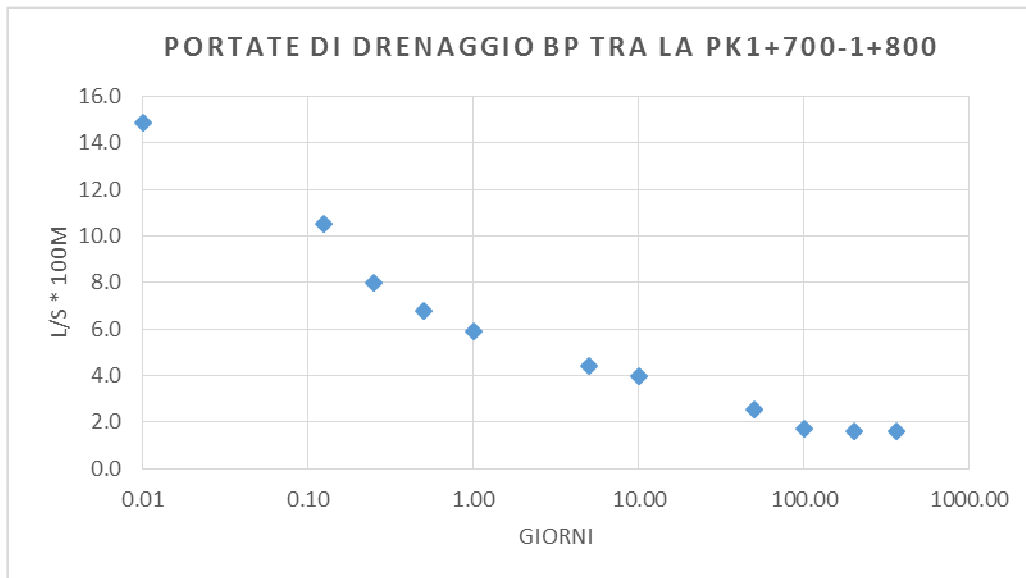
Il drenaggio considera un abbattimento della falda omogeneo lungo i 100 m di tracciato considerato. Le portate corrispondenti ottenute da questa simulazione sono riportate nella Tabella 1 e sono illustrate in Figura 15.

Giorni	$m^3/g*100m$	$l/s*100m$
0.01	1287.2	14.9
0.13	907.7	10.5
0.25	690.7	8.0
0.50	584.6	6.8
1.00	646.2	5.9
5.00	379.2	4.4
10.00	342.8	4.0
50.00	220.3	2.6
100.00	901.7	1.7
200.00	1948.3	1.6
360.00	54.3	1.6

0		
---	--	--

**Tabella 1. Portate complessive estratte in un anno di pompaggio a partire dal livello massimo di falda.**

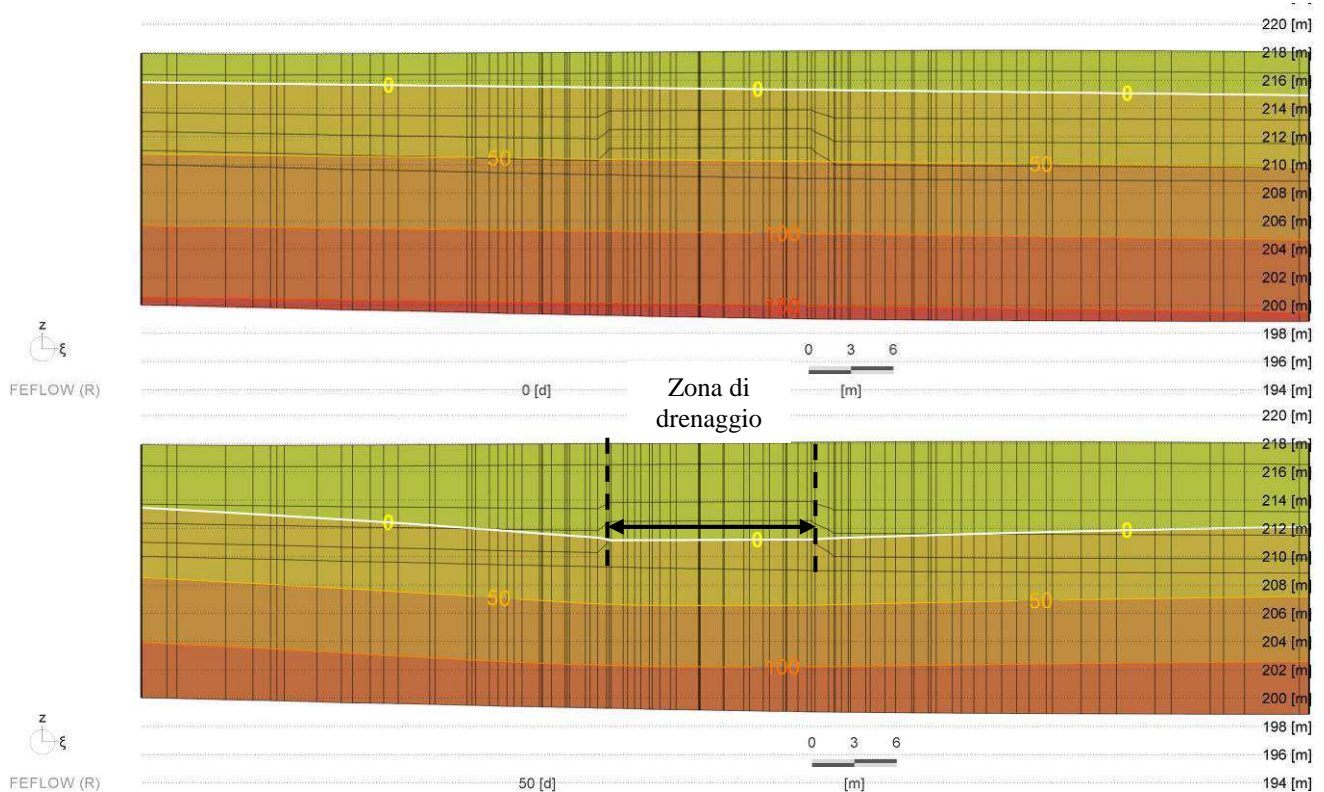
Le portate riportate nella tabella sono ovviamente decrescenti con il tempo per il fatto che il carico idraulico da abbattere diminuisce progressivamente in prossimità della trincea.



**Figura 15 – Variazione delle portate di drenaggio dovute all’aggottamento della falda in condizioni di piezometria massima.**

### 6.5.2. BD – stima del drenaggio tra la pk 1+589 e 1+689

Questa tratta ricade in un settore di Binario Dispari in cui è prevista la realizzazione di una trincea tra muri. La Figura 16 illustra le variazioni di pressione in acquifero indotte dall'agottamento della falda.



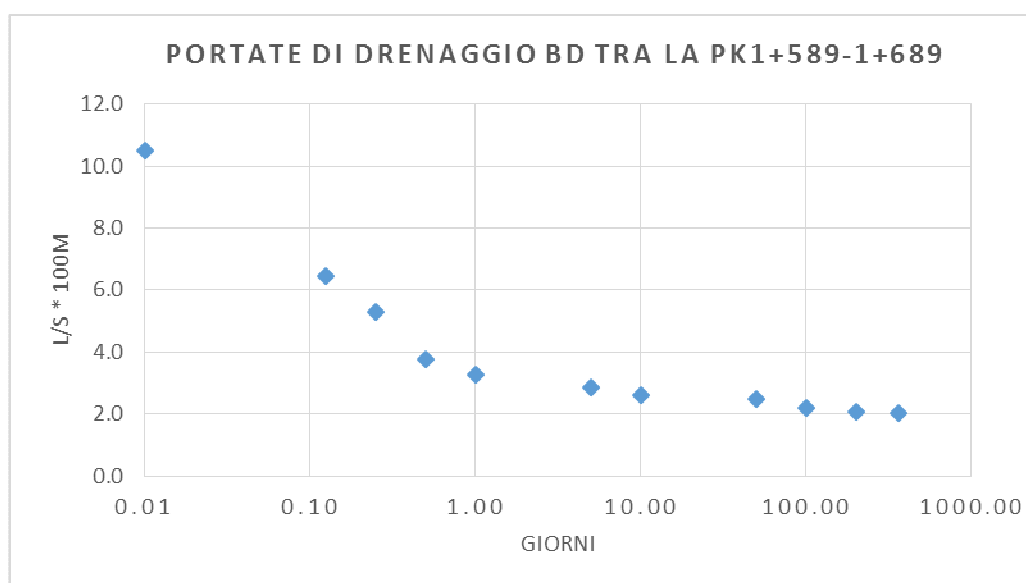
**Figura 16 - Sezione alla pk 1+640 del BP, con confronto tra la distribuzione di pressione (valori in kPa) prima (sopra) e dopo 50 giorni dall'inizio del drenaggio della trincea (sotto); in bianco è illustrato il livello piezometrico.**

Il drenaggio considera un abbattimento della falda omogeneo lungo i 100 m di tracciato considerato. Le portate corrispondenti ottenute da questa simulazione sono riportate nella Tabella 2 e sono illustrate in Figura 17.

Giorni	$m^3/g*100m$	$l/s*100m$
0.01	905	10.5
0.13	557	6.4
0.25	458	5.3
0.50	326	3.8
1.00	282	3.3
5.00	246	2.8
10.00	224	2.6
50.00	214	2.5
100.0		
0	189	2.2

200.0 0	178	2.1
360.0 0	174	2.0

**Tabella 2. Portate complessive estratte in un anno di pompaggio a partire dal livello massimo di falda.**



**Figura 17 – Variazione delle portate di drenaggio dovute all’aggottamento della falda.**

### 6.5.3. BD – stima del drenaggio tra la pk 1+182 e 1+222

Questa tratta ricade in un settore di Binario Dispari in cui è prevista la realizzazione di una galleria artificiale costruita previa realizzazione di trincea. La Figura 18 illustra le variazioni di pressione in acquifero indotte dall’aggottamento della falda. Si può notare come allo stato iniziale la piezometria di questo settore si attesta ad un livello corrispondente a quello di piano campagna (cfr. paragrafo 5.2). Poiché il tratto in questione ha un’estensione inferiore a 100 m (è pari a 40 m), la stima delle portate in l/s viene in questo caso riferita ai 10 m di lunghezza di tracciato (invece dei 100 m utilizzati per le altre tratte considerate); i valori sono riportati nella Tabella 3.

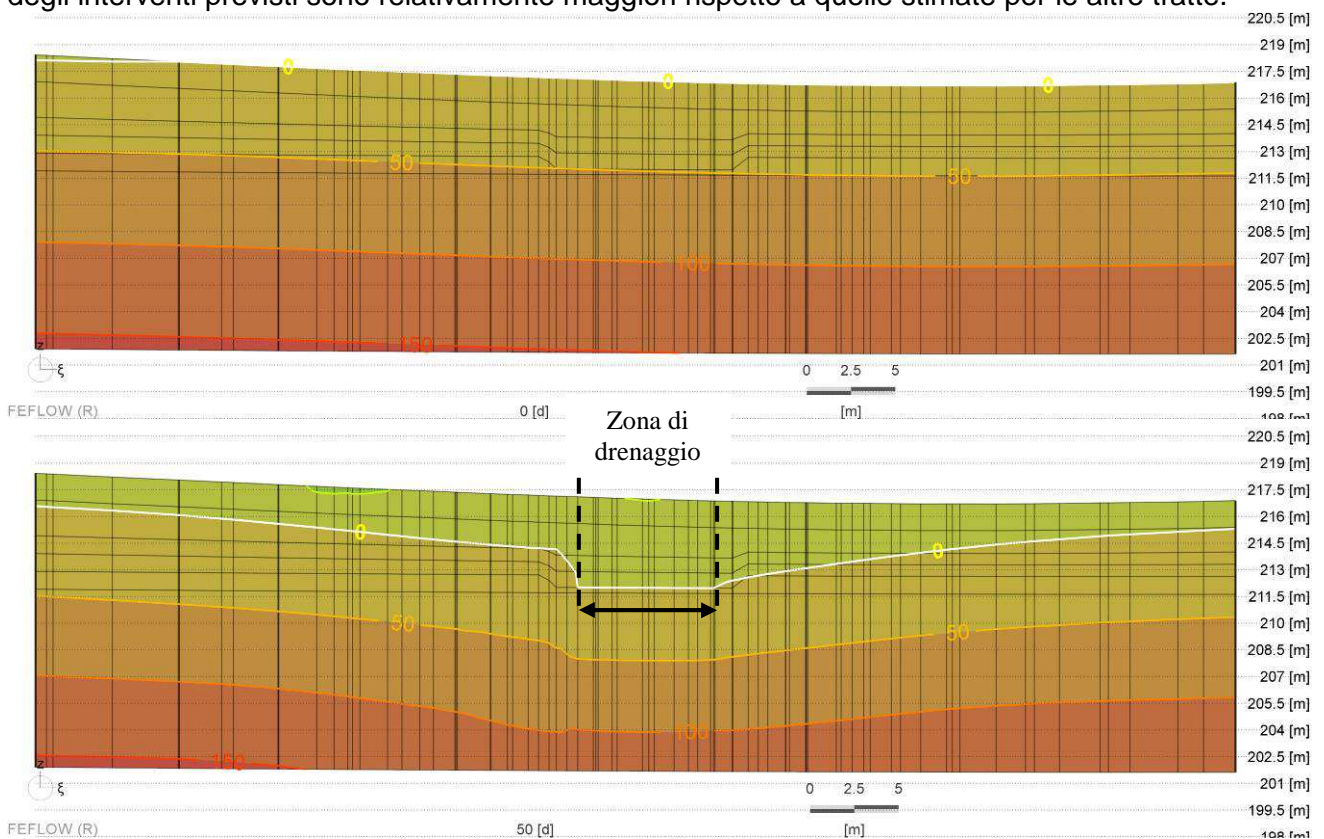
Giorni	m <sup>3</sup> /g*40m	l/s*10m
0.01	1287.2	3.7
0.13	907.7	2.6
0.25	690.7	1.9
0.50	584.6	1.6
1.00	646.2	1.2
5.00	379.2	1.0
10.00	342.8	0.9
50.00	220.3	0.6



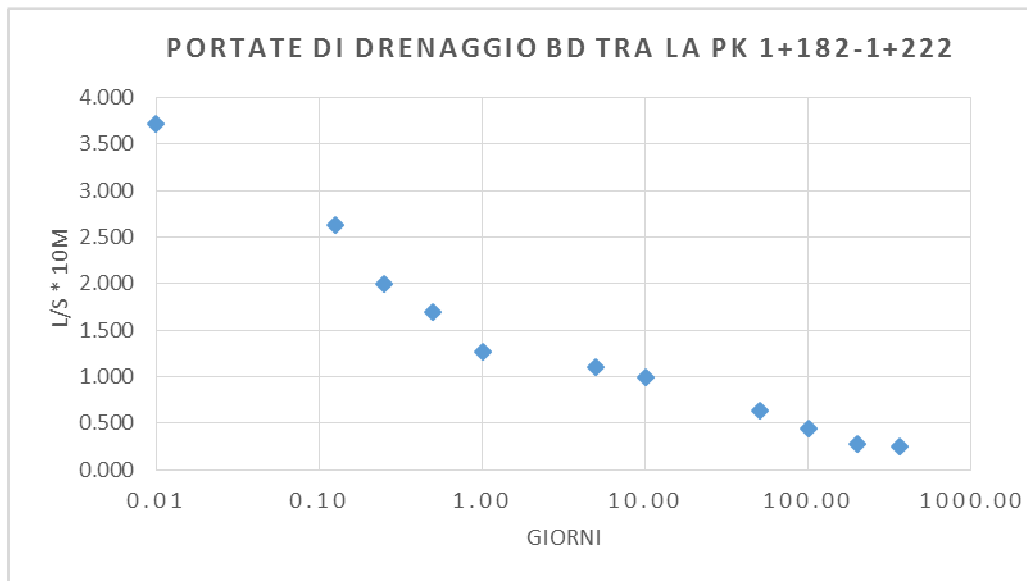
100.0 0	901.7	0.4
200.0 0	1948.3	0.2
360.0 0	54.3	0.2

**Tabella 3. Portate complessive estratte in un anno di pompaggio a partire dal livello massimo di falda.**

In questo tratto le portate necessarie a garantire un aggotamento di falda idoneo alla realizzazione degli interventi previsti sono relativamente maggiori rispetto a quelle stimate per le altre tratte.



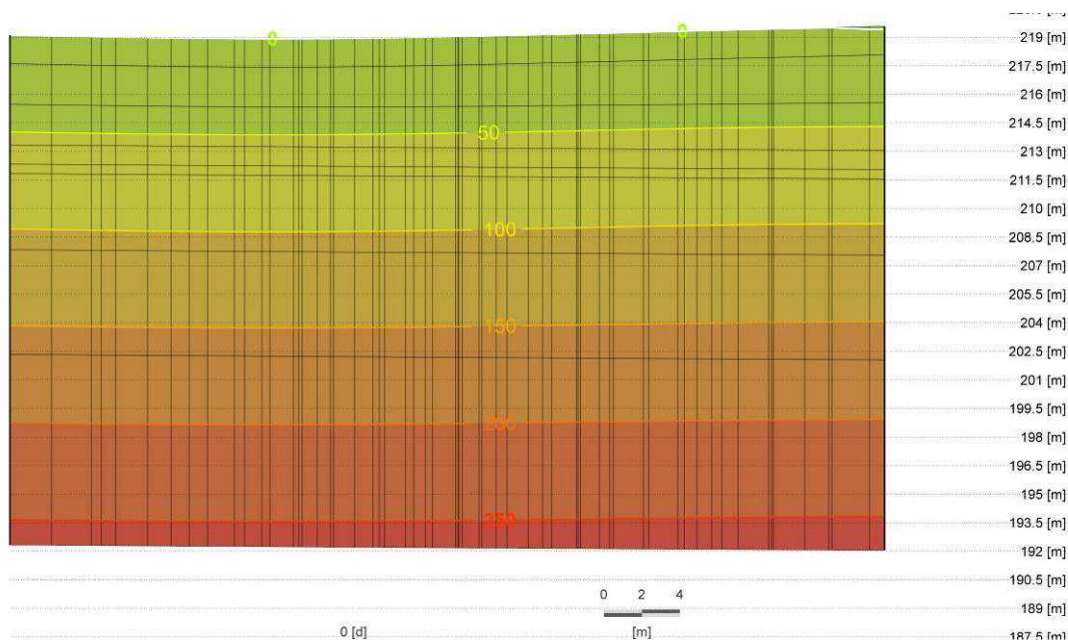
**Figura 18 - Sezione alla pk 1+200 del BD, con confronto tra la distribuzione di pressione (valori in kPa) prima (sopra) e dopo 50 giorni dall'inizio del drenaggio della trincea (sotto); in bianco è illustrato il livello piezometrico.**

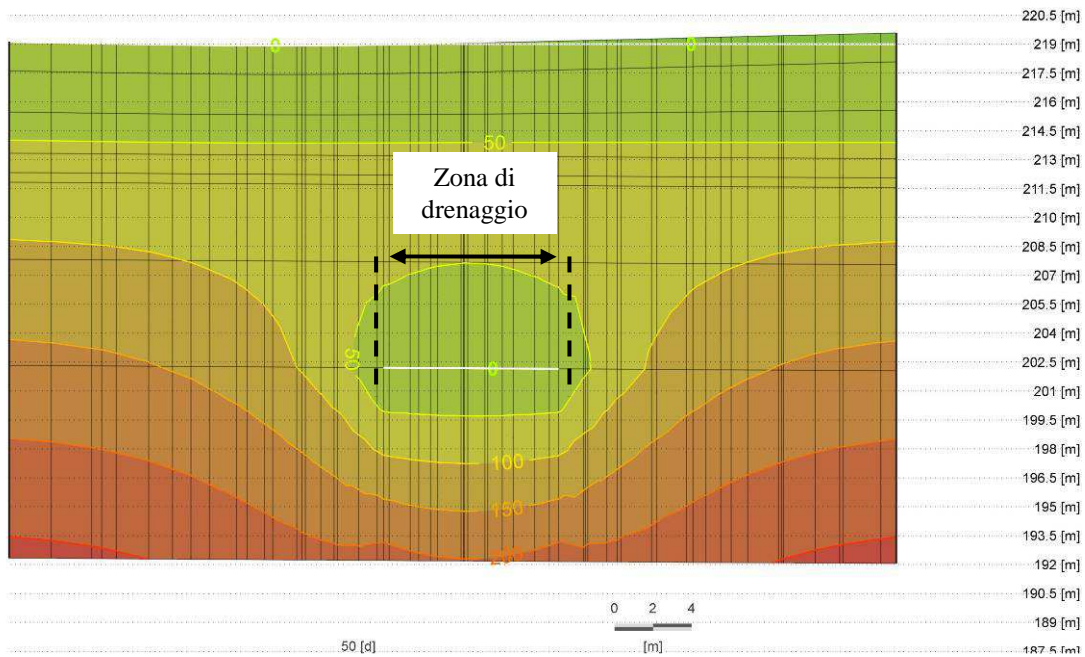


**Figura 19 – Variazione delle portate di drenaggio dovute all'aggottamento della falda.**

#### 6.5.4. BD – stima del drenaggio tra la pk 0+974 e 1+074

Questa tratta ricade in un settore di Binario Dispari in cui è prevista la realizzazione della galleria naturale. In particolare, la tratta interessa la progressiva risalita della calotta della galleria, fino alla sua intersezione con il limite delle Argille di Lugagnano con i depositi del Fluviale Medio. Tale intersezione avviene in corrispondenza alla pk 1+074.



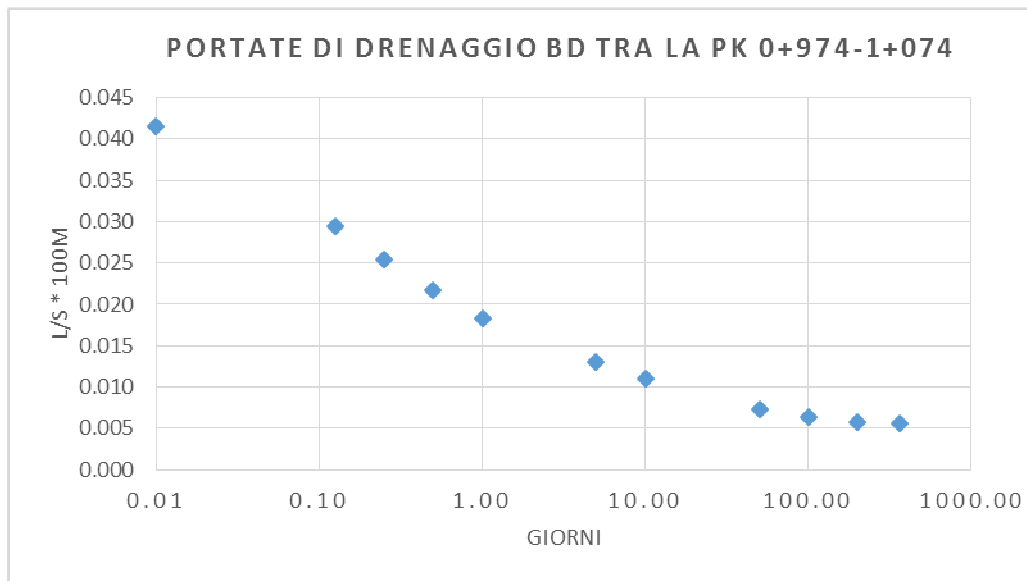


**Figura 20 - Sezione alla pk 1+050 del BD, con confronto tra la distribuzione di pressione (valori in kPa) prima (sopra) e dopo 50 giorni dall'inizio del drenaggio della trincea (sotto); in bianco è illustrato il livello piezometrico.**

Come si può osservare dalla Tabella 4e dalla Figura 21 le portate drenante lungo questo tratto di opera sono decisamente inferiori rispetto a quelle stimate per gli altri tratti, così come postulato in premessa al paragrafo 6.5.

<b>Giorni</b>	<b><math>m^3/g*100m</math></b>	<b><math>l/s*100m</math></b>
0.01	905	10.5
0.13	557	6.4
0.25	458	5.3
0.50	326	3.8
1.00	282	3.3
5.00	246	2.8
10.00	224	2.6
50.00	214	2.5
100.00	189	2.2
200.00	178	2.1
360.00	174	2.0

**Tabella 4. Portate complessive estratte in un anno di pompaggio a partire dal livello massimo di falda.**



**Figura 21 – Variazione delle portate di drenaggio dovute all’aggottamento della falda.**

#### 6.5.5. Sintesi del drenaggio atteso in fase di scavo su tutte le tratte dell’opera

Dai risultati discussi nei paragrafi precedenti è possibile compilare una tabella di sintesi con l’intervallo di valori di portata attesi indotti dall’aggottamento della falda necessario per effettuare lo scavo delle varie tratte dell’opera in condizioni drenate. Tale tabella deriva dall’analisi dei risultati delle simulazioni su specifiche tratte dell’opera, estrapolati con ragionevole approssimazione sulle altre tratte per cui non è stata svolta specifica analisi numerica.

Va rimarcato che la stima del drenaggio in fase di scavo va raffrontata ad uno specifico periodo dall’inizio del drenaggio. Infatti, come noto, la portata che si produce naturalmente per effetto del drenaggio di una galleria o quella generata dal pompaggio per l’aggottamento della falda è variabile temporalmente, essendo questa maggiore nelle fasi iniziali e via via minore col procedere del tempo (cfr. tabelle precedenti).

Nell’analisi delle portate di afflusso delle opere di interconnessione si è scelto di assegnare un intervallo di portata partendo dai risultati numerici ottenuti, assumendo i valori di riferimento ottenuti a 0.5 giorni dall’inizio del drenaggio. Le classi utilizzate per tale assegnazione sono 4:

- Classe 1: 0.16 l/s x 10m
- Classe 2: 0.16-0.4 l/s x 10m
- Classe 3: 0.4-2 l/s x 10m
- Classe 4: >2 l/s x 10m

Si specifica che, per le tratte di scavo tra diaframmi, la stima delle portate attese lungo il fronte di scavo analitica (cfr. premessa del paragrafo 6.5) è dell’ordine di 0.2-0.4 l/s. Pertanto, per queste tratte la classe di afflussi previsti al fronte è la 2.

Binario Pari:



Da pk	A pk	Tipo di opera	Classe di afflusso:
0+000	0+337	Camerone	1
0+337	1+330	Galleria Naturale	2
1+330	1+360. 5	Galleria Artificiale "Tipo 1"	2*
1+360. 5	1+491. 5	Galleria Artificiale "Tipo 2"	2*
1+491. 5	1+644	Trincea tra Diaframmi "Tipo 1"	2*
1+644	1+825	Trincea tra Diaframmi "Tipo 2"	2-3
1+825	1+918	Trincea Naturale	2*
1+918	2+353	Rilevato	-

Binario Dispari:

Da pk	A pk	Tipo di opera	Classe di afflusso:
0+000	0+349	Camerone	1
0+349	1+074	Galleria Naturale	2
1+074	1+104. 5	Galleria Artificiale "Tipo 1"	2*
1+104. 5	1+172	Galleria Artificiale "Tipo 2"	2*
1+172	1+182	Galleria Artificiale "Tipo 3"	2*
1+182	1+222	Galleria Artificiale "Tipo 4"	3
1+222	1+252	Galleria Artificiale "Tipo 3"	2*
1+252	1+269. 5	Galleria Artificiale "Tipo 2"	2*
1+269. 5	1+299. 5	Galleria Artificiale "Tipo 4"	3
1+299. 5	1+362	Galleria Artificiale "Tipo 2"	2*
1+362	1+589	Trincea tra diaframmi "Tipo 1"	2*
1+589	1+734	Trincea tra muri ad "U"	2
1+734	1+859	Trincea naturale	-
1+859	2+741	Rilevato	-

N.B. il simbolo\* si riferisce alla stima di portata proveniente unicamente dal fronte di scavo e quindi non ripartita sui 10 m di scavo dell'opera.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A
	Foglio 35 di 47

## 6.6. Valutazione degli impatti sulle risorse circostanti

Il presente capitolo descrive i possibili scenari di impatto sulla falda acquifera derivante dallo scavo dell'Interconnessione di Novi Ligure. E' possibile effettuare una distinzione tra impatti sul breve periodo, indotti dall'aggottamento della falda per la realizzazione delle opere dell'interconnessione, ed impatti sul lungo periodo, dovuti agli effetti di sbarramento dell'opera sul naturale deflusso della falda.

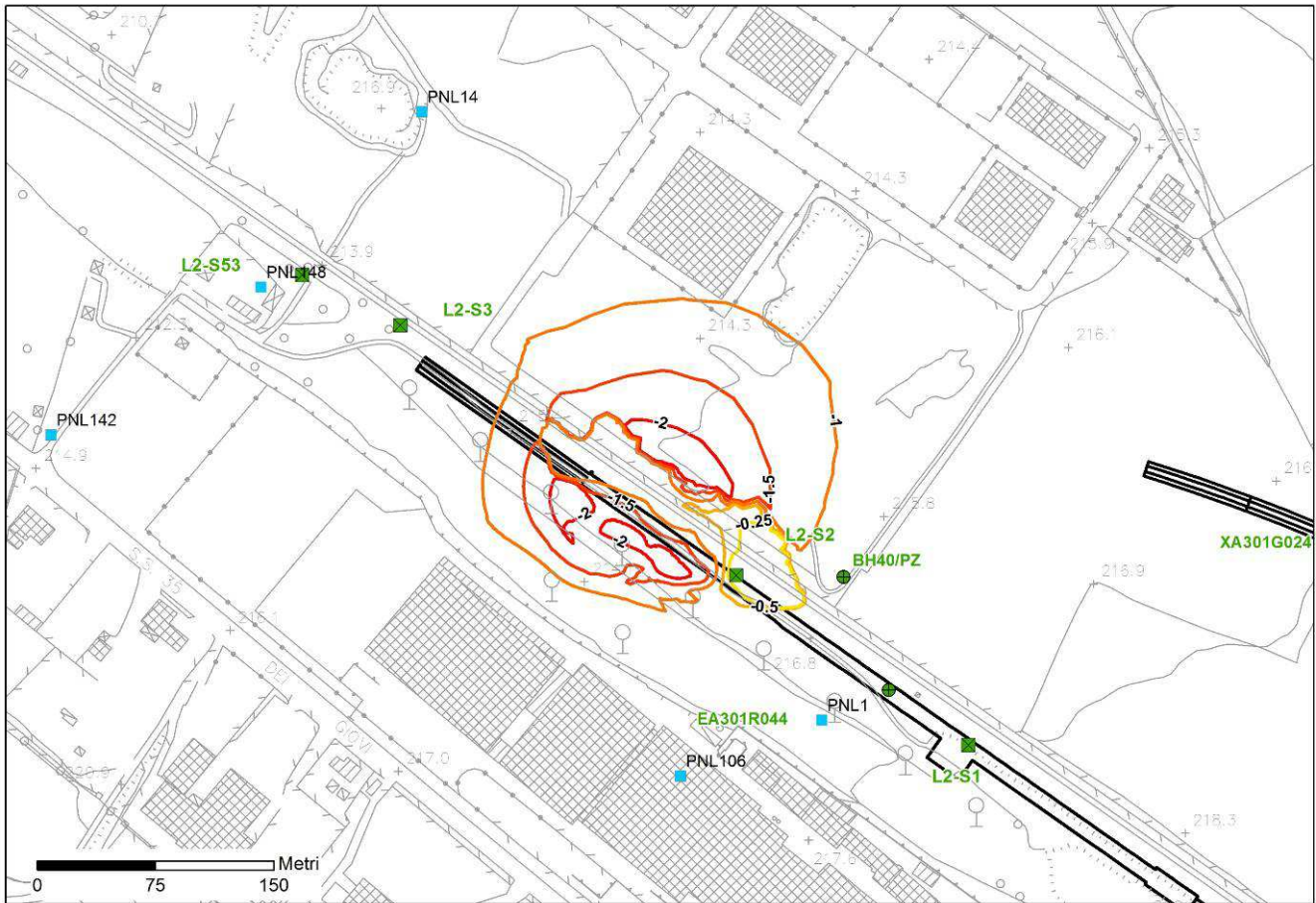
### 6.6.1. *Impatti sul breve periodo causati dall'abbassamento del livello di falda*

Per impatti sul breve periodo si intendono quegli effetti sull'acquifero determinati dall'aggottamento della falda effettuato per consentire la realizzazione di alcune opere. Nel paragrafo 6.5 è fornita una descrizione delle tratte dell'interconnessione che saranno potenzialmente interessate da interventi di abbassamento del livello di falda. Chiaramente, tali abbassamenti non saranno unicamente circoscritti all'opera, ma si estenderanno in un intorno entro cui potrebbero essere presenti anche dei pozzi. I pozzi che eventualmente ricadranno entro la zona di abbassamento del livello di falda potranno essere impattati, posto che l'acquifero da cui emungono tali pozzi sia lo stesso interessato dall'aggottamento.

Di seguito vengono mostrati i risultati derivanti dal confronto tra il livello finale di falda rispetto a quello iniziale. In assenza di informazioni più precise riguardanti le possibili tempistiche per la realizzazione degli aggottamenti, viene in questo caso considerata una situazione finale verificata dopo 50 giorni dall'inizio del drenaggio. Tale confronto consente di effettuare una zonazione degli abbassamenti e di verificare se i pozzi limitrofi eventuali ricadono all'interno di queste zone. La zonazione è ottenuta analizzando i risultati delle simulazioni effettuate per la stima delle portate ed illustrate nel paragrafo 6.5.

#### BP – stima degli impatti dovuti al drenaggio tra la pk 1+700 e 1+800

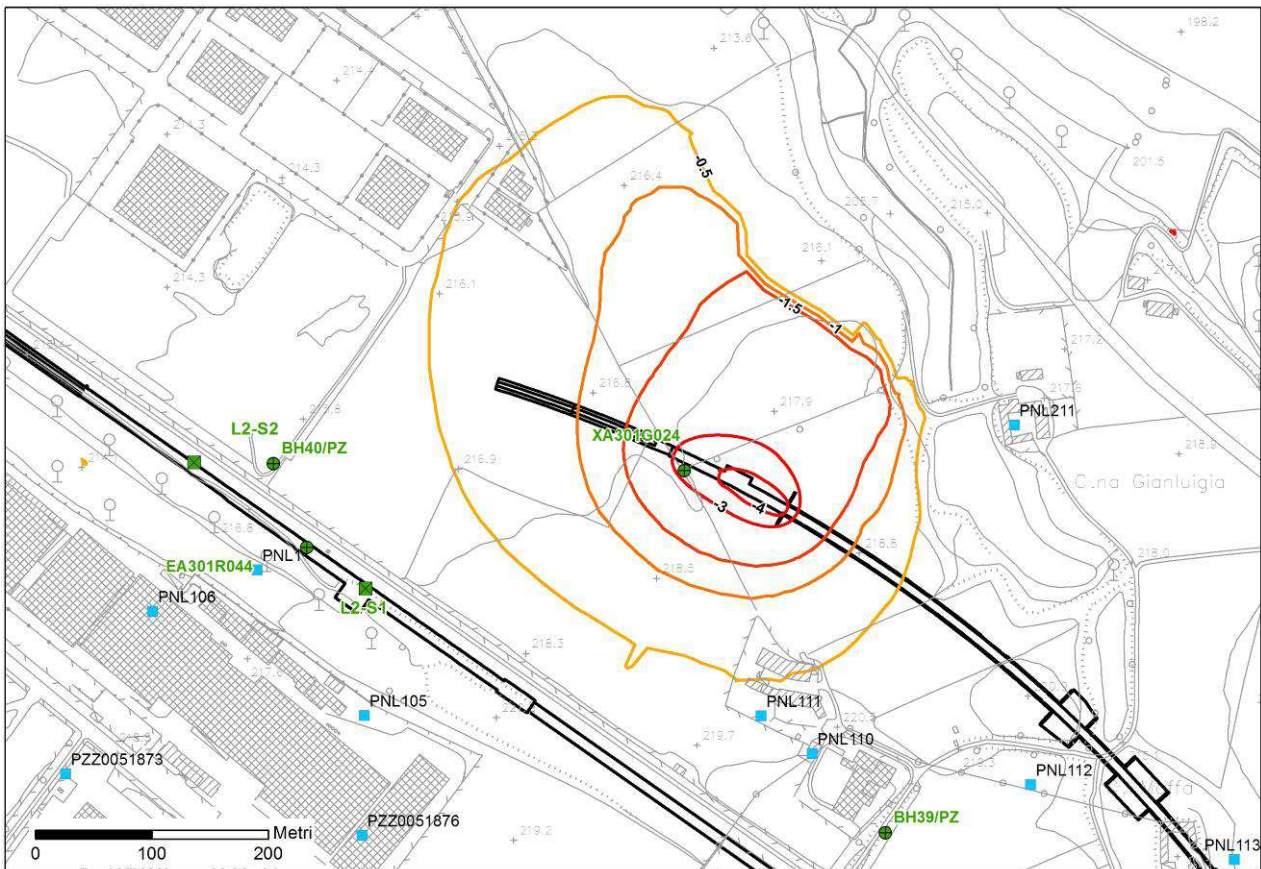
Il drenaggio che verrà prodotto lungo il BP tra la pk 1+700 e 1+800 causa la variazione di livello illustrata in Figura 22. Come si può osservare, l'abbassamento atteso è dell'ordine 1-2 m nei dintorni dell'opera. La zona di abbassamento di 1 m si estende fino a ca. 150 m a Nord della trincea. Nell'area in cui si produce tale abbassamento non vi risultano essere pozzi che ne potrebbero risultare coinvolti.



**Figura 22 - Abbassamenti (m) del livello piezometrico conseguenti all'aggotamento della falda lungo il BP tra la pk 1+700 e 1+800.**

#### BD – stima degli impatti dovuti al drenaggio tra la pk 1+589 e 1+689

Il drenaggio che verrà prodotto lungo il BD tra la pk 1+589 e 1+689 causa la variazione di livello illustrata in Figura 23. In corrispondenza all'opera, l'abbassamento potrà raggiungere anche i 4 m. Un abbassamento di 1.5 m potrà estendersi per 150 m a Nord e per 70 m a Sud della trincea. Anche in questo caso la zoneografia degli abbassamenti mostra che nessun pozzo sarà presumibilmente influenzato da tale variazione. I pozzi PNL111 e 110 si collocano esternamente al settore in cui è mostrata la variazione piezometrica. Anche assumendo che il modello non sia completamente rappresentativo della situazione analizzata, con eventuali sottostime delle zone di abbassamento, si può affermare che tali pozzi verranno al limite interessati da un abbassamento di entità limitata e che la loro pericolosità di isterilimento risulta bassa.



**Figura 23 - Abbassamenti (m) del livello piezometrico conseguenti all'aggotamento della falda lungo il BD tra la pk 1+589 e 1+689.**

#### BD – stima degli impatti dovuti al drenaggio tra la pk 1+182 e 1+222

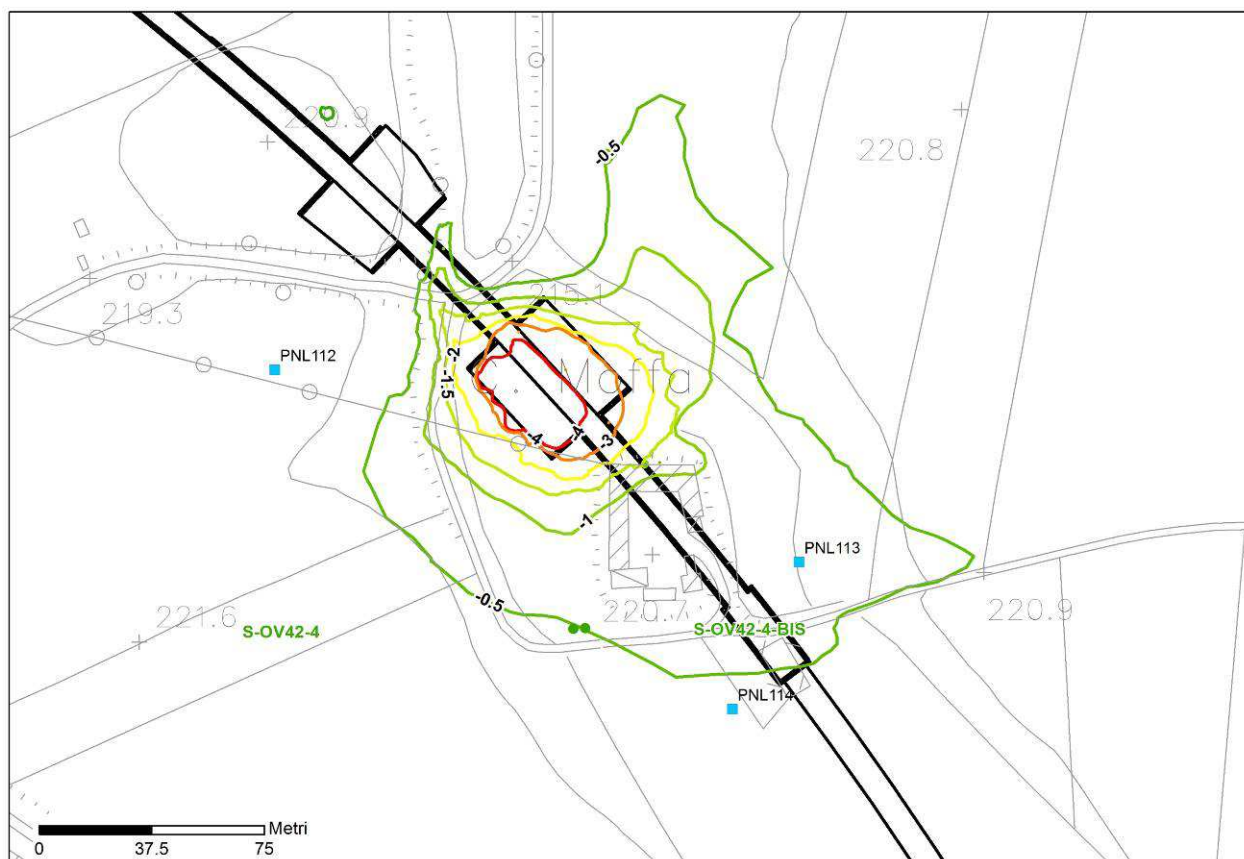
Il drenaggio che verrà prodotto lungo il BD tra la pk 1+182 e 1+222 causa la variazione di livello illustrata in Figura 24. Tale drenaggio verrà prodotto in concomitanza alla realizzazione della trincea prevista per la messa in opera della galleria artificiale. Il pozzo PNL113 risulta essere la sola opera idraulica coinvolta da un abbassamento, comunque molto limitato (0.5 m).

E' utile osservare che, anche se per la tratta tra la pk 1+182 e 1+222 il pozzo PNL112 non risulta essere teoricamente influenzato dall'abbassamento piezometrico realizzato, per la tratta successiva in cui è previsto lo stesso intervento, tra la pk 1+269.5 e 1+299.5, è possibile ipotizzare che l'abbassamento che si produrrà in fase di scavo, influenzerà in una certa misura tale pozzo. Tale considerazione risulta possibile trasponendo i risultati numerici ottenuti per l'intervallo modellizzato all'intervallo limitrofo ove è prevista la realizzazione di un'opera analoga.

Quindi, il pozzo PNL112 potrebbe registrare un abbassamento temporaneo di livello dell'ordine di 1-2 m. Considerata tale entità di abbassamento e il fatto che tale pozzo ha una profondità limitata, pari a 8 m, si può valutare una pericolosità d'isterilimento di grado basso. Il pozzo PNL113 risulta ricadere all'interno di una fascia di debole abbattimento della piezometria, quindi la sua pericolosità di isterilimento può essere considerata bassa.



Il pozzo PNL114 risulta essere collocato esternamente all'area di influenza, quindi il suo rischio di disseccamento è nullo.



**Figura 24 - Abbassamenti (m) del livello piezometrico conseguenti all'aggottamento della falda lungo il BD tra la pk 1+182 e 1+222.**

Per quanto riguarda il tratto iniziale di galleria naturale del BD (cfr. paragrafo 6.5.4), il tratto simulato (tra la pk 0+974 e la 1+974), i risultati mostrano che le portate drenate in galleria sono molto basse e, conseguentemente, anche gli abbassamenti del livello di falda sono di entità molto ridotta, quantificabile al massimo in 0.25 m. Pur non essendo oggetto di una specifica modellizzazione tale valutazione vale ovviamente anche per gli altri tratti di galleria naturale sia del BD, sia del BP. In conclusione, si escludono influenze significative sui pozzi derivanti dal drenaggio di acqua sulle varie tratte di galleria naturale. Conclusione analoga vale anche per i tratti di camerone del BP e del BD.

## 6.7. Impatti sul lungo periodo successivi alla realizzazione dell'interconnessione

Gli impatti sul lungo periodo sono stati modellizzati considerando lo stato definitivo dell'opera. Lo scopo principale della valutazione sul lungo periodo è la stima del potenziale innalzamento del livello piezometrico che si può verificare per effetto del parziale sbarramento che l'opera produce rispetto al naturale deflusso di falda. Come si può osservare dalla Figura 6, il tracciato del Binario Pari nel settore ovest (ovvero quello di interesse per la posizione delle opere all'interno

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 39 di 47</span>

dell'acquifero) è sub-parallelo alla direttrice di flusso principale, mentre il tracciato del Binario Dispari si dispone in direzione all'incirca trasversale alla direttrice di deflusso.

La geometria di discretizzazione del modello ha preso in considerazione in maniera semplificata le opere previste dal Progetto Definitivo, per le varie tratte in sotterraneo del BP e del BD. Dal tratto di galleria artificiale fino all'inizio del tratto in trincea naturale è stato inserito uno sbarramento idraulico corrispondente all'ingombro prodotto dalla presenza dei diaframmi e dei muri contenenti lo scatolare ferroviario. L'andamento plano-altimetrico di tale setto impermeabile è stato riprodotto in maniera adeguatamente rappresentativa.

Un elemento fondamentale della valutazione effettuata attraverso tale modellizzazione riguarda la verifica degli effetti indotti dall'inserimento del materiale drenante alla base della galleria artificiale "Tipo 4", prevista in corrispondenza del BD (pk 1+182-1+222 e pk 1+269.5-1+299.5), in prossimità della C.na Moffa. L'intervento prevede la messa in opera di materiale drenante (conducibilità idraulica ipotizzata pari a  $1 \times 10^{-4}$  m/s), dello spessore di 1 m e di larghezza pari a ca. 12 m, da collocare alla base dello scatolare ferroviario. Tale soluzione è stata presa in considerazione dai progettisti per un duplice scopo: i) la mitigazione dell'innalzamento del livello piezometrico dovuto allo sbarramento idraulico dell'opera, ii) garantire la continuità di alimentazione idraulica verso i laghetti. In sostanza, la soluzione è concepita come by-pass idraulico per il passaggio dell'acqua dalla zona di monte a quella di valle.

Per valutare quale possa essere l'influenza idraulica di questa soluzione progettuale sulla falda, sono state effettuate due simulazioni, una in assenza ed una in presenza di by-pass idraulico.

#### 6.7.1. Simulazione in assenza di by-pass drenante

In questa simulazione è stata considerata l'opera completata sul BD e sul BP, comprensiva delle tratte di galleria artificiale, trincea tra diaframmi e muri e trincea naturale.

Per confronto, in Figura 25 e in Figura 26 è riportata la distribuzione piezometrica rispettivamente per la situazione ante-operam (falda allo stato naturale) e per la situazione di falda stabilizzata successivamente alla realizzazione delle opere. Come si può osservare dalla carta delle differenze di carico idraulico (Figura 27) tra la situazione ante-operam e quella ad opere terminate, a monte del tracciato si produce un incremento di battente idraulico massimo dell'ordine di un metro, mentre a valle si produce un decremento di battente massimo di mezzo metro. Gli incrementi di battente idraulico, misurati in direzione SW dal tracciato del BD, si estendono alle seguenti distanze:

- 1 m, distanza massima di 15 m
- 0.5 m, distanza massima di 65 m
- 0.25 m, distanza massima di 130 m

Un dettaglio di quanto accade in termini di variazione piezometrica a monte e valle dell'opera è visualizzabile nella sezione alla pk 1+280 di Figura 28.

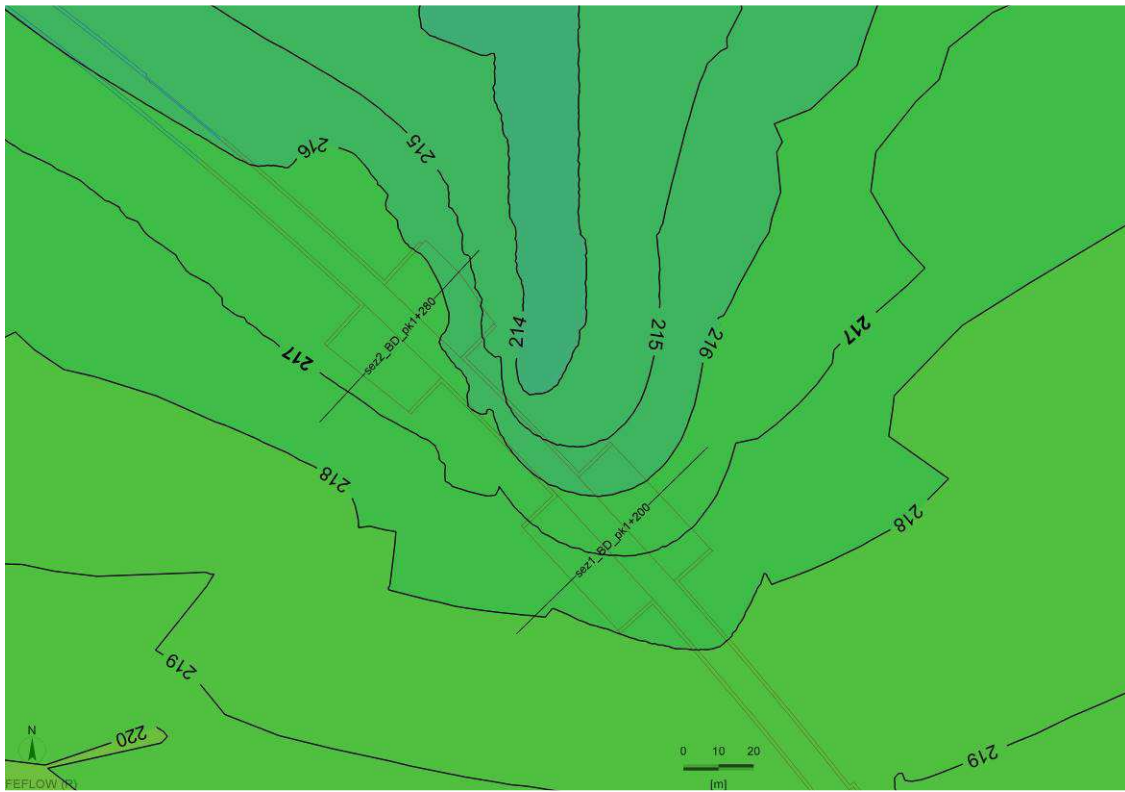


Figura 25 – Piezometria ante-operam in m.s.l.m. nel settore di trincea della galleria artificiale in corrispondenza al BD.

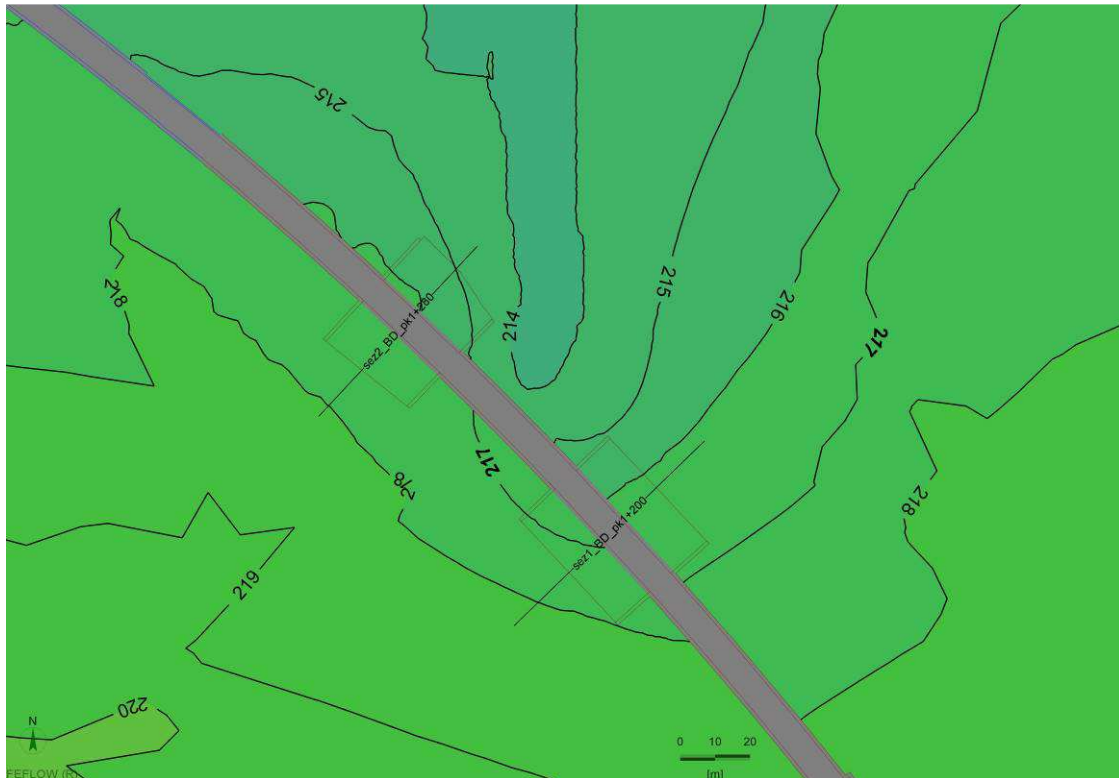
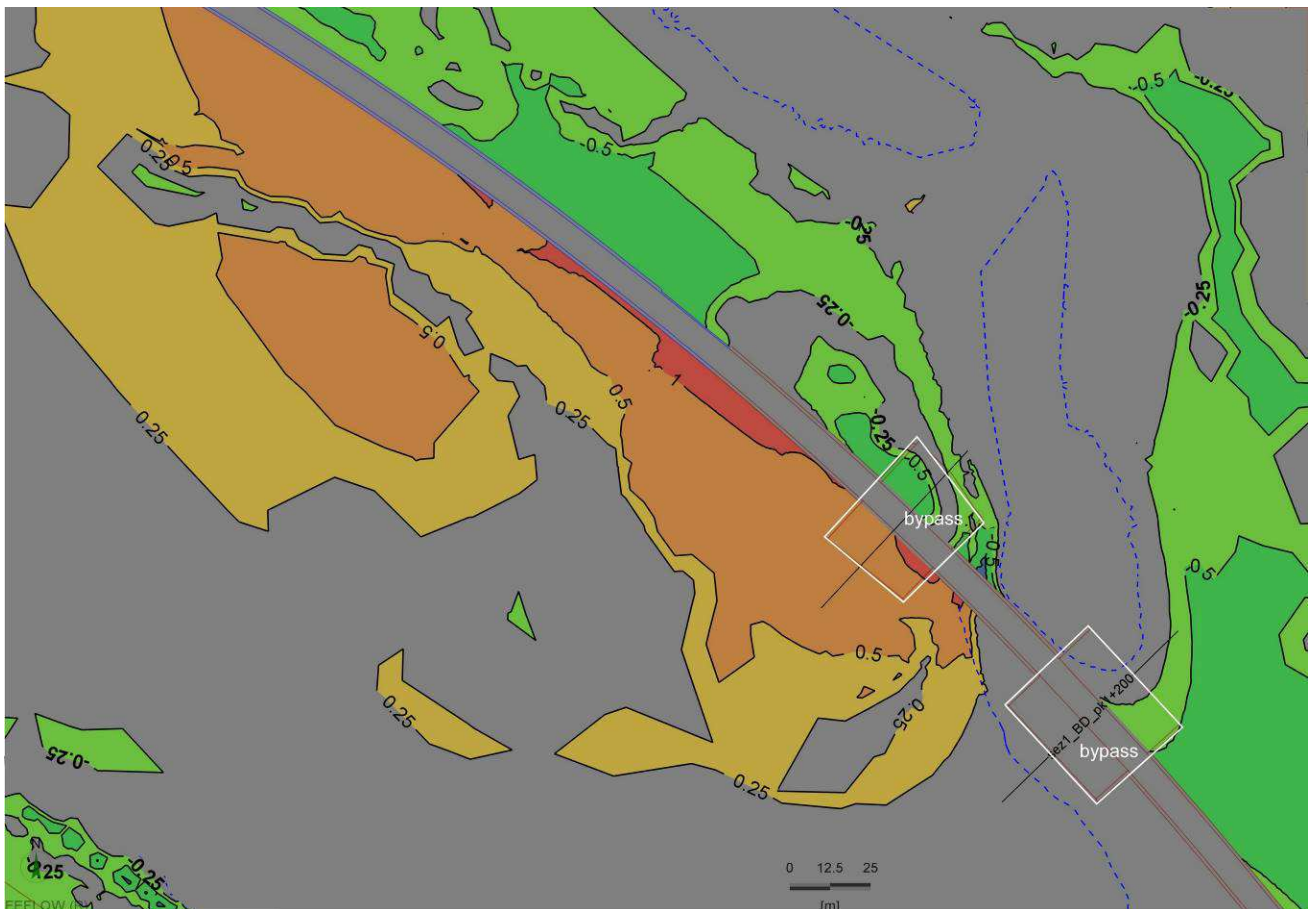


Figura 26 – Piezometria in m.s.l.m. stabilizzata in seguito alla realizzazione delle opere previste nel settore di trincea della galleria artificiale in corrispondenza al BD. Non è stato inserito il materiale drenante alla base delle due trincee.



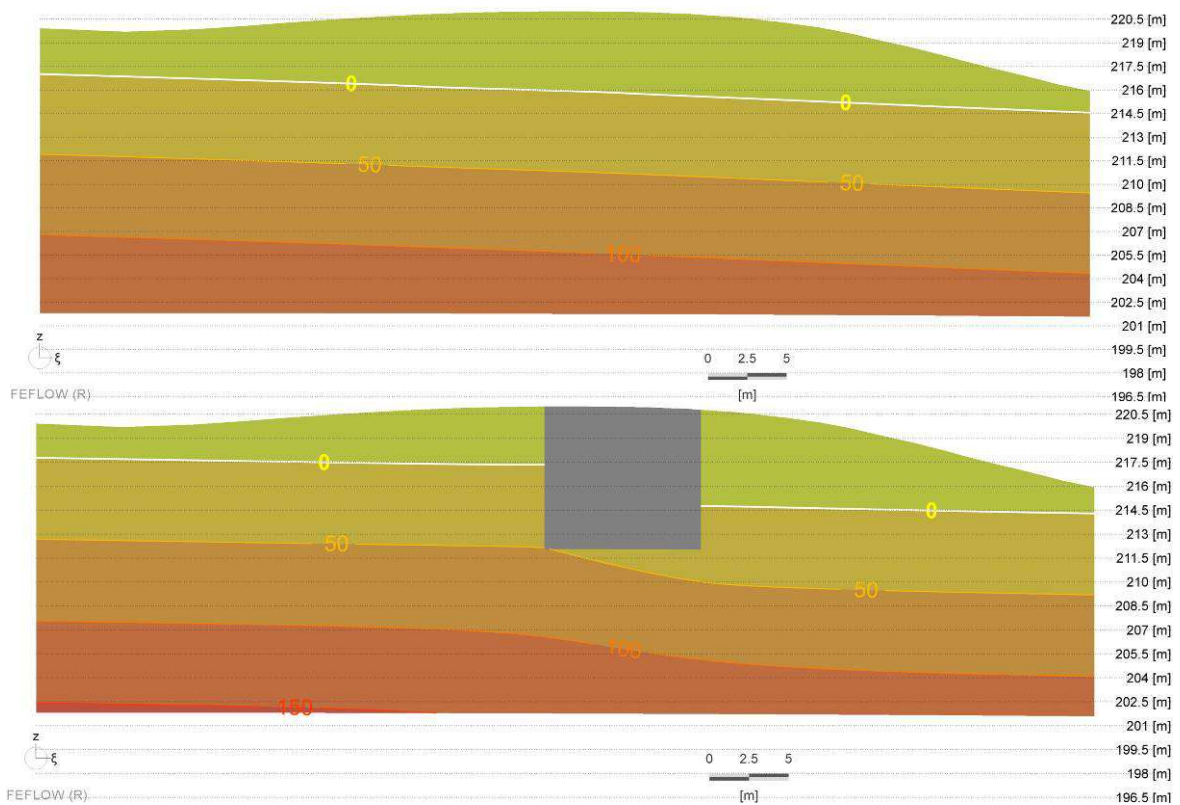
**Figura 27 – Variazioni piezometriche positive e negative in m in assenza di by-pass drenante in corrispondenza al BD. Nelle zone grigie non avviene alcuna variazione rispetto alla situazione iniziale. Il tratteggio blu si riferisce all'intersezione della piezometria con la superficie topografica.**

Va fatta una precisazione in merito a quanto accade in prossimità della trincea compresa tra la pk 1+182 e la 1+222. In Figura 27 si osserva che l'area prossima a tale trincea, area in cui ricade la C.na Moffa, non mostra variazioni di battente idraulico. In realtà, va specificato che il motivo di tale apparente assenza è dovuto al fatto che in questo settore la piezometria massima già allo stato naturale si attesta al livello di piano campagna o comunque pochi centimetri al di sotto (Figura 29). Trattandosi di una zona con acque di falda praticamente in superficie, il modello non rileva variazioni di livello piezometrico, poiché tale livello può appunto al massimo corrispondere alla superficie topografica. Al più si potrebbero rilevare variazioni di estensione laterale di questa zona con falda in superficie. Tuttavia, dal confronto tra la Figura 29 e la Figura 30 si può osservare come, anche successivamente alla realizzazione dell'opera nella sua interezza, l'estensione dell'area di emergenza della piezometria in superficie non si modifica consistentemente. Questo significa che l'estensione delle aree che presentano naturalmente situazioni di ristagno dovute alla locale conformazione topografica rimarranno grosso modo tali anche in presenza dell'opera terminata. In pratica, l'incremento piezometrico va quindi ad interessare unicamente i settori precedentemente discussi ed illustrati in Figura 27, ove la falda non si trovava originariamente in superficie.

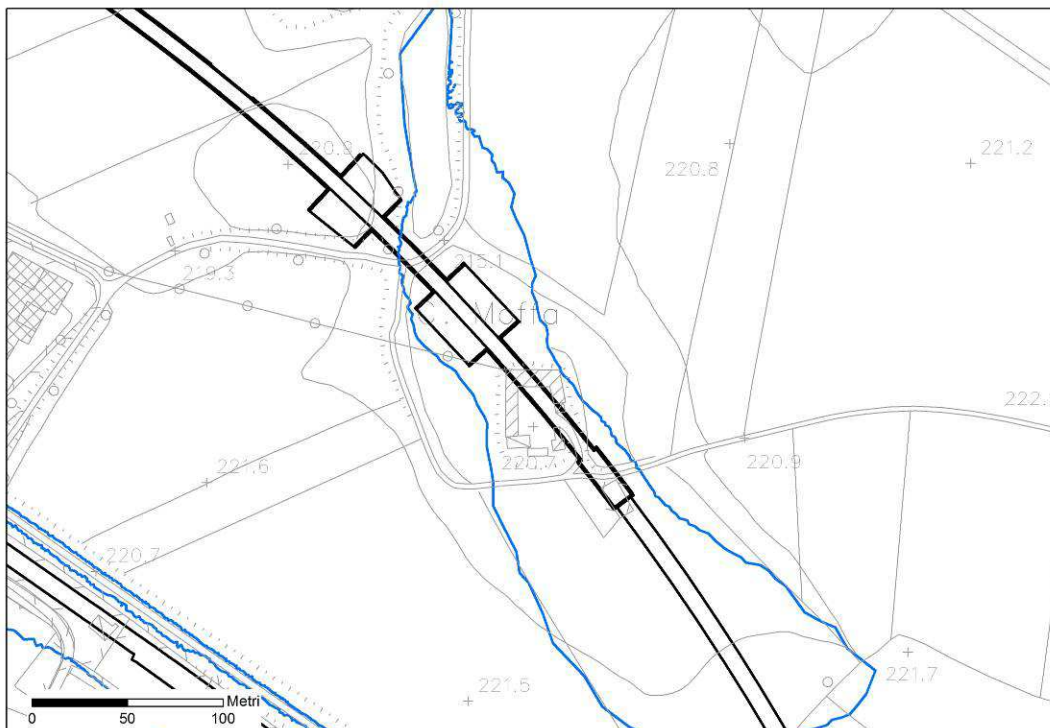
In conclusione, si può affermare che l'effetto di sbarramento dell'opera sulla falda è piuttosto



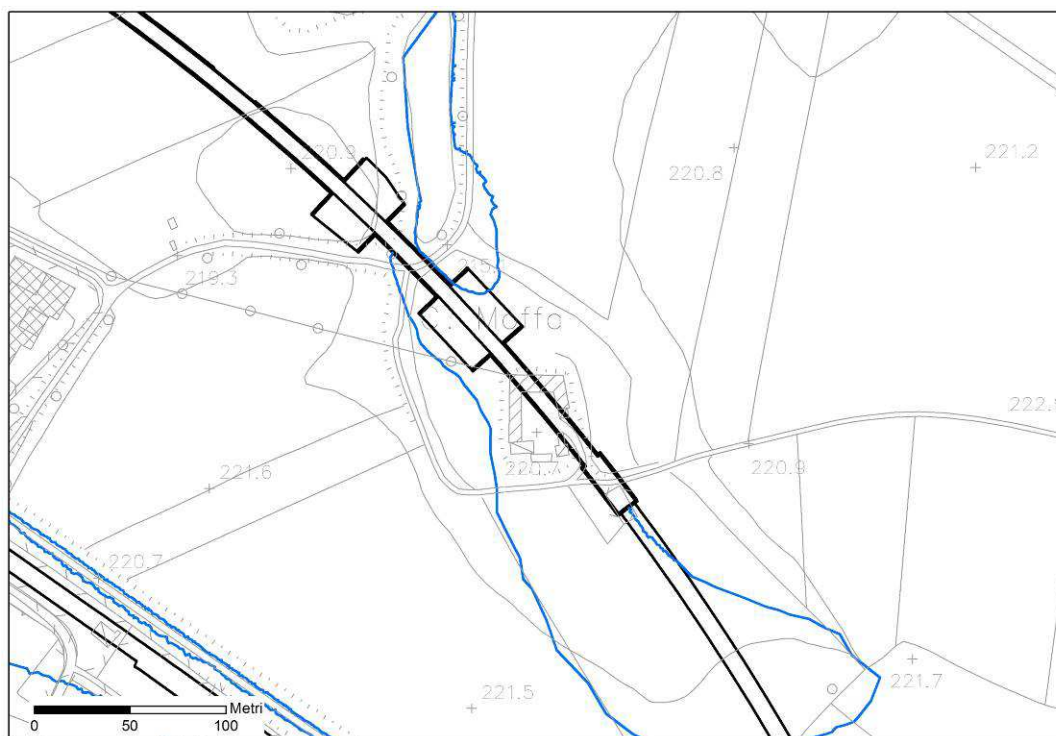
limitato e circoscritto all'intorno dell'opera stessa. A 70 m di distanza l'effetto di innalzamento è trascurabile (< 50 cm). Inoltre, anche laddove si verificano gli innalzamenti massimi (1 m; cfr. Figura 27) non si prefigurano particolari criticità, in quanto tale innalzamento interessa porzioni di territorio non occupate da fabbricati e nelle quali sussiste una soggiacenza di falda maggiore di un metro. Si consideri che lo scenario assunto per la modellizzazione è quello relativo ad un livello di piezometria massima protratta per un lungo periodo, scenario particolarmente conservativo in relazione ai risultati ottenuti.



**Figura 28 – Profilo di pressione in corrispondenza alla pk1+280 con livello piezometrico (in bianco) ante-operam (sopra) e dopo la realizzazione dell'opera senza by-pass drenante (sotto).**



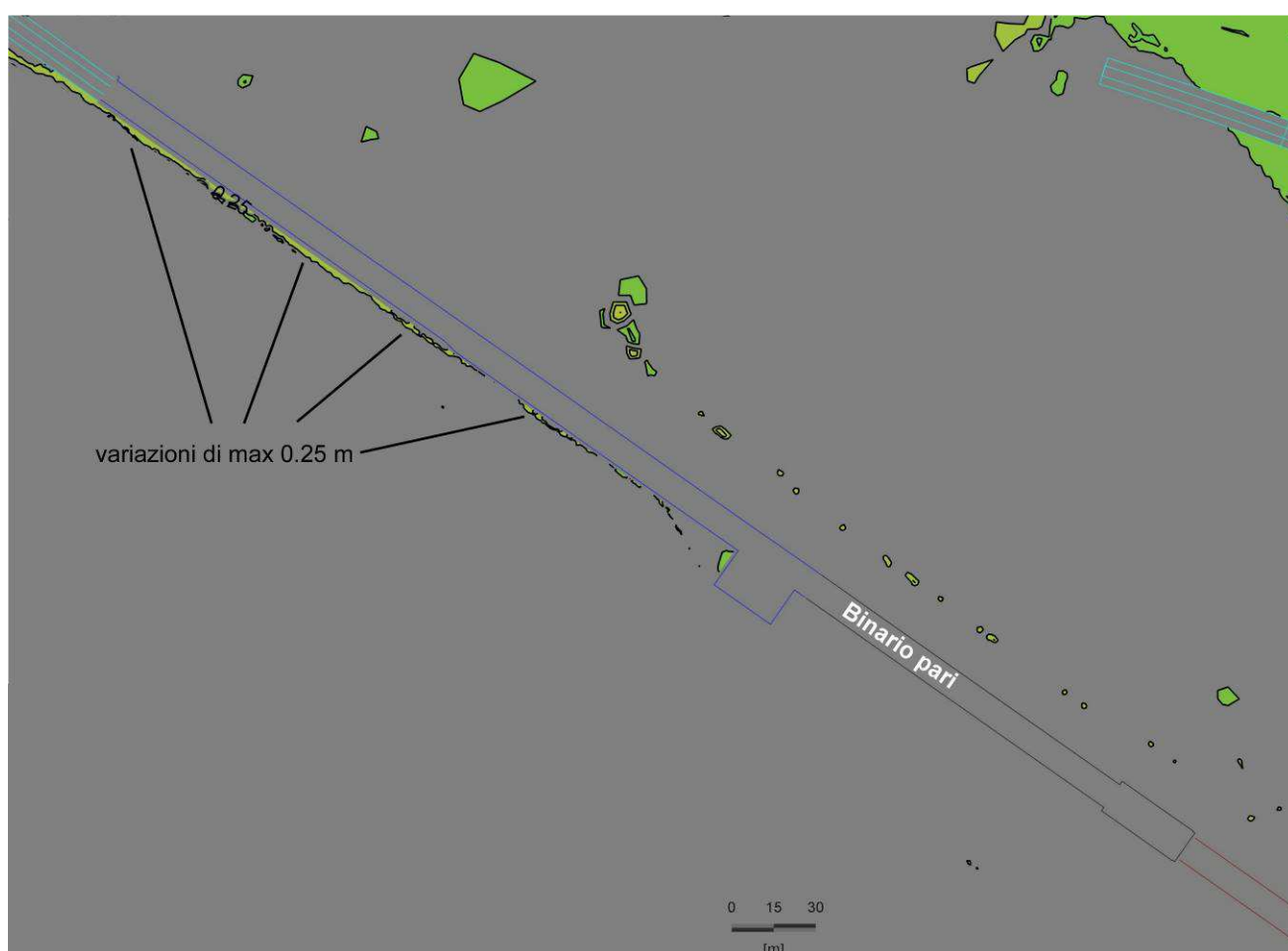
**Figura 29 – Zona di intersezione della piezometria con la superficie topografica, in condizioni ante-operam in corrispondenza al settore di trincea della galleria artificiale del BD.**



**Figura 30 – Zona di intersezione della piezometria con la superficie topografica, successivamente alla realizzazione dell'opera (senza by-pass drenante) in corrispondenza al settore di trincea della galleria artificiale del BD.**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVROGE0000002A <span style="float: right;">Foglio 44 di 47</span>

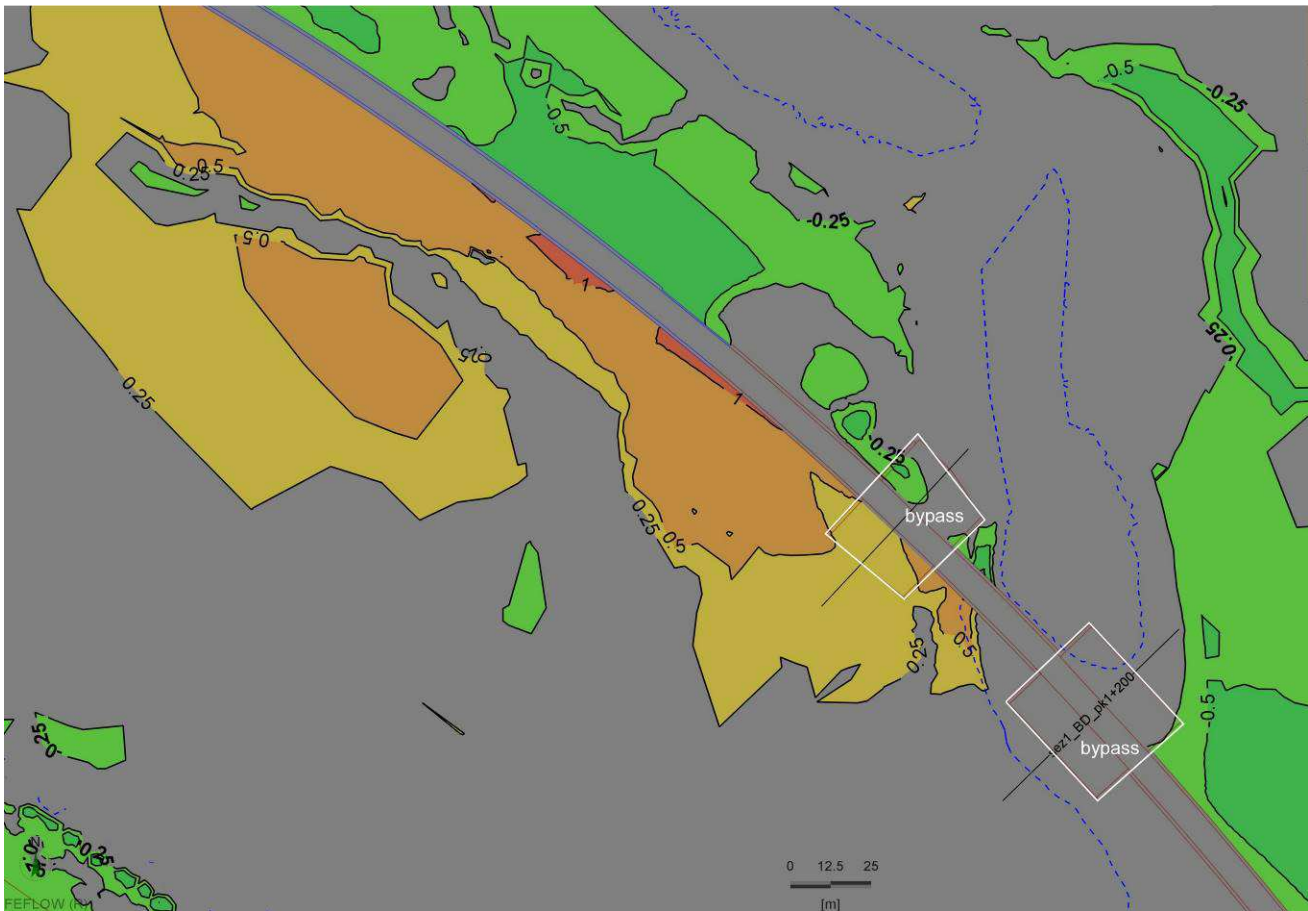
Per quanto riguarda il Binario Pari, invece, la modellizzazione ha messo in luce che gli effetti attesi delle opere sulla falda sono trascurabili. Come illustrato in Figura 31, le variazioni piezometriche attese lungo questo binario sono minime (dell'ordine di 0.25 m). L'effetto di minore influenza sulla falda determinato dalle opere previste su questo binario rispetto a quelle previste sul BD è dovuto sia alla minore lunghezza di interferenza della galleria artificiale dei diaframmi con l'acquifero, sia dal controllo idraulico operato dal Rio Gazzo sulla risalita piezometrica (cfr. paragrafo 5.2). Tale rio, infatti, agisce come un troppo pieno idraulico che consente di mantenere costante il livello massimo di falda in un intorno significativo del fosso stesso.



**Figura 31 – Variazioni piezometriche in m visualizzate in corrispondenza del BP.**

### 6.7.2. Simulazione in presenza di by-pass drenante

Come per la simulazione descritta al paragrafo precedente, anche in questa simulazione è stata considerata l'opera completata sul BD e sul BP. In aggiunta a quanto effettuato precedentemente, in questa simulazione è stato inserito il livello di materiale drenante posizionato al di sotto dello scatolare nei due tratti in trincea della galleria artificiale del BD (pk 1+182-1+222 e pk 1+269.5-1+299.5).

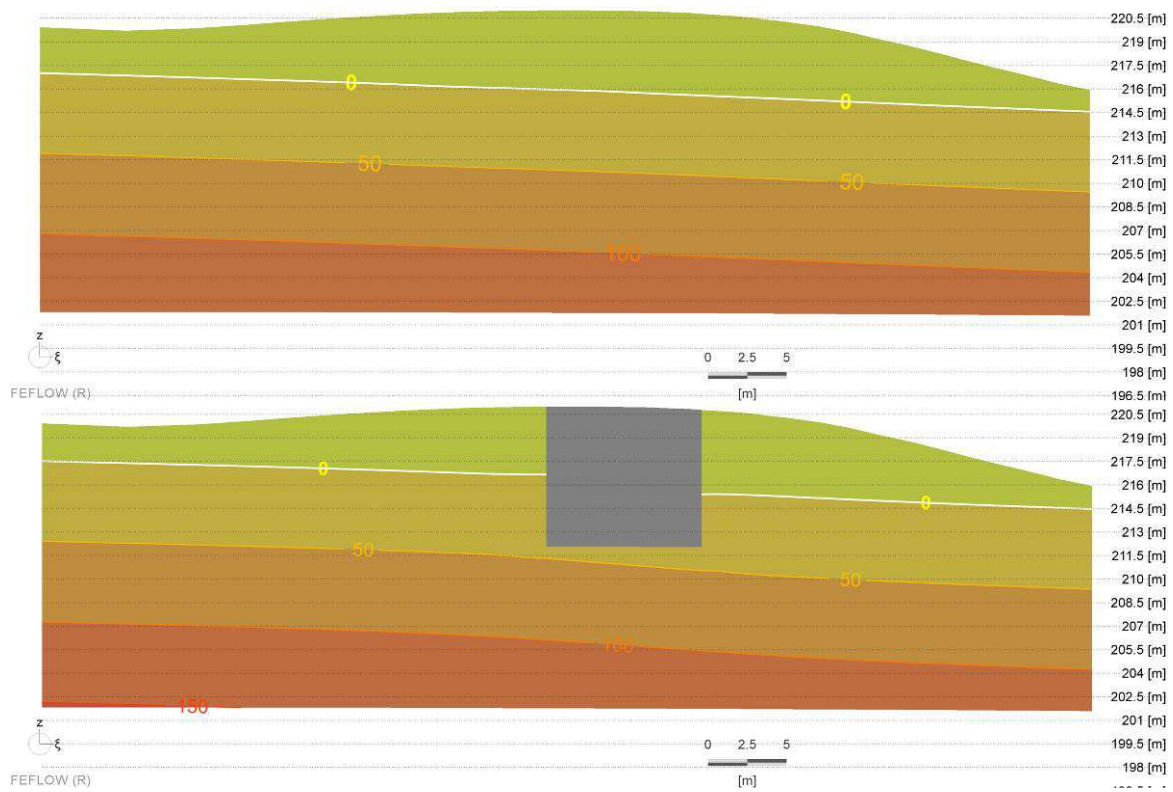


**Figura 32 – Variazioni piezometriche in m in seguito realizzazione delle opere, in presenza di by-pass drenante (contorno bianco) in corrispondenza al BD. Nelle zone grigie non avviene alcuna variazione rispetto alla situazione iniziale (ante-operam).**

Le variazioni piezometriche che si producono in presenza di questo assetto progettuale sono mostrate in Figura 32. Dal confronto di questa figura con la Figura 27, si può osservare come il by-pass drenante abbia l'effetto di ridurre in parte l'entità delle variazioni piezometriche che altrimenti verrebbero a prodursi in assenza di tale soluzione. In alcune zone circoscritte a monte dell'opera sono ancora attesi incrementi localizzati di 1 m della piezometria, anche se questi si estendono solo fino ad un massimo di 7 m a SW del BD. Gli innalzamenti di 0.5 m si estendono invece fino ad un massimo di 45 m, risultando quindi più limitati rispetto alla configurazione non drenante. Inoltre, si può apprezzare quale sia l'effetto dell'inserimento del by-pass osservando la piezometria riportata in sezione dalla Figura 33 e confrontandola con quella in Figura 28.

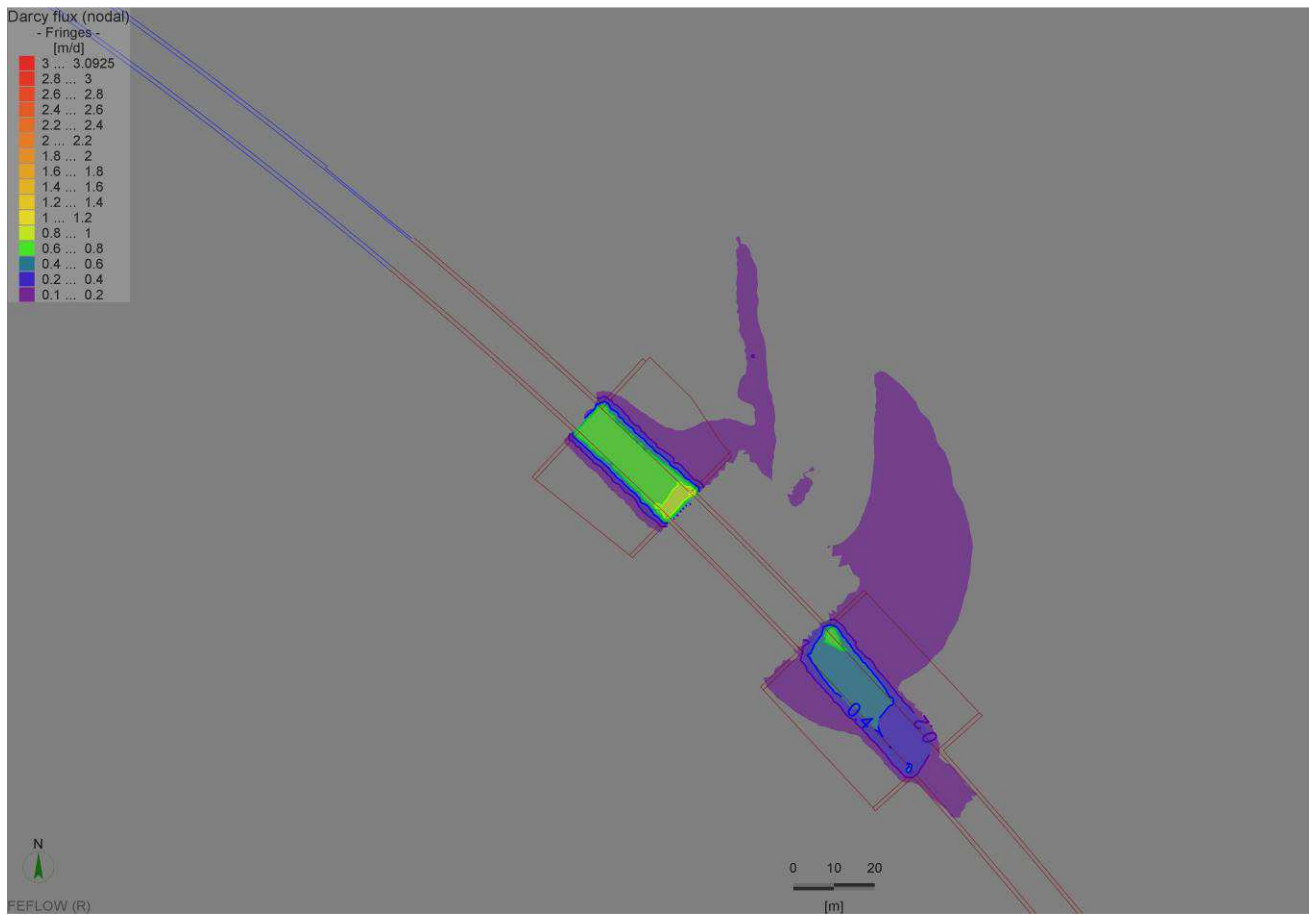
Come già discusso per l'opera senza by-pass drenante (paragrafo precedente), anche in presenza di by-pass drenante l'estensione della zona di intersezione della piezometria con la superficie (i.e. zona di emergenza) non muta di estensione. Quindi, anche in questo caso, si può affermare che la realizzazione dell'opera non determina una variazione delle condizioni di emergenza della falda che si osservano già in condizioni naturali (i.e. ante-operam).





**Figura 33 – Profilo di pressione in corrispondenza alla pk1+280 con livello piezometrico (in bianco) ante-operam (sopra) e dopo la realizzazione dell'opera in presenza del by-pass drenante (sotto).**

In compenso, l'inserimento del by-pass drenante garantisce un'interconnessione idraulica tra la porzione di monte e di valle dell'opera, consentendo quindi l'alimentazione dei laghetti. Questa situazione è illustrata in Figura 34 ove è mostrato l'incremento delle velocità di deflusso in prossimità dei by-pass. Dal punto di vista analitico, l'inserimento dell'opera con by-pass drenante determina una riduzione dell'alimentazione relativamente bassa, stimabile nell'ordine del 22% rispetto alla situazione ante-operam.



**Figura 34 – Flusso di Darcy alla quota del by-pass drenante (illustrati i valori maggiori di 0.1 m/giorno). Si osserva l'incremento di flusso in corrispondenza del by-pass (colori tendenti al verde=flusso più rapido, colori tendenti al viola=flusso più lento).**