

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC VERONA - PADOVA

SUB TRATTA VERONA – VICENZA

1° SUB LOTTO VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

RELAZIONE

PARTE GENERALE: GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA
STUDI IDROGEOLOGICI INTEGRATIVI

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.	SCALA:
ATI bonifica Progettista integratore Franco Persio Bocchetto Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n° 8664 – Sez. A settore Civile ed Ambientale	Consorzio IRICAV DUE Project Manager		-

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

I	N	0	D	0	0	D	I	2	S	D	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ATI bonifica	VISTO ATI BONIFICA	
	Firma	Data


Progettazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Tipo di Emissione	A. Cantoni <i>A. Cantoni</i>	data	M. Nespoli <i>M. Nespoli</i>	data	G.P. Beretta <i>G.P. Beretta</i>	12.05.2016	

File: IN0D00DI2SDGE0002001A.DOCX	CUP: J41E9100000009	n. Elab.:
	CIG: 3320049F17	

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	STUDIO IDROGEOLOGICO DELLE SORGENTI ORTI.....	5
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA	7
2.2.1	INDAGINI E PROVE ESEGUITE.....	7
2.2.2	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	8
2.2.3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE	12
2.2.4	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	15
2.3	RISORGIVE DEGLI "ORTI DELLA CHIESA BENEDETTINA"	18
2.3.1	UBICAZIONE DELLE RISORGIVE	18
2.3.1.1	Risorgiva 1: "fontanella delle monache"	20
2.3.1.2	Risorgiva 2 "mulino"	22
2.3.1.3	Risorgiva 3.....	24
3	L'IMPATTO SULLA FALDA DELLA GALLERIA ARTIFICIALE DI S. MARTINO BUON ALBERGO.....	26
3.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE REALIZZATE NELLA TRATTA INTERESSATA DALL'OPERA	27
3.1.1	INDAGINI 2002-2015.....	28
3.1.2	INDAGINI INTEGRATIVE APRILE 2006.....	32
3.2	CARATTERI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI DI DETTAGLIO DEL SETTORE DI INTERESSE	36
3.2.1	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E IDROGRAFICHE	36
3.2.2	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE	38
3.2.3	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	44
3.3	PARAMETRI IDROGEOLOGICI DELL'ACQUIFERO	56
3.3.1	TEST DI POMPAGGIO NEL POZZO P1.....	59
3.3.2	TEST DI POMPAGGIO NEL POZZO P2.....	64
3.4	MODELLO NUMERICO DI FLUSSO E STIMA DEGLI EFFETTI SULLA FALDA INDOTTI DALLA GALLERIA ARTIFICIALE	75
3.4.1	STRUTTURA DEL MODELLO NUMERICO DI FLUSSO.....	76
3.4.2	PARAMETRI DI INPUT E CAMPO DI MOTO DELLA FALDA.....	80
3.4.3	TARATURA DEL MODELLO	83
3.4.4	FASE DI APPLICAZIONE DEL MODELLO.....	85
3.4.5	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE.....	86

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 3 di 89

1 PREMESSA


Il documento in oggetto è stato redatto in ottemperanza alle osservazioni della Commissione Regionale VIA nella seduta del 16.03.2016 con particolare riferimento alle richieste di integrazioni formulate da ARPAV sulla matrice acque sotterranee riportate ai punti 13 e 14 del verbale della Regione Veneto Prot. 1054901 del 16.03.2016 in merito ai seguenti aspetti:

- redazione di uno studio idrogeologico inerente le potenziali interferenze generate dalla nuova linea ferroviaria sulle sorgenti denominate Orti site in Comune di Verona;
- predisposizione di uno studio idrogeologico di dettaglio corredato da un modello di flusso basato su dati aggiornati e sito-specifici di conducibilità idraulica e trasmissività ricavati attraverso prove di pompaggio.

Per quanto attiene il primo punto, previa realizzazione di n. 2 nuovi sondaggi attrezzati a piezometri, l'analisi delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e idrogeologiche del sito e sopralluoghi per la verifica dello stato di attività e della portata delle risorgive Orti, è stato predisposto uno studio finalizzato a verificare l'impatto della linea ferroviaria in progetto e l'idoneità delle misure proposte per il trasferimento delle acque sorgive a valle del rilevato ferroviario.

In merito al secondo aspetto in una prima fase di studio furono effettuate, sulla base dei dati allora disponibili, prime indicazioni in merito alle possibili problematiche indotte dall'interferenza tra la falda idrica e la galleria artificiale di S. Martino Buon Albergo, in progetto tra i km 4+941 e 6+541 della linea AV/AC Verona-Vicenza.


I risultati preliminari, eseguiti considerando ipotesi cautelative tra cui valori di conducibilità idraulica dell'acquifero verosimilmente più ridotti di quelli reali e una direzione del flusso idrico sotterraneo disposta ortogonalmente alla diaframmatura, fornirono indicazioni in merito a un impatto sostanzialmente insignificante prodotto sulla falda dalle opere in sotterraneo, valutabile in IN0D00DI2SDGE0002001A

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 4 di 89

innalzamenti massimi a monte delle diaframature e abbassamenti massimi a valle delle medesime di circa 0.25 m nei limitati settori di maggiore interferenza.

In questa seconda fase è stato sviluppato un nuovo modello numerico di flusso basato su dati sito-specifici ricavati a seguito di ulteriori indagini in sito rappresentate da:

- la realizzazione di ulteriori n. 6 piezometri di controllo ubicati nel territorio comunale di San Martino Buon Albergo;
- n. 2 campi prova per test di pompaggio ciascuno costituito da n. 1 pozzo di prova e n. 2 piezometri di controllo ubicati in vicinanza della futura linea ferroviaria;
- n. 4 prove di pompaggio sui campi prova eseguite con portata variabile a gradini e con portata costante allo scopo di determinare i parametri idrogeologici dell'acquifero impattato dall'opera in sotterraneo;
- misure piezometriche su tutti i punti di controllo (piezometri esistenti lungo la linea e nuovi piezometri appositamente realizzati per l'integrazione in oggetto) per la definizione della direzione locale di flusso della falda.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 5 di 89

2 STUDIO IDROGEOLOGICO DELLE SORGENTI ORTI

La presente relazione, redatta a corredo del progetto definitivo, illustra gli aspetti idrogeologici di un'area interessata dalla nuova linea ferroviaria AV/AC Verona–Padova, nella tratta compresa all'incirca tra le progressive chilometriche 1+125 e 1+600.

In questa sezione, posta a sud della ferrovia e collegata mediante un sottopasso ferroviario pedonale al tessuto urbano di San Michele Extra, si trovano gli “*Orti della Chiesa Benedettina*”, un'area privata con profilo rettangolare che si estende parallelamente al bastione ferroviario per circa 400 m e con una larghezza di 20 m.

All'interno di tali aree private sono presenti 4 risorgive, 3 delle quali, ubicate in corrispondenza del sedime della nuova linea AV, andranno a interferire con la nuova opera.

Oggetto del presente studio è la descrizione di queste 3 risorgive.

A supporto dell'analisi di dettaglio sono state raccolte e sistematizzate le informazioni di tipo stratigrafico derivanti dalle campagne di indagini effettuate nel 2002, nell'ambito del progetto preliminare, e da quelle integrative svolte nel 2014, appositamente realizzate per la predisposizione del progetto definitivo.

Nel dettaglio tali indagini sono state mirate all'effettuazione di indagini geognostiche, con prove in situ, installazione di piezometri e monitoraggio dei livelli di falda.

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame si sviluppa in corrispondenza della porzione orientale del comune di Verona, nel quartiere di San Michele Extra, vicino al confine con il limitrofo comune di S. Martino Buon Albergo (Figura 1).



Nell'ambito del Sublotto Verona – Montebello Vicentino, l'area in cui si estendono gli "Orti della Chiesa Benedettina" ricade entro il Lotto costruttivo 1 ed è compresa all'incirca tra i km 1+125 e 1+600.

In questa tratta, il progetto della nuova linea ferroviaria prevede di mantenere inalterato il deflusso delle risorgive attraverso la realizzazione di un sistema drenante per la captazione e la successiva canalizzazione delle acque di risorgiva. In particolare si prevede di realizzare un materasso di materiale grossolano, dello spessore minimo di 1 m, confinato da geotessuto e drenato da tubazioni forate recapitanti entro lo "scolo Orti".

La portata complessiva di progetto delle 3 sorgenti da drenare è stata complessivamente stimata in 150 l/s.



Figura 1 - Inquadramento territoriale dell'area interessata dalla presenza di risorgive ("Orti della Chiesa benedettina")

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 7 di 89

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

2.2.1 INDAGINI E PROVE ESEGUITE

L'area degli "Orti della Chiesa Benedettina" (compresa all'incirca entro le progressive chilometriche 1+125 e 1+600) ricade entro il Lotto costruttivo 1, che comprende la tratta tra le progressive km 0+000 e km 10+045.

In particolare, le indagini geognostiche eseguite nell'intorno dell'area in oggetto sono le seguenti:

- SP1, SP1BIS: sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con tubo cieco per prove Cross Hole, eseguiti nel 2015;
- SPA2: sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di piezometro a Tubo Aperto (A) eseguito nel 2015;
- PZA, PZB: sondaggi geognostici a carotaggio continuo con installazione di piezometro a Tubo Aperto eseguiti nell'aprile 2016.

Le principali caratteristiche costruttive dei succitati sondaggi sono di seguito descritte:

Sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con tubo cieco per prove Cross Hole

identificativo: **SP1**

anno di perforazione: 2015

ubicazione approssimativa: km 1+050

quota piano campagna: 46.51 m s.l.m.


profondità: 20 m

identificativo: **SP1BIS**

anno di perforazione: 2015

ubicazione approssimativa: 1+070

IN0D00DI2SDGE0002001A

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 8 di 89

quota piano campagna: n.d.

profondità: 15 m

Sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con piezometro a tubo aperto

identificativo: **SPA2**

anno di perforazione: 2015

ubicazione approssimativa: km 1+570

quota piano campagna: 46.501 m s.l.m.

profondità: 20 m

tratto filtrante: tra 3 e 20 m da bf

identificativo: **PZA**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 1+140

quota piano campagna: 61.213 m s.l.m.

profondità: 27 m

tratto filtrante: tra 6 e 24 m da bf

identificativo: **PZB**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 1+475

quota piano campagna: 59.226 m s.l.m.

profondità: 28 m

tratto filtrante: tra 3 e 25 m da bf

2.2.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

La morfologia della tratta interessata dal Lotto costruttivo 1, in cui ricade l'area in oggetto, è subpianeggiante, leggermente degradante verso Sud-Est, con pendenza media dello 0.25%, tipica della pianura alluvionale di cui fa parte.
 IN0D00DI2SDGE0002001A

Lungo la tratta possono essere riconosciute, tra le forme di denudazione e le forme di accumulo, le seguenti principali unità geomorfologiche (Figura 2):

Forme di denudazione

- (a) terrazzo morfologico della conoide atesina – (FgW) Diluvium recente;
- (b) bordo di scarpata di erosione glaciale/postglaciale - scarpata di delimitazione tra il terrazzo della conoide antica e il terrazzo del Diluvium tardivo (FgWt) e delle alluvioni antiche e attuali del Fiume Adige

Forme di accumulo

- (c) unità di depositi mobili dell'alveo fluviale dell'Adige (terrazzo delle alluvioni antiche e attuali del F. Adige);
- (d) unità del Diluvium tardivo (FgWt) - fascia fluviale depressa e zone a deflusso difficoltoso.

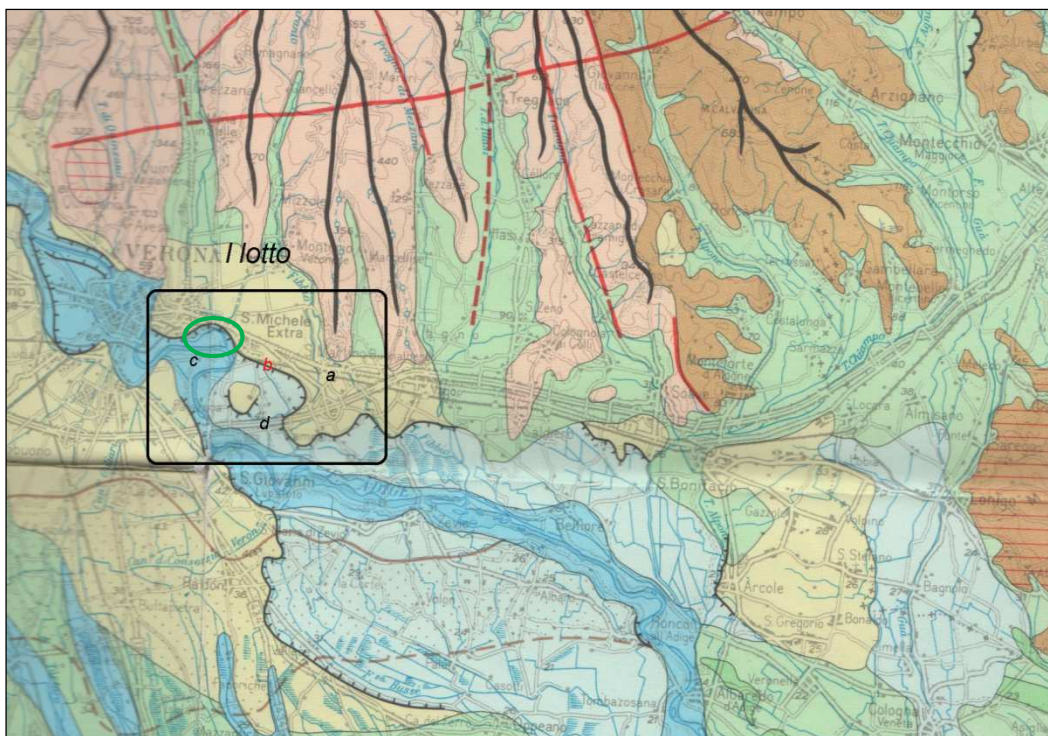


Figura 2 - Carta delle Unità Geomorfologiche (Da Regione Veneto). In verde l'area degli "Orti della Chiesa Benedettina"

Le scarpate di delimitazione tra il terrazzo della conoide wurmiana e quelle del Diluvium tardivo e delle alluvioni attuali del F. Adige, si sviluppano in vicinanza del primo tratto ferroviario che dovrà essere realizzato proprio a ridosso delle scarpate. Tali elementi morfologici hanno riflessi sull'idrogeologia e l'idrografia del settore.

Da un punto di vista altimetrico i terrazzo delle alluvioni attuali e del Diluvium tardivo del F. Adige sono ribassati di circa 10 m rispetto al terrazzo della conoide antica (Diluvium recente) e interessati dalla presenza di evidenti tracce di paleovalvei dell'Adige attualmente occupati da idrografia secondaria, perlopiù connessa al reticolo irriguo del settore, anche alimentata da sorgenti di terrazzo (come nel caso dell'area in oggetto) che determinano lo sfioro delle acque di prima falda alla base della scarpata morfologica che separa le diverse unità morfostratigrafiche.

Dalla carta geomorfologica in scala 1:25.000 di L. Sorbini & Alii (1984) si osservano con maggior dettaglio le forme precedentemente descritte in particolare la presenza degli orli di terrazzo e il piano di divagazione dell'Adige nonché gli orli di terrazzo e i limiti di dosso (Figura 3).

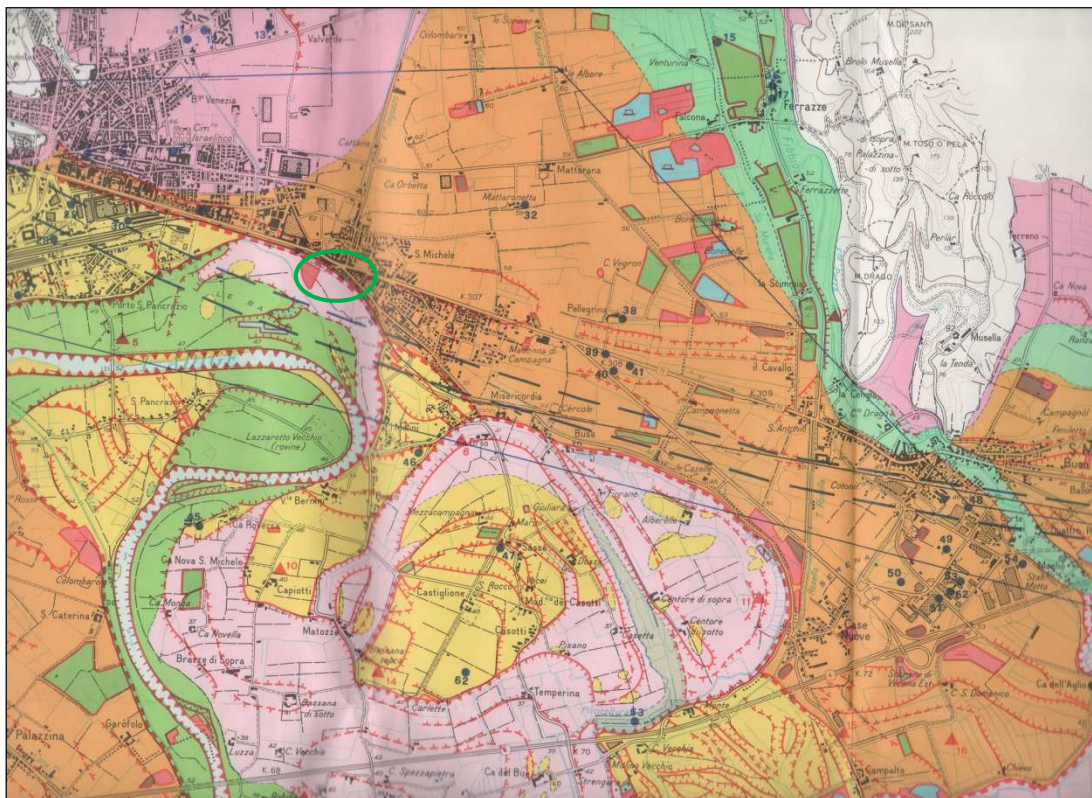




Figura 3 – Geomorfologia dell'area compresa nel I Lotto costruttivo con relativa legenda (Da L. Sorbini & Alii, 1984). In verde l'area degli "Orti della Chiesa Benedettina".

2.2.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE

Dalla carta geomorfologica precedentemente descritta si osserva che, per l'area in oggetto, i terreni attraversati appartengono alla conoide e alla piana di divagazione dell'Adige.

I depositi ghiaiosi della conoide dell'Adige bordano il limite settentrionale dell'area in oggetto e costituiscono la parte topograficamente più elevata del IN0D00DI2SDGE0002001A

terrazzo morfologico, mentre alluvioni prevalentemente sabbiose bordano a sud il corso dell'Adige.

Alcune informazioni di dettaglio circa la litologia di superficie per la tratta di interesse possono essere desunte anche dalla carta litologica riportata nel P.A.T. del Comune di Verona (stralcio in Figura 4), dalla quale si osserva che in corrispondenza dell'area degli "Orti della Chiesa Benedettina" i depositi superficiali sono classificati come "materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa".

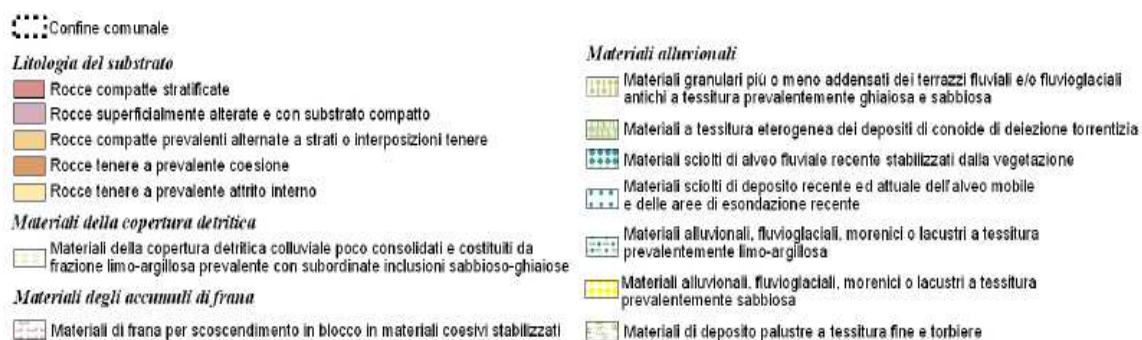
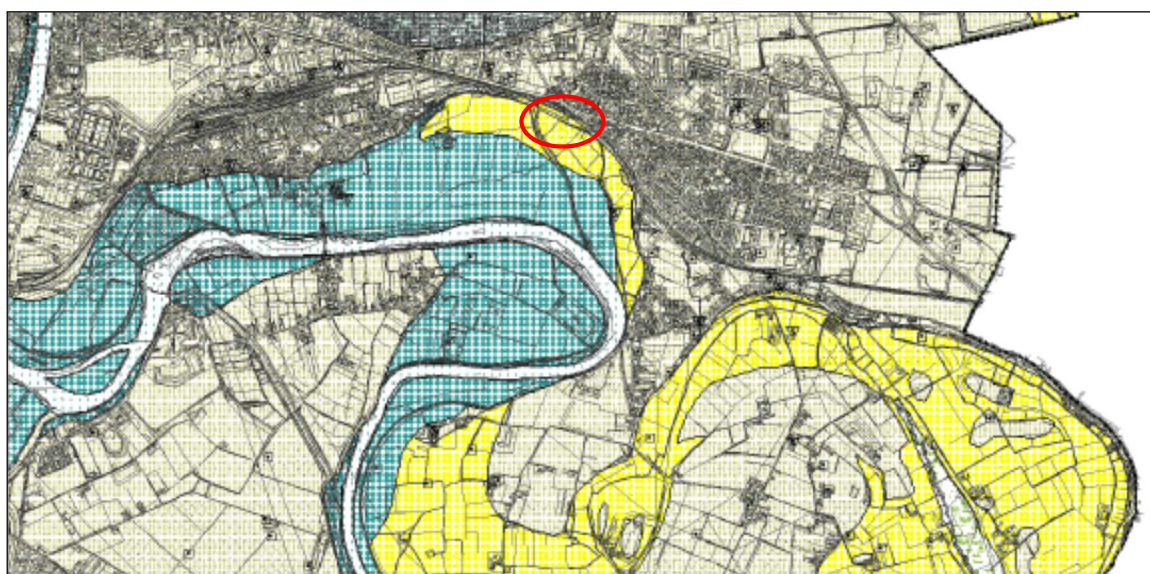


Figura 4 - Carta geolitologica del Comune di Verona in scala 1:15.000 (Da: PAT, 2007). In rosso l'area degli "Orti della Chiesa Benedettina".

In Figura 5 sono evidenziate le caratteristiche litologiche del sottosuolo nel tratto di interesse attraverso una sezione geologica tracciata tra i sondaggi SP1bis e SPA2, ubicati sul terrazzo basso, che mostra la presenza di una prima litozona costituita da alluvioni a prevalenza ghiaioso-sabbiosa passante verso il basso a sabbie debolmente limose, avente spessore di circa 12 m, soprastante a un livello limoso-argilloso dello spessore di 2-3 m a sua volta sovrapposto a ulteriori sedimenti a prevalenza sabbiosa.

Caratteristiche simili sono state rilevate dai piezometri PZA e PZB recentemente realizzati, i quali, essendo stati perforati al di sopra del terrazzo wurmiano, sopraelevato di circa 10 m rispetto a quello più recente, hanno attraversato uno spessore superiore della prima litozona ghiaioso-sabbiosa, pari a circa 23-24 m, prima di incontrare i livelli limoso-argillosi di separazione tra la prima falda libera e quella sottostante a carattere semi-confinato.

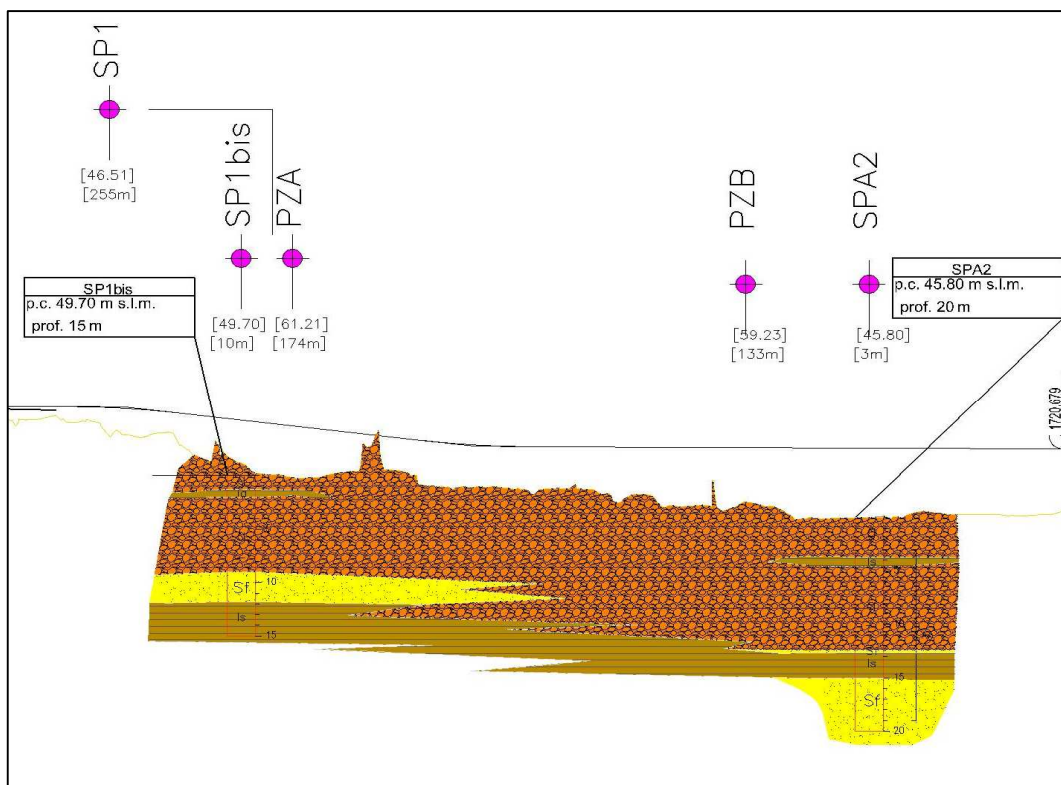




Figura 5 – Sezione geolitologica del tratto interessato dalla presenza delle risorgive Orti

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 15 di 89

2.2.4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Nella sua parte iniziale, compresa tra Verona e Zevio, il tracciato si sviluppa nel bacino idrogeologico dell'alta pianura (VRA) e interessa l'unità formata dai sedimenti fluvioglaciali antichi attribuibili al Diluvium Recente (FgW - Fluvioglaciale Wurm).

La litologia del sottosuolo è prevalentemente grossolana e contraddistinta da un incremento della componente sabbiosa passando dal bacino idrogeologico dell'alta a quello della bassa pianura. All'interno di questi depositi fluvioglaciali a prevalenza ghiaioso-sabbiosa, si rinvengono sedimenti limoso-argillosi disposti in forme lenticolari perlopiù di scarso spessore ed estensione areale.

In corrispondenza delle scarpate morfologiche principali si osserva la presenza di sorgenti di terrazzo (come nel caso dell'area in oggetto) che determinano lo sfioro delle acque di prima falda.

Il flusso idrico sotterraneo locale, ricostruito sulla base delle quote piezometriche registrate nel maggio 2016 nei piezometri limitrofi all'area degli "Orti della Chiesa Benedettina" (Tabella 1), assume una direzione media NW-SE, con quote variabili tra circa 45 e 46 m s.l.m. (Figura 6).

Piezometro	Quota p.c. (m slm)	Soggiacenza (m)	Quota piezometrica (m slm)
PZA	61.213	15.19	46.02
PZB	59.226	13.95	45.28

Tabella 1 – Misure piezometriche rilevate in data 04.05.2016

Ulteriori informazioni possono essere dedotte dalla Carta idrogeologica" del PAT del Comune di Verona un cui stralcio è mostrato in Figura 7.

In essa sono differenziati i settori contraddistinti da diverse classi di soggiacenza che sono strettamente connesse all'andamento morfologico del territorio e più in particolare a quello dei terrazzi alluvionali.

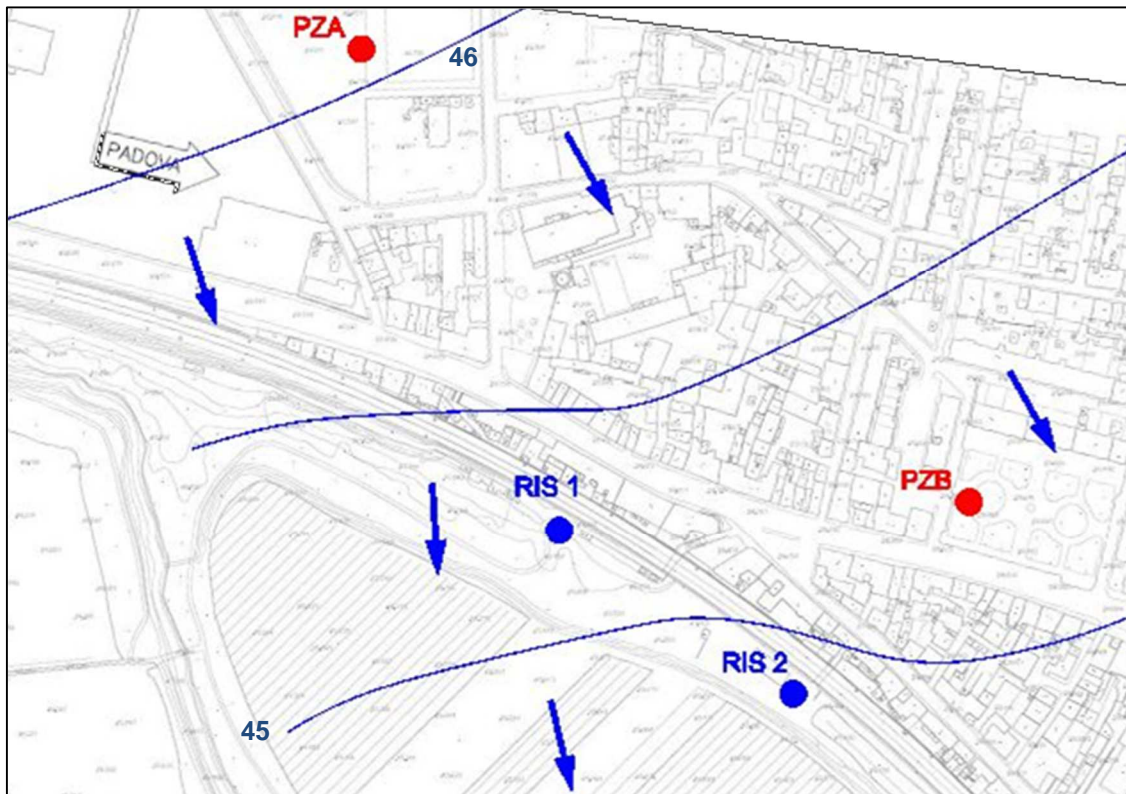


Figura 6 – Superficie piezometrica ricostruita in base alle misure del 04.05.2016

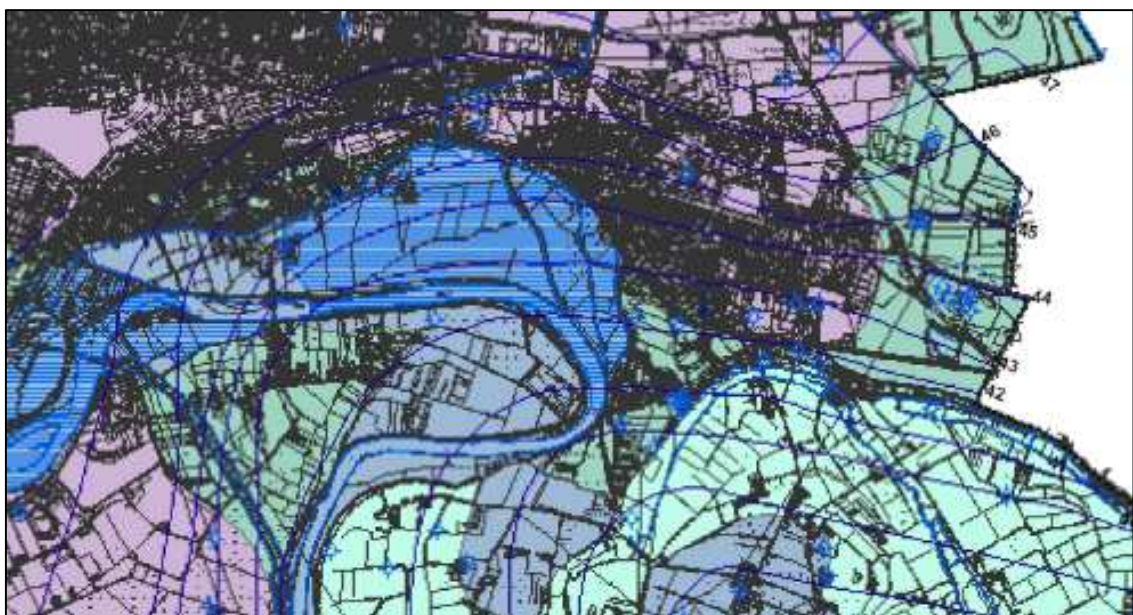


Figura 7 - Stralci della "Carta Idrogeologica" del PAT di Verona

Nel primo tratto, compreso tra la stazione di Verona Porta Vescovo e il quartiere di San Michele Extra, il tracciato ferroviario si sviluppa in corrispondenza di aree con soggiacenza superiore a 10 m, mentre in corrispondenza degli “*Orti della Chiesa Benedettina*”, morfologicamente ribassata, la soggiacenza si riduce a 1÷2 m.

Per quanto attiene l’oscillazione freatica si può fare riferimento alle misure eseguite nel piezometro SPA2 nel periodo marzo 2015 – aprile 2016.

Il grafico mostrato in Figura 7 evidenzia, per il periodo di rilevazione, un’escursione freatica di circa 1 m con massimo innalzamento riscontrato nel corso dell’ultima rilevazione disponibile.

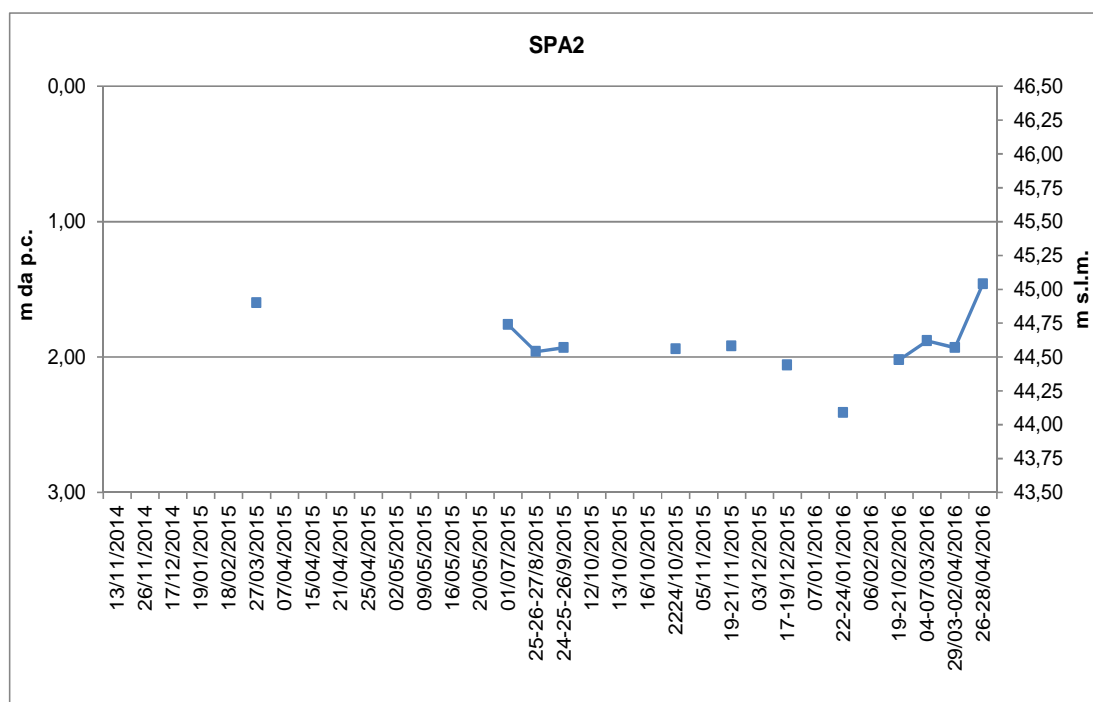




Figura 8 - Oscillazione freatica rilevata nel piezometro SPA2 (marzo 2015 – aprile 2016)

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 18 di 89

2.3 RISORGIVE DEGLI “ORTI DELLA CHIESA BENEDETTINA”

2.3.1 UBICAZIONE DELLE RISORGIVE

In corrispondenza della località degli “*Orti della Chiesa Benedettina*”, nella tratta del Lotto costruttivo 1 compresa tra le progressive chilometriche 1+125 e 1+600, si trova un’area privata entro la quale è stata osservata la presenza di quattro risorgive (Figura 9), 3 delle quali andranno ad interferire con il tracciato della linea AV in progetto.

Tale area si estende parallelamente al bastione murario ferroviario esistente (costruito per sostenere la ferrovia realizzata a ridosso del terrazzo morfologico inciso dal paleo alveo dell’Adige) per una lunghezza di circa 400 m e una larghezza di circa 20 m.

Le acque delle risorgive confluiscono in un fosso privato, detto “*scolo Orti*”, che delimita la proprietà ecclesiastica e la proprietà Bighignoli.

Lo “*scolo Orti*” ha origine in corrispondenza di una prima risorgiva (non interessata dalla linea AV) e scorre poi per un tratto parallelamente alla scarpata morfologica. Dopo circa 400 m curva nettamente in direzione Sud e mantiene il suo corso all’interno della proprietà Bighignoli per circa 1 km, fino a confluire nel Fiume Adige (Figura 10).

L’alveo del fosso ha sezioni molto variabili, con ampiezza dell’ordine di alcuni metri ed un battente d’acqua (al momento del sopralluogo eseguito in data 06.05.2016) dell’ordine di 25÷30 cm.

Ove possibile è stata effettuata, con misure dirette in sito, una misura della portata delle risorgive.

In particolare è stata misurata, mediante un galleggiante, la velocità della corrente entro un tratto di alveo con lunghezza e sezione noti.

Dai valori medi ottenuti da diverse misurazioni è stata stimata la portata della risorgiva.



Figura 9 – Ubicazione risorgive Orti



Figura 10 – Alveo dello "scolo Orti"

2.3.1.1 Risorgiva 1: “fontanella delle monache”

La prima risorgiva individuata è posta in corrispondenza della progressiva chilometrica 1+324, e deve il nome alla presenza del monastero benedettino di San Michele. Già sfruttata in epoca medievale, risulta attualmente incorporata in una struttura in pietra e muratura con una vasca a pianta semi-triangolare costruita nel 1660.

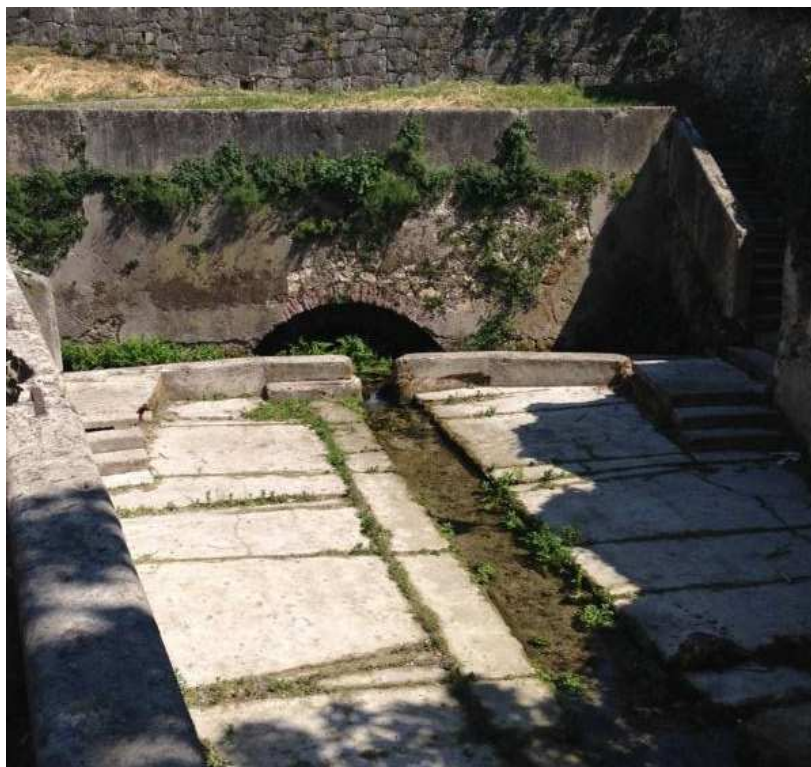


Foto 1 – “Fontanella delle monache”: sezione di ingresso delle acque di risorgiva

L’acqua in uscita dalla sorgente viene convogliata in un piccolo canale che ne permette lo scarico nello “*scolo Orti*”.

La portata stimata della risorgiva, calcolata in un tratto del piccolo canale presente sul fondo della vasca, è di circa 16÷17 l/s (6 maggio 2016).



Foto 2 – “Fontanella delle monache”: vasca a pianta semitriangolare e sezione di uscita



Foto 3 – “Fontanella delle monache”: canalizzazione in uscita dalla vasca verso il vicino “scolo Orti”



Foto 4 – “Fontanella delle monache”: canalizzazione in uscita dalla vasca verso il vicino “scolo Orti”

2.3.1.2 Risorgiva 2 “mulino”

La seconda risorgiva individuata è posta in corrispondenza della progressiva chilometrica 1+474. Si trova all’interno di un rudere (probabilmente un mulino) ed è canalizzata e convogliata entro una serie di vasche prima di sfociare anch’essa nello “scolo Orti”.



Foto 5 – “Mulino”: sezione di ingresso delle acque di risorgiva



Foto 6 – “Mulino”: panoramica e sezione in uscita nello “scolo Orti”



Foto 7 – “Mulino”: panoramica e sezione in uscita nello “scolo Orti”

La portata stimata della risorgiva “Mulino” è di circa 35 l/s (6 maggio 2016).

2.3.1.3 Risorgiva 3

La posizione della terza risorgiva è stata solamente ipotizzata in corrispondenza di un punto sulla sponda sinistra dell'alveo della “Fossa Morandina”, all'altezza della progressiva chilometrica 1+525, in quanto al momento del rilievo (6 maggio 2016) non è stata individuata alcuna venuta d'acqua.


L'ubicazione è stata ipotizzata sulla base della presenza entro l'alveo dello “scolo Orti” di una zona priva di sedimento fine limoso sul fondo. Questo

potrebbe infatti essere stato dilavato dall'azione dell'acqua corrente uscente dalla risorgiva.

Non essendo attiva, non è stato possibile stimare la portata della risorgiva.



Foto 8 – Terza risorgiva

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 26 di 89

3 L'IMPATTO SULLA FALDA DELLA GALLERIA ARTIFICIALE DI S. MARTINO BUON ALBERGO


Nella presente sezione sono dettagliate le caratteristiche idrogeologiche del settore che sarà interessato dalla galleria artificiale di S. Martino Buon Albergo (di seguito opera), in progetto tra i km 4+941 e 6+541 della linea AV/AC Verona-Vicenza con la finalità di fornire, mediante il supporto di un modello di flusso delle acque sotterranee, una valutazione quali-quantitativa degli effetti indotti dall'opera sulla falda.

Le potenziali interferenze tra opera e falda che potrebbero determinare effetti negativi sulle infrastrutture sotterranee circostanti o sulla medesima opera, possono essere ricondotte:

- all'innalzamento del livello freatico indotto dalle diaframature sul lato sopragradiente dell'opera e dal contestuale abbassamento in quello sottogradiente;
- agli effetti indotti sulla portata delle sorgenti di terrazzo ubicate in vicinanza dell'opera;
- alla modifica nella direzione del flusso idrico sotterraneo.

Il modello di flusso è stato implementato previa realizzazione delle seguenti indagini integrative:

- n. 6 piezometri di controllo ubicati nel territorio comunale di San Martino Buon Albergo;
- n. 2 campi prova per test di pompaggio ciascuno costituito da n. 1 pozzo di prova e n. 2 piezometri di controllo ubicati in vicinanza della futura linea ferroviaria;
- n. 4 prove di pompaggio sui campi prova eseguite con portata variabile a gradini e con portata costante allo scopo di determinare i parametri idrogeologici dell'acquifero impattato dall'opera in sottterraneo;

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 27 di 89

- misure piezometriche su tutti i punti di controllo (piezometri esistenti lungo la linea e nuovi piezometri appositamente realizzati per l'integrazione in oggetto per la definizione della direzione locale di flusso della falda.



Di seguito saranno descritte per il tratto in esame:

- l'elenco delle indagini geognostiche sinora effettuate;
- le principali caratteristiche morfologiche geologiche e litologiche del settore di interesse;
- le caratteristiche della falda idrica in termini di direzione e soggiacenza;
- l'entità delle oscillazioni della falda in vicinanza del settore in oggetto;
- i parametri idrogeologici dell'acquifero interessato dall'opera;
- la valutazione degli impatti prodotti sulla falda dall'opera in progetto mediante l'applicazione di un modello di flusso.

3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE REALIZZATE NELLA TRATTA INTERESSATA DALL'OPERA

Le indagini al momento effettuate nella tratta in oggetto o nelle sue immediate vicinanze sono riconducibili a:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati con piezometro a tubo aperto, perforati nel 2002 nell'ambito del progetto preliminare, e nel 2014 nell'ambito del progetto definitivo;
- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, perforati nel 2002 (progetto preliminare);
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo, attrezzato con tubo cieco in PVC per prove Cross Hole, perforato nel 2014 (progetto definitivo);

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 28 di 89

- n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo, attrezzato con piezometro a tubo aperto, perforato nel 2014 (progetto definitivo).

Nel mese di aprile 2016 sono inoltre state realizzate, in ottemperanza alle richieste degli Enti di Controllo, ulteriori indagini consistenti in:

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati con piezometro a tubo aperto a distanze variabili tra circa 400 e 700 m dall'asse ferroviario in progetto;
- n. 2 campi prova in corrispondenza del tracciato in progetto per la realizzazione di test di pompaggio finalizzati alla determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero, ciascuno dei quali costituito da un pozzo pilota e da due piezometri di controllo.

Le caratteristiche costruttive e le schede stratigrafiche dei sondaggi realizzati nel periodo 2002-2015 sono riportate nella documentazione di progetto già in possesso degli Enti, mentre quelle inerenti i pozzi e piezometri recentemente realizzati sono riportate negli specifici report allegati al presente documento.

L'ubicazione delle succitate indagini è mostrata nella Tavola IN0D02DI2G5GE0002012A, mentre le principali caratteristiche di tutte le verticali di indagine sono di seguito descritte:

3.1.1 INDAGINI 2002-2015

Sondaggio a carotaggio continuo attrezzati con tubo cieco per prove Cross Hole

identificativo: **SP6**

anno di perforazione: 2014

ubicazione approssimativa: km 5+630

quota bocca foro: 46.13 m s.l.m.

quota piano campagna: 45.81 m s.l.m.

IN0D00DI2SDGE0002001A

profondità: 40 m

tubo pvc ø 3" per Cross Hole fino a 35 m da p.c.

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 4.5 m da p.c. (dato acquisito in fase di perforazione il 28.10.2014)

massima quota piezometrica rilevata: 41.63 m s.l.m.

Sondaggi a carotaggio continuo

identificativo: **SA203R003**

anno di perforazione: 2002

ubicazione approssimativa: km 4+030

quota bocca foro: 51.5 m s.l.m.

profondità: 30 m

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 6.8 m da p.c. (dato acquisito in fase di perforazione il 06.03.2002)

massima quota piezometrica rilevata: 44.7 m s.l.m.

identificativo: **SA203B006**

anno di perforazione: 2002

ubicazione approssimativa: km 6+830

quota piano campagna: 44.6 m s.l.m.

profondità: 40 m

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 8.4 m da pc (dato acquisito in fase di perforazione il 23.05.2002)

massima quota piezometrica rilevata: 36.2 m s.l.m.

Sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con piezometro a tubo aperto

identificativo: **XA203B004**

anno di perforazione: 2002

IN0D00DI2SDGE0002001A

ubicazione approssimativa: km 5+175

quota bocca foro: 40.5 m s.l.m.

profondità: 30 m

tratto filtrante: tra 3 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 0.55 m da bf (non riportata -
probabile 2002)

massima quota piezometrica rilevata: 39.95 m s.l.m.

identificativo: **XA203B005**

anno di perforazione: 2002

ubicazione approssimativa: km 6+300

quota bocca foro: 45.4 m s.l.m.

profondità: 40 m

tratto filtrante: tra 3 e 40 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.80 m da bf (non riportata -
probabile 2002)

massima quota piezometrica rilevata: 37.6 m s.l.m.

identificativo: **SPA5**

anno di perforazione: 2014

ubicazione approssimativa: km 5+150

quota bocca foro: 46.459 m s.l.m.

quota piano campagna: 46.411 m s.l.m.

profondità: 30 m

tratto filtrante: tra 3 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.19 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 39.22 m s.l.m.

identificativo: **SPA8**

anno di perforazione: 2014

ubicazione approssimativa: km 6+470

IN0D00DI2SDGE0002001A

quota piano campagna: 43.33 m s.l.m.
profondità: 30 m
tratto filtrante: tra 3 e 20 m da b.f.
minima soggiacenza rilevata (data della misura): 6.69 m da pc (27.07.2015)
massima quota piezometrica rilevata: 36.64 m s.l.m.

identificativo: **SPA9**

anno di perforazione: 2014
ubicazione approssimativa: km 7+613
quota piano campagna: 42.35 m s.l.m.
profondità: 35 m
tratto filtrante: tra 8 e 20 m da b.f.
minima soggiacenza rilevata (data della misura): 8.20 m da pc (13.11.2014)
massima quota piezometrica rilevata: 34.15 m s.l.m.

identificativo: **SPA9bis**



anno di perforazione: 2014
ubicazione approssimativa: km 8+050
quota piano campagna: 31.90 m s.l.m.
profondità: 40 m
tratto filtrante: tra 11 e 20 m da b.f.
minima soggiacenza rilevata (data della misura): 0.49 m da pc (22.10.2015)
massima quota piezometrica rilevata: 31.41 m s.l.m.

Sondaggi a distruzione di nucleo attrezzati con piezometro a tubo aperto

identificativo: **SDC7**

anno di perforazione: 2014
ubicazione approssimativa: km 5+625
quota piano campagna: 45.83 m s.l.m.
quota bocca foro: 46.08 m s.l.m.

IN0D00DI2SDGE0002001A

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 32 di 89

profondità: 20 m

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 6.66 m da pc (17.12.2014)

massima quota piezometrica rilevata: 39.17 m s.l.m.

3.1.2 INDAGINI INTEGRATIVE APRILE 2006

Sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con piezometro a tubo aperto

identificativo: **SPA8bis** (rifacimento di SPA8 per suo intasamento)

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 6+470

quota bocca foro: 43.226 m s.l.m.

quota piano campagna: 43.33

profondità: 27 m

tratto filtrante: tra 6 e 24 m da b.f.

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 6.44 m da bf (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 36.89 m s.l.m.

identificativo: **PZ1** (piezometro di controllo del pozzo pilota P1)

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 5+150

quota bocca foro: 46.685 m s.l.m.

quota piano campagna: 46.664

profondità: 30 m

tratto filtrante: tra 6 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.30 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 39.36 m s.l.m.

identificativo: **PZ2** (piezometro di controllo del pozzo pilota P2)

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 6+470

IN0D00DI2SDGE0002001A

quota bocca foro: 43.179 m s.l.m.

quota piano campagna: 43.288 m s.l.m.

profondità: 27 m

tratto filtrante: tra 6 e 25 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 6.30 m da bf (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 36.88 m s.l.m.

identificativo: **PZ3**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: piezometro fuori asse di 640 m Nord all'altezza del km 5+210

quota bocca foro: 46.339 m s.l.m.

quota piano campagna: 46.468 m s.l.m.

profondità: 34 m

tratto filtrante: tra 6 e 31 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.03 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 39.44 m s.l.m.

identificativo: **PZ4**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: piezometro fuori asse di 670 m Nord all'altezza del km 5+755

quota bocca foro: 46.446 m s.l.m.

quota piano campagna: 46.356 m s.l.m.

profondità: 32 m

tratto filtrante: tra 3 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.28 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 39.08 m s.l.m.

identificativo: **PZ5**

anno di perforazione: 2016

IN0D00DI2SDGE0002001A

ubicazione approssimativa: piezometro fuori asse di 460 m Nord all'altezza del km 6+960

quota bocca foro: 44.652 m s.l.m.

quota piano campagna: 44.534 m s.l.m.

profondità: 30.6 m

tratto filtrante: tra 3 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.63 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 36.90 m s.l.m.

identificativo: **PZ6**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: piezometro fuori asse di 450 m Sud all'altezza del km 5+230

quota bocca foro: 39.499 m s.l.m.

quota piano campagna: 39.536 m s.l.m.

profondità: 31.5 m

tratto filtrante: tra 6 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 1.14 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 38.22 m s.l.m.

identificativo: **PZ7**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: piezometro fuori asse di 635 m Sud all'altezza del km 6+200

quota bocca foro: 45.906 m s.l.m.

quota piano campagna: 45.99 m s.l.m.

profondità: 30 m

tratto filtrante: tra 6 e 30 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 9.08 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 36.91 m s.l.m.

identificativo: **PZ8**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: piezometro fuori asse di 420 m Sud all'altezza del km 6+700

quota bocca foro: 43.537 m s.l.m.

quota piano campagna: 43.668 m s.l.m.

profondità: 25.5 m

tratto filtrante: tra 6 e 24 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 8.63 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 35.04 m s.l.m.

Pozzi pilota

identificativo: **P1**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 5+150

quota bocca foro: 47.076 m s.l.m.

quota piano campagna: 46.66 m s.l.m.

profondità: 30 m

tratto filtrante: tra 6 e 28 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 8.38 m da pc (26.04.2016)

massima quota piezometrica rilevata: 38.28 m s.l.m.

identificativo: **P2**

anno di perforazione: 2016

ubicazione approssimativa: km 6+470

quota bocca foro: 44.211 m s.l.m.


quota piano campagna: 43.236 m s.l.m.

profondità: 30 m

tratto filtrante: tra 5 e 25 m da bf

minima soggiacenza rilevata (data della misura): 7.35 m da bf (26.04.2016)

IN0D00DI2SDGE0002001A

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 36 di 89

massima quota piezometrica rilevata: 36.86 m s.l.m.

3.2 CARATTERI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI DI DETTAGLIO DEL SETTORE DI INTERESSE

3.2.1 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E IDROGRAFICHE

L'opera in oggetto interessa una tratta della lunghezza di circa 1.5 km in corrispondenza della località Case Nuove del Comune di S. Martino Buon Albergo (Figura 11).

La morfologia della tratta interessata dall'opera è sub-pianeggiante, leggermente degradante verso Sud, con pendenza media dello 0.25%, tipica della pianura alluvionale, di cui fa parte; nella tratta di interesse le quote altimetriche sono all'incirca variabili tra 49 e 44 m s.l.m..

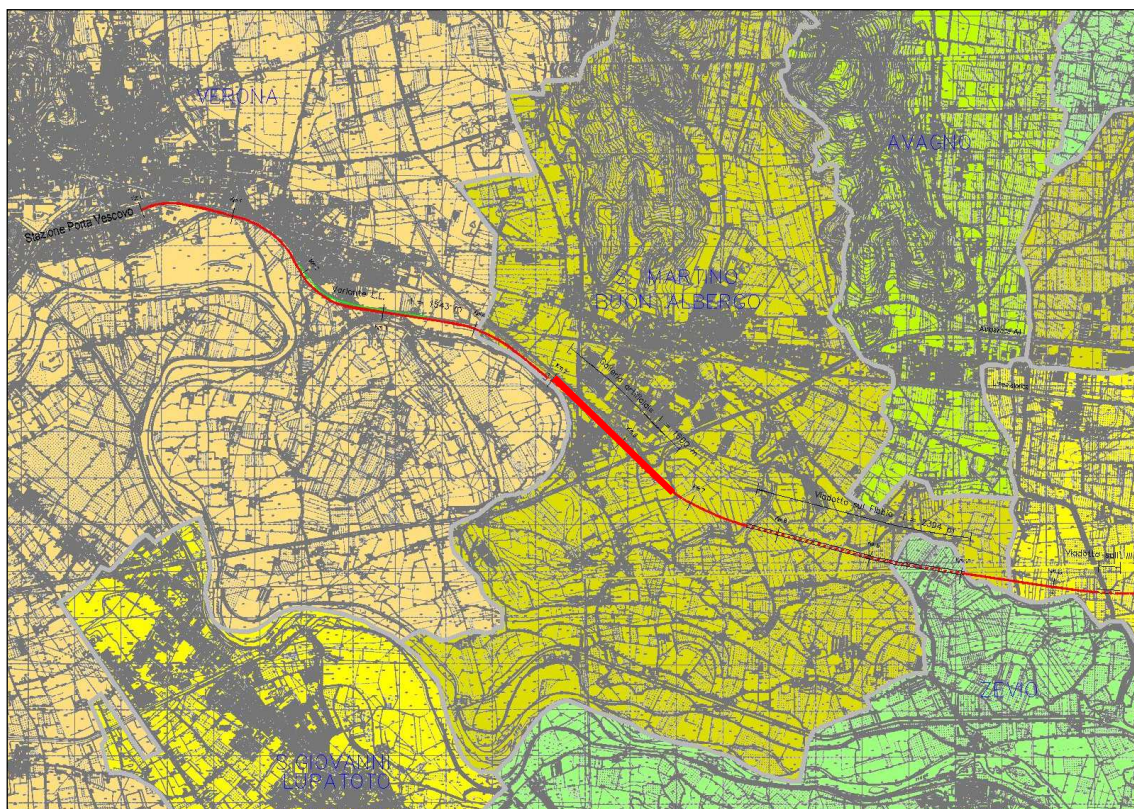




Figura 11 – Inquadramento territoriale dell'opera

Gli elementi morfologici di maggiore rilievo presenti lungo la tratta o in sua vicinanza sono sia di tipo antropico che naturale e rappresentati da:

- un'ex area di cava presente in corrispondenza dell'imbocco Nord della galleria artificiale il cui piano attuale di scavo è posto a circa -6/-8 m dall'originario piano campagna;
- la scarpata che delimita il terrazzo della conoide atesina (Diluvium recente) dal terrazzo del Diluvium tardivo e delle alluvioni antiche e attuali del Fiume Adige.

Quest'ultimo elemento morfologico si sviluppa in vicinanza del primo tratto della galleria artificiale e, pur non interferendo direttamente con l'opera, ha riflessi sull'idrogeologia e l'idrografia del settore.

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 38 di 89

Da un punto di vista altimetrico i terrazzi delle alluvioni antiche attuali del F. Adige e del Diluvium tardivo sono ribassati di circa 10 m rispetto al terrazzo del Diluvium recente e interessati dalla presenza di evidenti tracce di paleoalvei dell'Adige attualmente occupati da idrografia secondaria, perlopiù connessa al reticolo irriguo del settore, anche alimentata da sorgenti di terrazzo (come in vicinanza della località la Sorgente), che determinano lo sfioro delle acque di prima falda alla base della scarpata morfologica che separa le diverse unità morfostratigrafiche.

Per quanto attiene gli aspetti idrografici, oltre al fitto reticolo idrografico che si sviluppa intensamente in buona parte del settore circostante, i principali corsi d'acqua che attraversano il tratto interessato dall'opera sono rappresentati dal T. Rosella che viene intersecato all'incirca all'altezza del km 5+300 e un corso d'acqua minore intersecato al km 6+250.

3.2.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE

Per quanto attiene i caratteri geologici generali, il sottosuolo dell'area interessata dall'opera è costituito da alluvioni fluviali e fluvioglaciali a litologia prevalentemente sabbioso-ghiaiosa attribuite alla conoide wurmiana del F. Adige.

Alla conoide principale atesina, si interdigitano le conoidi deposte dai corsi d'acqua minori che, nel tratto oggetto di studio, sono rappresentate dalla struttura depositata dai Torrenti Fibbio e d'Illassi.

Nella zona di Alta pianura le conoidi alluvionali sono prevalentemente ghiaiose, almeno nei primi 300 metri di spessore e sono interdigitate e parzialmente sovrapposte tra loro, con digitazioni limose e argillose le quali diventano sempre più frequenti da monte a valle.

Nel tratto all'incirca compreso tra i km 5+000 e 7+600, dove il tracciato si sviluppa al di sopra del fluvioglaciale wurmiano, le caratteristiche litologiche del sottosuolo si rilevano con discreta omogeneità in tutto il settore investigato dalle

nuove indagini e sono contraddistinte da una prima litozona (LITAZONA 1) costituita da alluvioni a prevalenza ghiaioso-sabbiosa avente spessore variabile tra 10 e 18 m da p.c., che in profondità passa a una LITAZONA 2 prevalentemente sabbiosa (sabbie, da medie a fini, talora ghiaiose in matrice da debolmente limosa a limosa) che si rinviene sino a una profondità variabile tra circa 25 m da p.c., in corrispondenza del tratto Sud dell'opera e circa 29-33 m da p.c., nel tratto più settentrionale e nei piezometri realizzati nell'area industriale di San Martino Buon Albergo.

Al di sotto di questa litozona compare il primo significativo livello a litologia limoso argillosa (LITAZONA 3), contraddistinto da uno spessore variabile tra circa 3 e 9 m, a cui fanno seguito ulteriori alluvioni a litologia prevalentemente sabbioso-ghiaiosa (LITAZONA 4).

Questo livello limoso-argilloso determina una parziale compartimentazione dell'acquifero freatico e, quanto meno localmente, consente di individuare una prima falda libera da una sottostante seconda falda semiconfinata.

Nel tratto successivo, sino al km 10+045, ove il tracciato si sviluppa al di sopra del terrazzo del Wurm tardivo formato dalla piana alluvionale del T. Fibbio, si rileva una situazione che nel complesso è sostanzialmente analoga a quella precedente, ma contraddistinta da minore presenza di sedimenti coesivi e dalla netta predominanza di materiali a prevalenza sabbiosa che formano la maggior parte del sottosuolo fino alla massima profondità investigata dai sondaggi.

In questo tratto lo strato più superficiale, avente spessore medio di circa 2-4 m, è generalmente formato da sedimenti limoso argillosi, sovrapposti a una litozona ghiaioso-sabbiosa che si estende fino a una profondità variabile tra circa 5 e 10 m, che sovrasta una litozona prevalentemente sabbiosa (sabbie, da medie a fini, talora ghiaiose in matrice da debolmente limosa a limosa) con lenti limoso-argillose di spessore di alcuni decimetri a varie quote.

Le succitate caratteristiche sono mostrate nelle sezioni geologiche riportate nella Tavola IN0D02DI2G5GE0002013A, ricostruite sia sulla base delle stratigrafie relative ai sondaggi eseguiti nel periodo 2002-2015 sia di quelli recentemente

realizzati (per le quali si rimanda alla documentazione allegata), la cui successione litologica viene di seguito sinteticamente descritta:

sondaggio XA203B004

da 0 a 23.4 m: sabbia con ghiaia passante a ghiaia sabbiosa tra 10.6 e 12.5 m e successivamente a sabbia limosa tra 12.5 e 21 m (SECONDA LITAZONA)

da 23.4 a 27.3 m: limo argilloso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

da 27.3 e 30 m: ghiaia limosa passante a sabbia ghiaiosa (QUARTA LITAZONA)

nota: il sondaggio è stato perforato alla base di una ex cava ed è posto a circa -7 m rispetto all'originario piano campagna e pertanto è parzialmente assente la prima litozona.

Sondaggio SP6

da 0 a 11.4 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 11.4 a 26.7 m: sabbia debolmente limosa localmente con ghiaia (SECONDA LITAZONA)

da 26.7 a 32.7 m: limo argilloso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

da 32.7 a 40 m: sabbia debolmente limosa (QUARTA LITAZONA)

Sondaggio XA203B005

da 0 a 13.3 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 13.3 a 28.7 m: sabbia limosa con ghiaia passante a sabbia limosa tra 21.5 e 24.2 m e tra 28.2 e 28.7 m (SECONDA LITAZONA)

da 28.7 a 33 m: limo argilloso sabbioso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

da 33 a 40 m: sabbia debolmente ghiaiosa (QUARTA LITAZONA)

Sondaggio SPA5

da 0 a 15 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 15 a 27.8 m: sabbia ghiaiosa passante a sabbia limosa a 20 m (SECONDA LITAZONA)

da 27.8 a 30 m: argilla limosa (TERZA LITAZONA)

Sondaggio SPA8

da 0 a 12.8 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 12.8 a 24.4 m: sabbia ghiaiosa passante a sabbia limosa a 20 m (SECONDA LITAZONA)

da 24.4 a 29.5 m: limo argilloso sabbioso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

da 29.5 a 30 m: sabbia limosa (QUARTA LITAZONA)

Sondaggio SPA8bis

da 0 a 13 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 13 a 24.4 m: sabbia ghiaiosa passante a sabbia limosa a 20 m (SECONDA LITAZONA)

da 24.4 a 27 m: limo argilloso sabbioso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

Sondaggio SA203R003 (km 4+030; quota pc 51.5 m slm)

da 0 a 17.7 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 17.7 a 30 m: sabbia da debolmente limosa a limosa (SECONDA LITAZONA)

Sondaggio SA203B006

da 0 a 18 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 18 a 24.8 m: sabbia da debolmente ghiaiosa a debolmente limosa (SECONDA LITAZONA)

da 24.8 a 36.6 m: limo argilloso passante a limo sabbioso (TERZA LITAZONA)

da 36.6 a 40 m: ghiaia sabbiosa (QUARTA LITAZONA)

identificativo: **SPA9**

da 0 a 12.5 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 12.5 a 22.5 m: sabbia e sabbia ghiaiosa (SECONDA LITAZONA)

da 22.5 a 28.8 m: limo argilloso sabbioso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

da 28.8 a 35 m: sabbia limosa (QUARTA LITAZONA)

identificativo: **SPA9bis**

da 0 a 8.4 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 8.4 a 14.7 m: sabbia e sabbia ghiaiosa talora limosa (SECONDA LITAZONA)

da 14.7 a 19 m: limo argilloso sabbioso e argilla limosa (TERZA LITAZONA)

da 19 a 36.4 m: sabbia limosa e sabbia ghiaiosa (QUARTA LITAZONA)

nota: il sondaggio è ubicato sul diluvium tardivo a una quota circa 10 più bassa rispetto a quella del terrazzo di San Martino buon Albergo e pertanto si rileva uno spessore più ridotto delle prime due litazone

identificativo: **PZ1**

da 0 a 10.5 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 10.5 a 28.45 m: sabbia ghiaiosa passante a sabbia limosa (SECONDA LITAZONA)

da 28.45 a 30 m: limo argilloso (TERZA LITAZONA)

identificativo: **PZ2**

da 0 a 13.6 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 13.6 a 24.1 m: sabbia ghiaiosa passante a sabbia limosa (SECONDA LITAZONA)

da 24.1 a 27 m: limo argilloso e limo sabbioso (TERZA LITAZONA)

identificativo: **PZ3**

da 0 a 12.15 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 12.15 a 31.1 m: sabbia ghiaiosa passante a ghiaia sabbiosa tra 18.6 e 21.6 m (SECONDA LITAZONA)

da 31.1 a 33 m: argilla limosa e limo argilloso sabbioso (TERZA LITAZONA)

da 33 a 34 m: sabbia limosa (QUARTA LITAZONA)

identificativo: **PZ4**

da 0 a 13 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZONA)

da 13 a 29.5 m: sabbia ghiaiosa e sabbia limosa con livelli limosi (SECONDA LITAZONA)

IN0D00DI2SDGE0002001A

da 29.5 a 30 m: limo (TERZA LITAZIONE)

identificativo: **PZ5**

da 0 a 14.9 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZIONE)

da 14.9 a 27.4 m: sabbia limosa e sabbia ghiaiosa passante a limo sabbioso tra 24.6 e 25.6 m (SECONDA LITAZIONE)

da 27.4 a 30.6 m: limo debolmente sabbioso (TERZA LITAZIONE)

identificativo: **PZ6**

da 0 a 4.7 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZIONE)

da 4.7 a 22.9 m: sabbia limosa e sabbia ghiaiosa (SECONDA LITAZIONE)

da 22.9 a 23.9 m: limo argilloso sabbioso e argilla limosa (TERZA LITAZIONE)

da 23.9 a 31.5 m: ghiaia sabbiosa e sabbia limosa (QUARTA LITAZIONE)

nota: il sondaggio è ubicato sul diluvium tardivo a una quota circa 10 più bassa rispetto a quella del terrazzo di San Martino buon Albergo e pertanto si rileva una successione litologica leggermente differente

identificativo: **PZ7**

da 0 a 9.6 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZIONE)

da 9.6 a 28.7 m: sabbia limosa e sabbia ghiaiosa (SECONDA LITAZIONE)



da 28.7 a 30 m: limo debolmente sabbioso (TERZA LITAZIONE)

identificativo: **PZ8**

da 0 a 15 m: ghiaia sabbiosa (PRIMA LITAZIONE)

da 15 a 24.5 m: sabbia ghiaiosa e sabbia limosa (SECONDA LITAZIONE)

da 24.5 a 25.5 m: limo argilloso (TERZA LITAZIONE)

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 44 di 89

3.2.3 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La struttura idrogeologica del settore che sarà interessato dalla galleria artificiale è contraddistinta dalla presenza di un'unità alluvionale riconducibile alla conoide formata dal Fiume Adige al suo sbocco nella pianura padana, attribuita alle facies fluviali e fluvioglaciali del Pleistocene Sup.

L'Unità Ghiaioso-sabbiosa della conoide del Fiume Adige, che costituisce il sottosuolo fino a oltre 200 metri di profondità, è caratterizzata dalla netta prevalenza di ghiaie e sabbie intervallate da sottili lenti argillose in genere contraddistinte da una limitata estensione areale.

Nel settore considerato una parziale compartimentazione di questo acquifero è data dal livello di limi e argille avente spessore variabile tra 3 e 9 m che si rinviene a profondità variabili tra circa 24 e 30 m dal p.c. e che, quanto meno nel tratto interessato dall'opera e nel settore circostante, consente di individuare una prima falda libera da una sottostante seconda falda semi-confinata.

Nel tratto iniziale, fino al km 7+600, la falda freatica presenta una soggiacenza, variabile a seconda delle quote del piano di campagna da un massimo di circa 10 m a un minimo di circa 6 m da p.c., che si riduce bruscamente nel tratto successivo, laddove, in ragione del salto altimetrico di circa 10 m che si verifica passando dal terrazzo del Wurm a quello del Wurm tardivo, la falda diviene sub-affiorante, essendo praticamente posta a livello del piano campagna.

In prossimità della base della scarpata morfologica che separa i due terrazzi, l'intersezione tra la superficie topografica e quella piezometrica determina lo sfioro delle acque di falda che danno origine ad alcune sorgenti di terrazzo, che vanno ad alimentare il fitto reticolo irriguo presente lungo la piana del T. Fibbio.

Analogamente a quanto avviene in questo settore, anche in vicinanza del primo tratto del Lotto costruttivo 1, all'altezza della località "la Sorgente", in Comune di S. Martino Buon Albergo, sono presenti ulteriori sorgenti di terrazzo.

Tali sorgenti, al pari dei fontanili, agiscono come sfioratori della falda decapitandone le piene e agendo in tal modo come elemento regolatore delle escursioni annue e stagionali del livello freatico.

La prima falda libera è il corpo idrico sotterraneo di interesse per la problematica in oggetto in quanto, presentando una soggiacenza attuale del livello freatico di circa 6-9 m da p.c., corrispondente a quote piezometriche variabili tra circa 40 m s.l.m. presso l'imbocco Nord e 35 m s.l.m. presso l'imbocco Sud, determinerà con l'opera una reciproca interferenza.

Infatti, sulla base delle succitate condizioni litologiche e idrogeologiche del sottosuolo, i diaframmi laterali da realizzare per la costruzione dell'opera, che dovranno raggiungere una profondità massima di circa 20 m, interferiranno con l'acquifero determinando una parziale chiusura della sezione di deflusso della falda e il noto "effetto diga".

In particolare, sulle base delle indicazioni progettuali, i diaframmi laterali presenteranno un'interferenza parziale, progressivamente decrescente spostandosi verso le due estremità dell'opera.

Le misure di livello della falda rilevate nei piezometri realizzati lungo il tracciato della linea ferroviaria sono al momento riferite a un intervallo temporale di circa un anno e mezzo.

Nel dettaglio, tralasciando le due campagne di misura eseguite nel 2002, nell'ambito del progetto preliminare, per quanto attiene il periodo più recente si dispone di circa 18 campagne mensili di misura del livello freatico, eseguite nel periodo novembre 2014 – aprile 2016.

Nella seguente Tabella 2 sono riassunti i valori minimi di soggiacenza e i massimi di quota piezometrica rilevati nei piezometri realizzati lungo il tracciato della linea ferroviaria, in ordine crescente di progressiva.

Per quanto attiene la ricostruzione della morfologia della superficie piezometrica e la direzione del flusso idrico sotterraneo, che rappresenta uno dei principali elementi per definire la potenziale interferenza tra opera e falda idrica, nel periodo 26-28 aprile 2016 è stato eseguito un rilievo freatimetrico su tutti i punti presenti nel settore di interesse.

Piezometro	progressiva	Data del rilievo	Minima Soggiacenza (m)	Quota piezometrica (m slm)
SPA5	5+150	26.04.2016	7.19	39.22
PZ1	5+150	26.04.2016	7.30	39.36
SDC7	5+625	17.12.2014	6.66	39.17
SPA8	6+470	27.07.2015	6.69	36.64
SPA8bis	6+470	26.04.2016	6.44	36.89
PZ2	6.470	26.04.2016	6.30	36.88
SPA9	7+613	13.11.2014	8.20	34.15
SPCA10	7+651	varie	+1	33.62
SPA9BIS	8+050	22.10.2015	0.49	31.41

Tabella 2 – Lotto costruttivo 1 – Valori minimi di soggiacenza e massima quota piezometrica rilevata nei piezometri (2014-2016) ubicati lungo il tracciato

I dati rilevati, riportati nella Tabella 3, hanno consentito di ricostruire la superficie piezometrica riportata nella Tavola IN0D02DI2G5GE0002012A e nello stralcio in Figura 12, contraddistinta da una direzione di flusso della falda che, per il tratto in oggetto, presenta andamento NNW-SSE, con gradiente idraulico variabile tra 0.2 e 0.4% e quote piezometriche variabili tra circa 39.5 m s.l.m. presso l'imbocco Nord e circa 35.5 m s.l.m. presso l'imbocco Sud.

Piezometro	Quota p.c. (m slm)	Soggiacenza (m)	Quota piezometrica (m slm)
PZA	61.213	15.09	46.12
PZB	59.226	13.87	45.36
SPA2	46.501	1.46	45.04
SPA5	46.411	7.19	39.22
PZ1	46.664	7.30	39.36
PZ2	43.288	6.41	36.88
SPA8bis	43.33	6.44	36.89
PZ3	46.468	7.03	39.44
PZ4	46.356	7.28	39.08
PZ5	44.534	7.63	36.90
PZ6	39.536	1.14	38.40
PZ7	45.99	9.08	36.91
PZ8	43.668	8.63	35.04
SPA9	42.353	8.82	33.53
SPA9BIS	31.863	0.51	31.35
SDA12	31.079	0.96	30.12
SPA12bis	30.73	1.37	29.36
SPAA13sup	29.307	0.74	28.57

Tabella 3 – Valori di soggiacenza e quota piezometrica rilevate nella campagna di misure del 26/28.04.2016

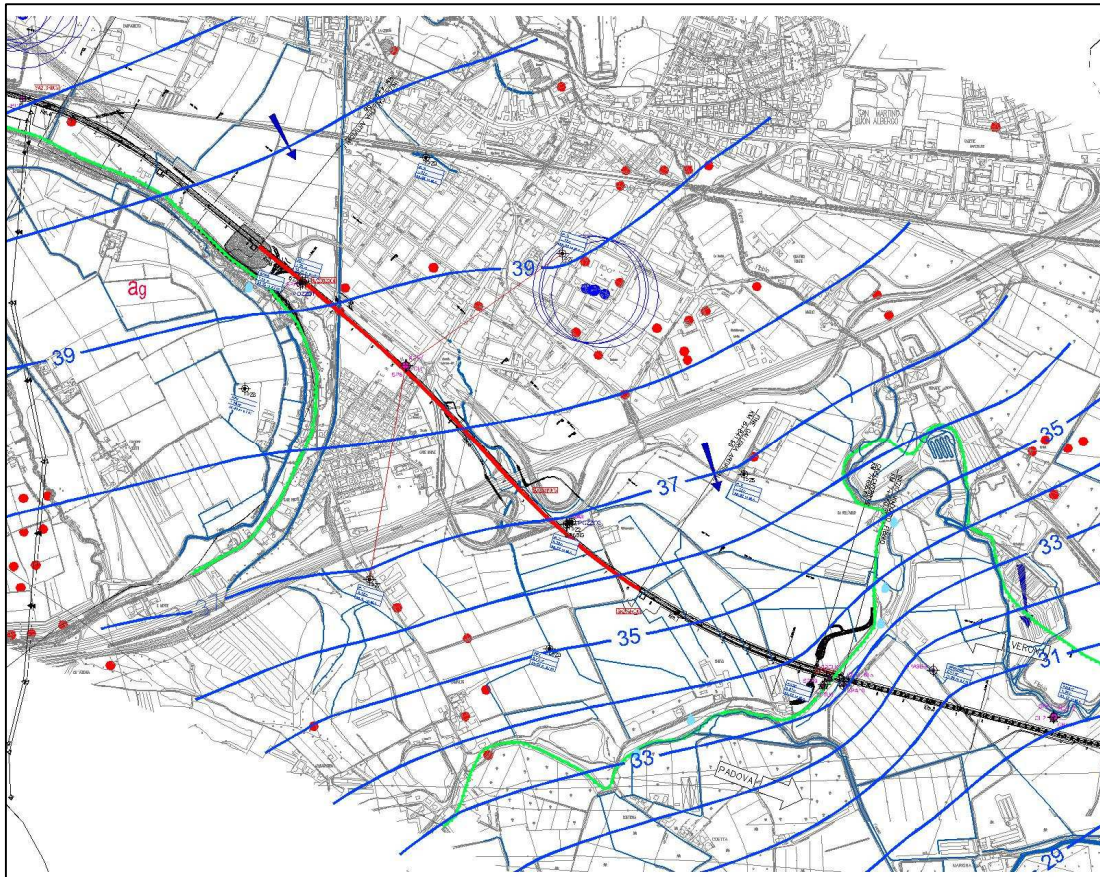


Figura 12 – Superficie piezometrica ricostruita in base alle misure eseguite in data 26/28.04.2016

La direzione di falda derivante dai dati sito-specifici raccolti nell'ultima campagna sulla rete di piezometri estesa su di un'area più vasta conferma la ricostruzione piezometrica riportata nella "carta idrogeologica dell'alta pianura veronese" (un cui stralcio, inerente la tratta in oggetto, è mostrato in Figura 13) e nella carta idrogeologica di progetto riportata nell'elaborato IN0D00DI2G5GE0002002.

L'elaborazione in Figura 13 individua infatti una direzione di falda che, per il tratto in oggetto, presenta anch'essa andamento NNW-SSE, con gradiente idraulico del 0.2% e quote piezometriche variabili tra circa 38.7 m s.l.m. presso l'imbocco Nord e circa 36.1 m s.l.m. presso l'imbocco Sud.

L'angolo di incidenza tra la direzione di falda e l'opera risulta pertanto piuttosto modesto, in quanto pari a circa 30°, minimizzando, in tal modo, l'effetto diga indotto dalla diaframmatatura.

Indicazioni analoghe sono inoltre riportate nelle carte idrogeologiche redatte a corredo del PTCP della Provincia di Verona (Figura 14) e del PAT del Comune di Verona.

In Figura 15 è riportato uno stralcio della carta idrogeologica tratta dal PAT del Comune di San Martino Buon Albergo, suddivisa in classi di soggiacenza.

Per quanto attiene il tratto interessato dal tracciato ferroviario, posto al di sopra del terrazzo del fluvioglaciale Wurm, sono indicati valori di soggiacenza variabili tra 4 e 8 m, mentre passando al tratto posto al di sopra della piana del Fibbio condizioni di falda affiorante o subaffiorante, con vasti settori soggetti a inondazioni periodiche.

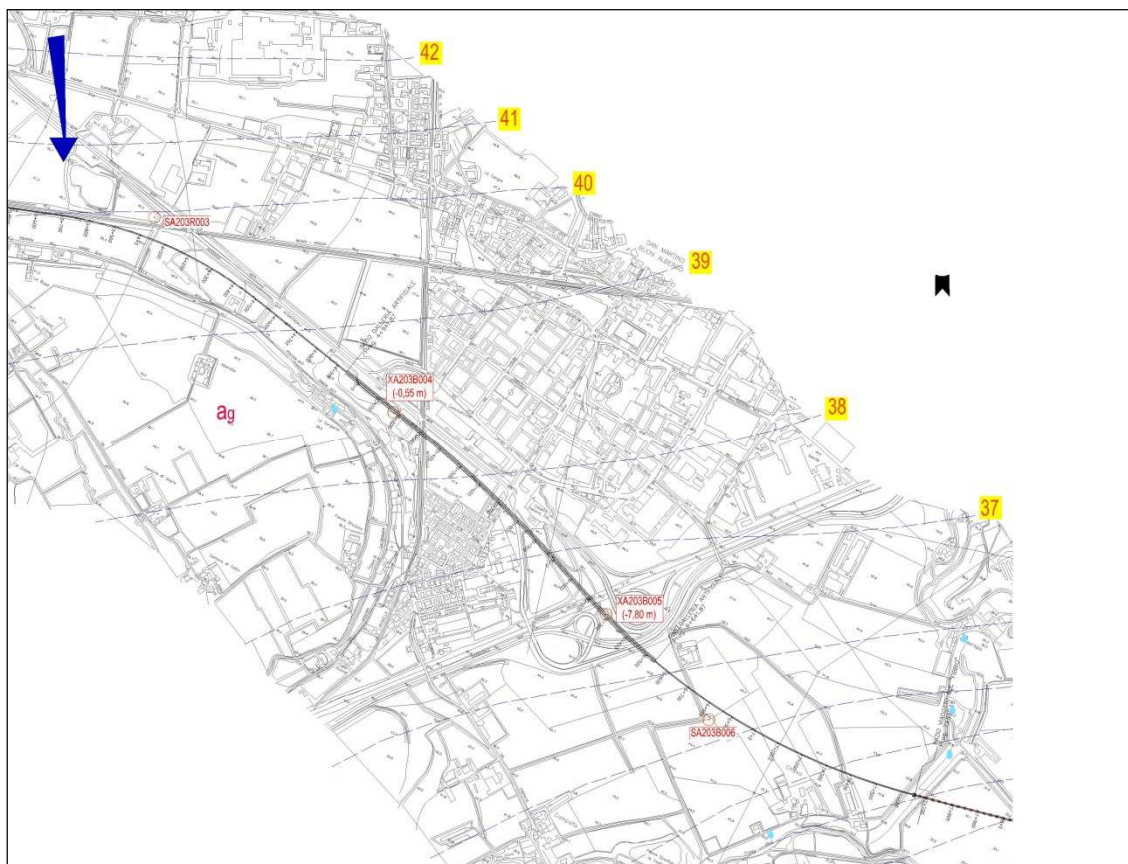


Figura 13 – Superficie piezometrica (Stralcio della carta idrogeologica)



Figura 14 - Superficie piezometrica (tratta da PTCP della Provincia di Verona)

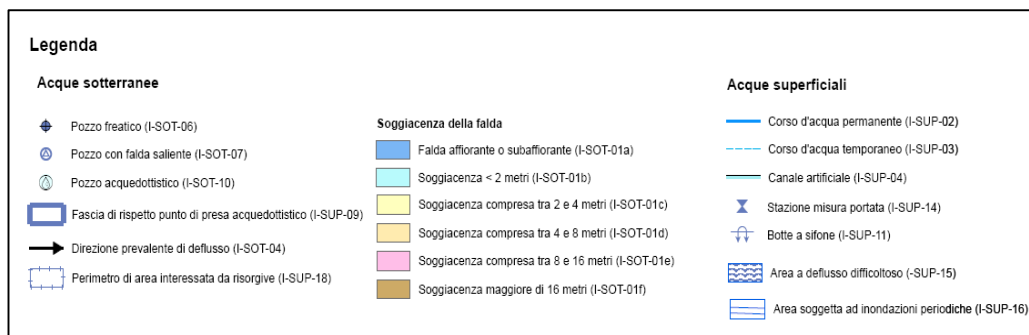
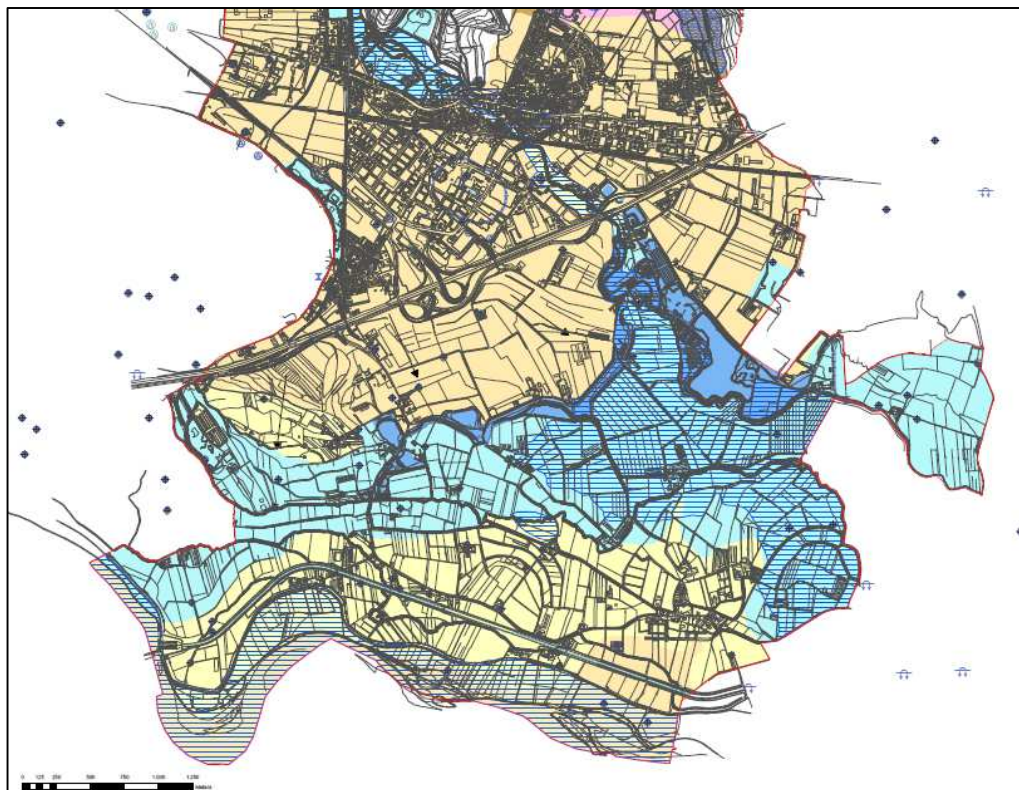


Figura 15 - Stralcio della "Carta Idrogeologica" del PAT di San Martino Buon Albergo

Per quanto attiene le oscillazioni freatiche, indicazioni estese nel tempo relative al settore circostante l'area in oggetto possono essere tratte dai dati relativi alle reti di controllo piezometrico della Provincia di Verona e a quella dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico attualmente gestita da ARPAV, rappresentati dai seguenti punti di controllo:

- pozzo n. 168 in Comune di Lavagno (periodo 1999-2008);

- pozzo n. 56 in località Vago del Comune di Lavagno (periodi 1984-2005 e 2011-2015).

Le oscillazioni freatiche riscontrate nei succitati punti di monitoraggio, sono riportate nelle Figure 16÷18.

Le fluttuazioni freatiche rilevate in questi punti di controllo, ubicati nella conoide minore del T. D'Ilasi, evidenziano un regime di portata della falda tipico dell'alta pianura, vale a dire principalmente connesso agli afflussi meteorici, con oscillazioni perlopiù irregolari sia nell'entità delle escursioni che nei mesi di massima elevazione della falda.

Le fluttuazioni stagionali evidenziano significative escursioni che possono raggiungere anche valori di circa 4 m come nel pozzo n. 168 di Lavagno o in quello n. 56 di Vago, con massimi di 4.5 m.

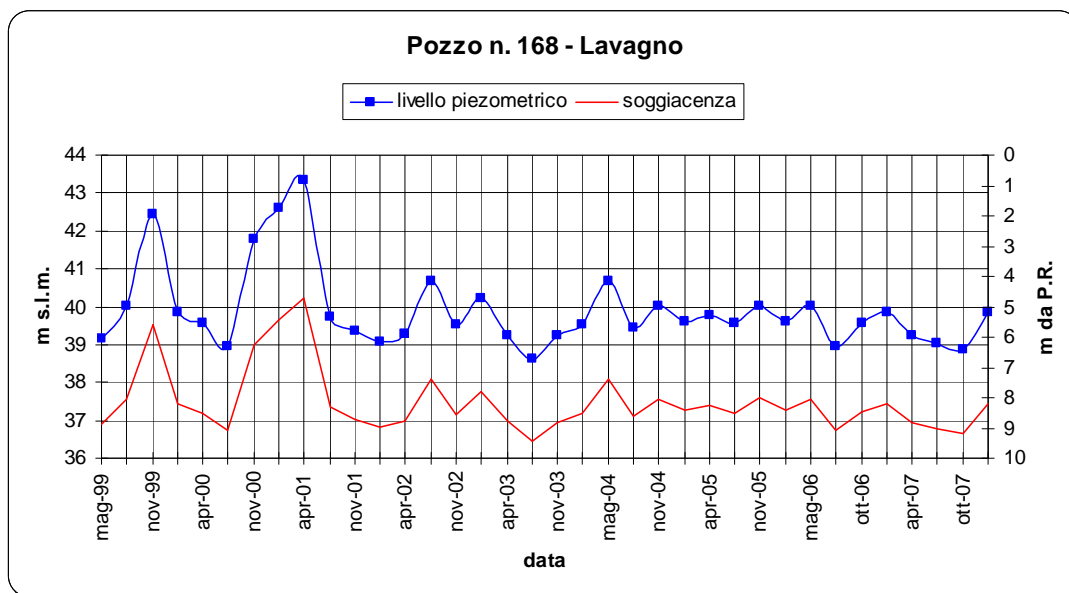


Figura 16 – Oscillazione freatica nel pozzo n.168 di Lavagno (1999-2007)

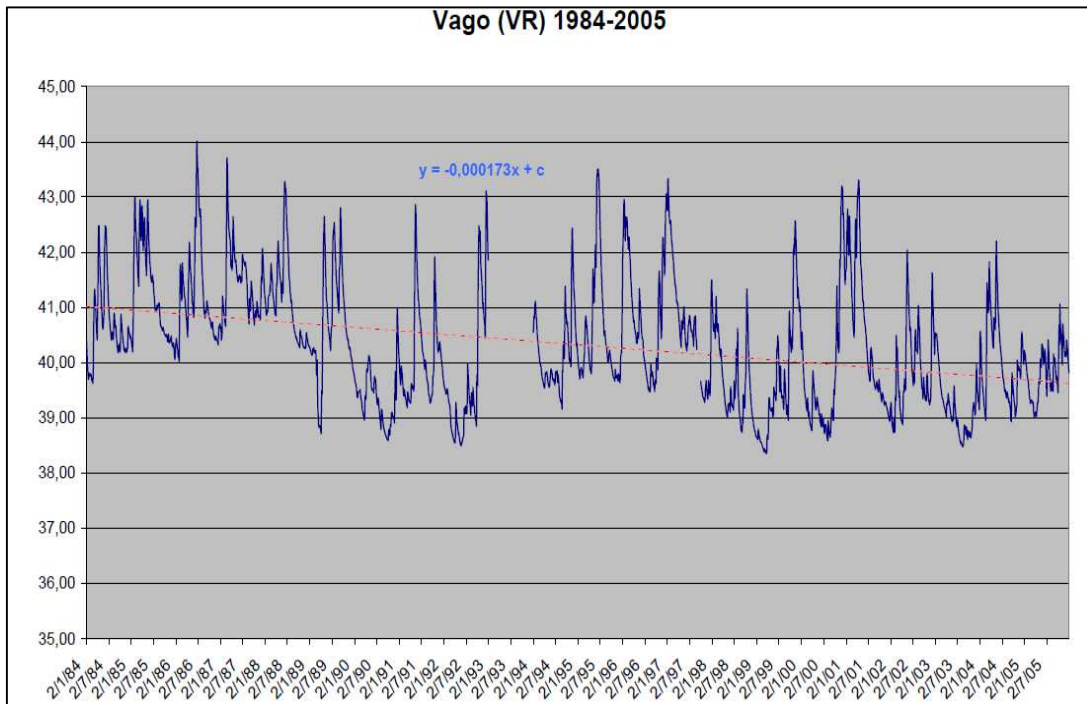


Figura 17 – Oscillazione freatica nel pozzo n. 56 di Vago (1984-2005)

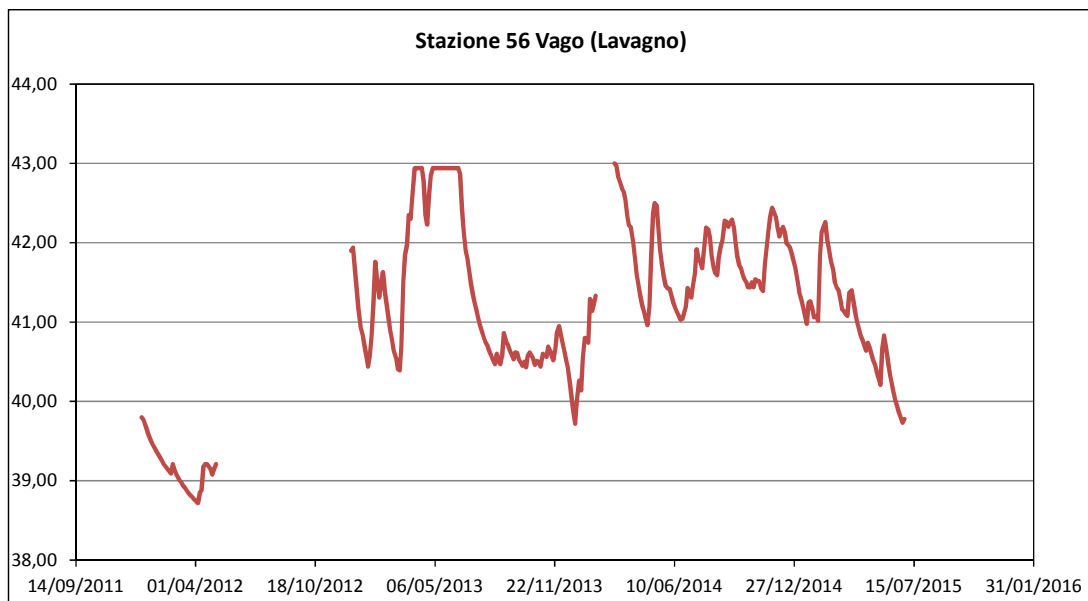


Figura 18 – Oscillazione freatica nel pozzo n. 56 di Vago (2011-2015)

L'entità delle escursioni annue tende a ridursi a valori variabili tra 1 e 2 m avvicinandosi alla linea dei fontanili e alla Piana del T. Fibbio, in ragione del drenaggio operato dalle risorgive e dai corsi d'acqua irrigui che, agendo da sfioratori della falda, esercitano un effetto di decapitazione delle piene e quindi di regolazione delle escursioni annue e stagionali del livello freatico.

Analogo effetto di smorzamento della fluttuazione stagionale della falda è dato anche dalle sorgenti di terrazzo ubicate alla base della scarpata che delimita il terrazzo wurmiano da quello tardivo, una delle quali ubicate in vicinanza dell'imbocco NW della galleria artificiale (località "la Sorgente").

Ulteriori elementi utili alla valutazione della massima escursione freatica caratteristica del tratto in oggetto, sono stati acquisiti nel corso del monitoraggio dei livelli di falda in corso di effettuazione; a tale riguardo nelle Figure 19÷23 sono riportate le misure freatiche rilevate nei piezometri di controllo SPA5, SDC7, SPA8, SPA9 e SPA9bis ubicati nel settore in oggetto.

Le oscillazioni misurate nel periodo novembre 2014 – aprile 2016 mostrano un'escursione dell'ordine di circa 1.2 – 1.5 m.

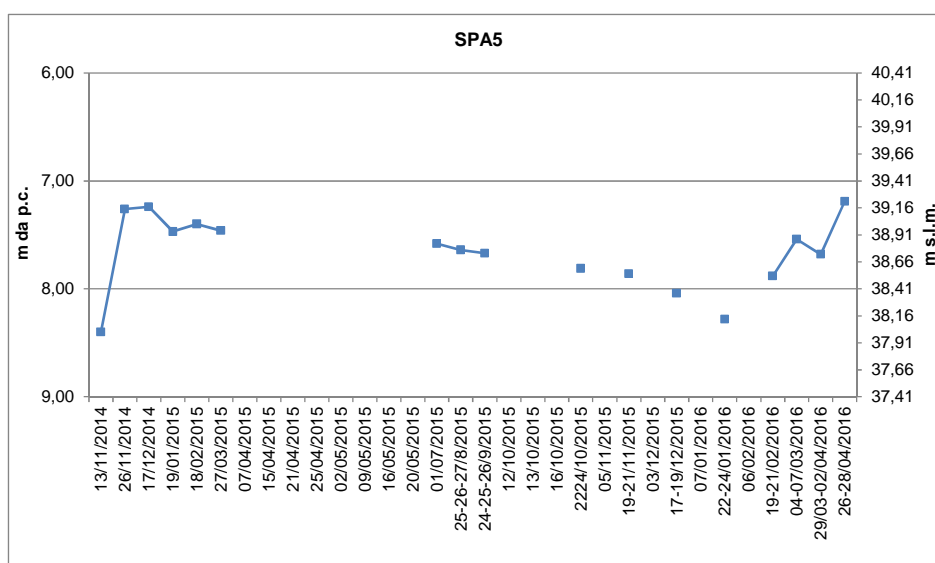


Figura 19 – Oscillazione freatica nel piezometro SPA5 (novembre 2014 – aprile 2016)

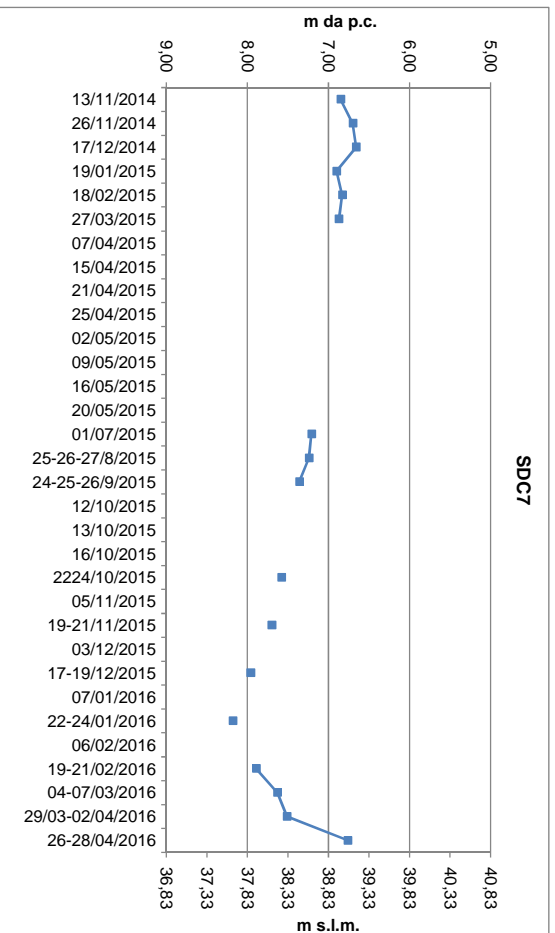


Figura 20 – Oscillazione freatica nel piezometro SDC7 (novembre 2014 – aprile 2016)

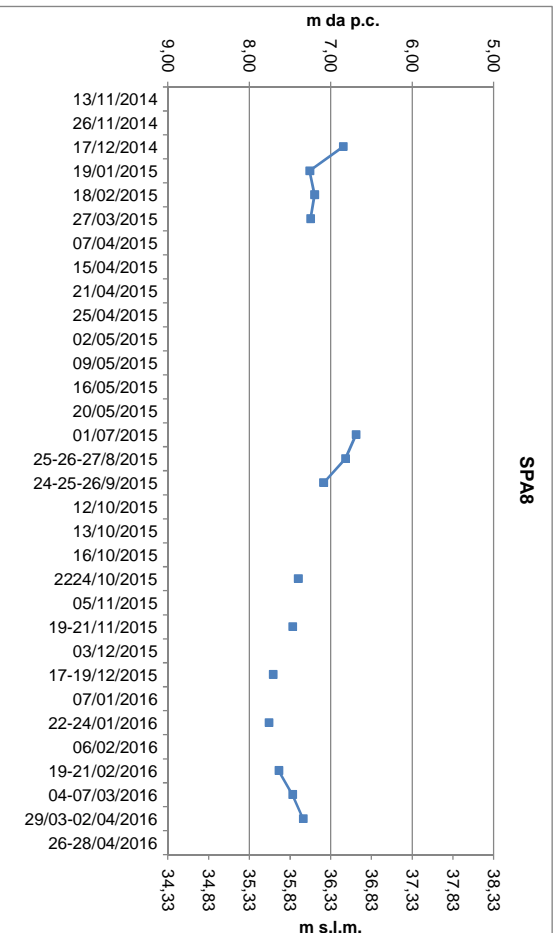


Figura 21 – Oscillazione freatica nel piezometro SPA8 (novembre 2014 – aprile 2016)

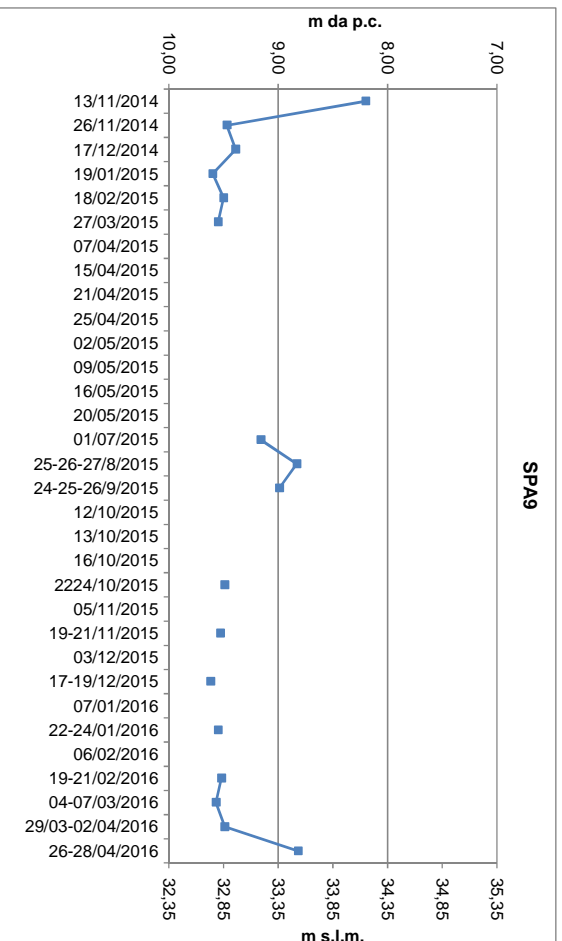


Figura 22 – Oscillazione freatica nel piezometro SPA9 (novembre 2014 – aprile 2016)

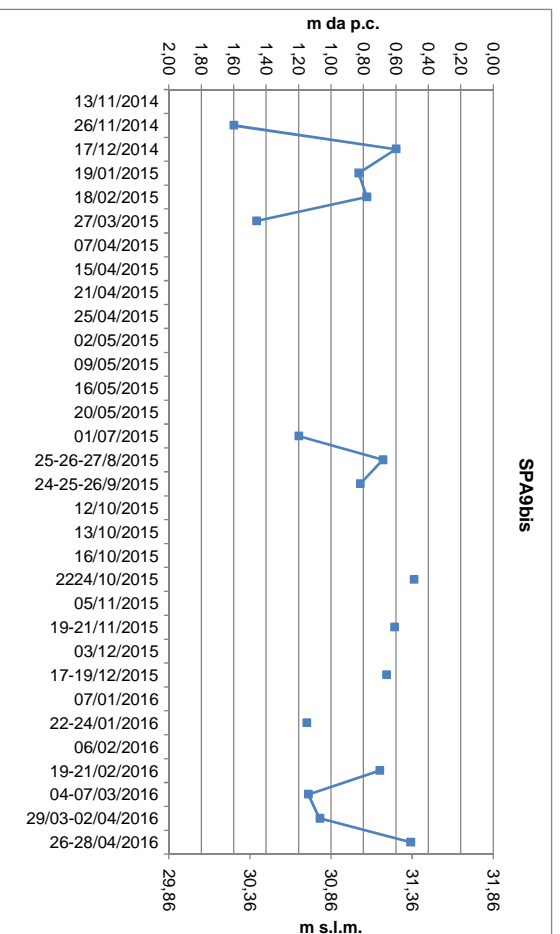




Figura 23 – Oscillazione freatica nel piezometro SPA9bis (novembre 2014 – aprile 2016)

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 56 di 89

3.3 PARAMETRI IDROGEOLOGICI DELL'ACQUIFERO

Le caratteristiche di conducibilità idraulica dell'unità a prevalenza ghiaioso-sabbiosa e sabbiosa che costituisce l'acquifero contenente la prima falda libera sono state determinate mediante l'esecuzione di prove di pompaggio eseguite su n. 2 campi prova appositamente attrezzati, ciascuno costituito da un pozzo pilota e 2 piezometri di controllo.

Nei pozzi in oggetto, una volta sviluppati e sottoposti alle operazioni di spurgo sino alla chiarificazione dell'acqua emunta, sono stati effettuati test per determinare i parametri idrogeologici dell'acquifero captato, realizzando prove di pompaggio a gradini di portata e a portata costante.

Le prove di pompaggio consistono nel misurare l'evoluzione del livello di falda dovuta a un impulso creato da un emungimento.

Poiché il volume interessato dalla prova è rilevante, questa tecnica viene preferita ad altre che forniscono valori puntuali, difficilmente correlabili con le proprietà reali dell'acquifero.

Quando inizia l'estrazione di una portata Q da un pozzo, il pelo libero dell'acqua si abbassa e per un dato tempo t si può tracciare il profilo piezometrico della falda; le variazioni di carico idraulico vengono registrate come abbassamento (s) rispetto alla sua altezza iniziale definita "livello statico".

La distanza massima dall'asse del pozzo alla quale si trasmette l'effetto del pompaggio viene definito raggio di influenza del pozzo R (m); tale raggio cresce all'aumentare del tempo di pompaggio e della portata.

Fintanto che il livello misurato tende ad abbassarsi si è in presenza di un "regime transitorio" o di non equilibrio.

Essendo la quantità d'acqua pompata costante nel tempo e il volume di terreno interessato dall'effetto del pompaggio sempre più grande, la velocità di abbassamento tende a diminuire e qualora si verifica una stabilizzazione del livello, si raggiungono condizioni di "regime permanente" o "stazionario".

Il campo prova n. 1 (Figura 24), costituito dal pozzo pilota P1 e dai piezometri PZ1 e SPA5 è stato realizzato presso l'imbocco NW della galleria artificiale,

allineando i piezometri di controllo all'incirca ortogonalmente rispetto alla direzione del flusso idrico sotterraneo.

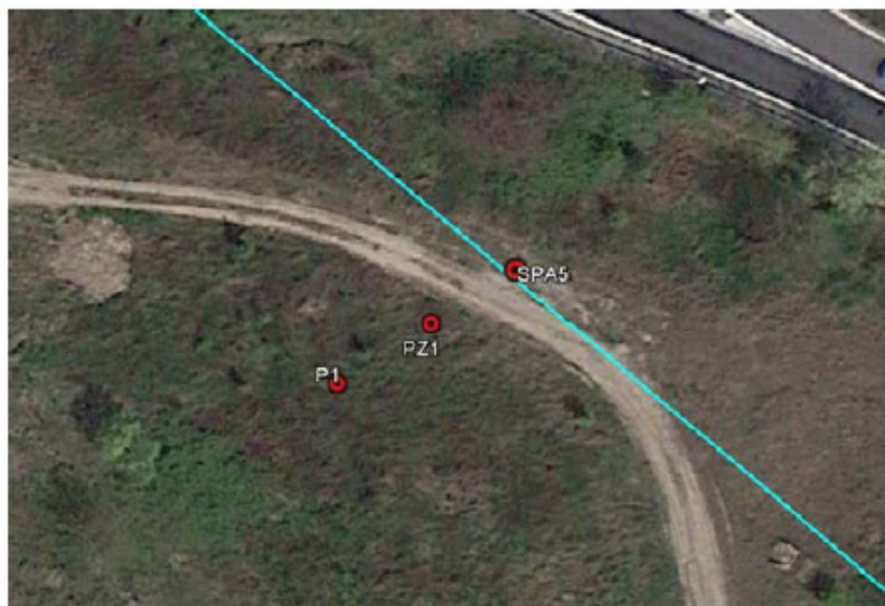


Figura 24 – Disposizione campo prova n. 1

Il pozzo P1 interessa l'intero spessore del primo acquifero avendo una profondità di 30 m con tratto fenestrato posto tra 5 e 28 m da p.c., mentre i piezometri di controllo PZ1 e SPA5 presentano rispettivamente tratti fenestrati posti tra 6 e 30 m e tra 9 e 21 m da p.c.

Le distanze tra pozzo e piezometri sono le seguenti:

- pozzo P1 – piezometro PZ1 = 10 m
- pozzo P1 – piezometro SPA5 = 19.1 m

Il campo prova n. 2 (Figura 25), costituito dal pozzo pilota P2 e dai piezometri PZ2 e SPA8bis è stato realizzato presso l'imbocco SE della galleria artificiale; anche in esso i piezometri di controllo sono stati all'incirca allineati ortogonalmente alla direzione del flusso idrico sotterraneo..

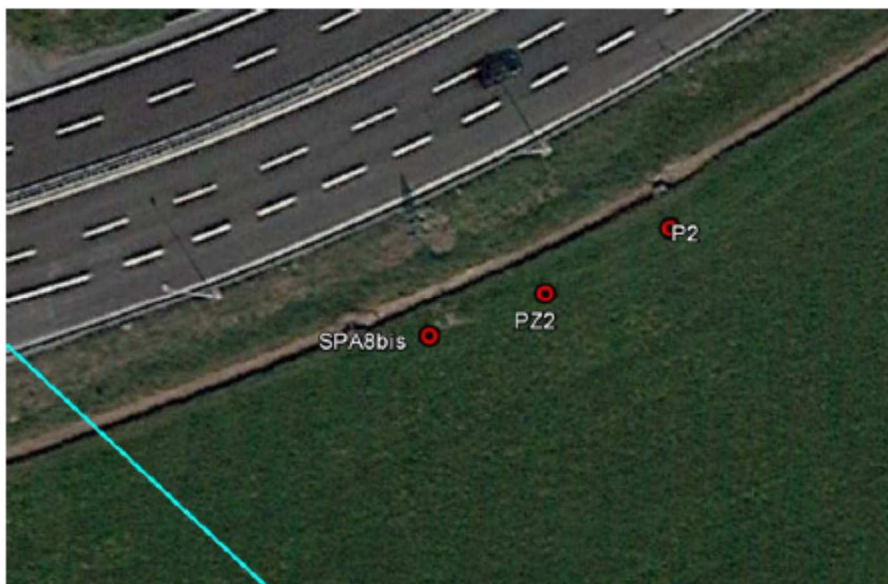


Figura 25 – Disposizione campo prova n. 1

Il pozzo P2 interessa l'intero spessore del primo acquifero avendo un tratto fenestrato posto tra 5 e 25 m da p.c., mentre i piezometri di controllo PZ2 e SPA8bis presentano tratti fenestrati posti tra 6 e 24 m.


Le distanze tra pozzo e piezometri sono le seguenti:

- pozzo P2 – piezometro PZ2 = 11.7 m
- pozzo P2 – piezometro SPA8bis = 21.8 m

La misurazione dei livelli dinamici è stata effettuata in continuo mediante datalogger STS installati nei pozzi di prova e nei piezometri di osservazione, con saltuari controlli effettuati con strumentazione manuale (freatimetro).

Le misure manuali effettuate a scopo di controllo, hanno confermato quelle scaricate dal datalogger e pertanto sono omesse dal presente rapporto.

I datalogger utilizzati per la misura del livello dinamico nei pozzi di prova e nei piezometri 1 e 2 sono del tipo DL/N 70, con range di misurazione di 20 m e precisione inferiore a $\pm 0.1\%FS$.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 59 di 89

Per maggiori dettagli circa la strumentazione utilizzata, le metodiche di prova e i dati rilevati nel corso delle prove, si rimanda al rapporto della Società Geolavori allegato alla documentazione.

3.3.1 TEST DI POMPAGGIO NEL POZZO P1

Prova di portata a gradini

Prova in data: 21.04.2016

Inizio prova: ore 12:45

Livello statico all'inizio della prova: 8.44 m (da bocca pozzo)

Portata: da 2.39 a 12.59 l/s

Durata della prova: circa 5 ore

Questo tipo di test è stato realizzato per determinare la curva caratteristica del pozzo necessaria per dimensionare la portata da attribuire a esso durante la prova a portata costante.

Le curva caratteristica del pozzo è descritta dalla relazione:

$$s = BQ + CQ^n$$

nella quale s è l'abbassamento in pozzo, Q la portata, C e n sono costanti e B è un parametro che ingloba le caratteristiche dell'acquifero.

Da questa relazione si può pertanto stabilire l'“abbassamento di formazione” BQ che si ha nell'acquifero e la perdita di carico CQⁿ che esprime l'abbassamento aggiuntivo che si determina all'interno del pozzo a seguito del flusso turbolento che si instaura nelle sue vicinanze.

Nel caso in esame il test a portata variabile è stato realizzato sottoponendo l'opera di captazione a 6 successivi incrementi di portata, da un minimo 2.4 a un massimo di 12.6 l/s misurando gli abbassamenti indicati nella Tabella 4 e in Figura 26.

GRADINO	PORTATA		Abbassamenti cm	Livello dinamico (m di colonna d'acqua)		
	l/sec	l/min		Inizio	Fine	Gradino
	0	0	0			
1	2.39	143	42.6	12.42	11.99	1
2	3.73	224	79.1	11.99	11.63	2
3	5.54	332	135.1	11.63	11.07	3
4	8.25	495	229.1	11.07	10.13	4
5	9.28	556	283.6	10.13	9.58	5
6	12.59	755	511.6	9.58	7.30	6

Tabella 4 – Risultati della prova di portata a gradini nel pozzo P1

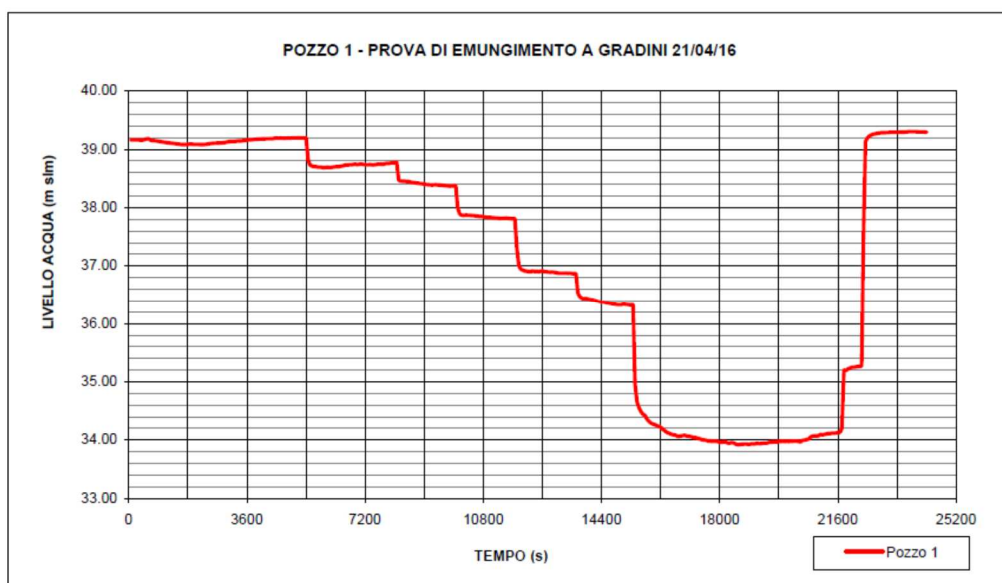


Figura 26 – Curva degli abbassamenti nella prova a gradini del pozzo P1

La curva caratteristica del pozzo mostrata in Figura 27 non ha evidenziato il raggiungimento della portata critica.

La portata di prova per il successivo test a portata costante è stata individuata in circa 11 l/s.

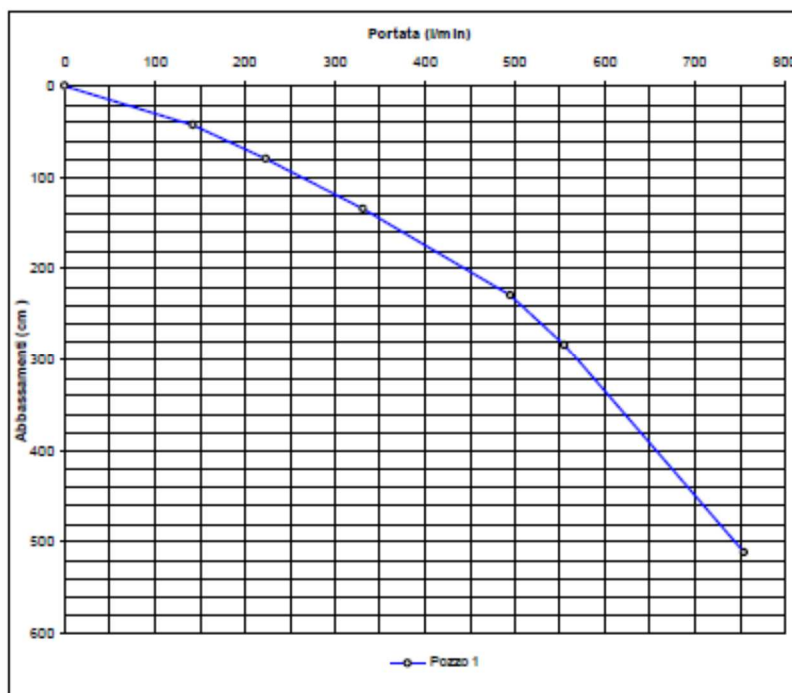


Figura 27 – Curva caratteristica pozzo P1

Prova a portata costante

Prova in data: 21/22.04.2016

Inizio prova: ore 18:00

Livello statico all'inizio della prova: 8.44 m (da bocca pozzo)

Portata: 10.88 l/s

Durata della prova: circa 20 ore

Il grafico tempo-abbassamento registrato dal datalogger installato nel pozzo è mostrato in Figura 28.

Al termine del test e con la portata di prova, il pozzo ha manifestato un abbassamento di circa 3.5 m senza che sia stato del tutto raggiunto il regime stazionario.

Allo spegnimento della pompa si è verificato un recupero pressoché istantaneo del livello statico di partenza a riprova di un significativo valore di trasmissività dell'acquifero.

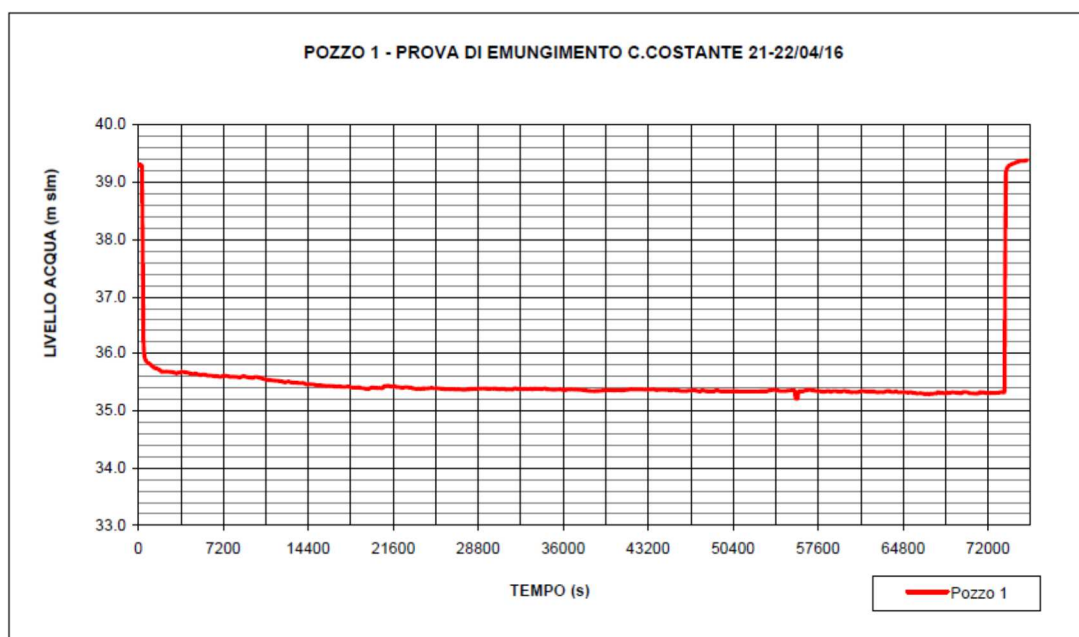


Figura 28 – Curva di abbassamento del pozzo P1 nella prova a portata costante

Del tutto anomale e con andamento disturbato da fattori esterni sono invece risultate le curve registrate dai piezometri di controllo PZ1 e SPA5, che non è stato possibile utilizzare per alcuna interpretazione significativa della prova.

Per il calcolo dei parametri idrogeologici è stata utilizzata la sola curva di abbassamento del pozzo P1, riportata nel grafico semi-logaritmico in Figura 29, che è stata interpretata con il metodo di Cooper-Jacob.

Questo metodo, valido per falda confinata, può essere utilizzato anche in caso di falda libera applicando l'apposita correzione e qualora l'abbassamento in pozzo sia inferiore al 20% dello spessore saturo di acquifero.

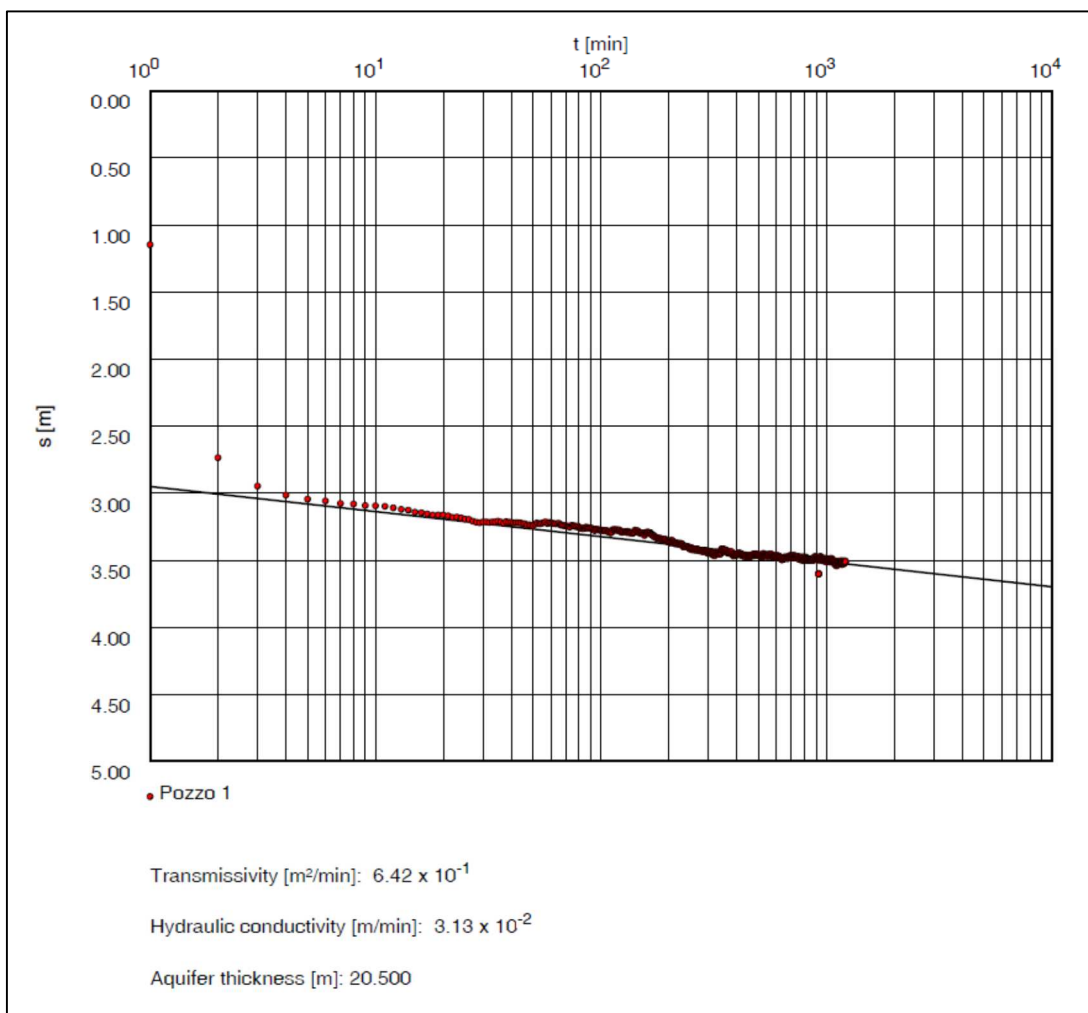


Figura 29 – Curva di abbassamento del pozzo P1 nella prova a portata costante

In questo modo è stato possibile ricavare i seguenti valori di trasmissività e del coefficiente di permeabilità:

$$T = 1.1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 5.2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero è stato calcolato considerando l'intero spessore dell'acquifero captato, pari a circa 20.5 m.

Si rileva come i valori ricavati siano pressoché identici a quelli utilizzati per la predisposizione del modello numerico di flusso preliminare a testimoniare, pur con tutte le semplificazioni adottate nel medesimo, la sostanziale correttezza della stima preliminare degli abbassamenti/innalzamenti indotti dalla diaframmatatura in progetto.

3.3.2 TEST DI POMPAGGIO NEL POZZO P2

Prova di portata a gradini

Prova in data: 26.04.2016

Inizio prova: ore 10:06

Livello statico all'inizio della prova: 7.35 m (da bocca pozzo)

Portata: da 3.8 a 20.56 l/s

Durata della prova: circa 3 ore

Questo tipo di test è stato realizzato per determinare la curva caratteristica del pozzo necessaria per dimensionare la portata da attribuire a esso durante la prova a portata costante.

Nel caso in esame il test a portata variabile è stato realizzato sottoponendo l'opera di captazione a 6 successivi incrementi di portata, da un minimo 3.8 a un massimo di 20.6 l/s misurando gli abbassamenti indicati nella Tabella 5 e in Figura 30.

GRADINO	PORTATA		Abbassamenti cm	Livello dinamico (m da p.c.)		
	l/sec	l/min		Inizio	Fine	Gradino
	0	0	0			
1	3.80	228	13	7.35	7.48	1
2	6.91	415	29	7.48	7.64	2
3	9.62	577	48	7.64	7.83	3
4	12.43	746	75	7.83	8.10	4
5	15.33	920	118	8.10	8.53	5
6	20.56	1233	265	8.53	10.00	6

Tabella 5 – Risultati prova di portata a gradini nel pozzo P2

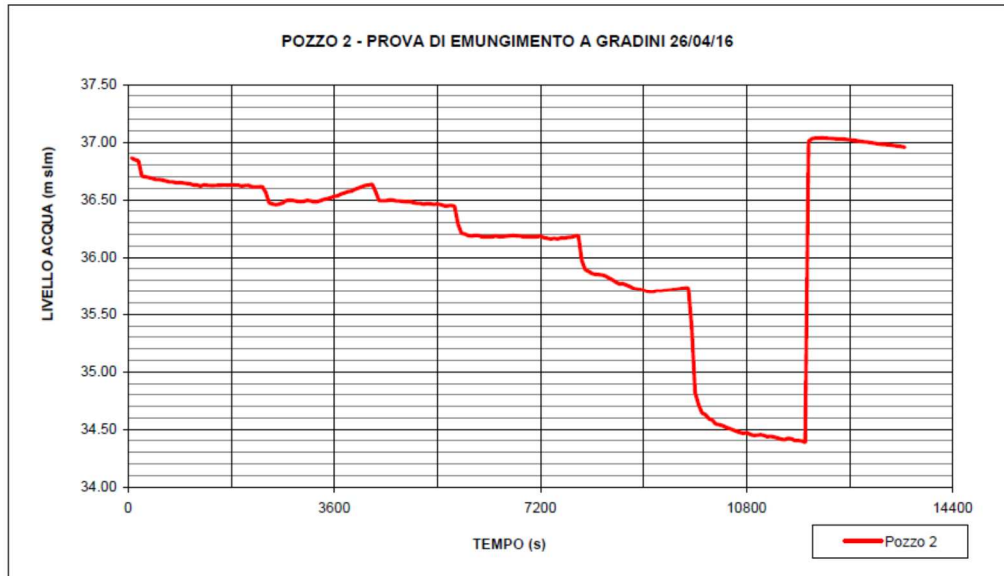


Figura 30 – Curva degli abbassamenti nella prova a gradini del pozzo P2

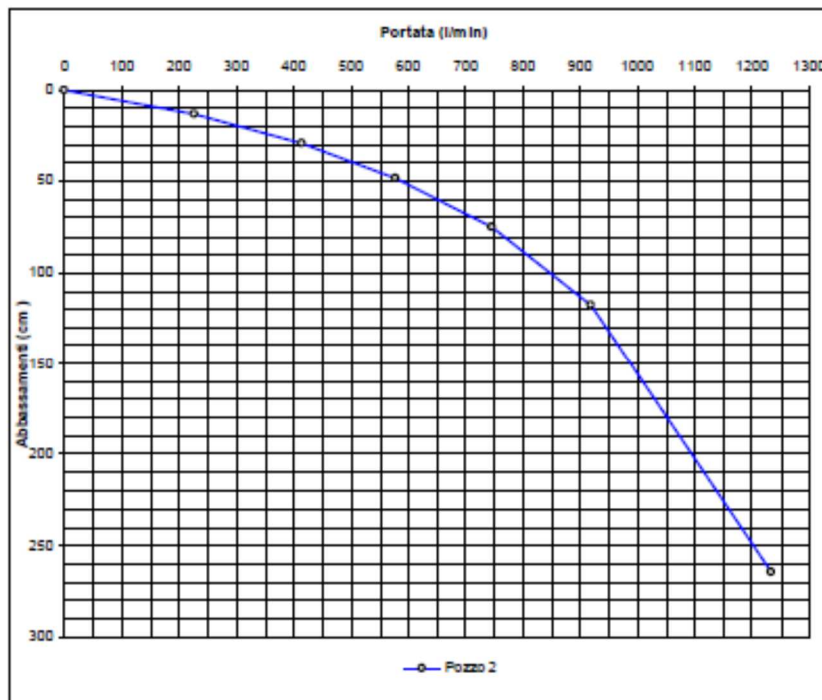



Figura 31 – Curva caratteristica pozzo P2

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 66 di 89

Sulla base della curva caratteristica del pozzo, mostrata in Figura 31, la portata di prova per il successivo test a portata costante è stata individuata in circa 15 l/s.

Prova a portata costante

Prova in data: 26/28.04.2016

Inizio prova: ore 13:48

Livello statico all'inizio della prova nel pozzo P2: 7.35 m (da bocca pozzo)

Livello statico all'inizio della prova nel piezometro PZ2: 6.30 m (da bocca foro)

Livello statico all'inizio della prova nel piezometro SPA8bis: 6.34 m (da bocca foro)

Portata: 14.89 l/s

Durata della prova: circa 48 ore

I grafici tempo-abbassamento registrati dai datalogger installati nel pozzo e nei piezometri di controllo sono mostrati nelle Figure 32 e 33.

Tutte le curve hanno manifestato un andamento non lineare connesso a disturbi esterni verosimilmente connessi a spegnimenti e accensioni di pozzi nelle vicinanze. Tali disturbi non hanno tuttavia inficiato l'interpretazione della prova.

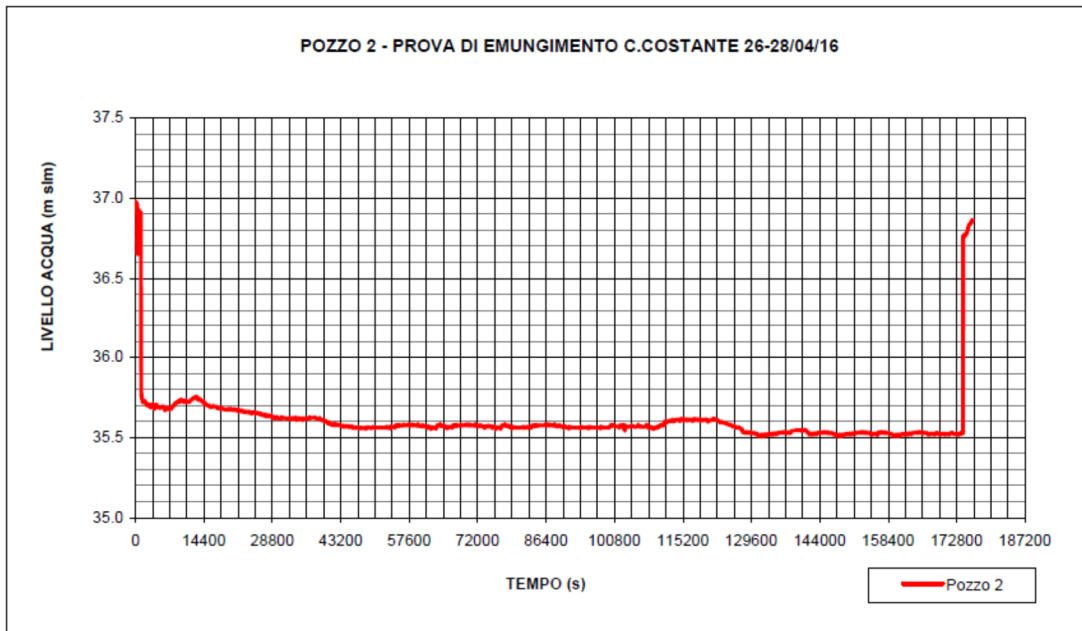


Figura 32 – Curva di abbassamento del pozzo P2 nella prova a portata costante

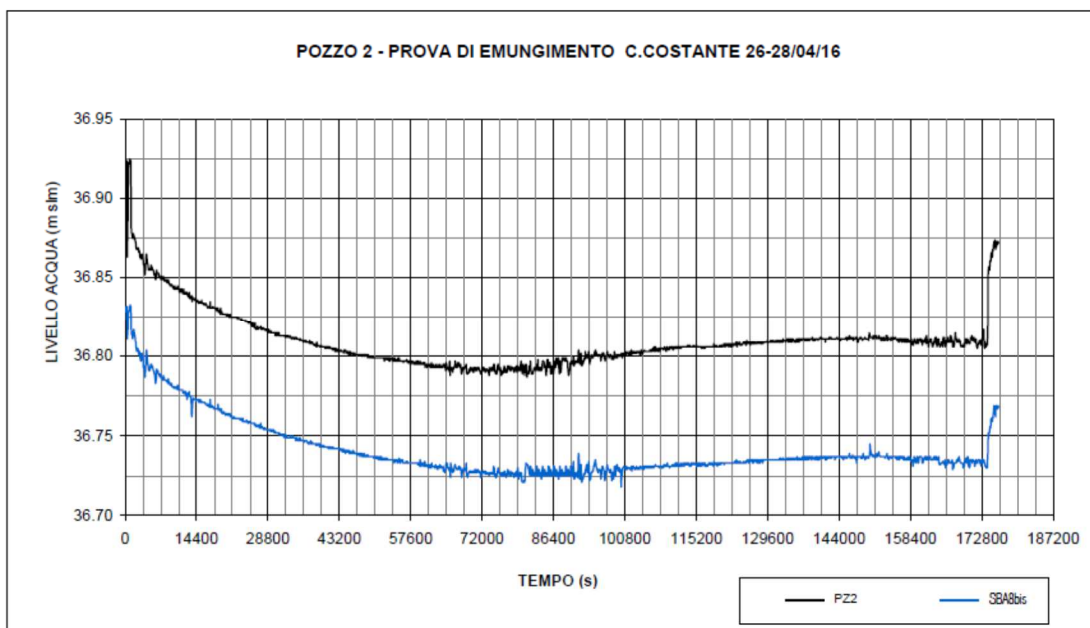


Figura 33 – Curva di abbassamento nei piezometri PZ2 e SPA8bis nella prova a portata costante

Al termine del test e con la portata di prova, il pozzo ha manifestato un abbassamento di circa 1.35 m, mentre i piezometri PZ2 e SPA8bis posti a distanza di 11.7 e 21.8 m rispettivamente di circa 12.5 e 10 cm, evidenziando un cono di depressione estremamente piatto e di modesto approfondimento tipico di acquiferi di alta trasmissività.

Dopo circa 20 ore dall'inizio del pompaggio in entrambi i piezometri si è registrata una risalita dei livelli verosimilmente legata allo spegnimento di pozzi posti nelle vicinanze. In ragione di tale disturbo l'interpretazione è stata eseguita sulla prima parte delle curve di abbassamento (fino al minuto 1200).

Per il calcolo dei parametri idrogeologici sono state utilizzate sia la curva di abbassamento registrata nel pozzo sia quelle restituite dai piezometri di controllo, utilizzando sia il metodo di Cooper-Jacob (grafici semi-logaritmici nelle Figure 34-36), valido per falda confinata, ma applicabile anche in caso di falda libera mediante apposita correzione e qualora l'abbassamento in pozzo sia inferiore al 20% dello spessore saturo di acquifero, sia quello di Neuman (grafici bi-logaritmici nelle Figure 37-38), valido per falda libera.

I grafici di abbassamento dei piezometri di controllo dopo un tempo di circa 200 minuti in PZ2 e di 300 minuti in SPA8bis hanno evidenziato l'insorgere di fenomeni di drenaggio ritardato, tipici di falde libere, sui cui tratti deve essere eseguita l'interpretazione delle prove.

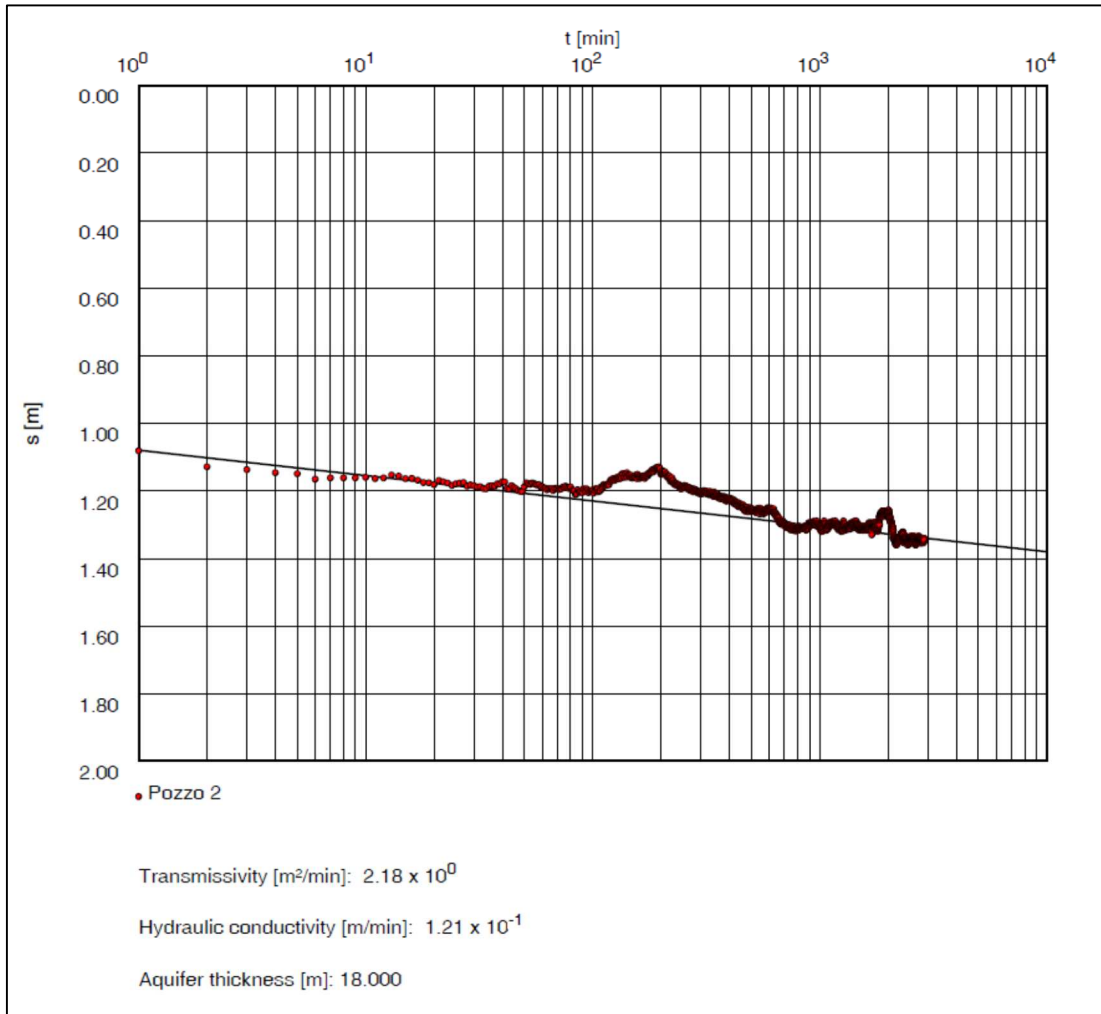


Figura 34 – Curva di abbassamento del pozzo P2 nella prova a portata costante

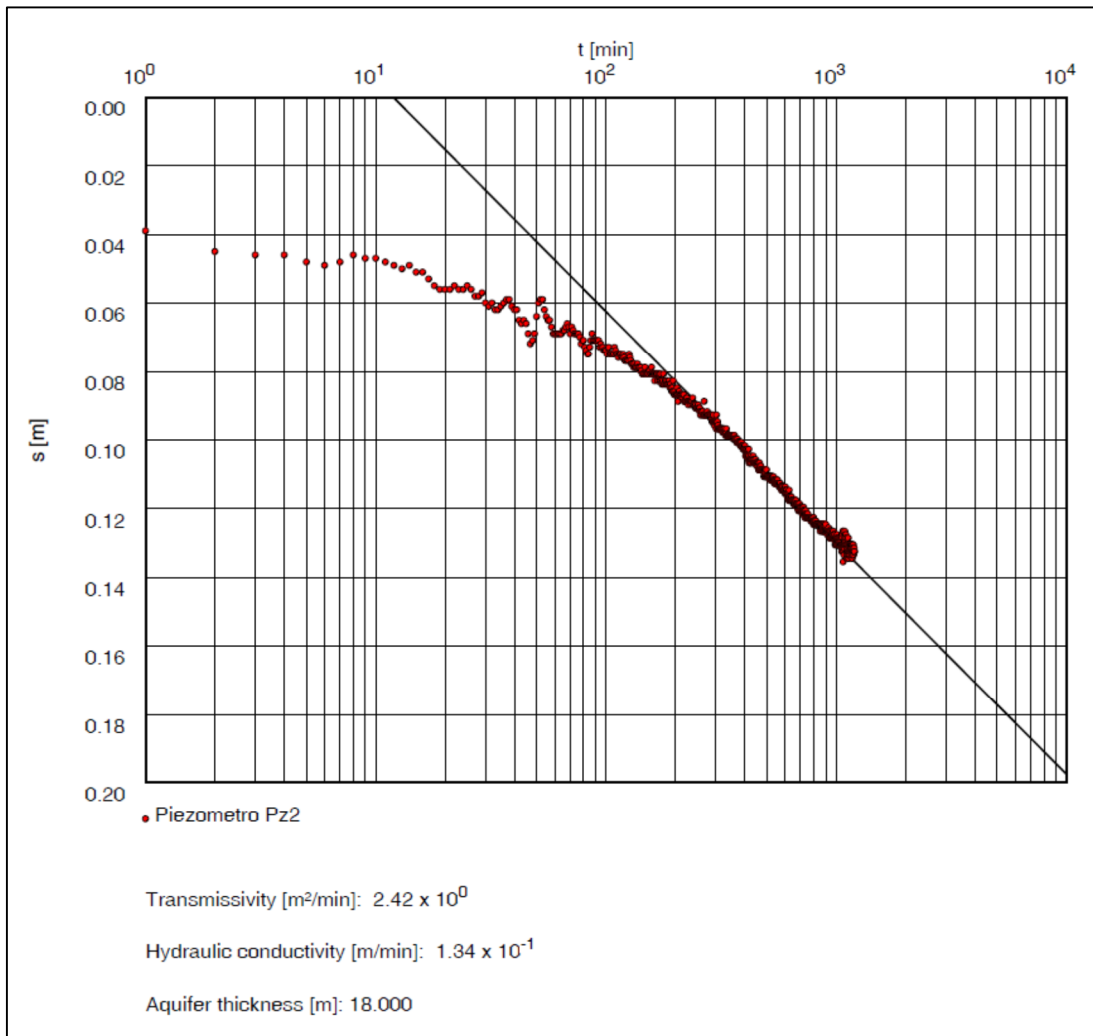


Figura 35 – Curva di abbassamento del piezometro PZ2 nella prova a portata costante

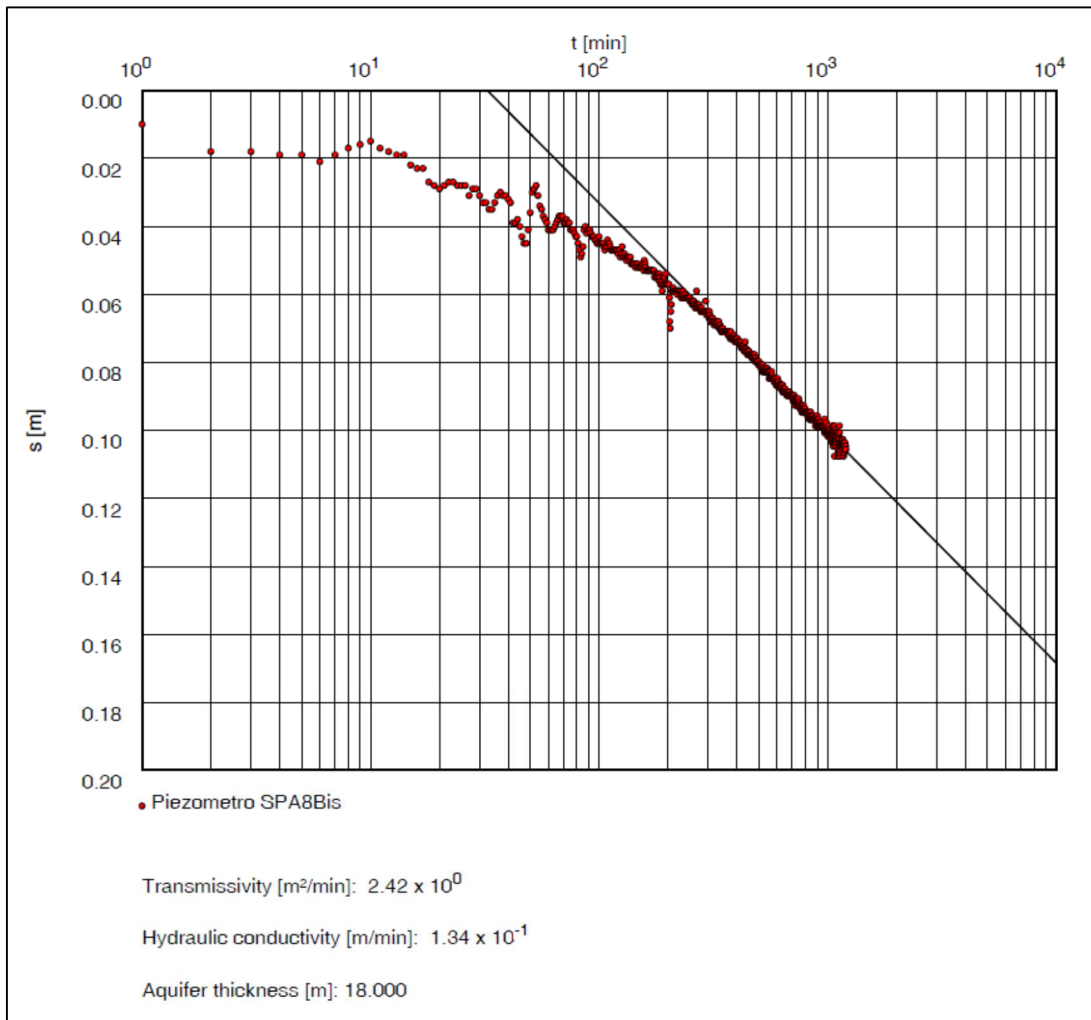


Figura 36 – Curva di abbassamento del piezometro SPA8bis nella prova a portata costante

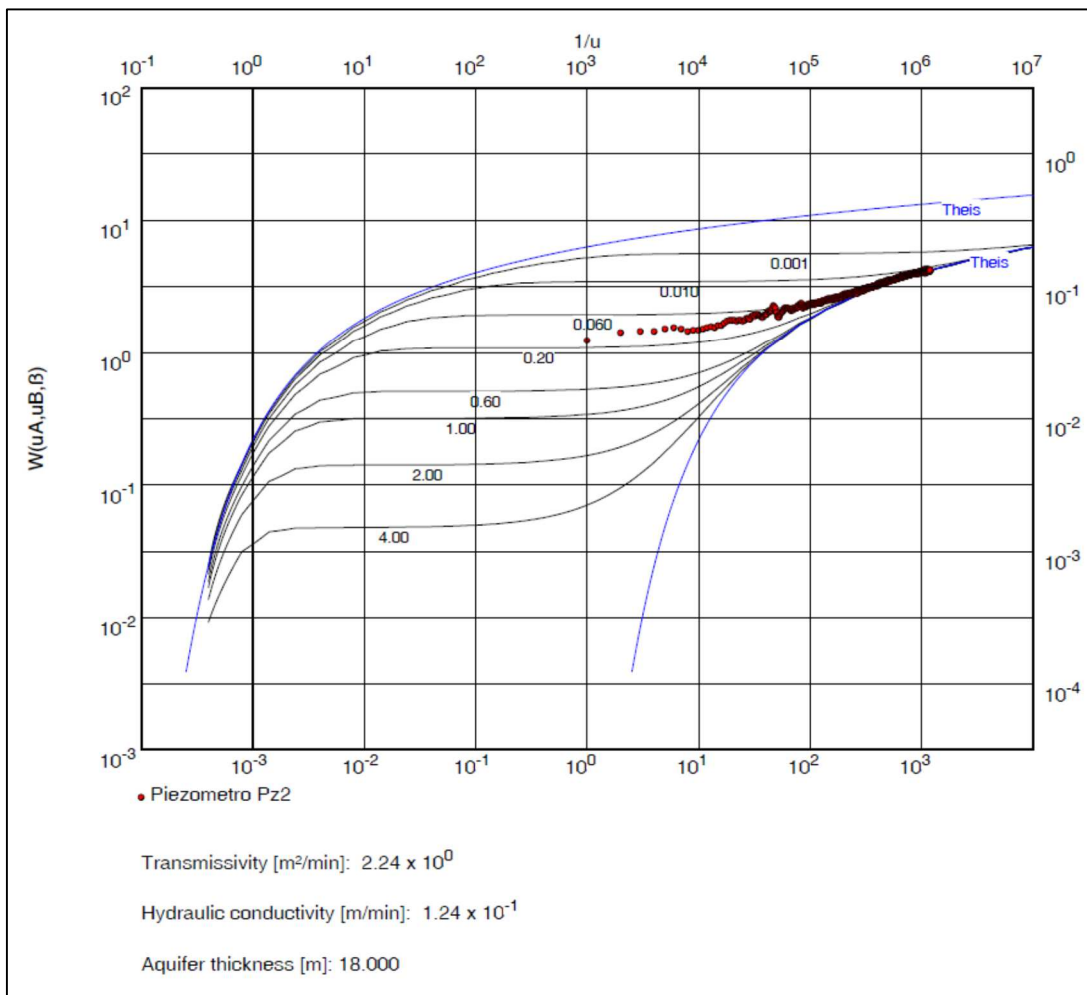


Figura 37 – Curva di abbassamento del piezometro PZ2 nella prova a portata costante

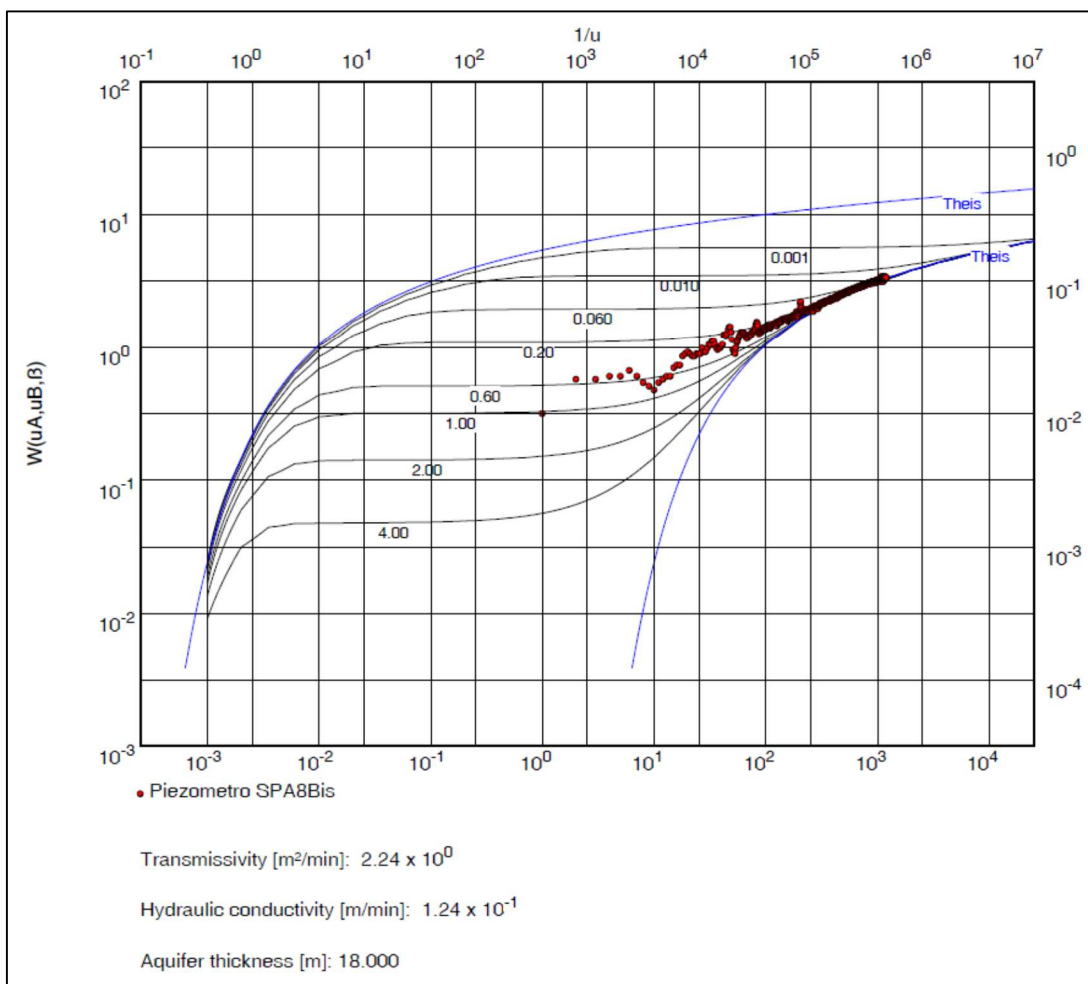


Figura 38 – Curva di abbassamento del piezometro SPA8bis nella prova a portata costante

Con il metodo di Cooper-Jacob sono stati determinati i seguenti parametri idrogeologici:

Pozzo P2

$$T = 3.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Piezometro PZ2

$$T = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Piezometro SPA8bis

$$T = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero è stato calcolato considerando l'intero spessore dell'acquifero captato, pari a circa 18 m.

Attraverso il metodo di Neuman, applicato alle curve restituite dai piezometri di controllo, si ricavano i seguenti valori di trasmissività e del coefficiente di permeabilità:

Piezometro PZ2

$$T = 3.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Piezometro SPA8bis

$$T = 3.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$



Il valore medio dei parametri idrogeologici che si ricavano dalla prova a portata costante eseguita nel pozzo P2 sono i seguenti:

$$T = 3.8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Si rileva come i valori ricavati siano superiori a quelli utilizzati nel modello numerico di flusso preliminare a ulteriore testimonianza delle condizioni conservative utilizzate per la sua predisposizione.

I dati ottenuti dalle prove sono stati utilizzati per la modellazione sito-specifica dell'acquifero finalizzata a verificare gli effetti indotti sulla piezometria dalla realizzazione della galleria artificiale di San Martino Buon Albergo.

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 75 di 89

3.4 MODELLO NUMERICO DI FLUSSO E STIMA DEGLI EFFETTI SULLA FALDA INDOTTI DALLA GALLERIA ARTIFICIALE

Ai fini di fornire una valutazione degli impatti indotti dalla galleria artificiale di S. Martino Buon Albergo e dalle opere complementari alla sua realizzazione, è stato adeguato il modello numerico di flusso delle acque sotterranee implementato in una precedente fase di studio, utilizzando i dati sito-specifici raccolti a seguito delle indagini integrative.



Tale strumento è stato finalizzato alla valutazione delle potenziali interferenze tra opera e falda che potrebbero determinare effetti negativi sulle infrastrutture sotterranee circostanti o sulla medesima opera, che, come già evidenziato, possono essere ricondotte all'innalzamento del livello freatico indotto dalle diaframature sul lato sopragradiente dell'opera e dal contestuale abbassamento in quello sottogradiente, agli effetti sulla portata delle sorgenti di terrazzo e alla modifica nella direzione del flusso idrico sotterraneo, oltre che alla progettazione delle opere di impermeabilizzazione con jet-grouting, da realizzare sia alla base della galleria sia alla base dei diaframmi.

Come già evidenziato, prime indicazioni in merito alle possibili problematiche indotte dall'interferenza tra la falda idrica e la galleria artificiale furono effettuate attraverso un modello numerico di flusso preliminare implementato considerando una conducibilità idraulica dell'acquifero di $5 \cdot 10^{-4}$ m/s costante su tutto l'areale e una direzione del flusso idrico sotterraneo da ortogonale alla diaframmatura (condizione ipercautelativa) a incidente con angolo di 45° .

I risultati degli studi preliminari fornirono indicazioni in merito a un impatto sostanzialmente insignificante prodotto sulla falda dalle opere in sotterraneo, valutabile in innalzamenti massimi a monte delle diaframature e abbassamenti massimi a valle delle medesime variabili tra circa 0.15 e 0.25 m rispettivamente per direzioni di flusso incidenti con angolo di 45° e 90° rispetto alla diaframmatura.

In questa seconda fase il modello numerico di flusso delle acque sotterranee è stato implementato considerando dati sito-specifici ricavati a seguito delle indagini integrative appositamente realizzate.

IN0D00DI2SDGE0002001A

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 76 di 89

Tali indagini hanno confermato che le assunzioni adottate nel modello schematico preliminare erano estremamente cautelative in quanto:

- la ricostruzione della piezometria locale (si veda il capitolo 3.2.3) ha evidenziato che la direzione del flusso idrico sotterraneo incide la diaframmatrice con un angolo di circa 30° o leggermente inferiore;
- i test di pompaggio eseguiti sui campi prova appositamente attrezzati (si veda il capitolo 3.3) hanno consentito di calcolare valori di conducibilità idraulica del primo acquifero variabili tra $5 \cdot 10^{-4}$ m/s, presso l'imbocco NW della galleria artificiale e $2 \cdot 10^{-3}$ m/s presso l'imbocco SE, pertanto uguali o 4 volte superiori a quelli utilizzati nel modello schematico preliminare, con conseguente riduzione degli effetti di massimo innalzamento indotti dalla galleria artificiale.

In considerazione dei succitati elementi, le valutazioni riportate nel presente documento, per quanto passibili di ulteriore affinamento, evidenziano variazioni indotte dalla diaframmatrice ancor più insignificanti rispetto a quelle ricavate nella precedente elaborazione proprio in ragione delle condizioni cautelative che erano state adottate per la sua realizzazione.

3.4.1 STRUTTURA DEL MODELLO NUMERICO DI FLUSSO

Per la ricostruzione del campo di moto della falda si è fatto ricorso al programma GroundWater Vistas 5, sviluppato da ESI International, che utilizza il codice di calcolo alle differenze finite "MODFLOW" del Servizio Geologico degli Stati Uniti (Modular Three Dimensional Finite Difference Ground-Water Flow Model, di McDonald M.G., Harbaugh A. W., 1988).

Sulla base della disponibilità dei dati idrogeologici al contorno dell'area di studio, raccolti nelle varie fasi di indagine, il modello numerico di flusso delle acque sotterranee è stato esteso a un intorno significativo dell'area occupata dalla galleria.

Dominio dell'area di studio e sua discretizzazione

Come visibile in Figura 39, l'area modellata è stata dimensionata mantenendo al centro del dominio di simulazione del flusso il tratto del tracciato ferroviario interessato dalla galleria artificiale.

Tale dominio è stato mantenuto piuttosto ampio, in modo che le condizioni ai limiti del modello non interferissero con le sollecitazioni indotte dall'opera stessa. Il territorio interessato dal modello matematico risulta avere quindi un'estensione di 13.5 km²; i limiti individuati sono riportati nella Tabella 6.

Il dominio è stato suddiviso orizzontalmente utilizzando una griglia composta da 379 righe e da 1224 colonne, per un totale di 463896 celle (per ciascun layer).

Le righe e le colonne sono state infittite nell'area nella quale si trova la galleria artificiale, in modo da avere in questa zona celle quadrate di 2.5 x 2.5 m (Figura 40); alle celle situate nelle aree più esterne invece è stata assegnata una dimensione di 20 x 20 m.

Coordinate Gauss-Boaga dei vertici dell'area di studio		
	EST	NORD
A	1660975	5031015
B	1664568.8	5028306.8
C	1662780.4	5033410.9
D	1666374.3	5030702.7

Tabella 6 - Limiti dell'area modellata

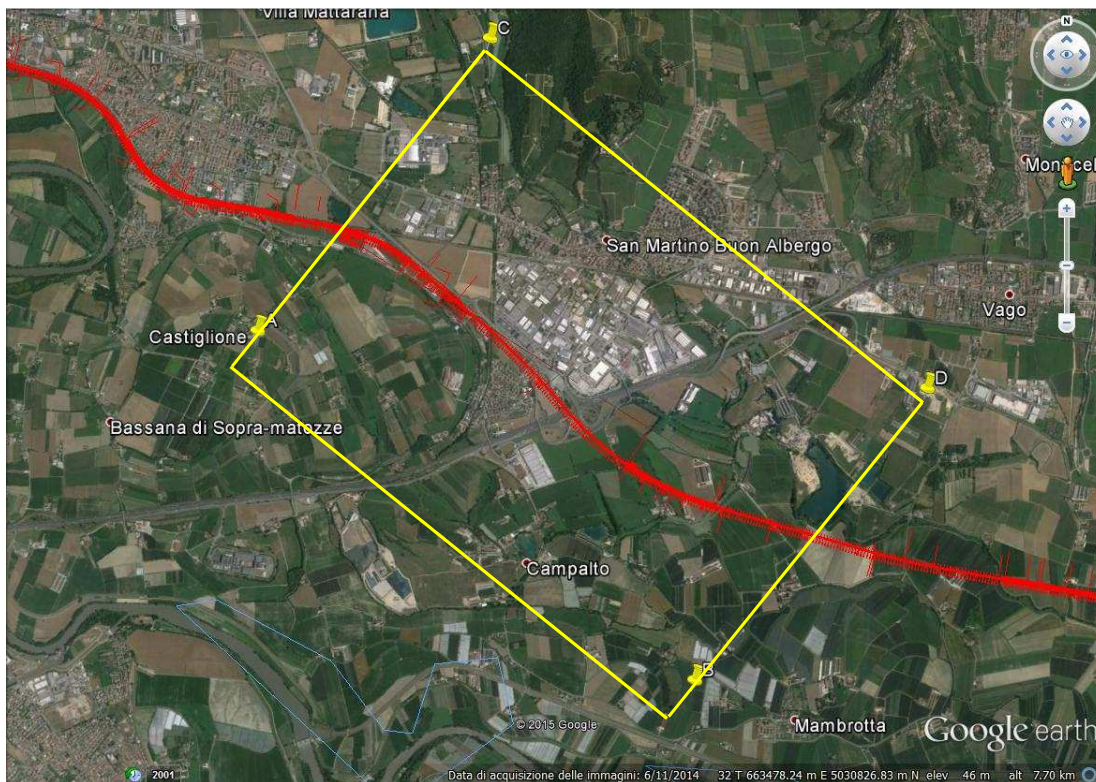


Figura 39 - Inquadramento territoriale del dominio di simulazione (in rosso tracciato ferroviario)

La transizione tra la zona a spaziatura più fitta e quella a spaziatura più rada avviene tramite l'interposizione di celle a dimensioni crescenti, in base ad un fattore moltiplicativo pari 0.9.

L'impostazione di una griglia telescopica di questo tipo permette di garantire un buon grado di accuratezza delle simulazioni nella zona di maggiore interesse e, contemporaneamente, una sufficiente rapidità di calcolo.

In Figura 41 è riportata la discretizzazione verticale dello spazio del modello. A tutti i layers è stato assegnato uno spessore costante pari a 2 m, la profondità totale del modello è stata impostata pari a 25 m da p.c., che rappresenta la minima profondità a cui è stata rinvenuta la lente argillosa di separazione tra primo e secondo acquifero nei sondaggi eseguiti lungo il tratto oggetto della modellazione. Questa scelta rappresenta una condizione cautelativa nei confronti della valutazione degli innalzamenti indotti dalla diaframmatrice.

La discretizzazione verticale adottata ha avuto quale unica valenza quella di meglio modellare le condizioni in cui l'opera occlude solo parzialmente l'acquifero, mentre, al contrario, la medesima non ha alcuna valenza idrogeologica in quanto la modellazione ha riguardato solamente l'acquifero superficiale.

Discretizzazione temporale

Il modello di flusso è stato tarato in regime stazionario per le condizioni piezometriche registrate nel mese di aprile 2016 nel primo acquifero, che costituisce l'unico corpo idrico sotterraneo impattato dalla galleria artificiale.

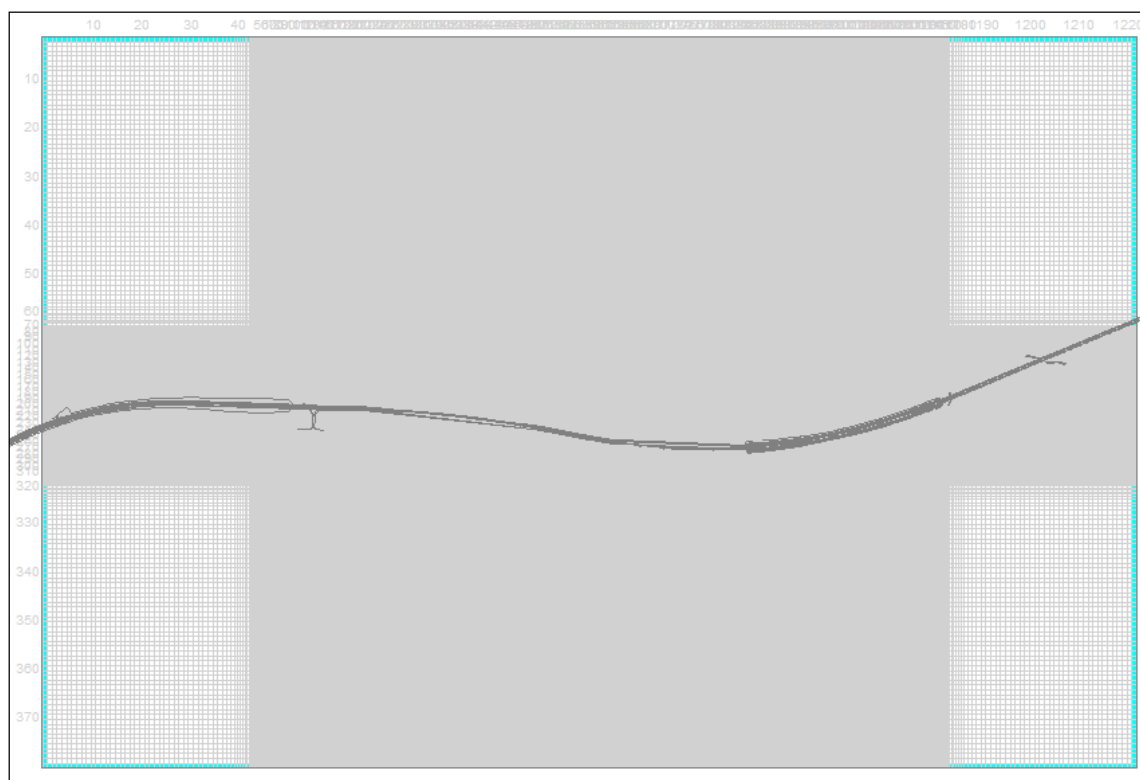


Figura 40 - Discretizzazione orizzontale del dominio di simulazione

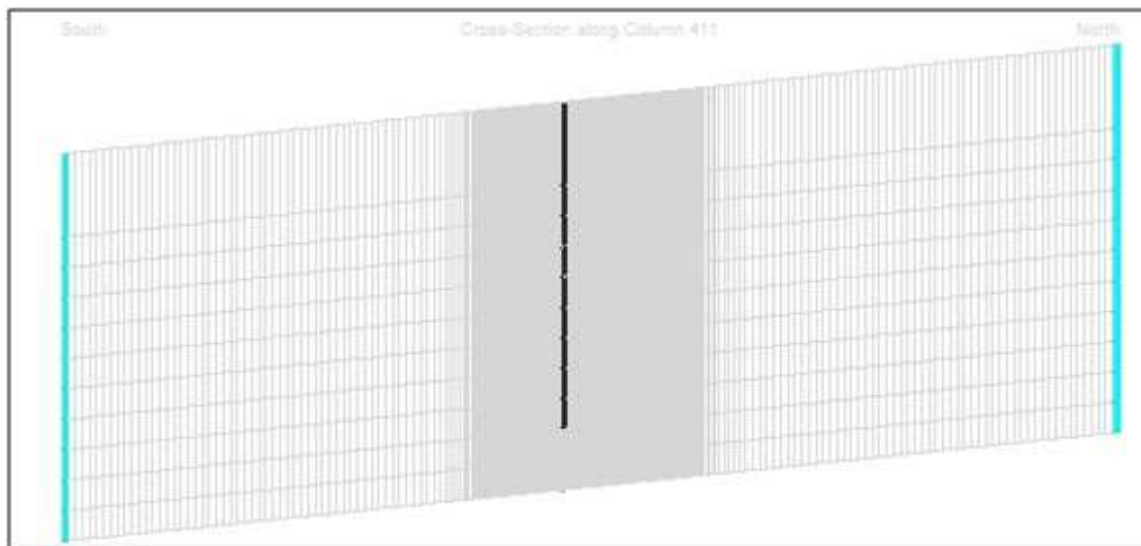


Figura 41 - Discretizzazione verticale del dominio di simulazione

3.4.2 PARAMETRI DI INPUT E CAMPO DI MOTO DELLA FALDA

Il modello di flusso tridimensionale necessita di parametri iniziali che descrivano le caratteristiche idrogeologiche dell'orizzonte acquifero impattato dall'opera. I parametri di input inseriti nel modello sono i seguenti.

Parametri idrogeologici e strutturali dell'acquifero

Conducibilità idraulica dell'acquifero (m/s): ottenuta dal rapporto tra la trasmissività ricavata dalle prove di pompaggio eseguite nei pozzi pilota e lo spessore saturo; tra l'imbocco NW e quello SE sono stati inseriti valori di conducibilità idraulica variabili tra $5 \cdot 10^{-4}$ e $2 \cdot 10^{-3}$ m/s. Sull'areale i valori sono stati distribuiti per classi omogenee in funzione della variazione dello spessore saturo dell'acquifero. Ogni orizzonte è stato discretizzato in termini di conducibilità idraulica orizzontale e verticale k_h , k_v (m/s), considerate uguali nelle direzioni X e Y, mentre è stata assegnata una anisotropia di 0.1 per la direzione Z, secondo quanto proposto da Anderson & Woessner, 1992.

Quota della base del primo acquifero (m s.l.m.): ottenuta dall'elaborazione dei dati stratigrafici puntuali (Figura 42);

Spessore saturo dell'orizzonte acquifero superficiale (m): ottenuto sottraendo alla quota piezometrica di riferimento la quota assoluta della base ricostruita per il primo acquifero (Figura 43);

Piezometria

La piezometria di riferimento utilizzata per la prima falda è quella dell'aprile 2016 mostrata in Figura 44 e già descritta in un precedente capitolo.



Figura 42 – Isobate della base dell'acquifero contenente la prima falda (m s.l.m.)

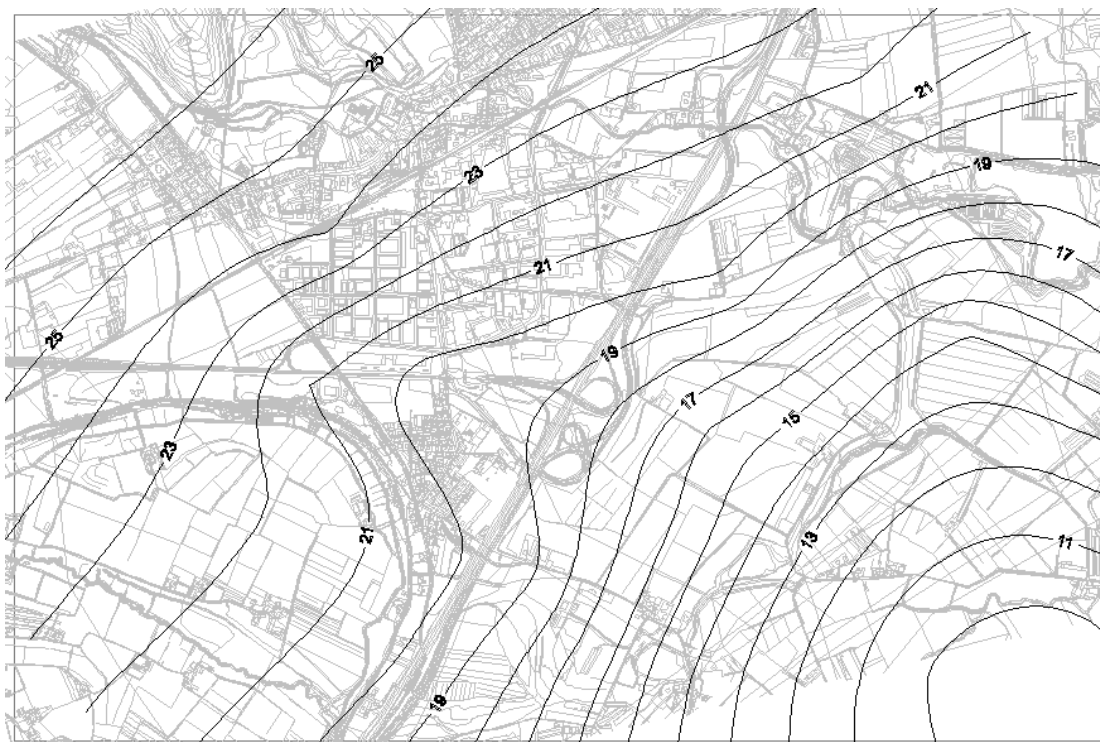


Figura 43 – Spessore saturo dell'acquifero contenente la prima falda (m)

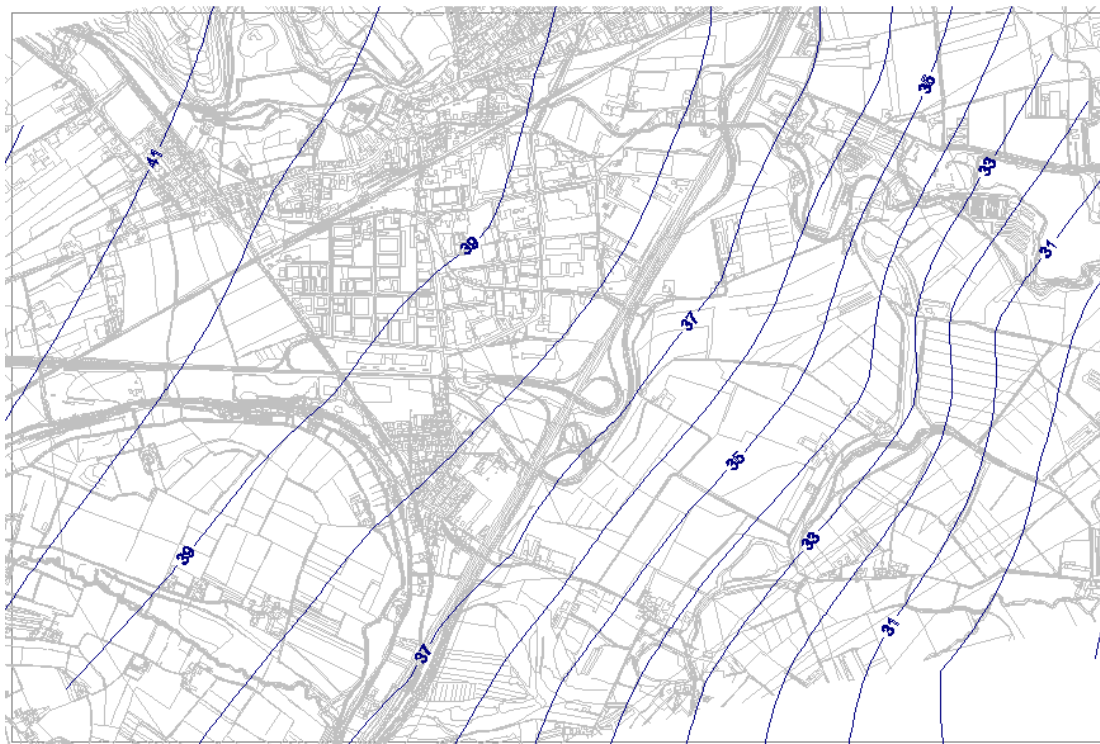




Figura 44 – Superficie piezometrica della prima falda (m s.l.m. – aprile 2016)

 	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2SDGE0002001A	Pag 83 di 89

Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono operazioni matematiche che definiscono la variabile dipendente (il carico idraulico) o la sua derivata (il flusso) lungo il contorno del dominio modellato.

I valori del carico e del flusso al contorno sono stati ricavati dall'elaborazione della superficie piezometrica.

In assenza di limiti idrogeologici sicuri (fiumi, laghi, limiti impermeabili), le condizioni al contorno del modello sono state impostate inserendo su tutti i lati limiti di tipo General Head Boundary (GHB) con carico dipendente dal flusso in entrata e uscita.

3.4.3 TARATURA DEL MODELLO

La taratura del modello è consistita nella ricostruzione, in regime stazionario, della piezometria del primo acquifero relativa al mese di aprile 2016 mediante la procedura "trial and error". Questa metodologia è stata protratta sino all'ottenimento di uno scarto accettabile tra i valori di piezometria calcolati (modello teorico) e quelli realmente misurati (modello reale). I dati di input che hanno necessitato di una maggiore taratura/verifica sono stati quelli relativi ai parametri idrogeologici dell'acquifero.

La retta di calibrazione è mostrata nel grafico in Figura 45 mentre le differenze tra valori misurati e calcolati nella Tabella 7.

I risultati della taratura, in termini di andamento piezometrico della prima falda, ottenuti mediante il modello numerico, sono riportati nella Figura 46.

Tale elaborato evidenzia che la piezometria simulata dal modello, sebbene passibile di ulteriore affinamento, ricostruisca con buona fedeltà l'andamento della piezometria misurata nel settore di studio.

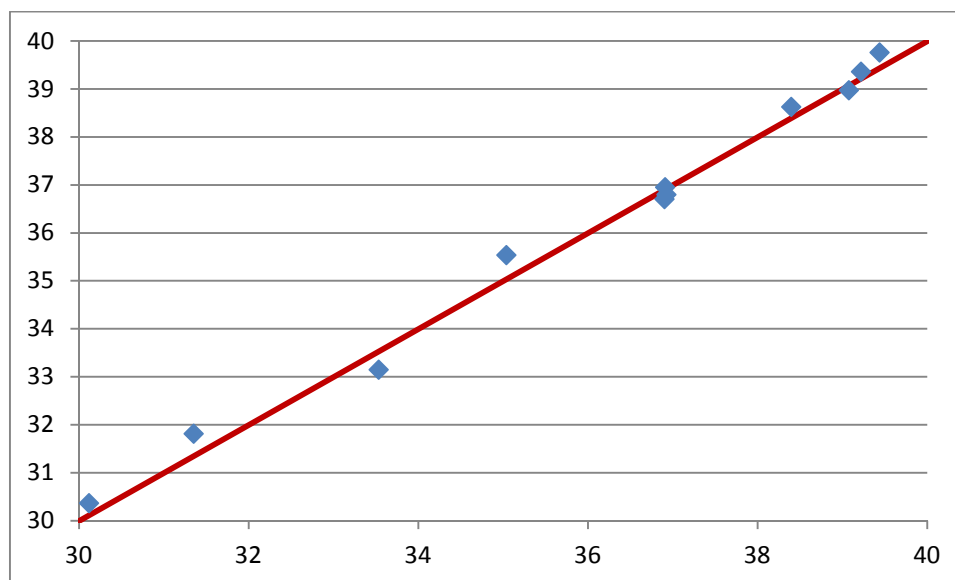


Figura 45 – Retta di calibrazione del modello

Name	Observed	Computed	Residual
SPA9	33,533	33,15	0,383
SPA9bis	31,353	31,826	-0,463
SDA12	30,119	30,368	-0,249
PZ3	39,438	39,763	-0,325
PZ4	39,076	38,972	0,104
PZ5	36,904	36,704	0,200
PZ6	38,396	38,625	-0,229
PZ7	36,91	36,948	-0,038
PZ8	35,038	35,537	-0,499
SPA8_BIS	36,926	36,799	0,127
SPA5	39,221	39,358	-0,137

Tabella 7 – Valori misurati e simulati e loro scarto

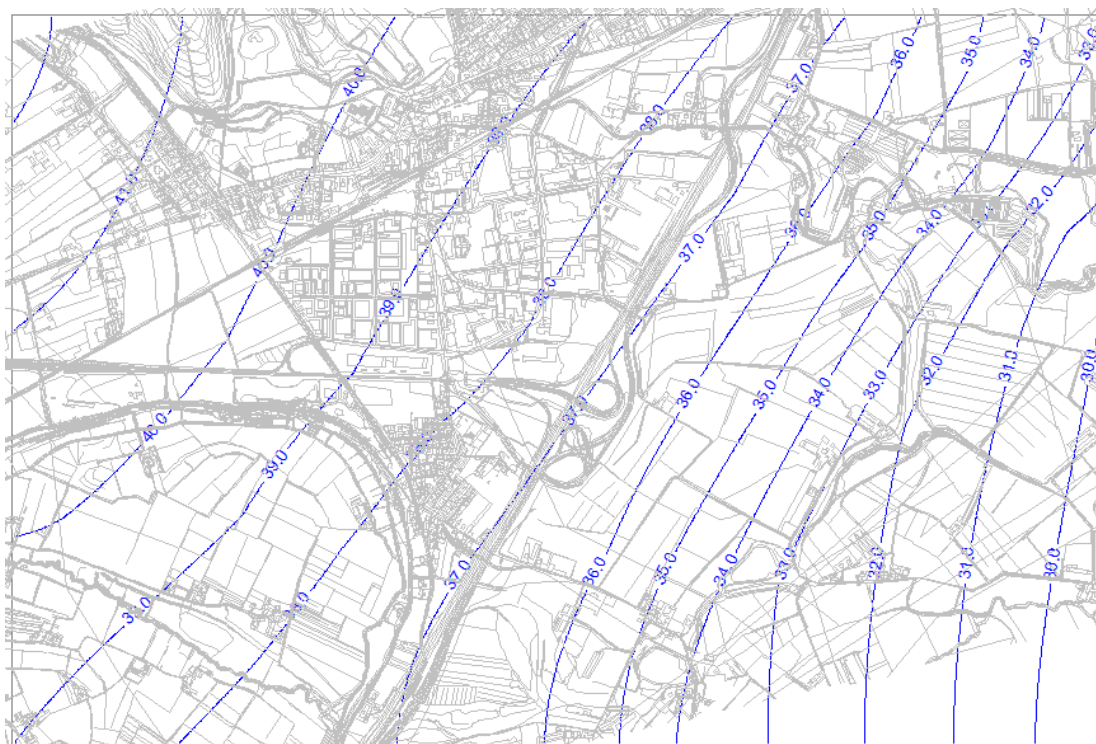


Figura 46 – Superficie piezometrica della prima falda simulata dal modello (m s.l.m.)

3.4.4 FASE DI APPLICAZIONE DEL MODELLO

Il modello di flusso è stato utilizzato allo scopo di fornire indicazioni circa l'effetto complessivo indotto sulla prima falda, dalla realizzazione della galleria artificiale in progetto nell'area di San Martino Buon Albergo.

In base alle indicazioni progettuali, i diaframmi presenteranno profondità tali da sbarrare parzialmente la prima falda, fino a una profondità massima di 20 m, all'incirca tra le chilometriche 5+350 e 5+900, e una interferenza progressivamente decrescente spostandosi verso le due estremità dell'opera.

Nell'ambito della modellazione sono stati anche inseriti anche i diaframmi realizzati a sostegno dei manufatti a U da realizzare presso gli imbocchi (chilometriche da 4+300 a 4+900 e da 6+850 a 7+200).

L'opera è stata simulata inserendo in corrispondenza dei diaframmi della galleria una zona a bassa permeabilità ($1 \cdot 10^{-9}$ m/s).

In Figura 47 è rappresentata una sezione schematica di come i diaframmi sono stati simulati all'interno del modello.

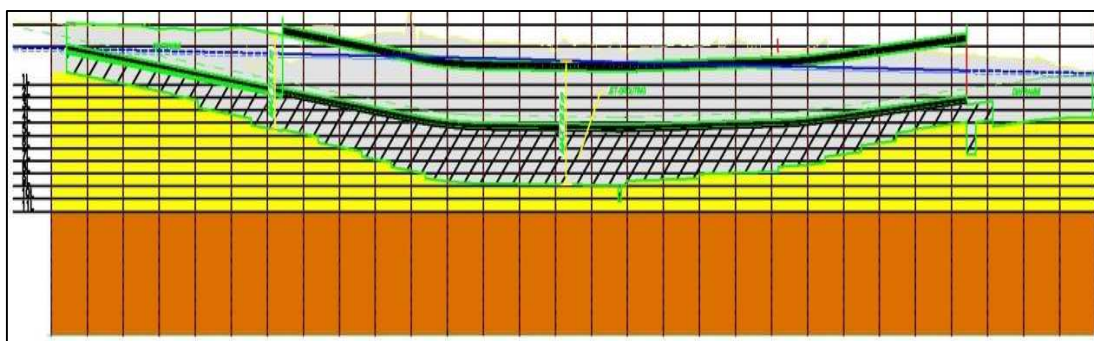


Figura 47 - Modellazione schematica longitudinale dell'opera (in giallo le aree a deflusso libero non interessate dalla diaframmatatura)

3.4.5 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

I risultati ricavati dalla modellazione hanno consentito di valutare gli innalzamenti della falda nel lato sopragradiante e gli abbassamenti in quello sottogradiante, nell'ipotesi di realizzare un diaframma senza soluzione di continuità.

I risultati sono espressi in termini di:

- deformazione della morfologia piezometrica e del flusso idrico sotterraneo a seguito della realizzazione dell'opera (Figura 48);
- isovariazioni piezometriche rispetto alla falda indisturbata dello scenario di riferimento (Figura 49).

Come evidenziato dalla Figura 48, gli effetti di deformazione della superficie piezometrica risultano sostanzialmente insignificanti e non in grado di provocare impatti di alcun tipo a pozzi pubblici e privati operanti nel settore o a strutture interrato o in sotterraneo.

Anche le modifiche indotte dalla realizzazione dell'opera sul carico piezometrico risultano estremamente modeste in quanto raggiungono valori massimi di circa 12 cm, sia in termini di innalzamento a monte che di abbassamento a valle del diaframma, per un breve tratto centrale della galleria artificiale (Figura 49) e di circa 2 cm presso gli imbocchi NW e SE.

A livello areale le isovariazioni di livello si estendono in modo differente nei settori sopragradiante e sottogradiante alla galleria artificiale in ragione delle differenze di trasmissività dell'acquifero, in quanto con l'incremento di questo parametro si determina una diminuzione della variazione del carico idraulico in vicinanza della galleria, ma al contempo una propagazione a maggiore distanza dell'influenza indotta dall'opera, pur mantenendo sempre variazioni valutabili nell'ordine di pochi centimetri.

Un ulteriore impatto che può essere valutato dal modello è quello che sarebbe indotto dall'opera nei confronti delle sorgenti di terrazzo, in quanto la realizzazione della medesima, inducendo abbassamenti nel settore sottogradiante, potrebbe teoricamente determinare una riduzione della portata di sfioro delle acque sorgive.

Anche in relazione a questo potenziale impatto le variazioni risultano tuttavia insignificanti, poiché, per quanto attiene la risorgiva posta all'altezza del km 5+000 (a valle dell'imbocco NW della galleria artificiale) in località "La sorgente" si avrebbe un abbassamento della falda valutabile in circa 4 cm.

Impatti ancor più limitati si avrebbero in corrispondenza delle sorgenti di terrazzo ubicate ai piedi della scarpata che limita la piana del Torrente Fibbio, presso le località Cà dell'aglio e Chievo, laddove il modello di calcolo stima, per le sorgenti di Cà dell'Aglio, innalzamenti della falda nemmeno misurabili, mentre per la sorgente della località Chievo, abbassamenti di circa 2-3 cm.

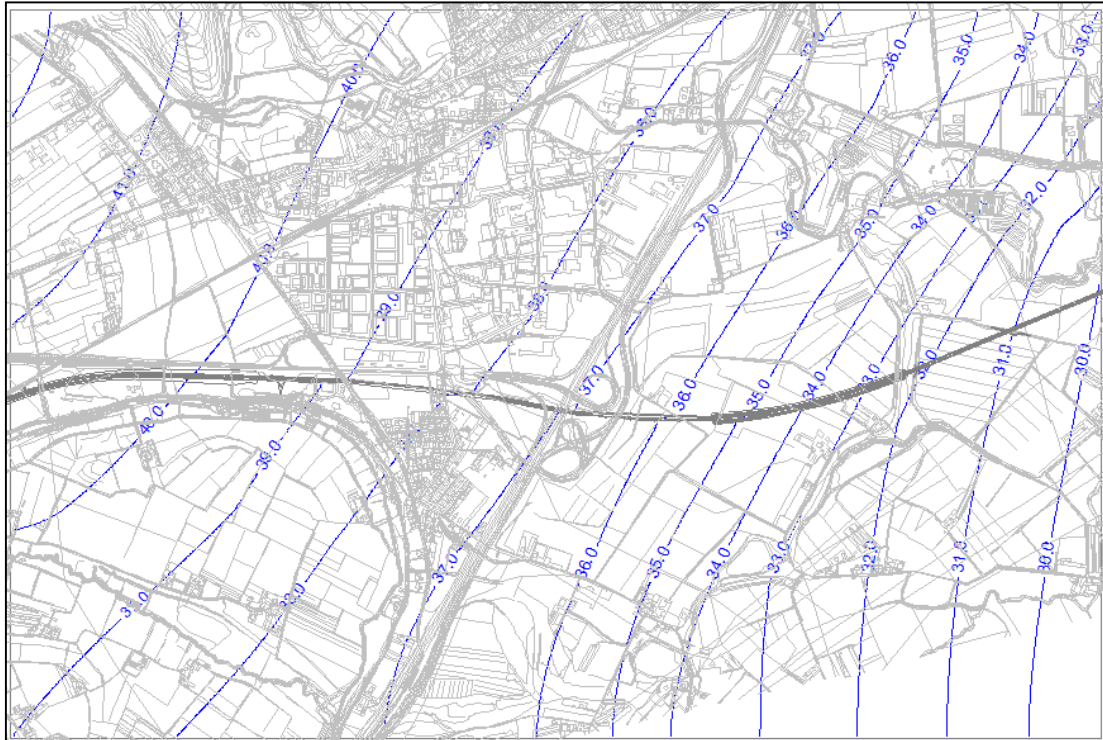


Figura 48 – Deformazione della superficie piezometrica indotta dall'opera (m s.l.m.)

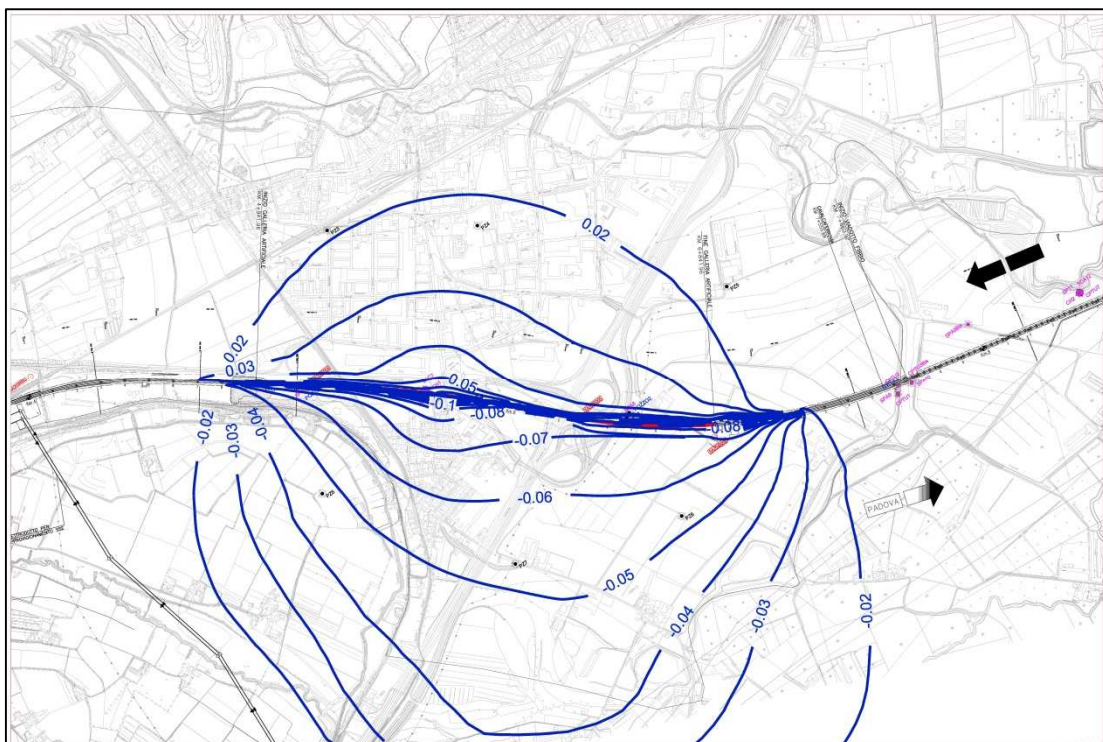


Figura 54 – Isovariazioni del livello freatico (m)

Le variazioni di carico idraulico attese alle sorgenti risultano, in tutti i casi, irrilevanti in termini di variazione delle portate di sfioro, soprattutto qualora confrontate alle fluttuazioni stagionali e pluriennali della falda che, come evidenziato in precedenza, nell'area possono raggiungere escursioni misurate di 1.5 m e potenziali di 2 o più metri.

A conferma di quanto ottenuto con il modello schematico preliminare, anche i risultati ottenuti dalla modellazione tarata su dati sito-specifici hanno evidenziato che gli impatti sulla falda indotti dalla realizzazione della galleria artificiale possono essere considerati minimi e di magnitudo insignificante.