

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

RILEVATI

GENERALE

GENERALE

**Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive
da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE 	Consorzio Iricav Due ing. Guido Fratini Data: Novembre 2020			

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

I	N	1	7	1	1	E	I	2	R	H	R	I	0	0	0	X	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

		VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
		Firma	Data
		Luca RANDOLFI	

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	F. Bonciani	Marzo 2021	V. Pastore	Marzo 2021	P. Ascari	Marzo 2021	P. Ascari
								Data: marzo 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1711EI2RHRI000X001A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 2 di 82

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
3	RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI.....	15
4	LIVELLI IDROMETRICI.....	23
5	RILIEVI FREATIMETRICI.....	25
6	CARATTERI E PROFONDITÀ DELLA FALDA FREATICA.....	29
7	STRUTTURA IDROGEOLOGICA PROFONDA.....	31
7.1	Unità idrogeologica delle alluvioni dell'Adige e del Fibbio.....	31
7.2	Rischi di approvvigionamento da acque sotterranee.....	33
8	LE RISORGIVE DEGLI ORTI DELLA CHIESA BENEDETTINA DI SAN MARTINO BUONALBERGO.....	34
8.1	Risorgiva 1.....	44
8.2	Risorgiva 2.....	46
8.3	Risorgiva 3.....	47
8.4	Aspetti generali.....	48
9	ANALISI NUMERICA DI FILTRAZIONE	50
9.1	Sezione di riferimento	51
9.2	Modello idrogeologico.....	54
9.3	Modello di calcolo	57
9.4	Analisi dello stato attuale in condizioni stazionarie.....	60
9.5	Analisi dello stato di progetto in condizioni transitorie.....	63
10	CONCLUSIONI.....	81
11	BIBLIOGRAFIA.....	82

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 3 di 82

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta a corredo del Progetto Esecutivo, approfondisce gli aspetti idrogeologici dell'area interessata dalla nuova linea ferroviaria AV/AC Verona–Padova, Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza nella tratta soggetta alla presenza della fascia di sorgenti di risorgiva compresa tra le progressive pk. 0+800 e pk. 1+975,00.

Gli studi condotti qui e in sede di fasi progettuali precedenti sono stati finalizzati ad evidenziare le principali caratteristiche idrogeologiche del settore interessato dal progetto ferroviario in un intorno sufficientemente vasto, con il fine di valutare le potenziali interferenze tra l'opera in progetto e le varie componenti ambientali inerenti agli aspetti in esame.

Nello specifico della fase di PE, lo studio è stato svolto partendo da una raccolta bibliografica che ha riguardato gli studi precedentemente condotti nell'area per la redazione del progetto preliminare, gli archivi dati raccolti presso le Amministrazione Pubbliche, Regionali, Provinciali e di Enti di Gestione, con particolare riferimento a censimenti di punti d'acqua, ricostruzione degli andamenti piezometrici regionali e dati litostratigrafici.

Allo scopo di valutare gli effetti di interferenza tra il regime delle risorgive ed i livelli di piena associati all'esondazione dell'Adige con $T_r = 300$ anni è stata poi condotta una modellazione di flusso 2D in regime transitorio lungo una sezione di riferimento in corrispondenza della risorgiva il Mulino (Sezione 3 elaborato IN1711EI2WZRI000X001A).

Le risorgive si trovano lungo una ristretta fascia ("fascia dei fontanili") in tutta la Pianura Padana. Si tratta spesso di escavazioni artificiali, create secoli or sono, che captano e convogliano le acque emergenti naturalmente dal terreno. Esse derivano dall'affioramento in superficie della falda freatica e hanno costituito uno dei caratteri ambientali più tipici della Pianura Padana. Da esse si originano vari corsi d'acqua come il Sile, il Bacchiglione, il Tergola e l'Antanello. In particolare, le risorgive presenti nel territorio del comune di San Martino vanno definite come "risorgive di terrazzo" e derivano dall'intersezione della superficie freatica con il terrazzo fluviale che borda l'antico conoide dell'Adige. Nella cartografia di Figura 1 sono delimitati i perimetri delle aree interessate da risorgive e i corsi d'acqua che da esse si originano.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHRI000X001A

Foglio

4 di 82

IL COMPRESORIO DEL CONSORZIO

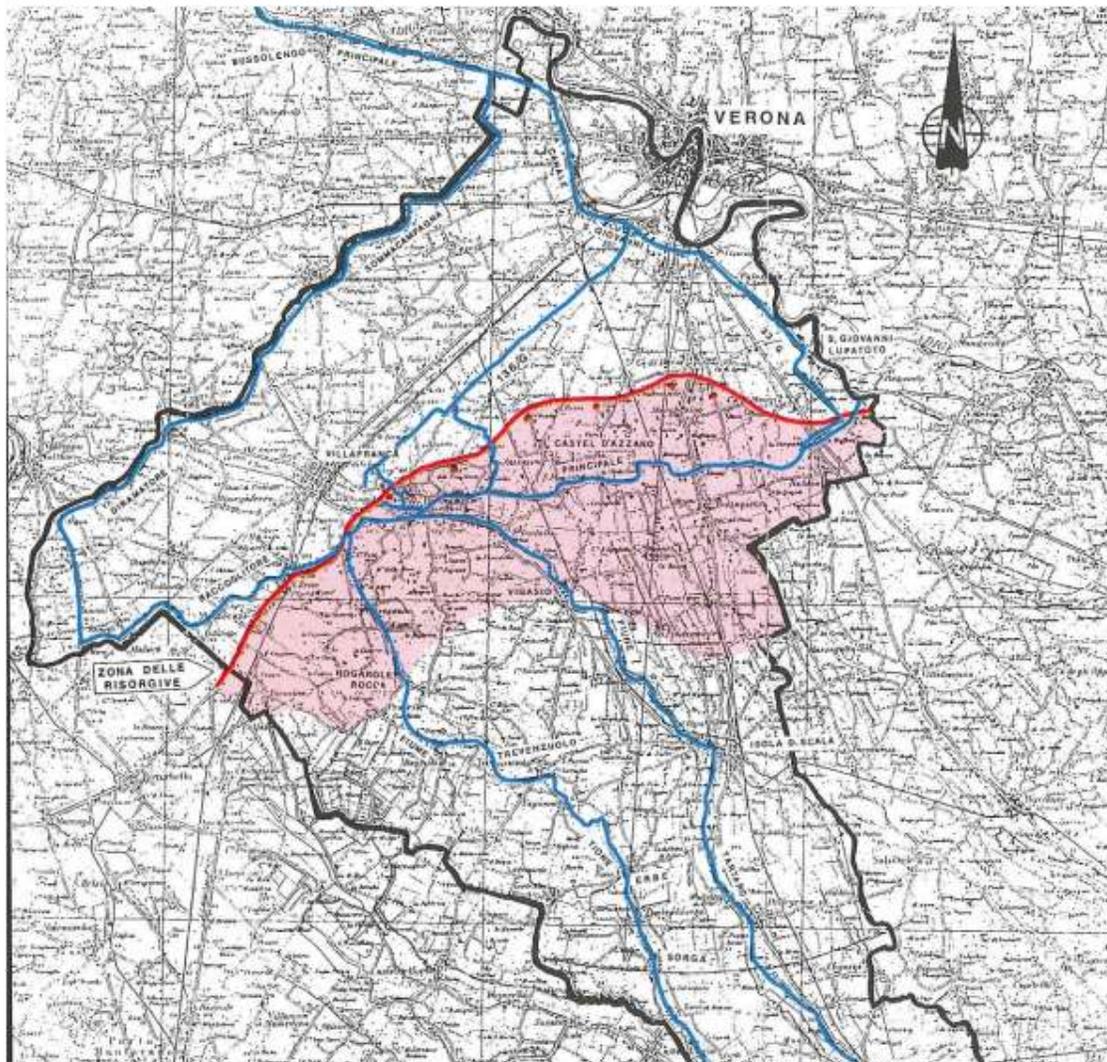


Figura 1 - Ubicazione della fascia dei fontanili.

Lungo corsi d'acqua di risorgiva vengono anche indicate in Tabella 1 N. 4 sezioni delle quali si riportano i valori di due misure di portata. Tali dati sono stati pubblicati in un lavoro a carattere scientifico (Dal Prà et al., 1997) e successivamente non più aggiornati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 5 di 82

Tabella 1: misure di portata lungo quattro sezioni rappresentative di risorgiva (Dal Prà et al., 1997).

Sezione N	Nome Asta	Portata (l/s) 13.05.93	Portata (l/s) 16.09.93
1	T. Antanello	143	150
2	F.ssa Gardesana	342	242
3	F.ssa Bianchina	496	564
4	F.ssa Pila	158	164

Le risorgive, analogamente ad una “presa” di una sorgente, funzionano come “troppo pieno” del sistema idrogeologico che le alimenta. La conservazione degli ecosistemi coincidenti con le risorgive dipende quindi dal mantenimento dell’equilibrio del sistema idrogeologico posto a monte. Negli ultimi anni, per l’aumentato emungimento dalle falde idriche e per i numerosi interventi sul territorio in diverse parti della Pianura Padana, si è avuta una completa estinzione delle risorgive o una diminuzione delle portate, oppure l’inquinamento delle loro acque (Aurighi, Vittadello, Zangheri, 2000). Nonostante la portata delle risorgive sia un ottimo indicatore ambientale dell’eventuale depauperamento di un acquifero, nella regione Veneto sono pressoché totalmente assenti misure di questo parametro.

Con prospettiva territoriale sarebbe quindi necessario che la portata delle risorgive fosse oggetto di misure periodiche e sistematiche, al fine di avere costantemente sotto controllo la “salute” del sistema idrogeologico stesso per poter intraprendere, se necessario, adeguate azioni correttive. Va precisato che, nel veronese, con il termine di “fascia dei fontanili” si identifica, in genere, un’area posta più a sud di San Martino, dove si hanno le tipiche risorgive che si trovano in tutta la fascia tra l’alta e la media Pianura Veneta. Nella Regione Veneto le “risorgive di terrazzo”, si trovano solo nel veronese, mentre altri esempi si possono trovare in altre regioni insistenti sulla Pianura Padana. Le acque di risorgiva presentano caratteristiche di acque limpide di buona qualità, temperatura media di 12-13 °C costante nel tempo e portata anch’essa pressoché costante nel tempo. Queste caratteristiche derivano dal lungo percorso sotterraneo che fanno le acque prima di emergere, e sono pure il motivo per cui le aree di risorgiva hanno rappresentato, nell’antichità, delle aree di primo insediamento in varie parti della Pianura Padana. Tutte queste caratteristiche favoriscono il formarsi di piccoli ambienti acquatici di alto pregio, con comunità vegetali e animali abbondanti e ben diversificate. Nonostante le dimensioni assai ridotte, le risorgive spesso presentano caratteristiche vegetazionali e faunistiche di notevole interesse scientifico che ne giustificano una attenta salvaguardia; questo senza contare le preziose informazioni sulla qualità delle acque di falda che una azione di monitoraggio (biologico oltre che chimico) potrebbe fornire. La notevole bellezza di questi relativamente piccoli geotopi-biotopi diventa, in aggiunta all’importanza scientifica, un

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 6 di 82

elemento decisivo in sede di pianificazione, soprattutto se si considera la generale povertà paesaggistica dei territori di pianura. Pertanto, la salvaguardia che dovrebbe basarsi su uno specifico progetto di valorizzazione, è quanto mai auspicata dai decisori politici, visto che tali ambienti sono ormai quasi scomparsi, o tanto degradati da pressioni antropiche dirette ed indirette da rendere difficile un loro possibile utilizzo in una pianificazione di tutela naturalistica.

Spesso un altro fattore che contribuisce alla scomparsa di questi biotopi-geotopi è l'abbandono delle pratiche colturali finalizzate al loro mantenimento. Si sottolinea nuovamente che, data la elevata sensibilità di questi ambienti in cui interagiscono equilibri idrogeologici, biologici ed antropici, le risorgive rappresentano un punto ove effettuare un monitoraggio dell'ambiente; in altre parole, esse possono fungere da "termometro" per misurare la "salute" della falda.

È bene però osservare come proprio in quest'area di risorgive si siano concentrati forti impatti quali quelli dell'attività estrattiva. Attualmente l'orlo di terrazzo alla base del quale si trovano le risorgive è conservato solo a tratti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 7 di 82

2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il sottosuolo dell'Alta Pianura Veronese è costituito in grandissima prevalenza da materiali sciolti grossolani ghiaioso-sabbiosi di origine fluvioglaciale, depositati dal fiume Adige a costituire grandi conoidi sovrapposte. Gli spessori accertati del materasso alluvionale superano i 200 m. A formare questo potente accumulo di materiali sciolti hanno contribuito, seppure in misura molto ridotta e solo lungo la fascia orientale della pianura, anche i corsi d'acqua provenienti dalle valli dei Monti Lessini. Occorre notare che il sottosuolo non risulta a composizione interamente ghiaiosa in tutto il territorio dell'Alta Pianura: infatti, nella fascia orientale, entro le alluvioni grossolane si individuano alcuni livelli limoso-argillosi (di qualche metro di spessore), caratterizzati da ampia continuità, tuttavia di potenza complessiva molto subordinata rispetto a quella delle alluvioni ghiaiose.

Verso sud le conoidi ghiaiose si rastremano progressivamente ma rapidamente, assottigliandosi e innestandosi entro depositi limoso-argillosi e sabbiosi, dove hanno termine: alcuni chilometri a valle della fascia delle risorgive, le ghiaie sono praticamente assenti almeno nei primi 100-150 m di profondità.

Il materasso alluvionale ghiaioso, dotato nel suo insieme di una permeabilità molto elevata, contiene una ricchissima falda di tipo freatico.

Al confine meridionale dell'Alta Pianura, la rastremazione progressiva e rapida delle singole conoidi ghiaiose entro materiali fini provoca una brusca evoluzione dall'unica grande falda esistente a monte ad un modesto sistema multifalde in pressione, e determina l'emergenza pressoché completa della prima falda attraverso i fontanili. La portata media complessiva dei fontanili veronesi è di 11-12 m³/s. Dal fitto sistema di risorgive hanno inizio numerosi e tipici corsi d'acqua (Molinello, Tione, Tartaro, Menago, ecc.), che caratterizzano in modo peculiare l'idrologia della Bassa Pianura (Figura 2).

Nell'Alta Pianura, la profondità media della superficie freatica varia da valori massimi di 40-50 m a valori minimi di 1-2 m. Le profondità maggiori si rilevano al limite settentrionale (Bussolengo, Pescantina): da qui i valori diminuiscono progressivamente verso il limite meridionale, dove la falda affiora a giorno nei punti più depressi della fascia delle risorgive.

Il sistema idrogeologico è alimentato dai seguenti fattori di ricarica: la falda di subalveo della grande vallata montana dell'Adige, che si riversa entro le alluvioni ghiaiose della pianura nella zona di Bussolengo-Pescantina, al limite settentrionale dell'Alta Pianura; l'infiltrazione degli afflussi meteorici diretti (la piovosità media annua del territorio è pari a 950 mm, che determina una infiltrazione di circa 300 mm, cui corrisponde una portata media annua di circa 3.5 m³/s); le falde di subalveo provenienti dalle valli dei Lessini (Valle di Fumane, di Negrar, Valpantena, Val Squaranto, Val Illasi); le infiltrazioni dalle acque irrigue sono state valutate in circa 1 m³/s come valore medio annuo.

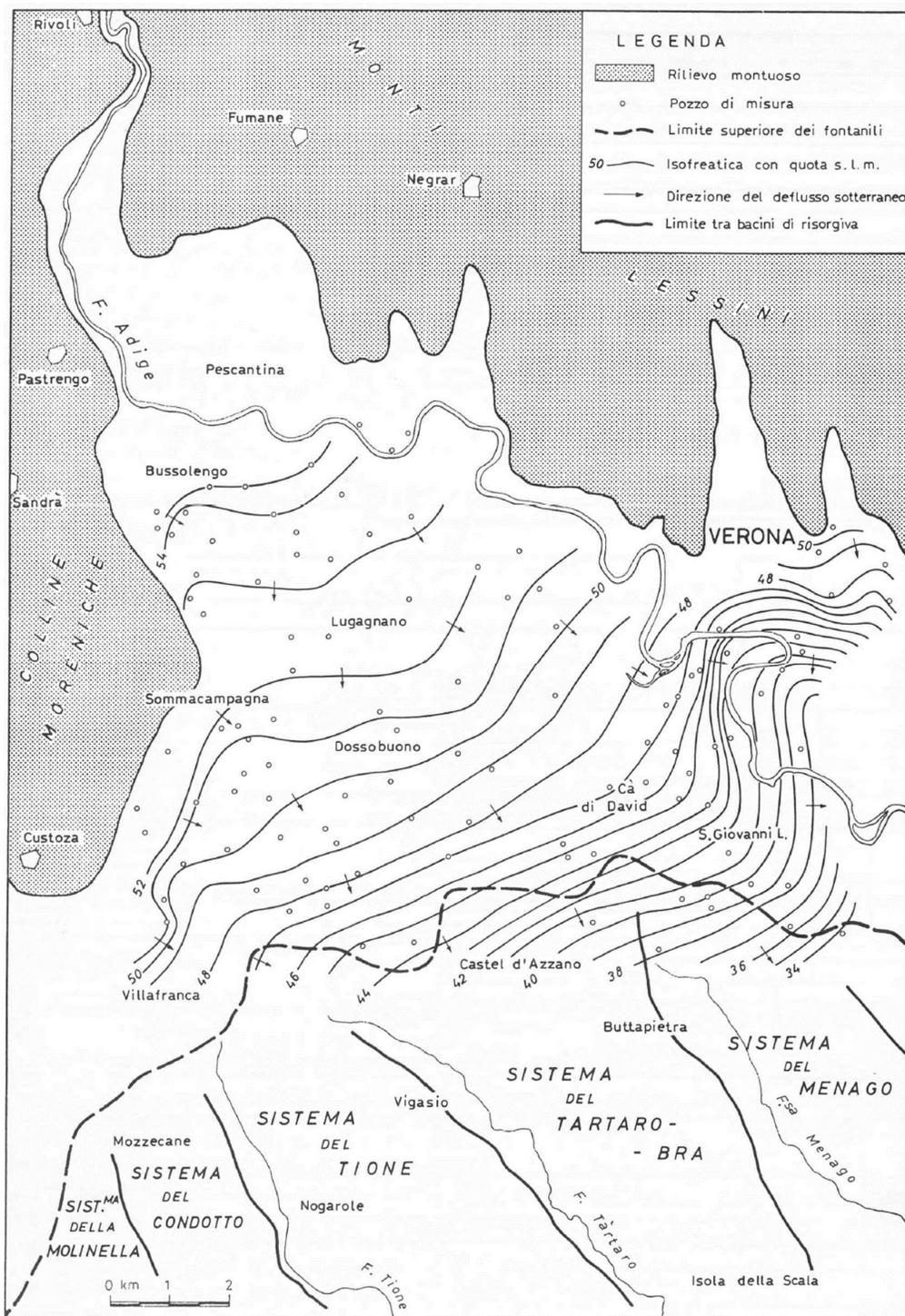


Figura 2 - Carta delle isofreatiche dell'Alta Pianura Veronese (da Dal Prà,, De Rossi, 1989).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 9 di 82

Di questi fattori alimentanti, certamente quello che determina l'effetto maggiore di ricarica è il deflusso sotterraneo proveniente dalla valle montana dell'Adige, la cui portata è stata stimata mediamente in una decina di m³/s.

La ricarica continua operata dalla falda di subalveo dell'Adige non solo provvede all'alimentazione del sistema idrogeologico dell'Alta Pianura, ma anche condiziona la direzione di deflusso delle acque sotterranee e il regime della falda. La direzione di deflusso della falda si sviluppa complessivamente da NNW verso SSE.

Il regime della falda è caratterizzato da un'unica fase di piena tardo-estiva e da un'unica fase di magra all'inizio della primavera ed è praticamente identico (con uno sfasamento di 2-3 mesi) a quello del fiume Adige (che alimenta indirettamente la falda con il suo deflusso di subalveo).

Le oscillazioni freatiche variano da valori massimi di oltre 10 m al limite settentrionale, a valori minimi inferiori a 1 m lungo la fascia dei fontanili.

I caratteri delle escursioni della superficie della falda nel tempo a scala regionale sono stati valutati con l'analisi dei dati di tutti i pozzi a lungo periodo di osservazione. L'esame ha consentito di precisare il valore delle oscillazioni, la loro variazione da zona a zona, la media annua e i valori estremi.

L'esame dei dati conferma, come era stato constatato in precedenti studi (Dal Prà e Antonelli, 1977), che le oscillazioni freatiche diminuiscono da monte a valle. Analizzando ad esempio la tabella seguente i dati dei pozzi FI-F2-CI0-F3, ubicati in progressione da monte a valle, si rilevano chiaramente tali diminuzioni.

Le escursioni osservate sono mostrate in Tabella 2 ed in Figura 3 (da Dal Prà, 1991, alcuni valori delle magre sono stimati e ottenuti dalla estrapolazione dei diagrammi di regime). In Figura 4 vengono mostrati i valori della profondità media dal p.c. (numeratore) e della quota s.l.m. (denominatore) della superficie freatica, mentre in Figura 5 vengono rappresentate le isolinee di massima quota di falda (il tutto da Dal Prà, 1991)

Tabella 2: escursione del livello di falda da misure in pozzo (Dal Prà et al., 1991).

<i>Pozzo</i>	<i>Periodo di osservazione</i>	<i>Esc. max. ass. (m)</i>	<i>Esc. media annua (m)</i>
F4	87-90	1.48	0.86
F5	87-90	6.21	4.48
F6	87-90	5.31	3.89
F7	87-90	4.92	3.65
F8	87-90	3.50	1.97
F9	87-90	2.20	1.36
F10	87-90	3.15	2.36
F11	87-90	2.50	1.88
F12	88-90	4.70	3.50
F13	87-90	4.15	3.50
V	88-90	3.85	3.22
Via Bixio	87-89	>3.77	2.18
Sonato	87-89	3.80	3.22

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	11	EI2RHR1000X001A	10 di 82

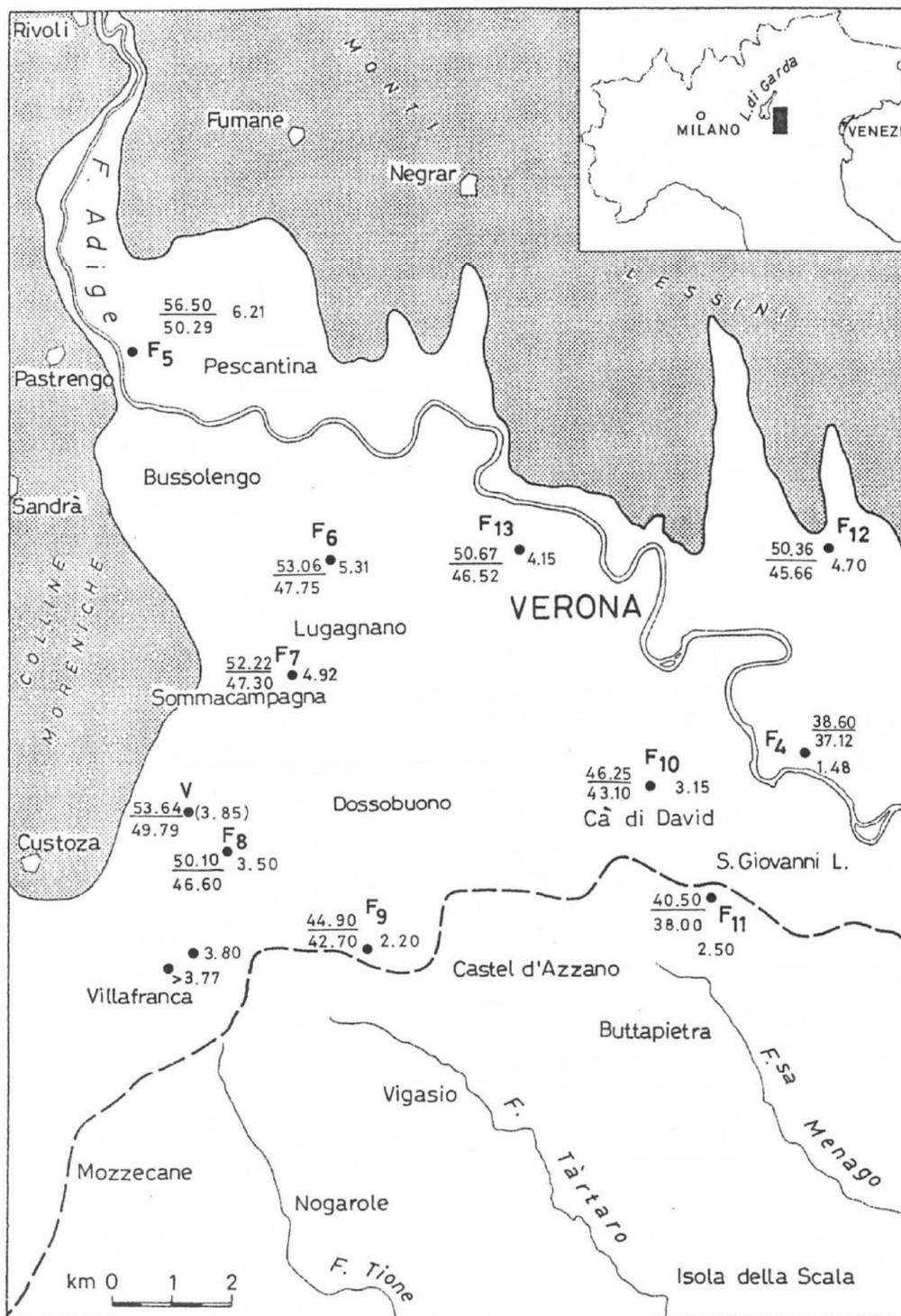


Figura 3 - Valori dell'escursione massima assoluta e delle quote massima e minima della falda freatica ai pozzi da F4 a F13, V e di 2 pozzi in Villafranca nel periodo 1987-1990 (da Dal Prà, 1991).

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	11	EI2RHR1000X001A	11 di 82

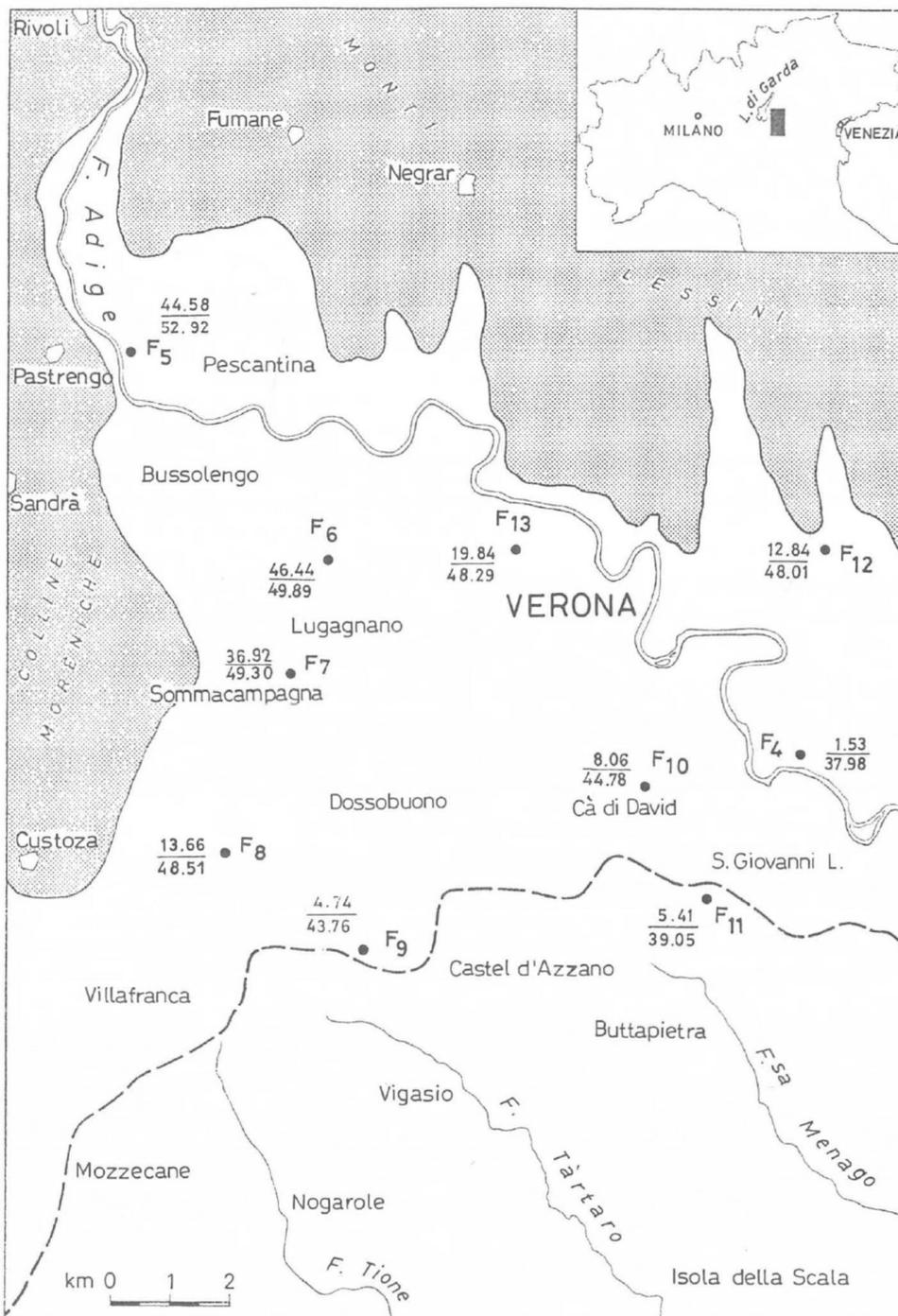


Figura 4 - Valori della profondità media dal p.c. (numeratore) e della quota s.l.m. (denominatore) della superficie freatica nel periodo 1987 -90 (da Dal Prà, 1991).

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHRI000X001A

Foglio
12 di 82

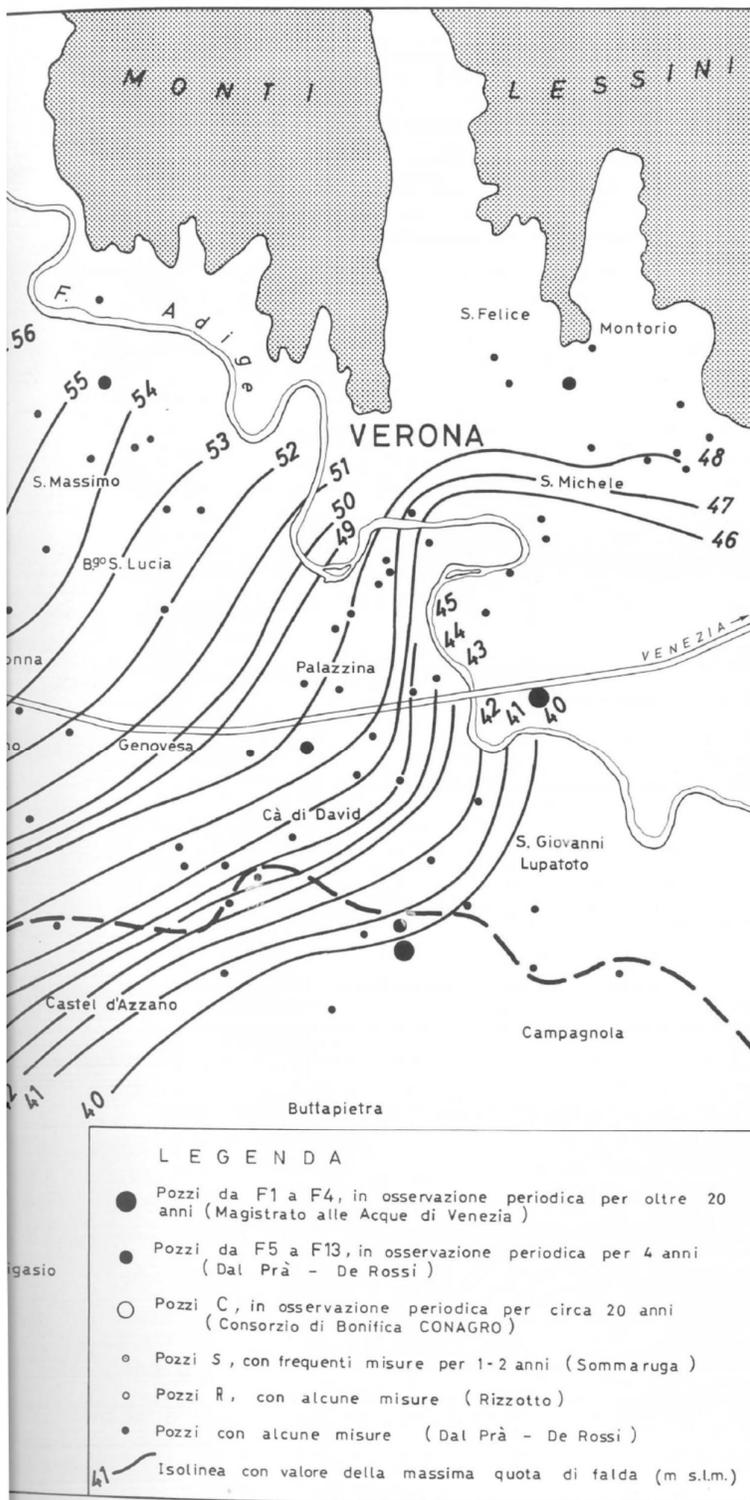


Figura 5 - Carta ad isolinee di massima quota di falda (da Dal Prà, 1991).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 13 di 82

L'unità idrogeologica dell'alta pianura alluvionale veronese, tra i rilievi collinari e la zona delle risorgive, costituisce una delle più cospicue risorse idriche sotterranee del Veneto (Sorbini et alii, 1984). L'acquifero freatico indifferenziato presenta una direzione di deflusso che va da Nord-Ovest a Sud-Est e, grazie all'elevata permeabilità ed omogeneità del sottosuolo, costituito principalmente da depositi ghiaioso-sabbiosi, le acque superficiali riescono facilmente ad infiltrarsi. La linea di saturazione si trova a profondità variabile dal piano campagna in funzione del gradiente e della topografia del territorio. In linea generale, la profondità della falda diminuisce da N verso SE, in accordo con la direzione di deflusso delle acque sotterranee. Le zone di media e bassa pianura sono contraddistinte dalla comparsa e dal progressivo aumento di livelli di sedimenti da fini a molto fini intercalati nelle sabbie e ghiaie. Il sottosuolo, in questo settore di pianura, è quindi caratterizzato da alternanze di orizzonti continui limoso-argillosi e strati permeabili, ovvero dalla sovrapposizione di acquicludi e/o acquitardi e di acquiferi talvolta in pressione (Dal Prà & Antonelli, 1977). Dal punto di vista idrogeologico si tratta di un sistema di acquifero multi-falda. Fra l'alta e la medio-bassa pianura, vi è una zona in cui la tavola d'acqua interseca la superficie topografica con conseguente venuta a giorno delle acque sotterranee in quella che viene comunemente denominata "fascia delle risorgive" (Figura 6). E' stata ampiamente verificata su tutto il territorio la soggiacenza media della falda (Dal Prà et alii, 1991); essa varia da oltre 40 metri nell'area di massimo spessore delle alluvioni ghiaiose (Pescantina e Bussolengo) a valori minimi di 1-2 metri lungo il margine meridionali dei conoidi (Villafranca, San Giovanni Lupatoto e Spezzapietra). La superficie freatica è soggetta, inoltre, ad oscillazioni annuali e di intensità decrescente procedendo da N (8-10 metri) verso S (1-1.5 metri) (Dal Prà & Antonelli, 1991), legate al regime delle precipitazioni e al regime idrologico dell'Adige.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
14 di 82

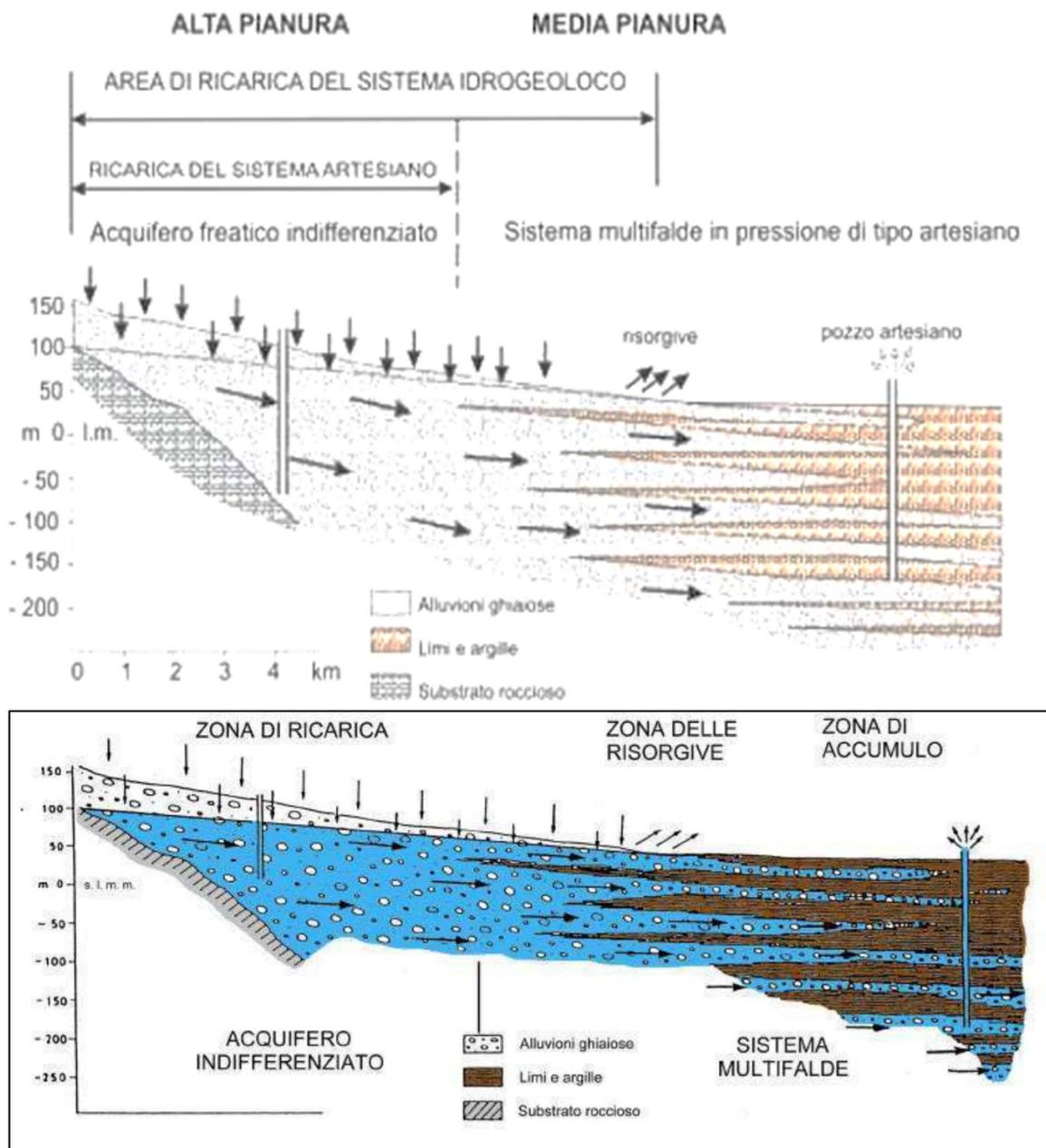


Figura 6 - Schema idrogeologico delle risorgive (da Dal Prà, 1971).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 15 di 82

3 RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI

L'analisi delle caratteristiche litostratigrafiche a scala regionale si è basata su una ricerca bibliografica che ha permesso di accedere a studi ed analisi specifiche sugli acquiferi dell'Alta Pianura Veneta. In particolare, nello studio di Baldassarre (2018) vengono realizzate quattro sezioni idrostratigrafiche (Figura 7), due dirette N-S e due W-E.

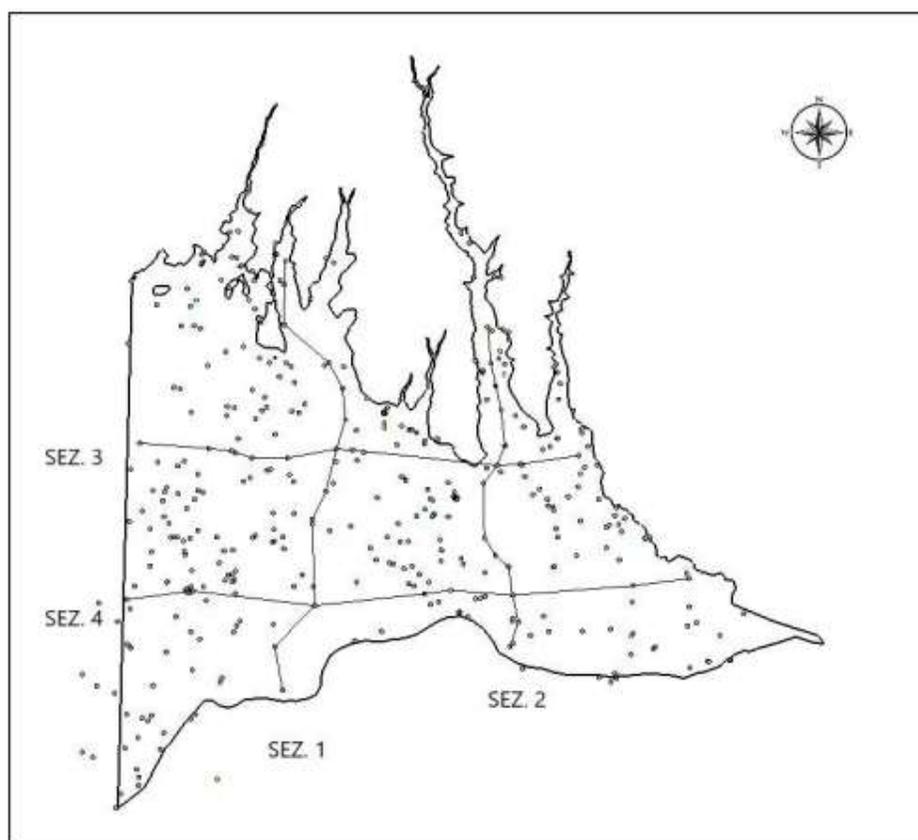


Figura 7 - Ubicazione delle sezioni idrostratigrafiche. I puntini rappresentano i pozzi dai quali sono state estrapolate le litologie (Baldassarre, 2018).

In linea generale la litologia predominante risulta essere la ghiaia, soprattutto nella porzione più occidentale dell'area mentre spostandoci verso Sud-Est, in prossimità della zona delle risorgive, aumentano i livelli di sabbia. In quasi tutte le stratigrafie, la continuità dei livelli di ghiaia e sabbia è interrotta da lenti di argilla dallo spessore di diversi metri mentre risultano rari i livelli di limo. Il substrato roccioso è presente solo nell'area settentrionale in prossimità delle Prealpi Venete, come mostrato nelle sezioni con direzione N-S.

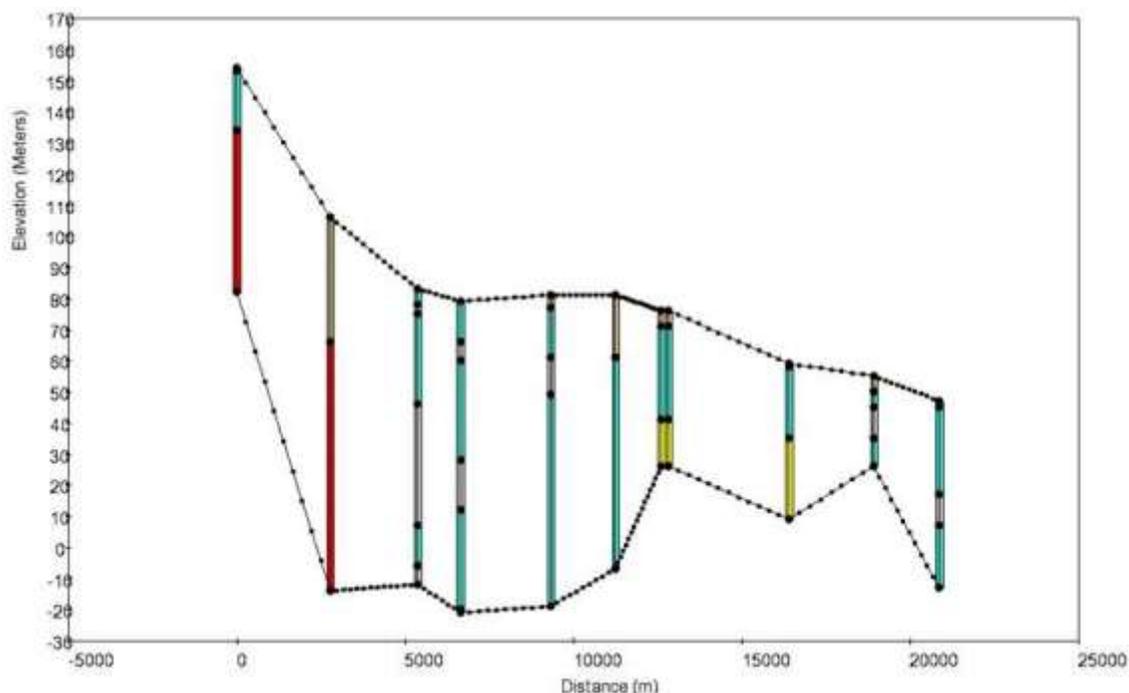


Figura 8 - Sezione stratigrafica 1. Direzione N-S. L'ubicazione della traccia è riportata in Figura 7, mentre la legenda delle litologie è presentata in Figura 12 (da Baldassarre, 2018).

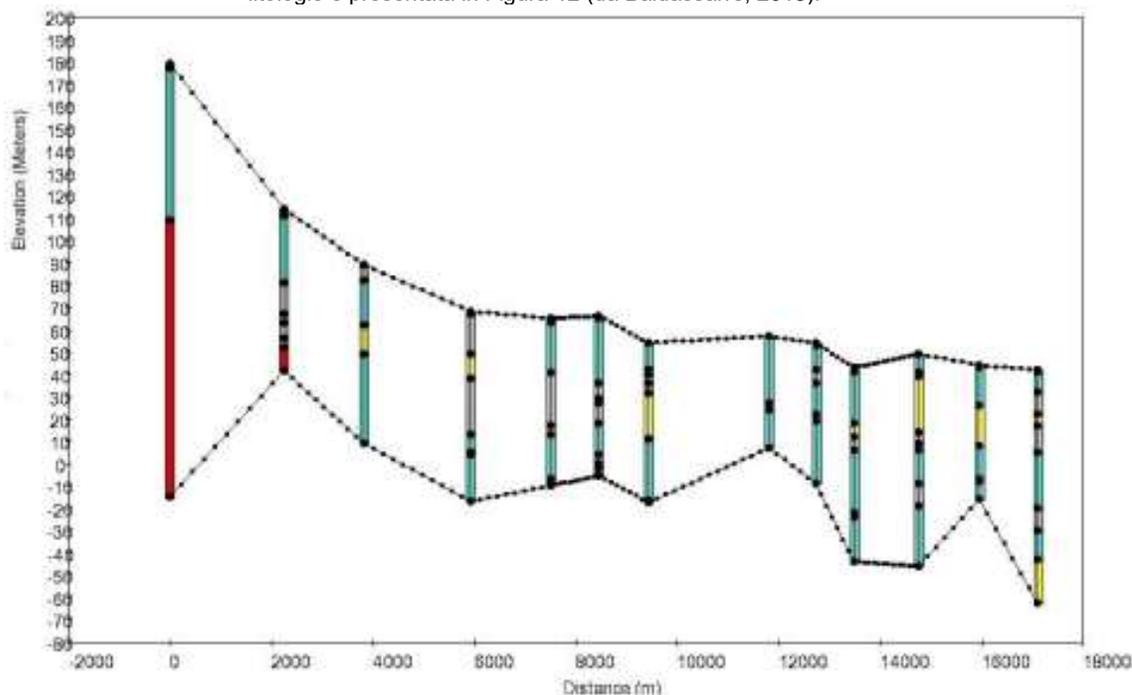


Figura 9 - Sezione stratigrafica 2. Direzione N-S. L'ubicazione della traccia è riportata in Figura 7 - Ubicazione delle sezioni idrostratigrafiche. I puntini rappresentano i pozzi dai quali sono state estrapolate le litologie, mentre la legenda delle litologie è presentata in Figura 12 (da Baldassarre, 2018).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 17 di 82

In questi due esempi si può ben vedere come varia la litologia dell'acquifero spostandoci dalla zona settentrionale (con quote superiori a 160 m s.l.m.), verso quella meridionale (con quote intorno ai 50 m s.l.m.). Il corpo centrale è composto in prevalenza da ghiaie, mentre nella parte più a S aumenta il contenuto di sabbia. Tutto ciò è confermato anche nelle sezioni 3 e 4 orientate W-E.

Nella sezione 3 (Figura 10), posta a quote maggiori, la ghiaia risulta essere la litologia predominante e i piccoli livelli di argilla, presenti nella porzione più ad E mostrano una certa continuità laterale.

La sezione 4 (Figura 11), posta nella porzione più meridionale dell'area, in corrispondenza della linea delle risorgive, risulta caratterizzata da un aumento del contenuto in sabbia. Per concludere possiamo affermare che, nonostante la presenza di lenti di argilla e sabbia discontinue, che si alternano spesso nelle successioni ghiaiose, il corpo alluvionale è caratterizzato da elevata omogeneità e dunque può essere considerato come un unico grande acquifero monostrato di tipo freatico. I dati idrogeologici utilizzati provengono dalle schede dell'ISPRA e dall'archivio digitale di UNIPD. Le informazioni utili ai fini di tale lavoro sono state trascritte in un foglio di lavoro Excel e sono:

- 1) Portata (Q in l/s), tale portata è stata individuata mediante delle prove a gradini di portata realizzate da ISPRA nella campagna di misure 2003. Questa prova permette di determinare la relazione che lega la portata di acqua estratta (Q) all'abbassamento prodotto (Δ) dal prelievo. In stato di riposo il livello di acqua nel pozzo corrisponde al livello statico della falda acquifera. L'azione di pompaggio dell'acqua dal pozzo provoca un progressivo abbassamento del livello fino al raggiungimento del cosiddetto livello dinamico.
- 2) Portata Massima e Portata di Esercizio espresse in (Q_{max} e Q_{es} in l/s).
- 3) Posizione e lunghezza filtri espressi in (m); A partire dai dati delle prove di pozzo sono calcolati: la Capacità Specifica (SC in m^2 / s) e la Trasmissività (T in m^2 / s). Per calcolare la SC è stato necessario trasformare la portata da (l/s) a (m^3 / s) e successivamente si è proceduto applicando l'Equazione (1):

$$SC = Q/\Delta \quad (1)$$

dove: SC= Capacità Specifica (m^2 / s), Q= portata (m^3 / s), Δ = abbassamento (m).

Ottenuti i valori di SC è stato possibile calcolare la T mediante l'Equazione (2), (Fabbri & Piccinini):

$$T = 5 * SC \cdot 1.043 \quad (2)$$

dove: T=Trasmissività (m^2 / s).

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
18 di 82

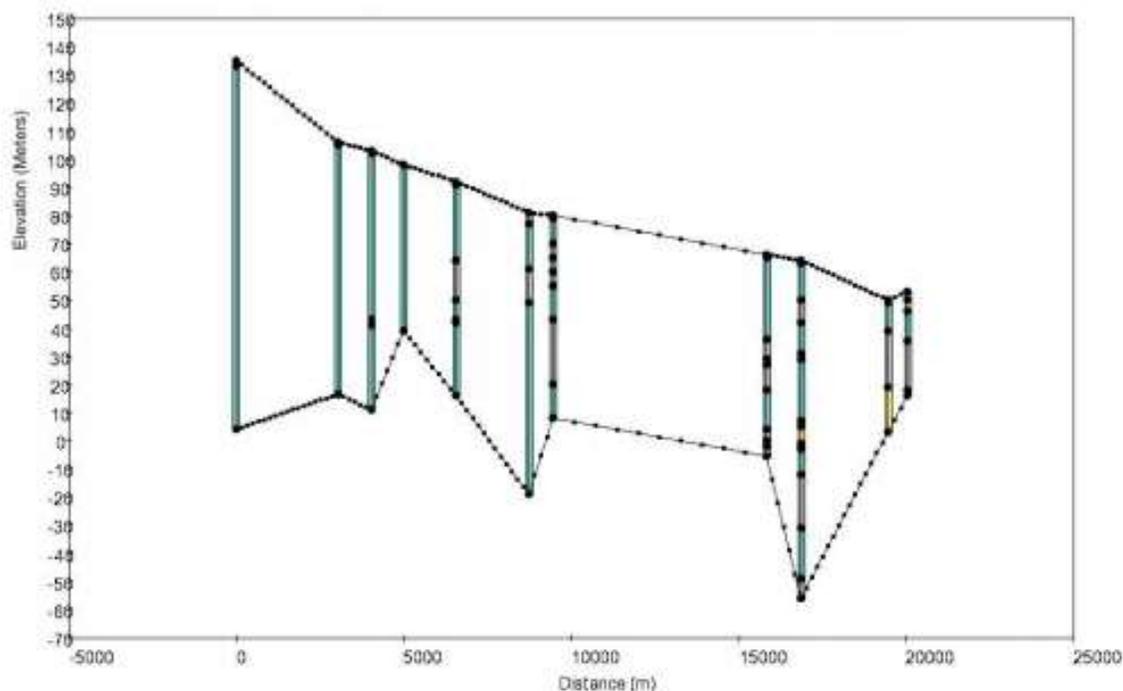


Figura 10 - Sezione stratigrafica 3. Direzione W-E. L'ubicazione della traccia è quella riportata in Figura 7, mentre la legenda delle litologie è presentata in Figura 12 (da Baldassarre, 2018).

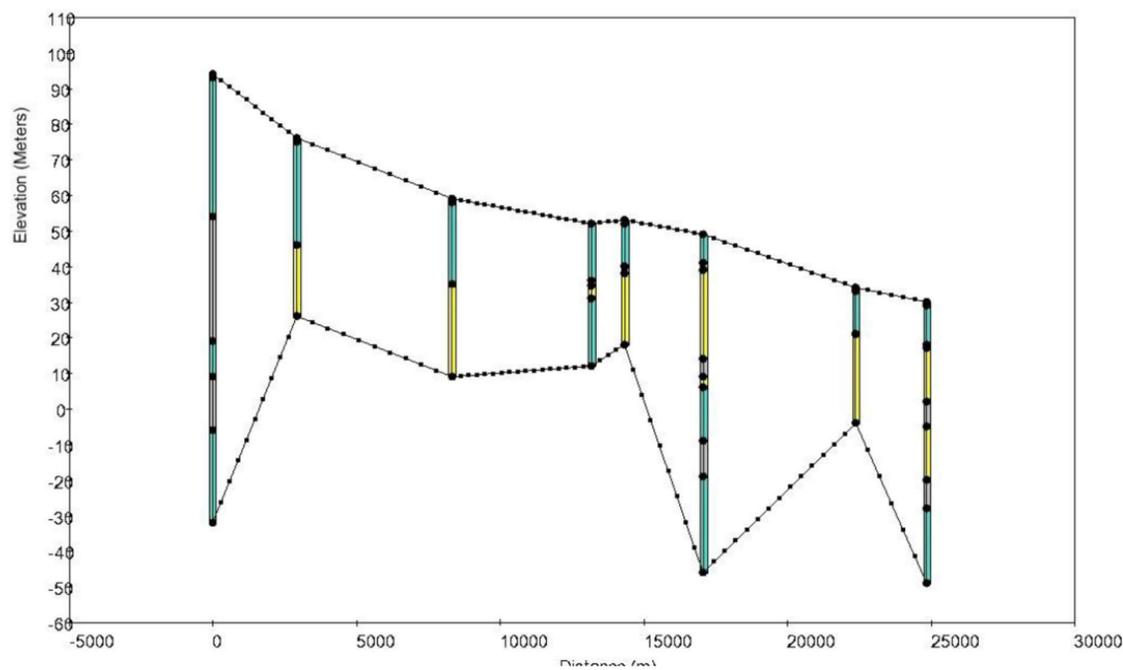


Figura 11 - Sezione stratigrafica 4. Direzione W-E. L'ubicazione della traccia è quella riportata in Figura 7 mentre la legenda delle litologie è presentata in Figura 12.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 19 di 82

Dalla mappa delle trasmissività di Figura 12 si può vedere come tutta l'area sia caratterizzata da valori di trasmissività T abbastanza omogenei, che ricadono nel range compreso tra 0.05 e 0.01 m²/s. Valori più alti di T, prossimi a 1 m²/s, si hanno nella zona centrale e nella parte nord-occidentale dell'area. Molto probabilmente si tratta di paleovalvei del fiume Adige. Mentre valori più bassi si hanno soprattutto in corrispondenza del margine settentrionale, in prossimità delle Prealpi, e quindi riconducibili ad una variazione della litologia dei materiali e all'orografia del territorio. Per supportare tale ipotesi sono state realizzate 4 sezioni idrostratigrafiche, di cui N. 3 in prossimità delle zone in cui si hanno valori di T molto elevati (sezione 1, sezione 2, sezione 3) e N. 1 sezione nella zona in cui si hanno valori molto bassi (sezione 4), sempre da Baldassarre, 2018 (cfr. Figure 13-16).

Nelle sezioni realizzate nelle aree con T elevata (sez. 1,2 3), la presenza della ghiaia come litologia dominante giustifica valori alti e conferisce maggiore validità all'ipotesi precedentemente formulata sulla possibile presenza di paleovalvei del fiume Adige. Allo stesso modo, nella sezione 4 la causa di valori bassi di T è attribuibile alla presenza del substrato roccioso a profondità modesta.

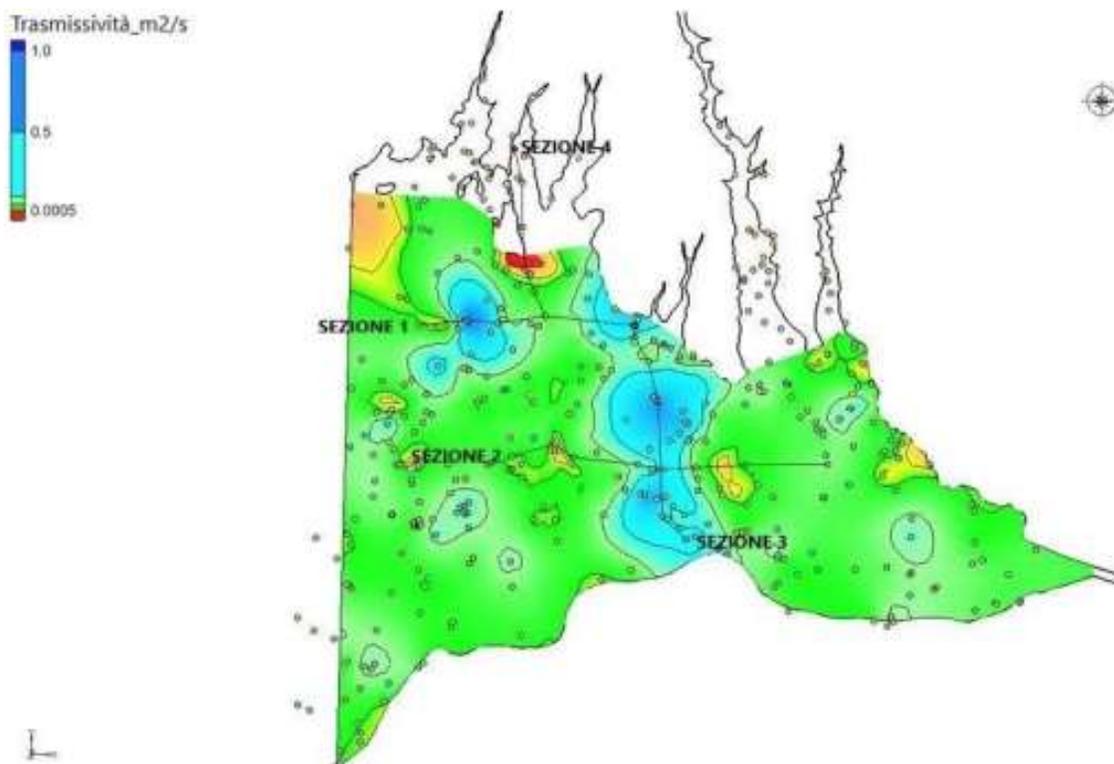
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHRI000X001A

Foglio
20 di 82



n° intervallo	Range	Colore
1	0.0005	Red
2	0.001	Orange
3	0.005	Yellow
4	0.01	Light Green
5	0.05	Green
6	0.1	Cyan
7	0.5	Blue-Cyan
8	1	Blue

Figura 12 - Mappa di trasmissività T realizzata mediante il software GMS. I puntini rappresentano i sondaggi dai quali è stata estrapolata la litologia del substrato. Vengono riportate le 4 sezioni idrostratigrafiche di Figure 13-16 (da Baldassarre, 2018).

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHRI000X001A

Foglio
21 di 82

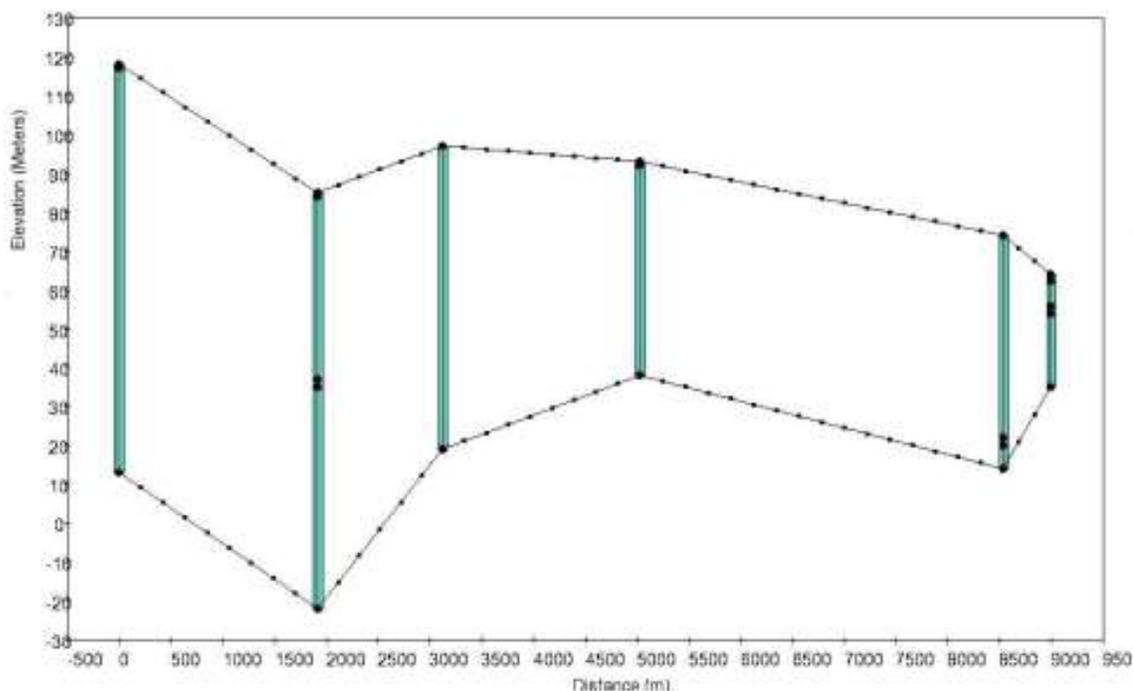


Figura 13 - Sezione 1, a direzione W-E (da Baldassarre, 2018).

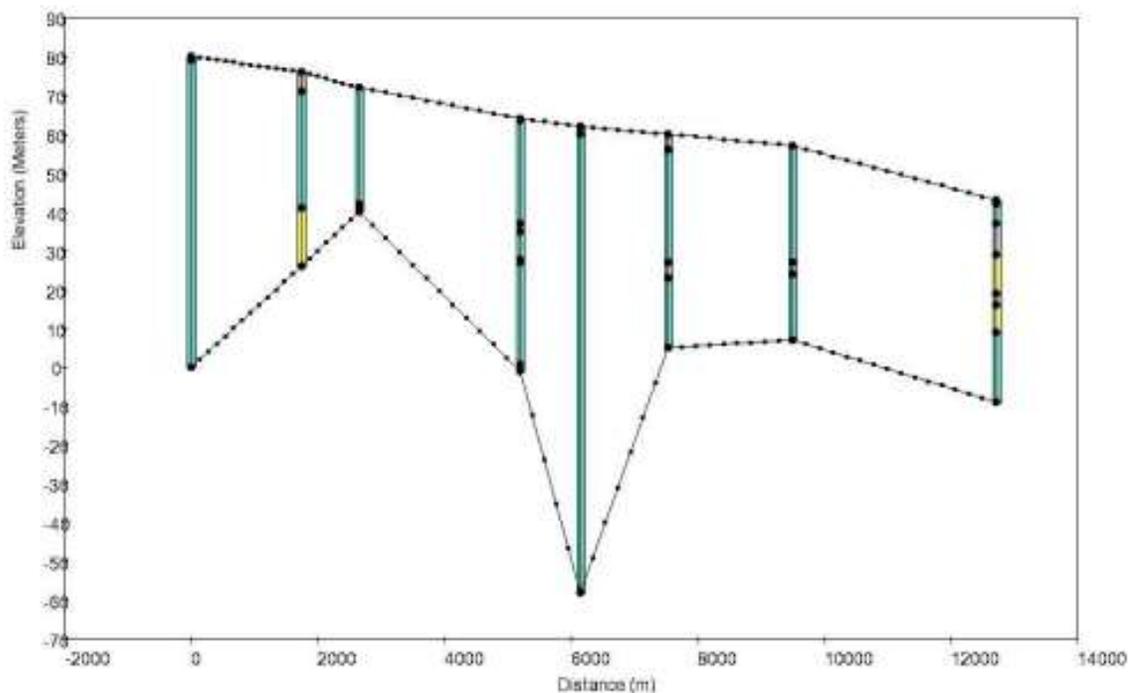


Figura 14 - Sezione 2 a direzione W-E (da Baldassarre, 2018).

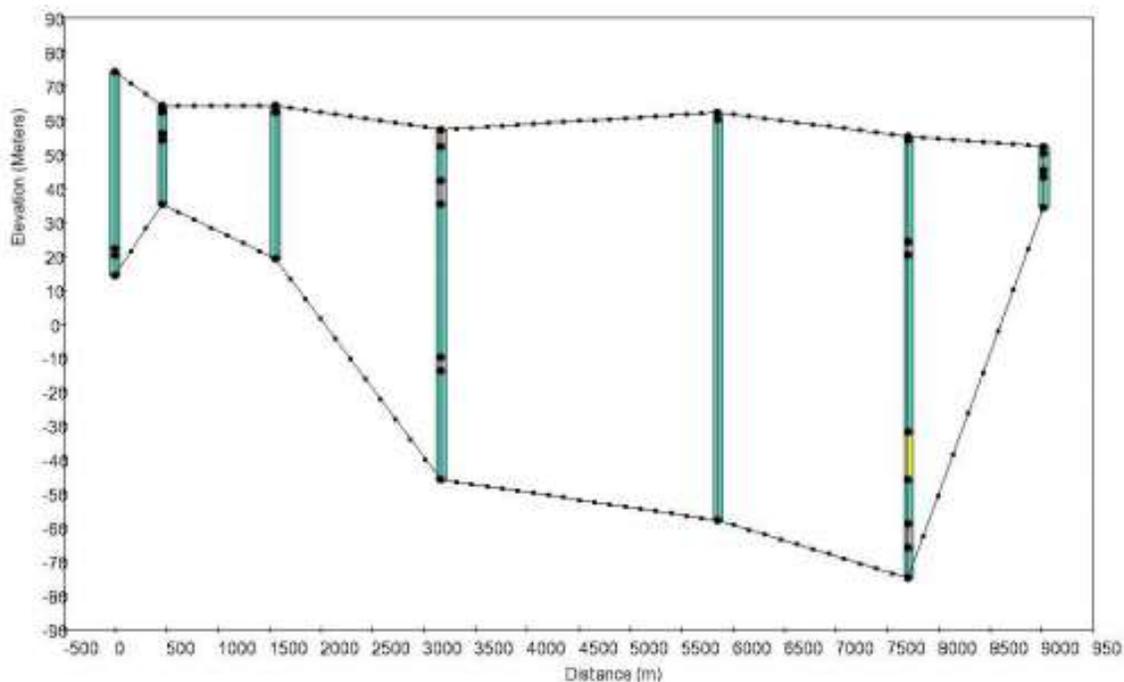


Figura 15 - Sezione 3 a direzione N-S (da Baldassarre, 2018).

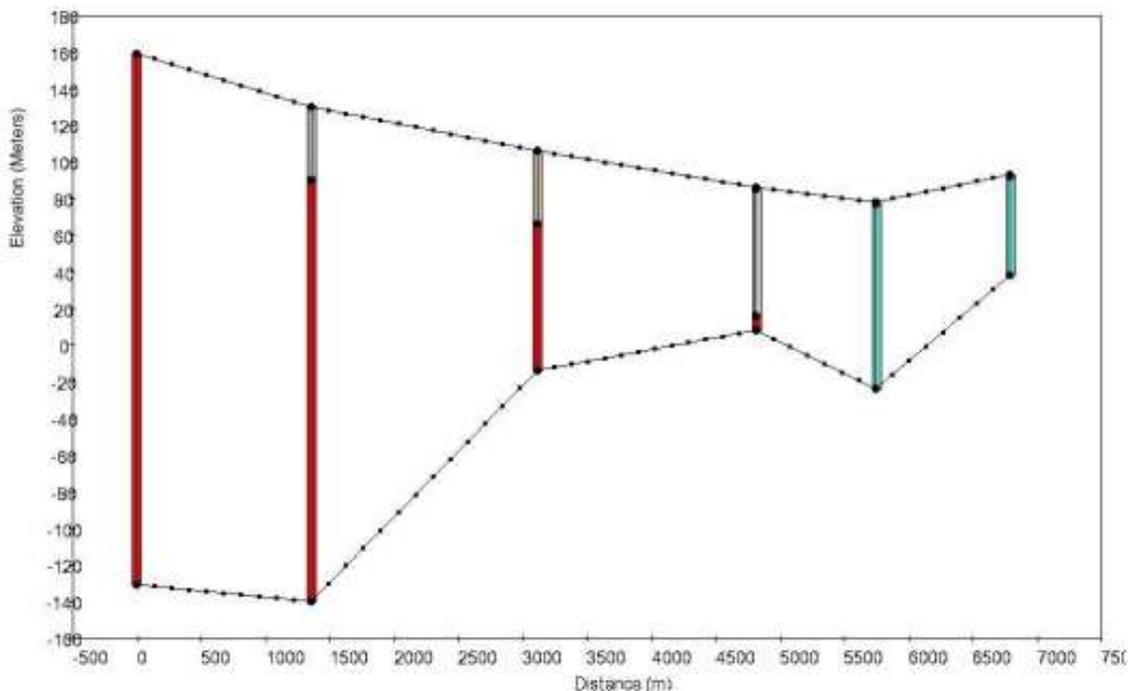


Figura 16 - Sezione 4 a direzione N-S (da Baldassarre, 2018).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 23 di 82

4 LIVELLI IDROMETRICI

Per poter rappresentare la relazione esistente tra il Fiume Adige e l'acquifero freatico di alta pianura e della porzione apicale di media pianura sono stati raccolti dati relativi ai livelli idrometrici del fiume dal 2005 al 2017. Tali dati sono disponibili sul sito dell'ARPAV (<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/idrologia/dati>) e sono riferiti a due stazioni idrometriche situate a Verona e ad Albaredo (Figura 16). Sono state riportate tutte le misure giornaliere del livello idrometrico registrate in entrambe le stazioni e la relativa quota dello zero idrometrico, che risulta essere pari a 53.3 m s.l.m. per la stazione di Verona e 23.59 m s.l.m. per la stazione di Albaredo. Confrontando i valori medio annui del livello idrometrico registrati nelle due stazioni (Tabella 3) si nota un andamento simile, legato al regime delle precipitazioni (Figura 17).

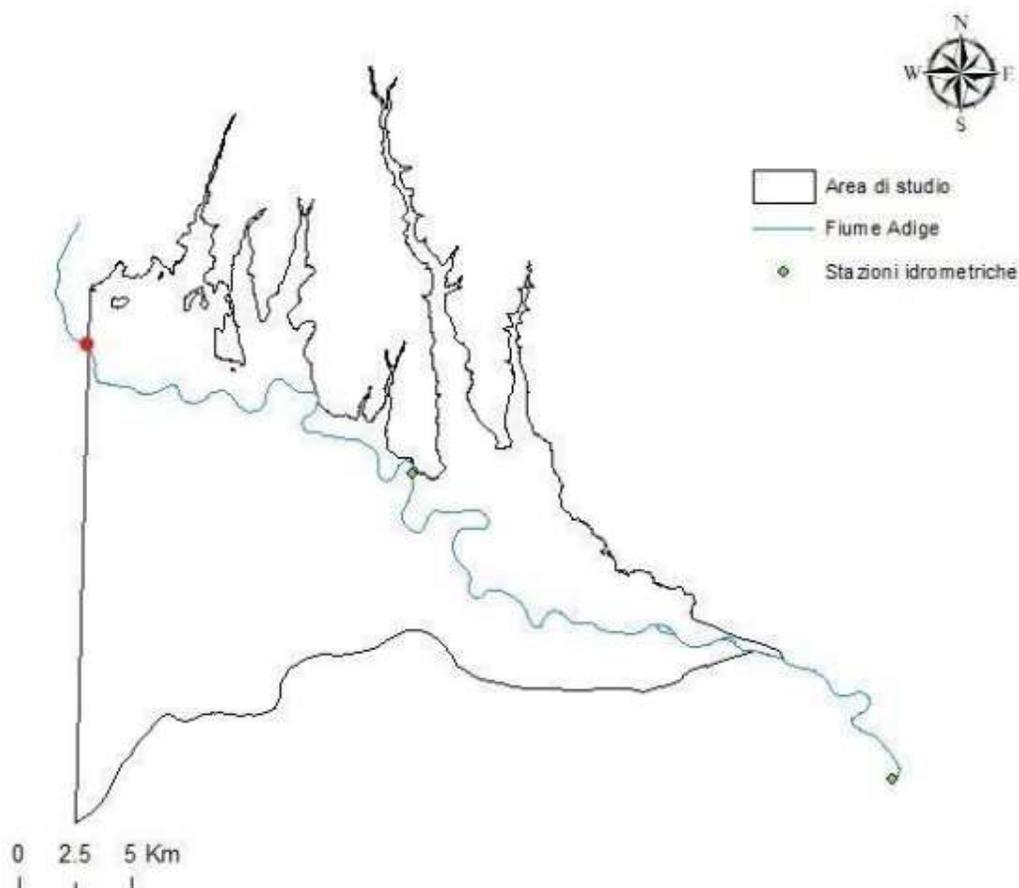


Figura 17 - Posizione delle stazioni di misura del Fiume Adige (Verona e Albaredo) nelle quali viene monitorato il livello idrometrico del fiume da parte di ARPAV. Il punto rosso in alto a sinistra rappresenta una stazione aggiuntiva utilizzata ai fini della realizzazione del modello per la definizione della *boundary river* (da Baldassarre, 2018).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 24 di 82

Tabella 3 - Valore medio annuo del livello idrometrico registrato nelle stazioni di Verona ed Albaredo dal 2007 al 2017.

Livello idrometrico medio annuo- Verona	Livello idrometrico medio annuo -Albaredo	anno
2.09	7.88	2007
1.76	7.36	2008
1.72	7.27	2009
1.66	7.20	2010
1.88	7.57	2011
1.86	7.64	2012
1.69	7.17	2013
1.37	6.76	2014
1.99	7.77	2015
1.89	7.75	2016
2.07	8.10	2017

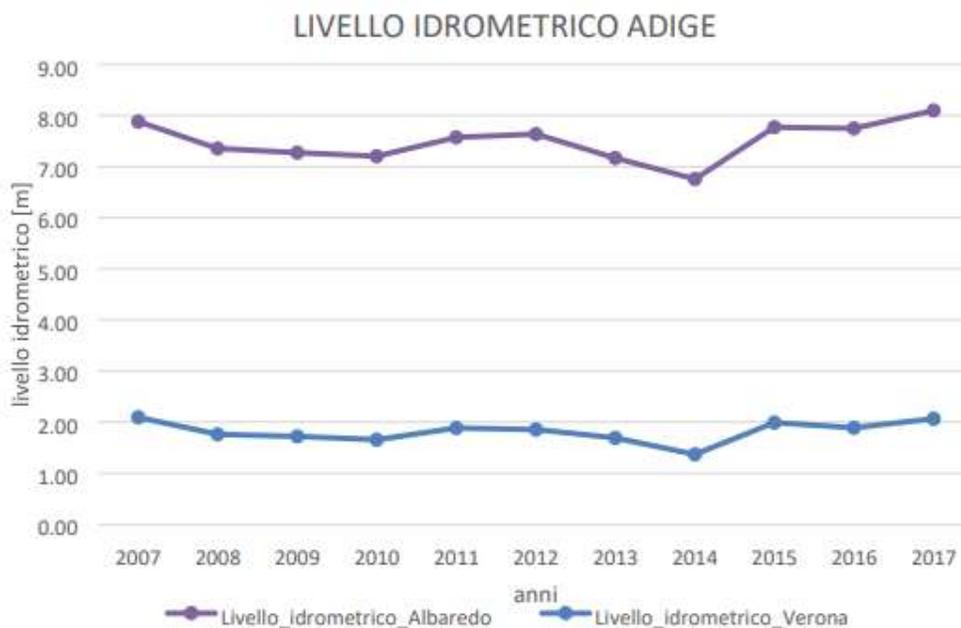


Figura 18 - Confronto tra i valori di livello idrometrico medio annuo registrati nelle stazioni di Verona e di Albaredo, dal 2007 al 2017 (da Baldassarre, 2018).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 25 di 82

Ai fini dell'interazione acque sotterranee/acque superficiali, è stato necessario ricostruire il livello del Fiume Adige verso monte rispetto alle stazioni idrometriche disponibili. Questo è stato posizionato in prossimità dell'intersezione tra il perimetro del dominio e il Fiume Adige, e vi è stato calcolato il livello idrometrico a partire dai valori noti nelle due stazioni di Verona ed Albaredo, ammettendo che il gradiente del fiume non subisca variazioni significative (pallino rosso in Figura 16). È stato così possibile ricostruire il livello idrometrico sull'intero tratto del fiume che attraversa il dominio e calcolare il carico idraulico presso le stazioni di misura (Tabella 4).

Tabella 4 - Valori medi di carico idraulico (H) calcolati nelle 3 stazioni di misura.

NOME STAZIONE	CARICO IDRAULICO (m)
River IN	72.92
Stazione Adige	51.43
Stazione Albaredo	16.37

5 RILIEVI FREATIMETRICI

Una parte della raccolta dei dati freaticometrici nell'area di studio è mutuata dalla letteratura esistente. Per prima cosa sono stati raccolti dati riguardanti le coordinate e il numero dei pozzi da misurare. Questi dati provengono dal sistema informativo del comune di Verona ("SITI"; <https://mapserver4.comune.verona.it/siti/>, Figure 19, 20 e 21). Per ogni pozzo sono state reperite le informazioni circa: ID, quota del boccaforo, profondità e coordinate. Il numero dei pozzi totali presenti nell'ambito analizzato ammonta a 267.

Dal processo di calibrazione è stato possibile ricostruire l'andamento del carico idraulico (Figura 21). Si può osservare come il carico idraulico si abbassi progressivamente da NW, dove si ha il valore massimo di 59 m s.l.m., verso SE dove si ha il valore minimo di 25 m s.l.m. Si tratta di una ricostruzione che riproduce quanto più fedelmente il regime idraulico dell'area.

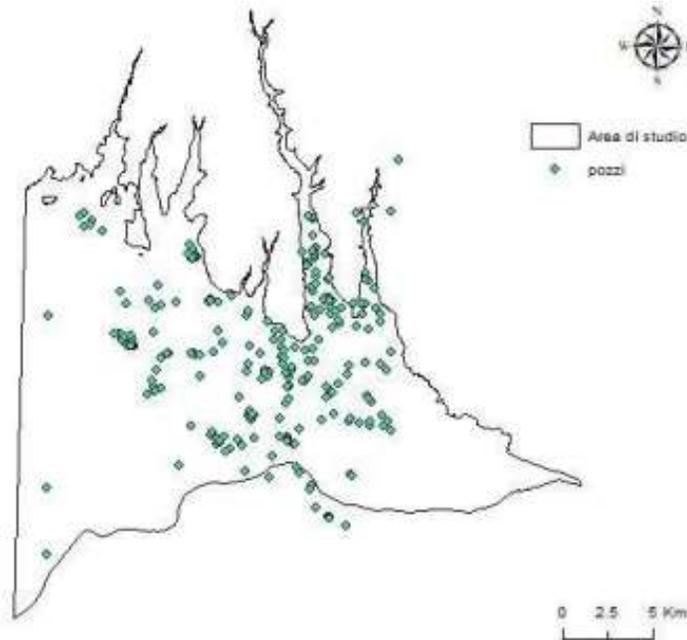


Figura 19 – Ubicazione dei pozzi privati e pubblici, censiti (sistema informativo del Comune di Verona; SITI, da Baldassarre, 2018).

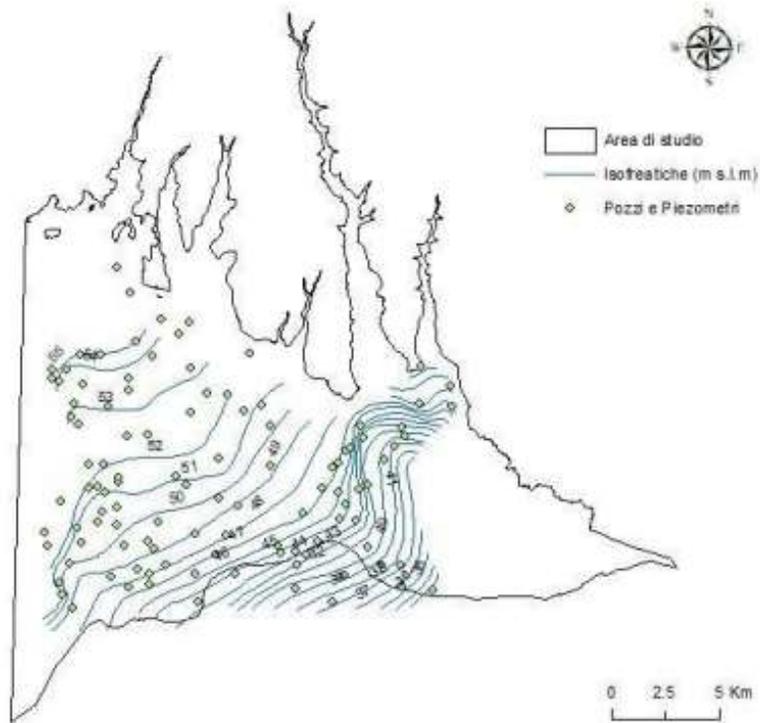


Figura 20 - Isofreatiche della Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige (Dal Prà & De Rossi, 1986, da Baldassarre, 2018)

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHRI000X001A

Foglio

27 di 82

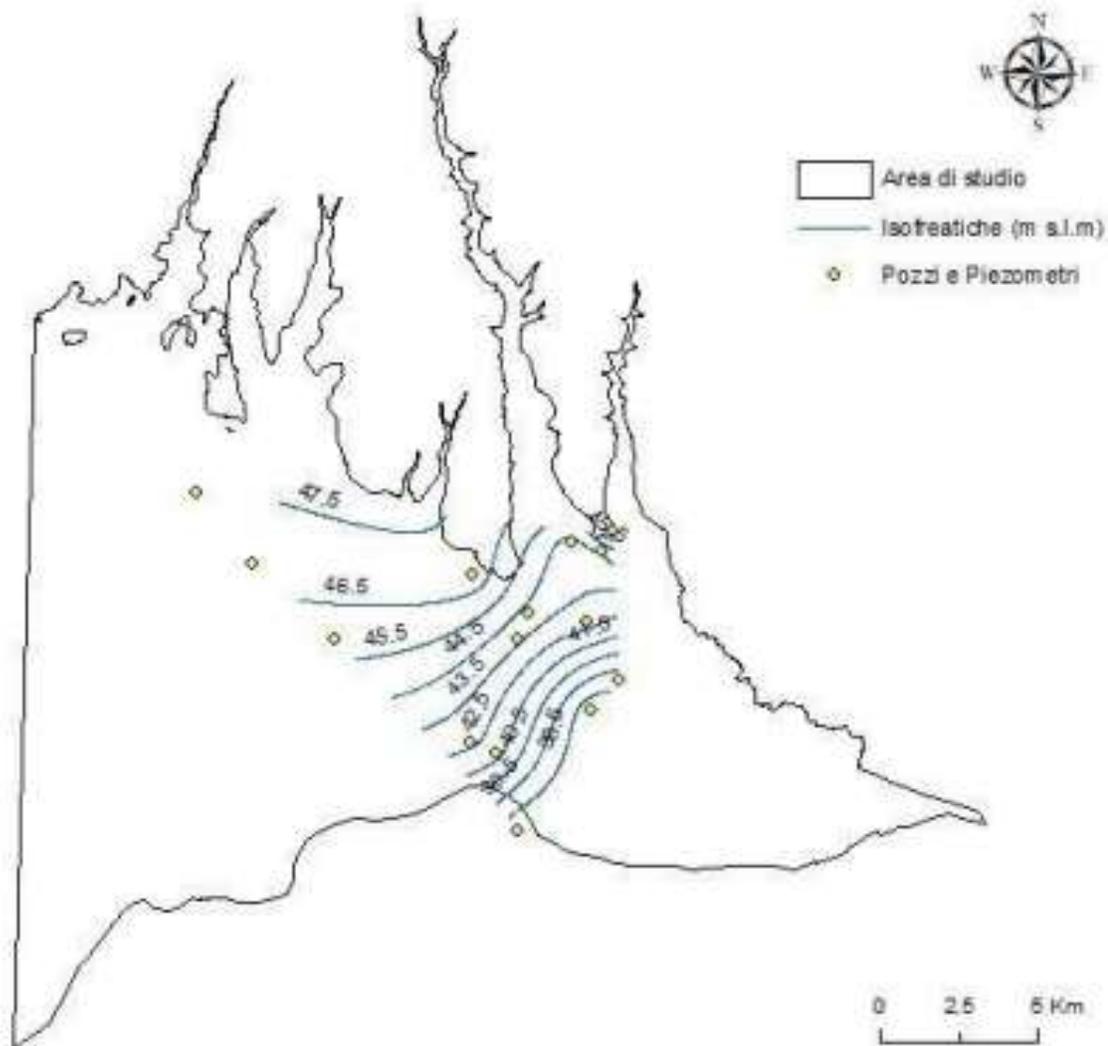


Figura 21 - Carta delle isofreatiche di L. Menapace, carta realizzata mediante dati raccolti durante la campagna freaticometrica realizzata nel dicembre 2017 (da Baldassarre, 2018)

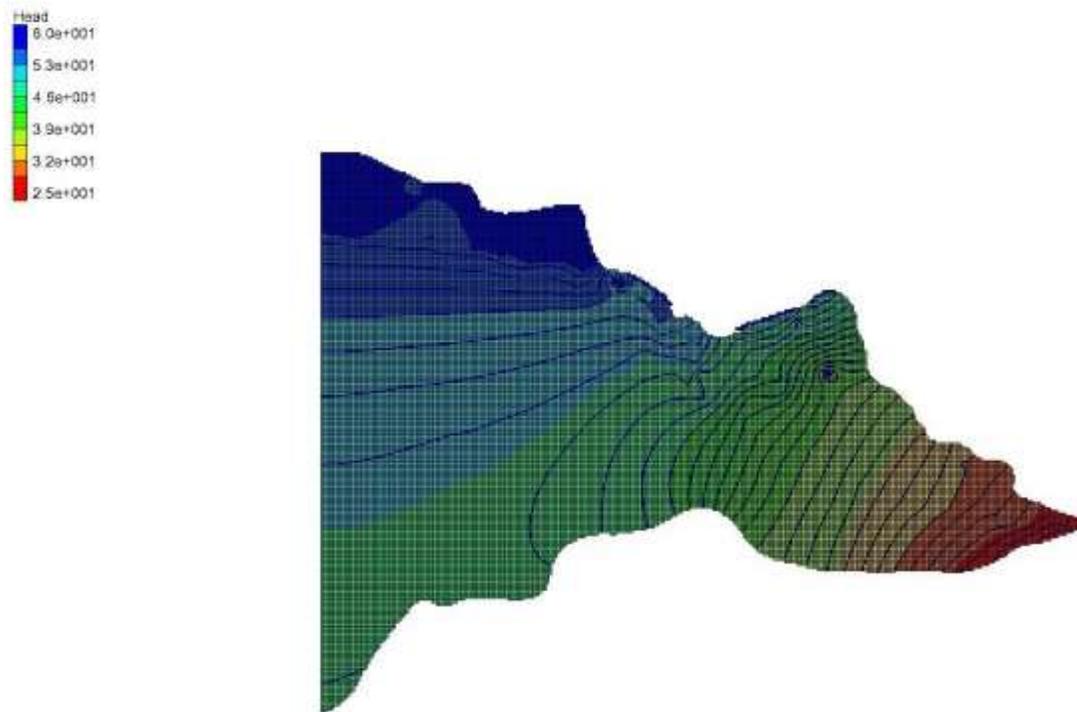


Figura 22 - Andamento del carico idraulico ottenuto dal processo di calibrazione (da Baldassarre, 2018).

Con specifico riferimento alla zona di interesse, le perforazioni realizzate nell'ambito del progetto in questione (fasi PD e PE) sono le seguenti:

- SPA2
 - anno di perforazione: 2015
 - ubicazione approssimativa: km 1+570
 - profondità: 20 m
 - installazione: piezometro tubo aperto - tratto filtrante: tra 3 e 20 m da bf
 - minima soggiacenza rilevata (data della misura): 1.22 m da bf (rilevata in fase di perforazione il 31.05.2018)
 - massima quota piezometrica rilevata: 45.28 m
 - media quota piezometrica: 44.56 m
- BH - -PZ-02
 - data realizzazione: 22/12/2020
 - ubicazione: Km 1+230
 - Profondità: 20 m
 - Installazione: -
 - Litologia prevalente: sabbia e ghiaia

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 29 di 82

- BH-PZ-PE-03
data realizzazione: 18/01/2021
ubicazione: 1+280
Profondità: 50 m
Installazione: piezometro tubo aperto – tratto fessurato: 5-22 m
Litologia prevalente del tratto filtrante: sabbia e limo

6 CARATTERI E PROFONDITÀ DELLA FALDA FREATICA

Per la valutazione del parametro soggiacenza sono stati utilizzati dati derivanti da:

- Misure realizzate per il precedente studio geologico per il P.R.G. (anno 2000).
- Misure su pozzi freatici esistenti e su fori di sondaggio (trivellate) realizzate per il “Piano globale...” (1997).
- Misure e relazioni reperite presso gli uffici comunali.
- Rete di monitoraggio delle acque sotterranee realizzata dal Centro Ricerche S.A.R. per il “Piano di riqualificazione delle aree estrattive del Comune di Verona“ comprendente alcuni punti di misura in comune di San Martino con misure mensili dal novembre 1993 al novembre 1994.
- Misure di soggiacenza eseguite nel corso del progetto tra novembre 2014 e novembre 2020.

La valutazione della soggiacenza viene fatta usualmente in fase di piena ordinaria. Tale valutazione teoricamente necessiterebbe di misure su numerosi pozzi per diversi anni; in assenza di un dato così sistematico ci si è basati su un gran numero di misure edite ed inedite (seppur non sistematiche, data l'assenza di punti di monitoraggio nel territorio). I valori, quando possibile, sono stati confrontati con il regime della falda al “Pozzo Spezzapietra”, riportato negli "Annali idrologici" in modo da standardizzare i dati alla piena normale. Le misure di soggiacenza sono state eseguite esclusivamente sulla falda freatica. Infatti, nel sottosuolo del territorio comunale di San Martino Buonalbergo si localizzano una falda freatica e altre falde per lo più semi-confinata. Per l'interpolazione dei dati si sono utilizzati i dati del gradiente idraulico e l'andamento del microrilievo. Osservando l'andamento della soggiacenza, si evidenzia come esistano fasce con profondità della falda differente procedendo da Nord a Sud. Questo è motivato sia dall'andamento dei deflussi da nord a sud, sia dalla presenza di importanti elementi geomorfologici come il terrazzo che limita a sud l'antico conoide ed il terrazzo, meno marcato, che a nord separa la parte “sovralluvionata” della Val Marcellise dall'antico conoide dell'Adige.

Procedendo da nord a sud si può osservare come nell'alta Val Marcellise la profondità di falda sia compresa tra 8 e 16 metri; va osservato però che i punti di misura sono tutti vicini ai versanti e possono quindi interessare acquiferi in roccia e detriti di falda. Nella zona vicina all'asse della valle

è possibile che la falda presenti profondità maggiori o sia assente; la bassa Val Marcellise viene indicata con falda a profondità maggiore di 16 metri, ed un pozzo perforato fino ad oltre cento metri verso il centro della valle è risultato asciutto. Va però osservato come i materiali fini (argille e limi) caratterizzanti tale area contengano sorgenti di origine non precisata e falde sospese.

Spostandosi dalla Val Marcellise all'area di pianura sottostante fino all'orlo del terrazzo tra l'antico conoide dell'Adige e l'attuale piano di divagazione dell'Adige si trova una vasta zona ove la falda si localizza ad una profondità compresa tra 4 e 8 metri. Alcune aree limitate, hanno falda a profondità maggiore di 8 metri (a nord della Corte Bonettone), mentre varie aree che sono state soggette ad escavazione hanno la falda a profondità inferiore ai 4 metri.

Il terrazzo che separa l'antico conoide dell'Adige dal piano di divagazione dell'Adige fa affiorare la falda freatica nelle risorgive. Di conseguenza, la presenza del terrazzo porta ad un'improvvisa variazione della soggiacenza della falda che in una fascia subito a valle di questo è sub-affiorante.

Spostandosi ulteriormente a sud la falda gradualmente torna ad avere soggiacenza maggiore, superando nuovamente i 4 metri di profondità dal piano campagna ai margini meridionali del comune di San Martino.

Gli unici dati disponibili nelle immediate vicinanze della sezione di progetto sono quelli del piezometro SPA2 (Figura 23) tra il 27/03/2014 e il 26/11/2020, i quali mostrano un andamento della falda in linea con le conoscenze acquisite: i periodi di massima piezometrica corrispondono con la fine della primavera (massimo valore=45.3 m s.l.m. il 31/05/2018) mentre i minimi cadono alla fine dell'autunno (minimo valore = 43.7 m s.l.m. il 28/11/2017). L'escursione di falda registrata è di poco inferiore ai 2 metri ed il livello medio si pone a 44.556 m s.l.m.

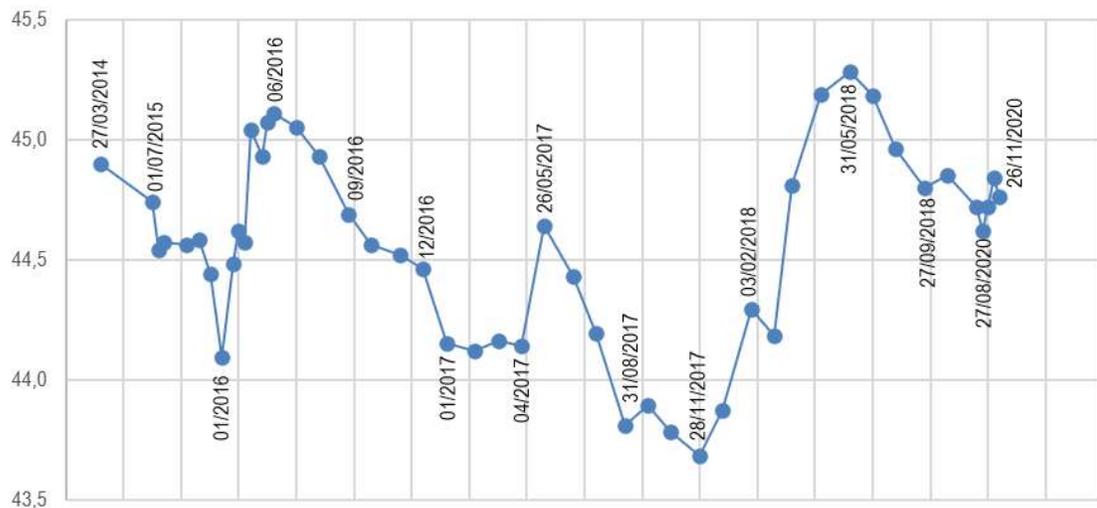


Figura 23 - Andamento del livello piezometrico nell'installazione SPA2 tra marzo 2014 e novembre 2020.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 31 di 82

7 STRUTTURA IDROGEOLOGICA PROFONDA

7.1 Unità idrogeologica delle alluvioni dell'Adige e del Fibbio

I numerosi dati stratigrafici raccolti consentono di delineare le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo di quest'area. Di seguito si riporta una descrizione delle caratteristiche stratigrafiche suddivise per aree omogenee.

- Area tra l'autostrada e il terrazzo.
In quest'area si hanno poche stratigrafie che si sono spinte ad una profondità superiore ai 30-40 metri. Sembra comunque essere ancora presente un sottile strato impermeabile a circa 20 metri di profondità e si conferma la presenza di uno strato impermeabile più spesso a circa 50-60 metri.
- Area tra il terrazzo ed il fiume Adige
Anche in questa zona si hanno poche stratigrafie profonde oltre i 30-40 metri che confermano la presenza di un livello impermeabile poco potente a circa 20 metri e, forse, di quello a 50-60 metri.

L'analisi effettuata ha evidenziato che:

- l'area di interesse per lo studio ricade in una zona dove le risorse idriche sotterranee e superficiali sono di notevole interesse per qualità e quantità;
- gli ambienti umidi hanno importanti valenze geologico-ambientali di cui si sono previste forme di tutela nella parte di progettazione geologica;
- le falde presenti possono soddisfare le necessità di approvvigionamenti locali sia di tipo industriale che agricolo che potabile;
- le risorse idriche presentano elevati gradi di vulnerabilità;
- vanno tenute in debito conto le forme di tutela dei punti di presa a scopo idropotabile, sulla base delle norme esistenti.

A tutt'oggi non si dispone di un bilancio idrogeologico degli acquiferi del veronese; i dati preesistenti per quanto riguarda la piezometria delle falde freatiche e confinate, sono limitati e la qualità delle falde è poco nota, anche se esistono numerose analisi chimiche che però risultano disuniformi nel metodo, nei tempi di realizzazione e nei criteri di campionamento; dati raccolti con continuità esistono solo sui pozzi ad uso acquedottistico.

La valutazione della vulnerabilità intrinseca di un acquifero può essere fatta con vari metodi, che presentano diversi gradi di dettaglio.

I sistemi acquiferi di pianura sono ad elevata vulnerabilità soprattutto nell'area di ricarica degli acquiferi (Alta Pianura), dove minore è l'effetto filtrante dei depositi alluvionali grossolani, ovvero a minore soggiacenza della falda. Chiaramente tale effetto è comunque maggiore dove si riscontrano spessori di insaturo più elevati. D'altra parte, sono noti molti casi di contaminazione da prodotti

chimici, che hanno colpito le falde del Veronese nell'area di ricarica. Questi processi inquinanti hanno spesso persistenza molto rilevante (decine di anni) e possono scendere lentamente a valle lungo le direzioni di deflusso per decine di km, raggiungendo anche le falde profonde del sistema artesiano poste a sud della fascia delle risorgive. La vulnerabilità della Media Pianura risulta estremamente elevata lungo tutto il corso dell'Adige e del Mincio, nella zona Nord tra Villafranca e Mozzecane e in particolare nell'area compresa tra Castel d'Azzano, Nogarole Rocca e S. Giovanni Lupatoto. Nelle fasce contermini alle aree indicate la vulnerabilità risulta di grado variabile da alta ad elevata, mentre risulta complessivamente media su gran parte della Bassa pianura ad eccezione di alcune zone in cui il grado di vulnerabilità risulta alto, soprattutto lungo i corsi d'acqua. In particolare, l'allegato A della D.G.R. n°234 del 10 febbraio 2009, definisce i sistemi di acquiferi multifalda della pianura veneta di particolare pregio, per i quali vanno stabilite particolari misure di tutela e salvaguardia. In Figura 24 viene riportato uno stralcio della cartografia sintetica della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi.

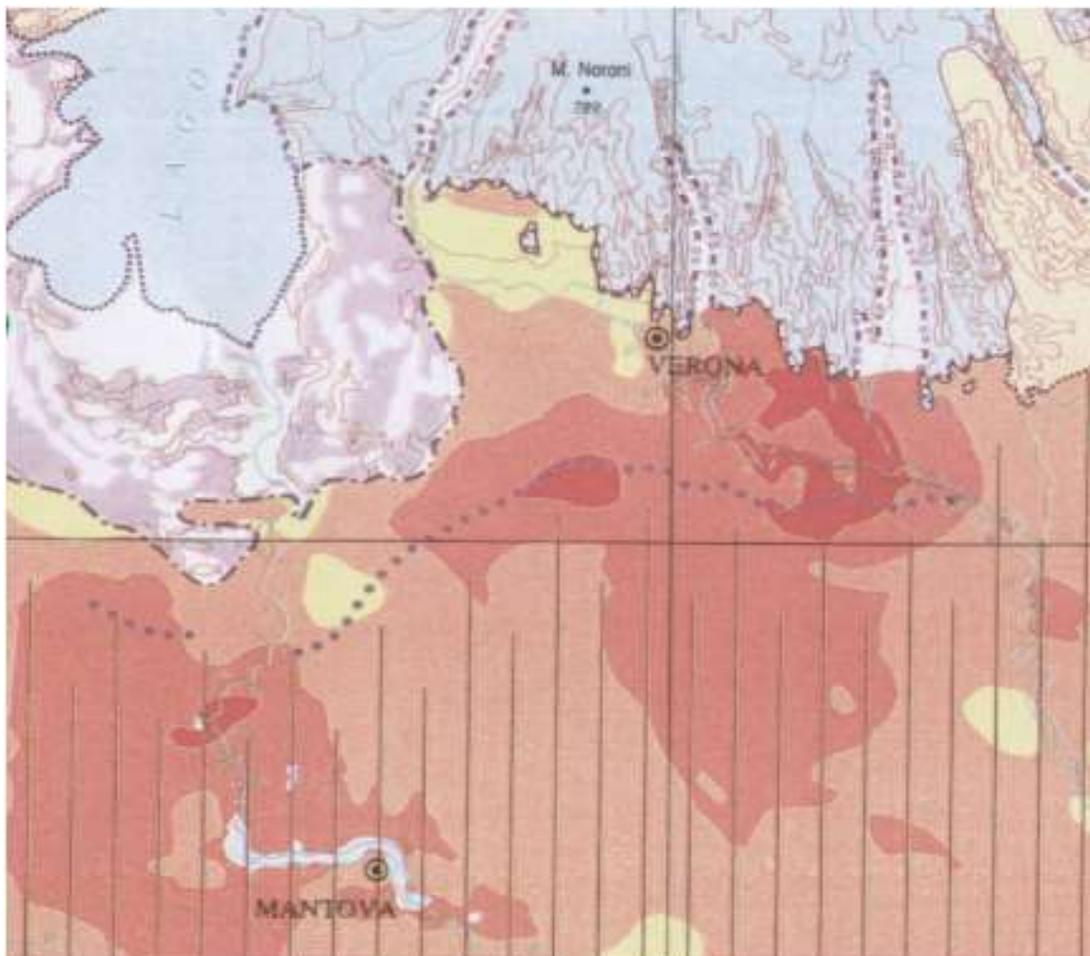


Figura 24 - stralcio della "Carta della vulnerabilità regionale degli acquiferi con falda libera" I.R.S.A., Serv. Geol. Naz.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 33 di 82

La zona a valle della fascia delle risorgive, presenta acquiferi multifalda in pressione, con orizzonti maggiormente permeabili, di natura sabbioso-ghiaiosa, che ospitano le falde confinate a profondità dell'ordine della decina di metri. La permeabilità degli strati acquiferi varia entro un intervallo compreso tra 10^{-3} - 10^{-4} m/s. L'insaturo è almeno in parte costituito da depositi sabbioso-limoso-argillosi poco permeabili. La vulnerabilità degli acquiferi è quindi correlata prevalentemente allo spessore ed alle caratteristiche idrogeologiche dell'insaturo. Ne consegue che il grado di vulnerabilità intrinseco decrescerà procedendo verso sud, mentre nella zona a falda freatica, risulterà da elevato a molto elevato.

7.2 Rischi di approvvigionamento da acque sotterranee

È evidente che l'approvvigionamento da falde sotterranee deve necessariamente tener conto della vulnerabilità dell'acquifero da cui attingere la risorsa, nel senso che minore è la vulnerabilità e maggiore è la garanzia di integrità fisico-chimica della risorsa idrica. Le risorse meno vulnerabili sono in genere contenute in acquiferi profondi e caratterizzati da terreni permeabili tra altri a bassa permeabilità, nella fattispecie del veronese ciò corrisponde agli acquiferi della bassa pianura che risultano già affetti da un inquinamento naturale; pertanto, le risorse strategiche vanno individuate cercando un compromesso tra le situazioni idrogeologiche più favorevoli ed un grado di vulnerabilità che garantisca maggiormente l'acquifero.

Si deve sottolineare l'elevato grado di vulnerabilità delle falde nelle zone dell'Alta pianura. Ogni attività inquinante che si esercita sulla superficie in queste zone, se non adeguatamente condotta, può provocare contaminazione delle acque sotterranee, che non sono protette da una copertura impermeabile. Il fenomeno è esaltato dalla elevata permeabilità delle alluvioni ghiaiose, la quale consente una rapida e facile immissione negli acquiferi sotterranei degli agenti inquinanti dispersi sul piano di campagna. Le azioni inquinanti attive nell'alta pianura possono contaminare anche le falde in pressione esistenti a valle poiché, come noto, esse sono contenute in livelli ghiaiosi direttamente collegati con il materasso alluvionale grossolano e indifferenziato posto a monte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 34 di 82

8 LE RISORGIVE DEGLI ORTI DELLA CHIESA BENEDETTINA DI SAN MARTINO BUONALBERGO

Entrando nello specifico dell'area di studio, il tratto di linea compreso tra il km 0+800 ed il km 1+975,00 si sviluppa in affiancamento alla linea ferroviaria storica e, come questa, definisce il margine di un'ampia area di esondazione in sinistra del Fiume Adige. Si tratta, in pratica, di un'area corrispondente alla piana alluvionale olocenica del Fiume Adige, attestata a quote comprese fra 45-46 m s.m. naturalmente depressa rispetto al territorio urbanizzato che si trova a quote maggiori, dell'ordine di 60-62 m s.m., e che si sviluppa sul terrazzo wurmiano ed è confinato a Sud dalla linea storica (Figura 25).

Di conseguenza, in occasione di eventi di piena con tempi di ritorno anche trentennali quest'area si comporta come una naturale cassa di espansione dei deflussi. Ai fini della progettazione delle opere qui in esame, si considera, in particolare, che in occasione di una piena con tempo di ritorno $Tr = 300$ anni il livello idrico possa innalzarsi sino alla quota di 47.65 m s.l.m.m., con una sommersione del piano di campagna in destra linea di 2.5-3.0 m circa. Tale sommersione si riduce a circa 1 m in occasione delle piene con $Tr = 30$ anni.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHR1000X001A

Foglio

35 di 82

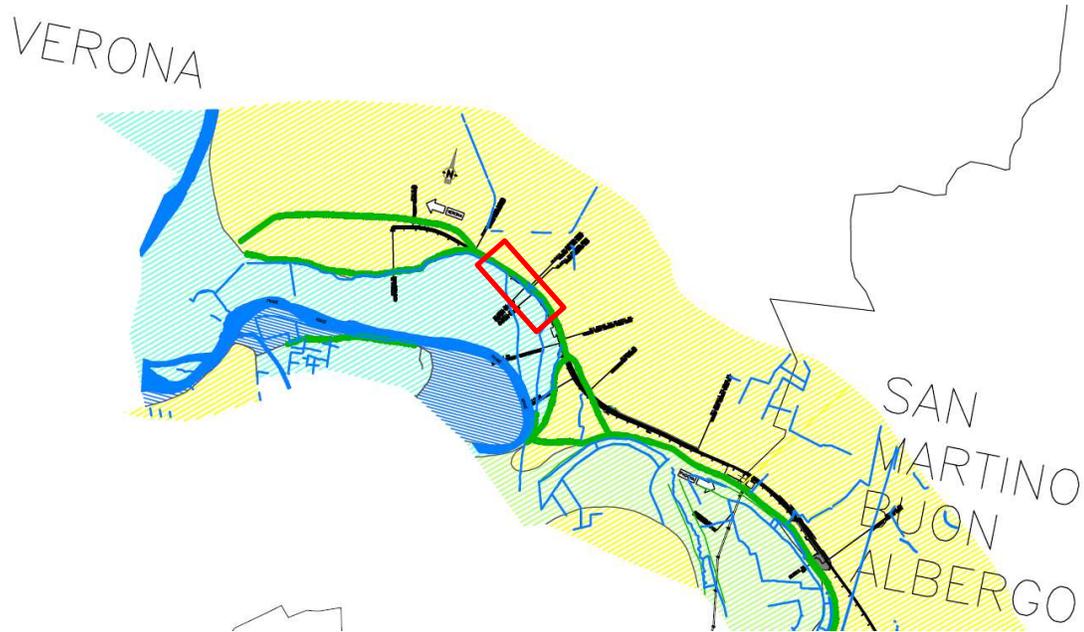


Figura 25 – Sopra: stralcio della carta geomorfologica con evidenziate le aree di esondazione dell'Adige (azzurro) e il terrazzo pleistocenico (giallo). Nel rettangolo rosso è evidenziata l'area delle risorgive. Sotto: il conoide fluvio-glaciale dell'Adige è separato dal piano di divagazione olocenico del fiume tramite una scarpata di erosione fluviale. Questa fase di erosione è stata prodotta dalle divagazioni oloceniche del fiume Adige che ha eroso i sedimenti depositati dall'Adige stesso nelle fasi pleistoceniche fluvio-glaciali. Alla base del terrazzo affiora in risorgiva la falda freatica

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 36 di 82

All'interno di questo tratto di linea lungo 1200 m circa, le due sedi ferroviarie storica e nuova AV/AC interessano una porzione di territorio caratterizzata dalla presenza di emergenze idriche sul piano campagna corrispondenti ad una linea di importanti risorgive. Qui le emergenze idriche si manifestano o in punti localizzati, come nel caso della Fontana delle Monache, o con la presenza di sottili veli d'acqua in aree debolmente depresse e di limitata estensione. Le manifestazioni idriche emergono a ridosso della linea storica, che segna il limite del salto di quota tra l'area urbanizzata a Nord (53-54 m s.m., terrazzo della conoide wurmiana) e quella agricola a Sud (45-46 m s.m., piana alluvionale olocenica del Fiume Adige); sul piano di campagna l'acqua defluisce lentamente verso l'incisione del Fiume Adige.

La morfologia della tratta interessata è sub-pianeggiante, leggermente degradante verso Sud-Est, con pendenza media dello 0.25%, tipica della pianura alluvionale di cui fa parte.

Lungo la tratta possono essere riconosciute, tra le forme di denudazione e le forme di accumulo, le seguenti principali unità geomorfologiche (Figura 25):

- Forme di denudazione
 - a. terrazzo morfologico della conoide atesina – (FgW) Diluvium recente;
 - b. (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. (c) unità di depositi mobili dell'alveo fluviale dell'Adige (terrazzo delle alluvioni antiche e attuali del F. Adige);
 - d. (d) unità del Diluvium tardivo (FgWt) - fascia fluviale depressa e zone a deflusso difficoltoso.

p

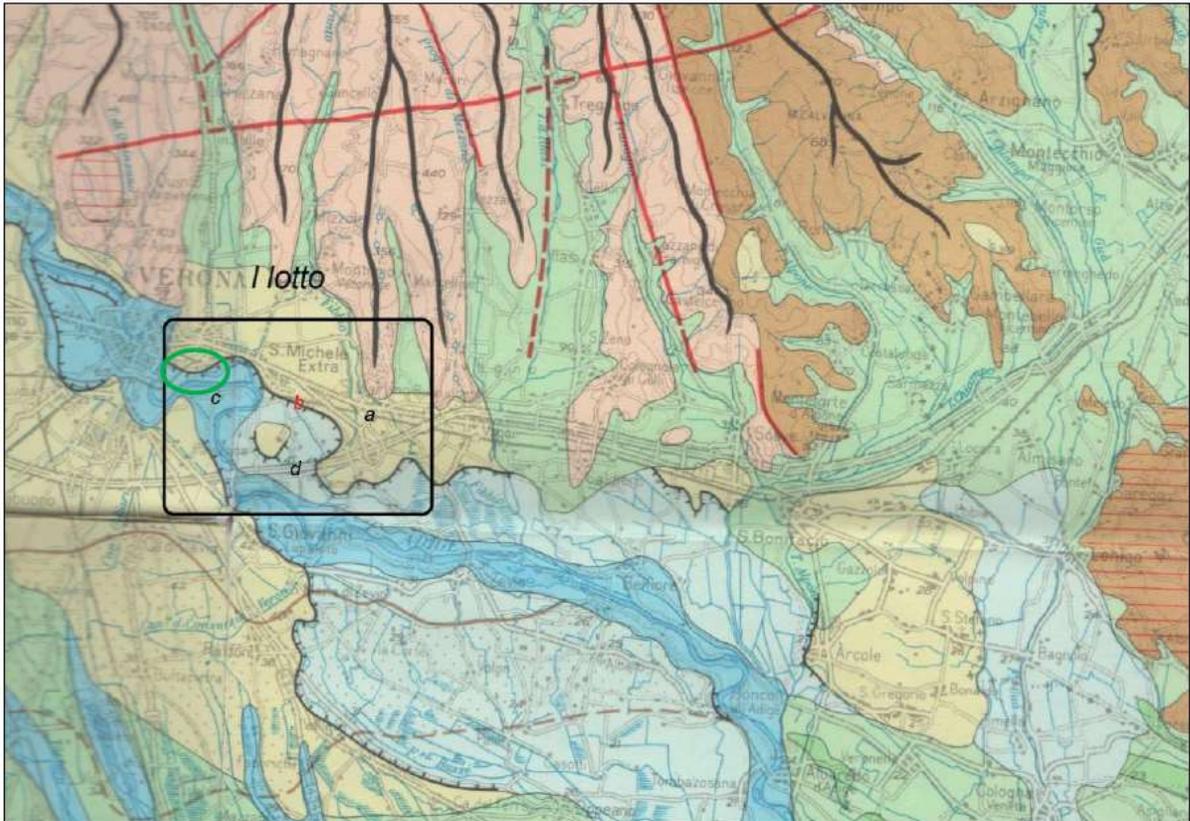


Figura 26 - Carta delle Unità Geomorfologiche (Da Regione Veneto). In verde l'area degli "Orti della Chiesa Benedettina". Per le sigle delle unità geomorfologiche (a)-(b)-(c)-(d) si veda il testo.

Da un punto di vista altimetrico il terrazzo delle alluvioni attuali e del Diluvium tardivo del F. Adige sono ribassati di circa 15 m rispetto al terrazzo della conoide antica (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 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.

Dall'estratto della carta geomorfologica in scala 1:25.000 di L. Sorbini & al. (1984, Figura 27) 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.

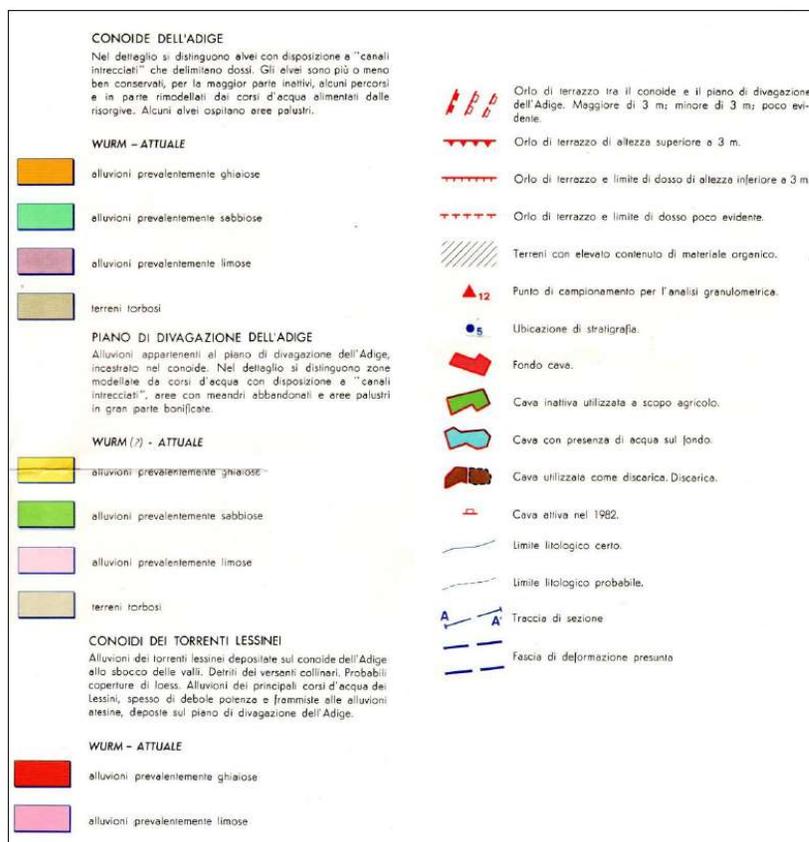
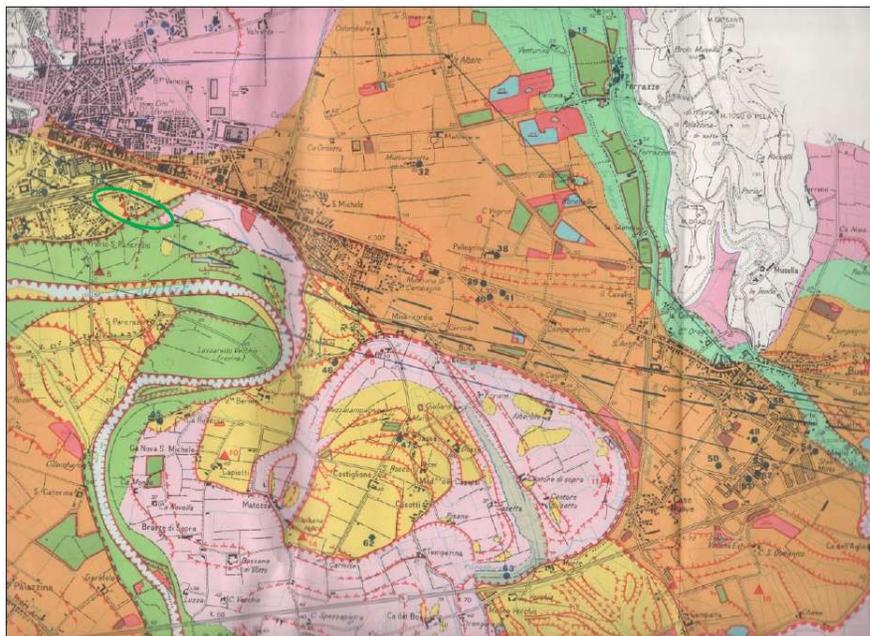
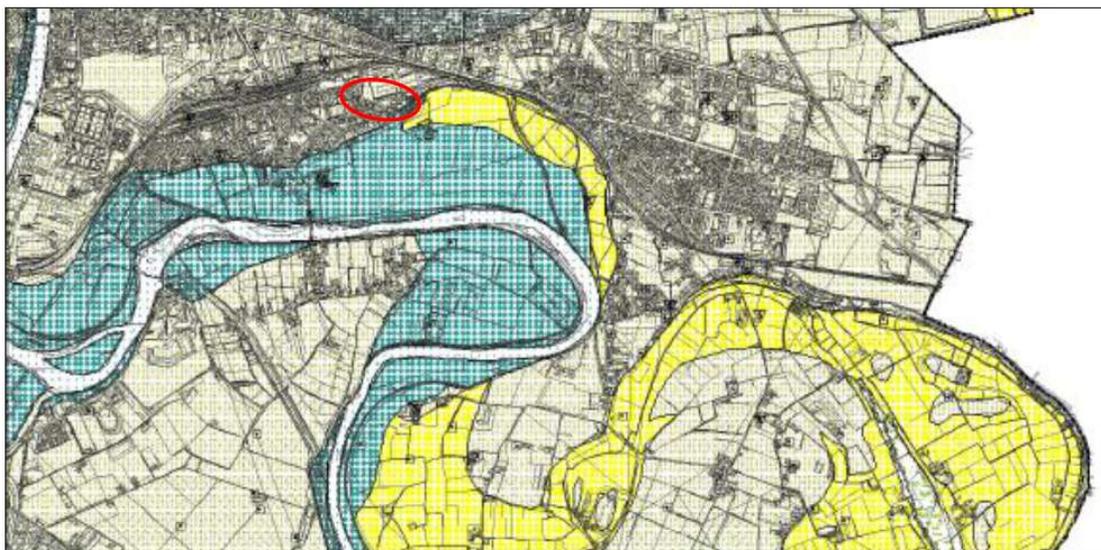


Figura 27 - Geomorfologia dell'area in studio con relativa legenda (Da L. Sorbini & al., 1984). In verde l'area degli "Orti della Chiesa Benedettina".

Nell'area in oggetto i terreni attraversati appartengono pertanto alla conoide wurmiana e alla piana di divagazione dell'Adige.

I depositi ghiaiosi della conoide dell'Adige bordano il limite settentrionale dell'area e costituiscono la parte topograficamente più elevata del terrazzo morfologico, mentre le alluvioni recenti prevalentemente sabbiose e limoso sabbiose bordano la piana dell'Adige.

Alcune informazioni 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 28), 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".



--- Confine comunale

Litologia del substrato

-  Rocce compatte stratificate
-  Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto
-  Rocce compatte prevalenti alternate a strati o interposizioni tenere
-  Rocce tenere a prevalente coesione
-  Rocce tenere a prevalente attrito interno

Materiali della copertura detritica

-  Materiali della copertura detritica colluviale poco consolidati e costituiti da frazione limo-argillosa prevalente con subordinate inclusioni sabbioso-ghiaiose

Materiali degli accumuli di frana

-  Materiali di frana per scoscendimento in blocco in materiali coesivi stabilizzati

Materiali alluvionali

-  Materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa
-  Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia
-  Materiali sciolti di alveo fluviale recente stabilizzati dalla vegetazione
-  Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente
-  Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa
-  Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa
-  Materiali di deposito palustre a tessitura fine e torbiere

Figura 28 - 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 29 sono evidenziate le caratteristiche litologiche del sottosuolo nel tratto di interesse attraverso una sezione geologica tracciata tra i sondaggi SP1bis, BH-PE-02, BH-PZ-PE-03 e SPA2, ubicati al passaggio tra le due unità geomorfologiche e sulla piana alluvionale dell'Adige, la quale mostra la presenza di una prima lito-zona (colore verde) costituita da alluvioni a prevalenza limoso sabbiosa e sabbioso limosa passante lateralmente e verso il basso a ghiaie con matrice sabbiosa e lenti di sabbie e limi, soprastante a un livello limoso - argilloso dello spessore di 2-3 m a sua volta sovrapposto a ulteriori sedimenti a prevalenza ghiaioso sabbiosa.

Tale lito-zona, in virtù delle caratteristiche litologiche e della posizione stratigrafica e morfologica, è da associarsi al sedimento di una porzione riparata di piana alluvionale, dove il deflusso delle acque avviene in condizioni di bassa energia, con ristagni frequenti che portano alla sedimentazione di materiale più fine rispetto alle aree circostanti.

Caratteristiche simili sono state rilevate dai piezometri PZA e PZB, 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 lito-zona 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.

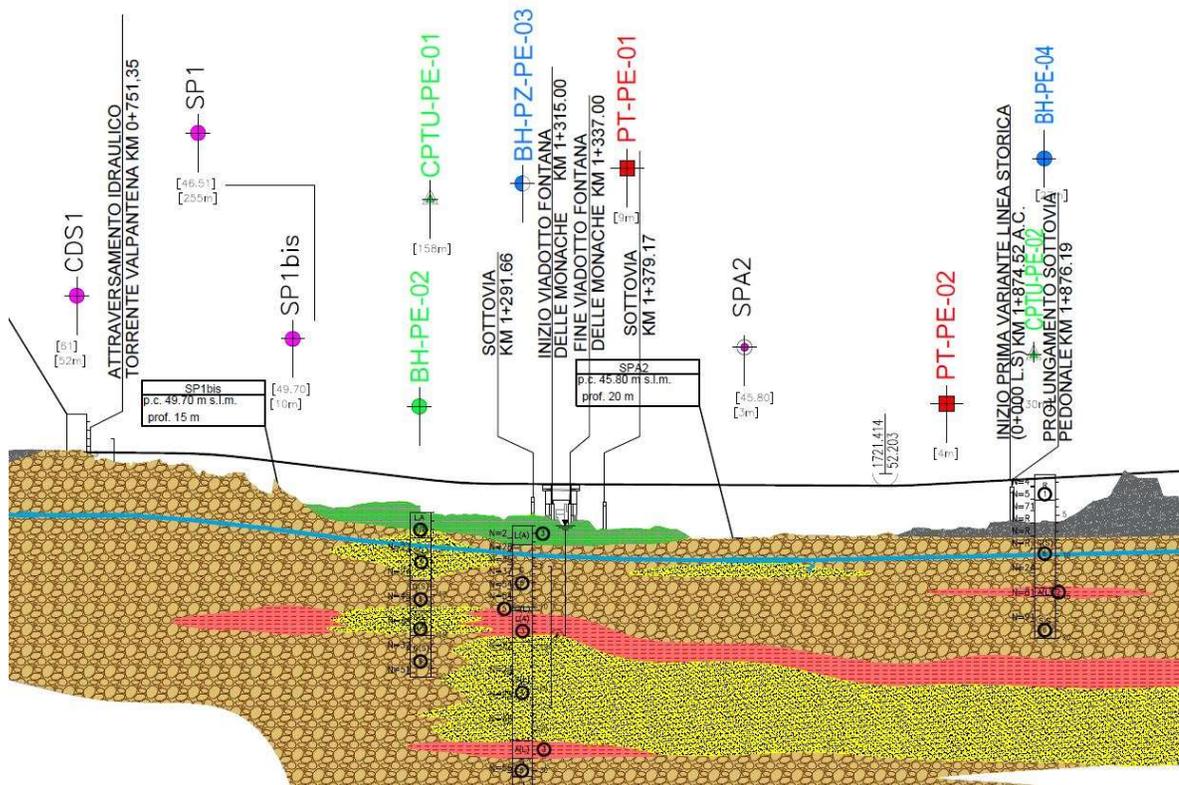


Figura 29 - Sezione geolitologica del tratto interessato dalla presenza delle risorgive Orti. Scala verticale x 10.

Le condizioni locali geomorfologiche e geologiche favoriscono la formazione di risorgive di terrazzo o di affioramento, il cui schema è rappresentato in forma molto semplificata in Figura 30.

In corrispondenza della località degli "Orti della Chiesa Benedettina", nella tratta compresa tra le progressive chilometriche 1+125 e 1+600, si trova infatti un'area privata entro la quale è stata osservata la presenza di quattro risorgive (Figura 31), 3 delle quali andranno ad interferire con il tracciato della linea AV/AC in progetto.

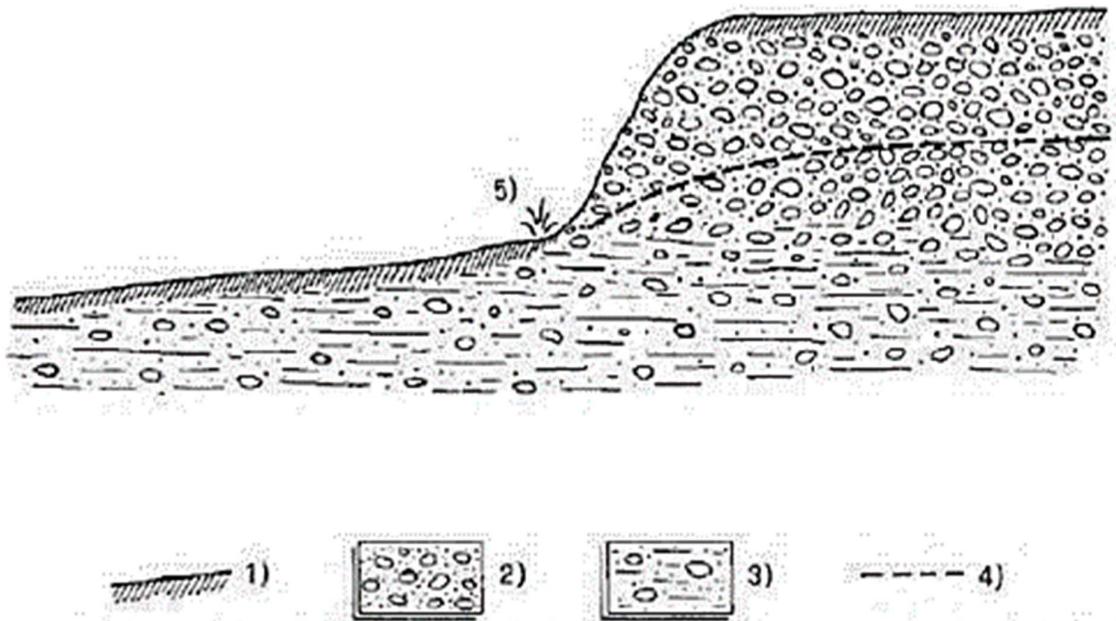


Figura 30 - Schema semplificato delle modalità di emergenza di una risorgiva di terrazzo. 1. Strato pedogenizzato; 2. Ghiaie a matrice sabbiosa; 3. Ghiaie a matrice sabbioso-limosa; 4. livello freatico; 5 emergenza.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
42 di 82



Figura 31 – Ubicazione delle risorgive degli Orti della Chiesa Benedettina.

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 (risorgiva 4, 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 32).



Figura 32 - Tracciato dello Scolò Orti.

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 nell'ambito del PD in data 06.05.2016) dell'ordine di 25+30 cm.

I dati di portata disponibili si riferiscono alle misure effettuate in sito nel corso del Progetto Definitivo. Ove possibile, è stata effettuata una misura della portata delle risorgive mediante un galleggiante di cui è stata calcolata la velocità di movimento entro un tratto di alveo con lunghezza e sezione noti. Dai valori medi ottenuti da diverse misurazioni è stata stimata la portata della risorgiva.

I progettisti non hanno ritenuto di dover procedere a nuove misure di portata in sito in quanto, basandosi sullo studio dei dati di letteratura disponibili, hanno valutato che le portate stimate in sede di PD potessero essere confermate.

Con le approssimazioni del metodo è stata misurata, per la Risorgiva 1, la portata di 16-17 l/s e per la Risorgiva 2 la portata di 35 l/s.

Oltre ai motivi sopra esposti, si puntualizza che non risulta comunque possibile eseguire misure dirette di portata della risorgiva n. 3 trattandosi di un'emergenza ipotizzata all'interno dell'alveo dello scolò Orti, con ubicazione frutto di una ragionevole ipotesi formulata nell'ambito del PD. Pertanto, quanto ipotizzato nel PD non può che essere confermato in questa sede. La portata complessiva delle risorgive in questo tratto è stata stimata di 150 l/s da valutazioni del Progetto Definitivo.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte le caratteristiche delle 3 risorgive interferenti con la linea di progetto.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 44 di 82

8.1 Risorgiva 1

La prima risorgiva, denominata “Fontanella delle monache”, 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 (cfr. Figura 33 e Figura 34).

L'acqua in uscita dalla sorgente viene convogliata in un piccolo canale che ne permette lo scarico nello “scolo Orti” (Figura 35). 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).

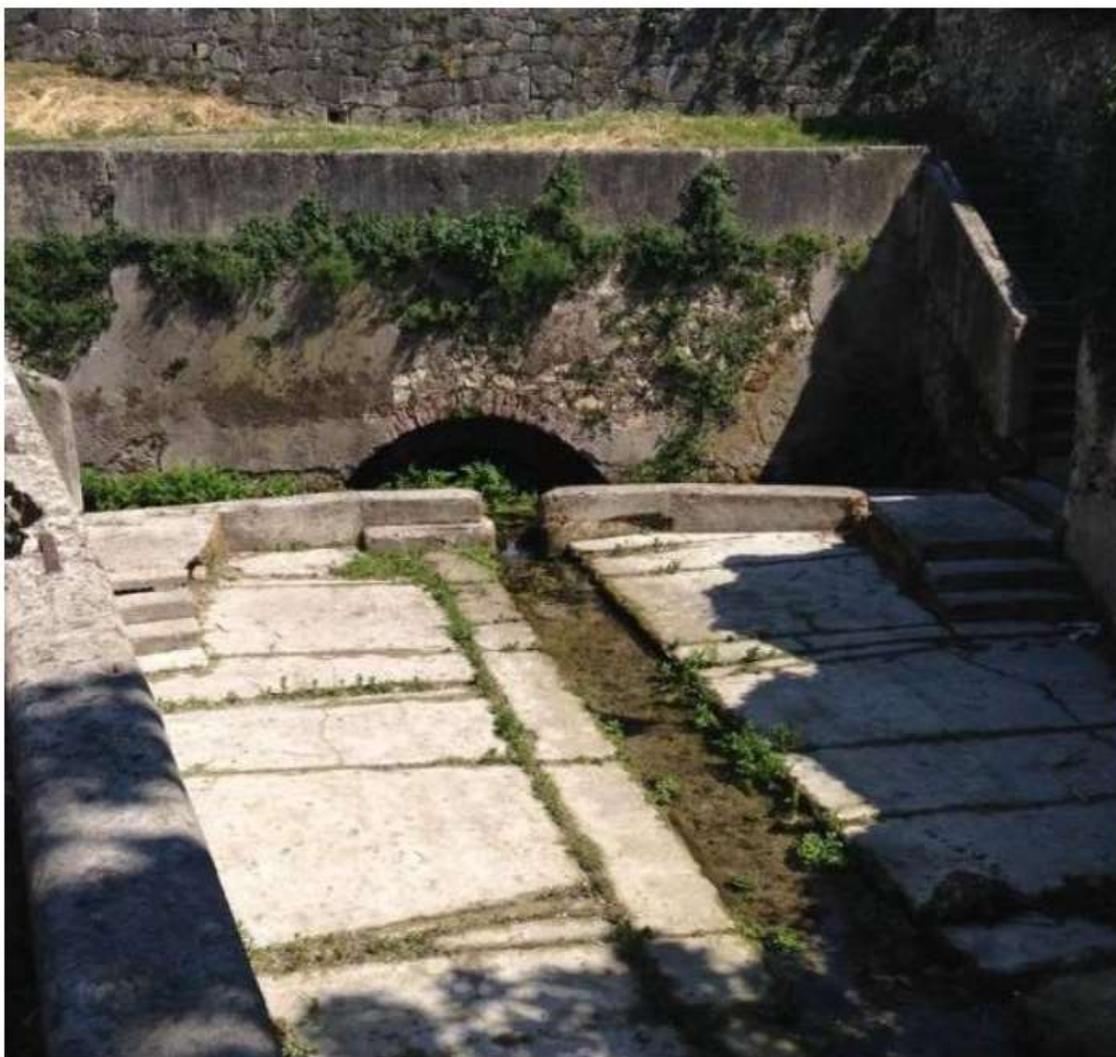


Figura 33 - “Fontanella delle monache”: sezione di ingresso delle acque di risorgiva.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHRI000X001A

Foglio

45 di 82



Figura 34 - "Fontanella delle monache": vasca a pianta semi-triangolare e sezione di uscita.

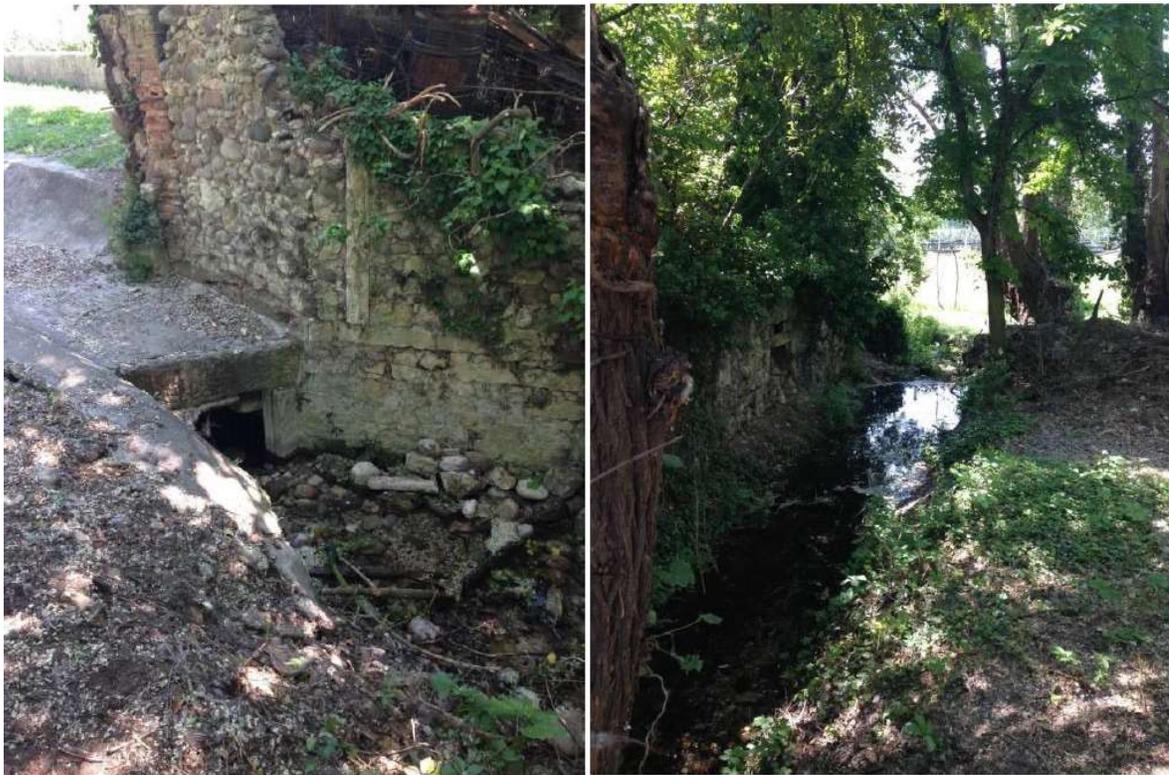


Figura 35 - "Fontanella delle monache": canalizzazione in uscita dalla vasca verso il vicino "scolo Orti".

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica EI2RHRI000X001A</p>	<p>Foglio 46 di 82</p>

8.2 Risorgiva 2

La risorgiva 2 è denominata “risorgiva del mulino”, è posta in corrispondenza della progressiva chilometrica 1+474 e si trova all'interno di un rudere (probabilmente un mulino); è canalizzata e convogliata entro una serie di vasche prima di sfociare anch'essa nello “scolo Orti”. Le misure effettuate con il metodo del galleggiante su questa risorgiva hanno permesso di stimare la portata in 35 l/s.

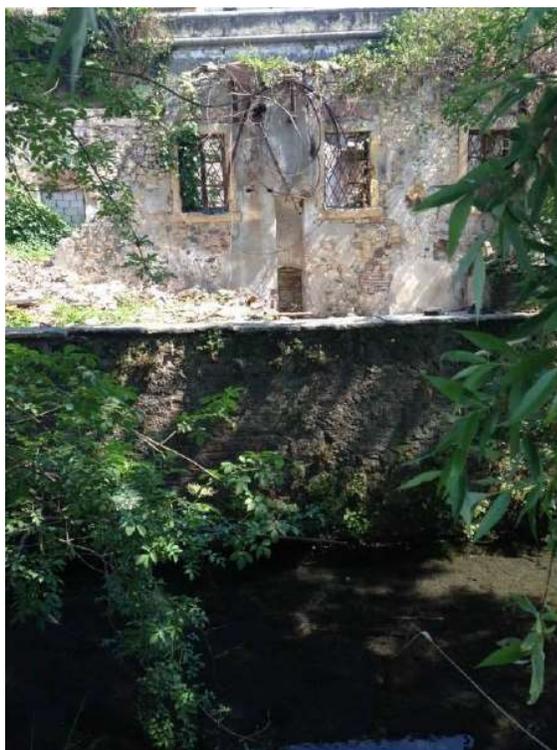


Figura 36 – Risorgiva “Mulino”: panoramica e sezione in uscita nello “scolo Orti”.



Figura 37 – Risorgiva “Mulino”: sezione di ingresso delle acque di risorgiva.

8.3 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. Su questa risorgiva non è stato possibile effettuare misure di portata in sede di PD.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 48 di 82



Figura 38 - Ubicazione presunta della Risorgiva 3.

8.4 Aspetti generali

La fascia delle risorgive rientra nel territorio classificato tra le invariati nel PAT del comune di San Martino Buonalbergo ed è inserita tra le invariati geologiche nel Piano di Assetto Territoriale comunale.

Le condizioni idrogeologiche per cui si determina la formazione delle sorgenti degli orti in un'area che è ben più a nord della "fascia delle risorgive" sono determinate da diversi fattori concorrenti.

Quest'area è innanzitutto alimentata da una forte ricarica di falda secondo le direzioni di flusso da nord-nordovest verso sud-sudest dovuta al Fiume Adige ed in misura minore dai tributari di sinistra. La falda si stabilisce a quote piezometriche decrescenti mantenendo una soggiacenza di circa 8-10 metri nella parte alta del territorio, in corrispondenza del terrazzo wurmiano, e risultando a bassa profondità (1,5 – 4 metri) nell'area della piana di esondazione dell'Adige. Questi valori si riferiscono ad una media valutata sia su misure dirette nell'intervallo di tempo 2014 – 2020, sia all'osservazione di dati di pozzi e di letteratura.

Il salto morfologico imposto dalla scarpata di terrazzo che separa i depositi fluvioglaciali dalla piana di esondazione porta la superficie topografica a sfiorare la piezometrica proprio alla base del terrazzo

dove per altro si sviluppa un parziale restringimento della sezione di flusso con diminuzione della piuttosto repentina della trasmissività a causa della variazione nella natura dei sedimenti in superficie. Nelle aree di conoide terrazzata, infatti, i depositi sono da riferirsi alle conoidi fluvio-glaciali wurmiane, caratterizzate da potenti spessori di ghiaie con matrice sabbiosa che solo localmente trovano intercalati orizzonti sabbiosi. L'area alluvionale invece è costituita da una successione di sedimenti di alveo (ghiaie sabbiose) con abbondanti livelli di depositi di esondazione (sabbie e limi) che proprio nella parte più marginale della piana, al contatto con la base del terrazzo, raccolgono i materiali fini abbandonati nelle aree di ristagno dopo ogni esondazione (Figura 39).

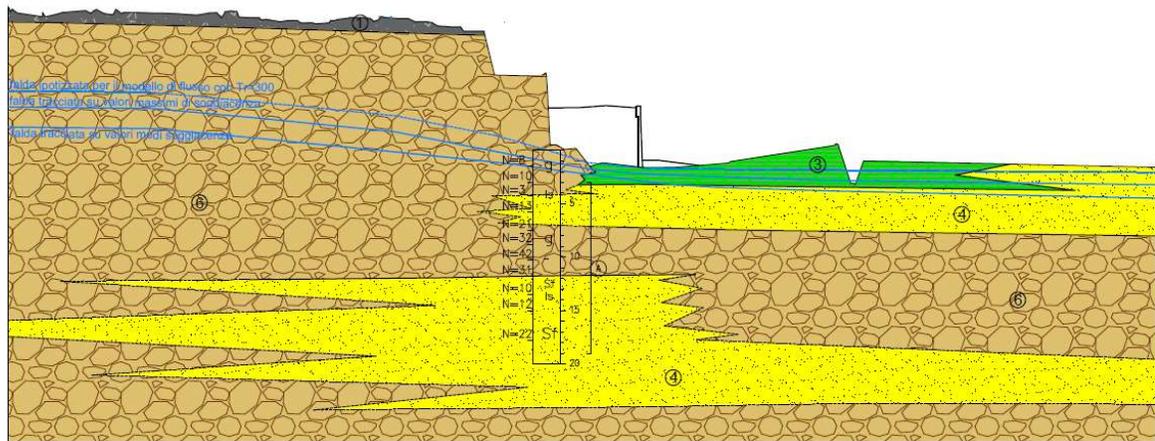


Figura 39 - Sezione in corrispondenza della risorgiva Il Mulino. 1=riporto; 3=limi sabbiosi; 4=sabbie e sabbie limose; 6=ghiaie sabbiose. Scala verticale x10.

9 ANALISI NUMERICA DI FILTRAZIONE

Ai fini dello studio di Progetto Esecutivo, mediante il programma di calcolo SLIDE 6.039 – Modulo Groundwater Analysis Transient FEA - di Rocscience Inc. di Toronto, è stato sviluppato un modello di filtrazione, in regime transitorio, finalizzato alla ricostruzione dell'andamento piezometrico nel terreno impegnato dalle opere di progetto in relazione all'accadimento di eventi di piena del F. Adige con tempo di ritorno $T_r = 300$ anni, all'interno dell'area delle risorgive.

L'area in esame è ubicata in località Scolo Orti a valle dell'abitato che si estende dal quartiere Borgo Venezia fino al quartiere San Michele in corrispondenza delle risorgive Orti, lungo la Sezione 3 elaborata nel documento IN1711EI2WZRI000X001A.



Figura 40 - Posizione della linea di sezione di riferimento con profilo oggetto di analisi della filtrazione.

L'analisi è stata condotta con lo scopo di fornire una valutazione dell'interferenza tra la falda, la risorgiva ed il livello trecentennale di piena del Fiume Adige, in modo tale da valutarne gli effetti sulle opere da realizzare. Questa analisi, pur se con i limiti legati alla bidimensionalità, ha permesso di valutare tali impatti in termini di:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 51 di 82

- entità massima dell'innalzamento della piezometrica nel nuovo rilevato e a tergo del muro di sostegno;
- tempistiche presumibili di deflusso della falda al termine dell'evento di piena
- effetti in termini di variazione (relativa) nel tempo della portata della risorgiva
- regime transitorio delle pressioni interstiziali nel rilevato durante il ciclo completo dell'evento di piena.

9.1 Sezione di riferimento

La sezione di riferimento per le elaborazioni è stata tracciata in corrispondenza della risorgiva Il Mulino alla progressiva 1+468. La sezione di progetto più prossima che riporta la geometria dei manufatti è la n. 68 di Figura 41. In Figura 42 viene illustrata la sezione di modello numerico allo stato attuale (sopra) e di progetto (sotto).

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
53 di 82

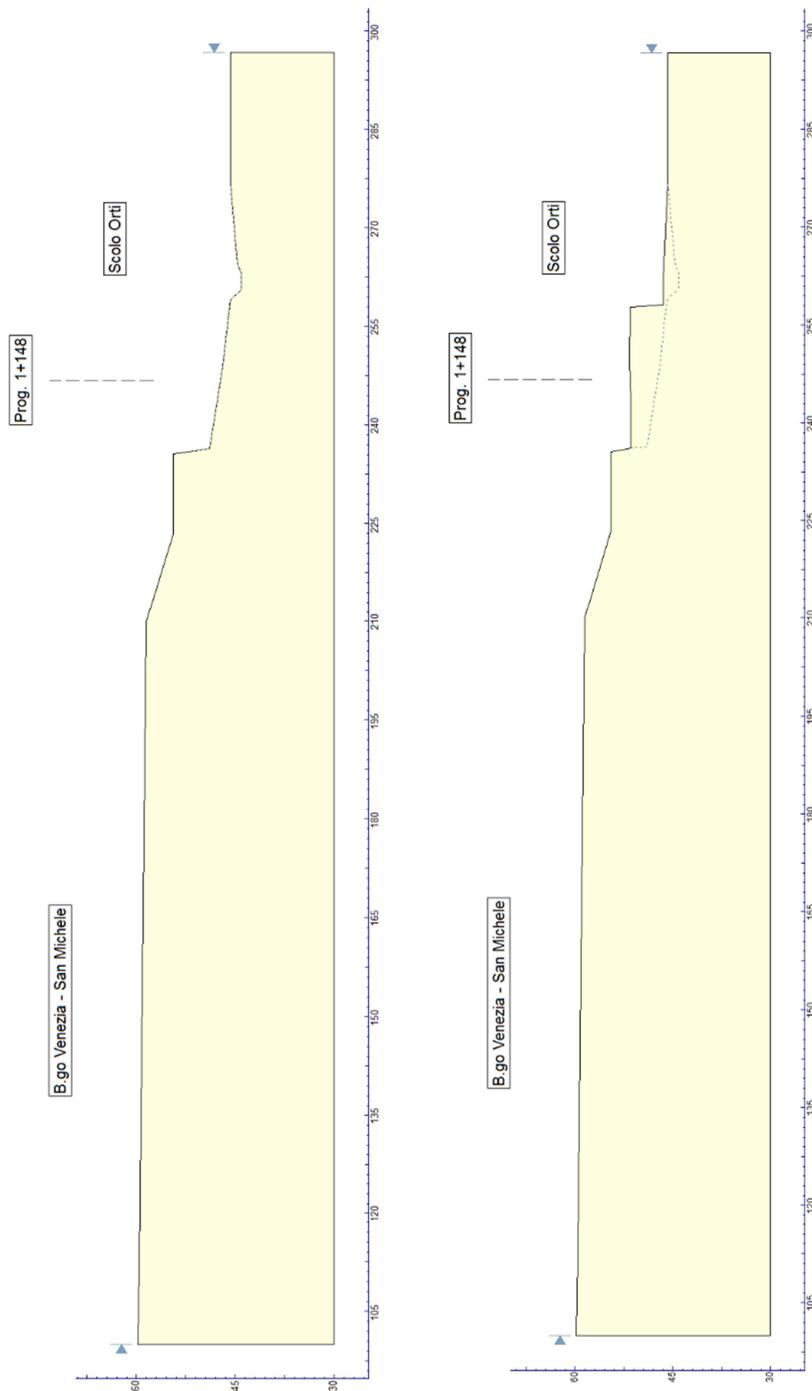


Figura 42 – Modello numerico di filtrazione. Profilo dello stato attuale (sopra) e di progetto (sotto)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 54 di 82

9.2 Modello idrogeologico

Si adotta la seguente successione di unità idrogeologiche in relazione alla configurazione geologica ricostruita per la sezione in esame.

Le unità individuate per la modellazione dello stato attuale (Figura 43) corrispondono alla riclassificazione delle unità idrogeologiche utilizzate nelle sezioni idrogeologiche e corrispondenti a:

- UI1: ghiaie, ghiaie con sabbia a permeabilità media ed elevata (Unità 6 nelle sezioni idrogeologiche, $k=1 \times 10^{-3}$ m/s);
- UI2: sabbie debolmente limose o limose a permeabilità media (Unità 4 nelle sezioni idrogeologiche, $k=5 \times 10^{-5}$ m/s);
- UI3: sabbie limose e limi sabbiosi a permeabilità medio bassa (Unità 3 nelle sezioni idrogeologiche, $k=1 \times 10^{-5}$ m/s).

Per la modellazione dello stato di progetto (Figura 44), per quanto riguarda la permeabilità del rilevato, tenendo conto che sarà realizzato con materiali di tipo A1, A2-4 o A3, è stata ipotizzata una permeabilità confrontabile con la sabbia limosa, ovvero intorno a 1×10^{-5} m/s.

Per quanto riguarda il muro, sarà previsto un drenaggio a tergo e una serie di fori di drenaggio sul paramento (barbacani). Nell'ipotesi di parziale efficienza dei barbacani (ipotesi di parziale intasamento del dreno a favore di sicurezza), si può pensare di assumere per il muro una permeabilità leggermente inferiore al rilevato (1×10^{-6} m/s). Detto valore è tuttavia di difficile valutazione, mantiene un significato solo alla luce di una valutazione qualitativa come quella menzionata.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
55 di 82

Material Name	Color	KS (m/s)	K2/K1
UI1		0.001	1
UI2		5e-005	0.5
UI3		1e-005	0.5

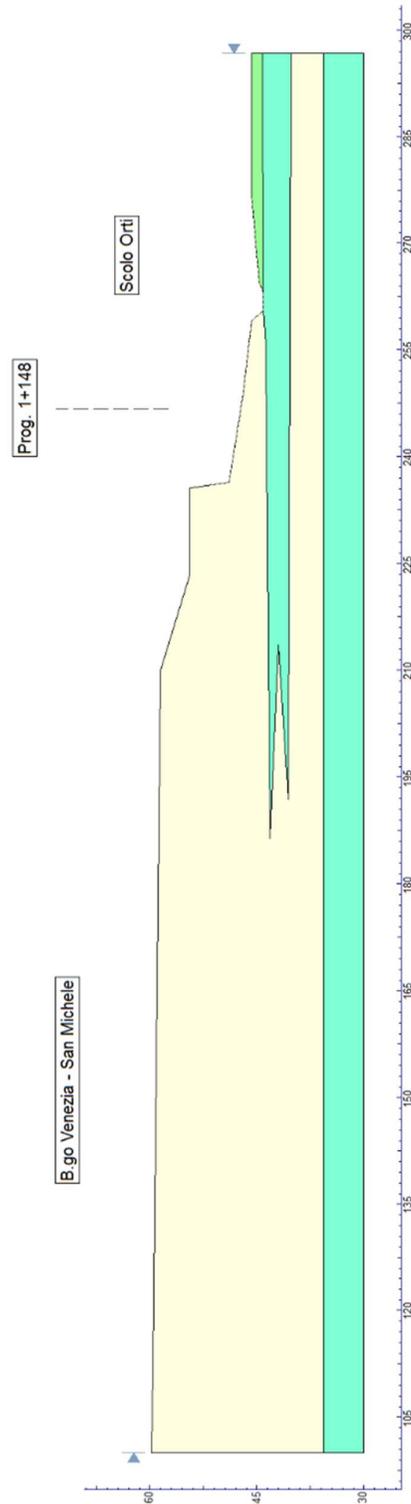


Figura 43 – Modello numerico di filtrazione. Modello idrogeologico dello stato attuale.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHRI000X001A

Foglio
56 di 82

Material Name	Color	KS (m/s)	K2/K1
UI1		0.001	1
UI2		5e-005	0.5
UI3		1e-005	0.5
Rilevato		1e-005	1
Manufatto sostegno		1e-006	1

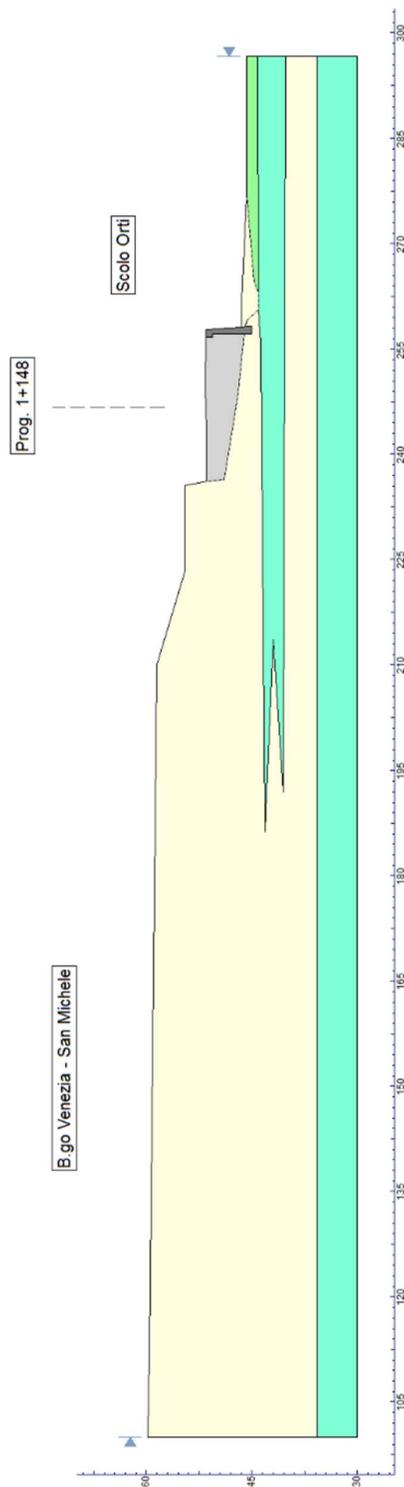


Figura 44 – Modello numerico di filtrazione. Modello idrogeologico dello stato di progetto.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 57 di 82

9.3 Modello di calcolo

Il fenomeno della filtrazione è analizzato utilizzando il metodo degli elementi finiti nei seguenti domini spaziali:

- Stato attuale;
- Stato di progetto.

Per ciascuno di essi, rispettivamente in Figura 45 e in Figura 46 sono indicati:

- la geometria del dominio d'integrazione;
- la *mesh* del dominio di integrazione (elementi triangolari);
- le condizioni al contorno.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
58 di 82

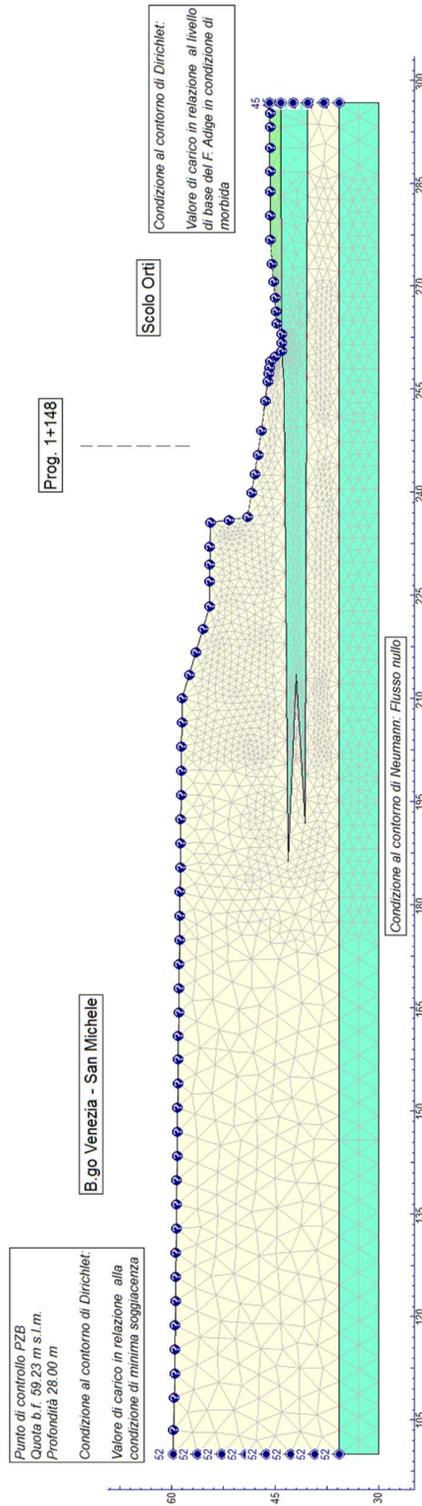


Figura 45 - Modello di calcolo in condizioni stazionarie dello stato attuale.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
59 di 82

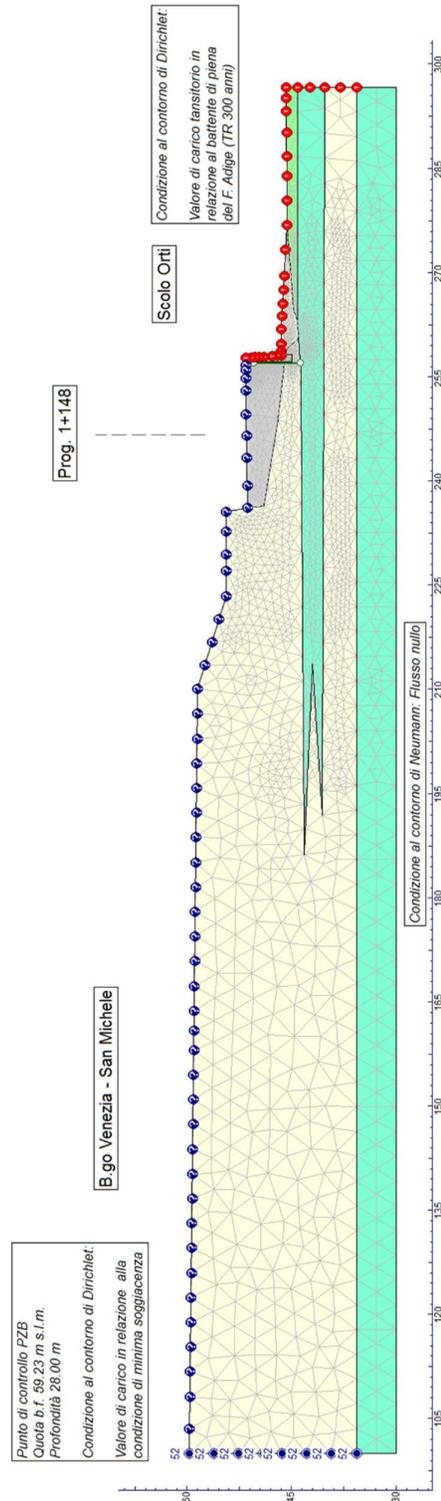


Figura 46 - Modello di calcolo in condizioni transitorie dello stato di progetto.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 60 di 82

9.4 Analisi dello stato attuale in condizioni stazionarie

Nel seguito si riporta un estratto della documentazione di calcolo a comprendere tutti i parametri di input del modello per l'analisi in condizioni stazionarie, finalizzata alla taratura del modello sulle osservazioni disponibili.

ANALYSIS INFORMATION

Slide Modeler Version: 6.039

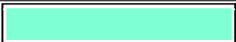
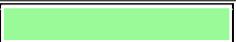
General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: hours
 Permeability Units: meters/second
 Data Output: Standard
 Maximum Material Properties: 20

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Steady State FEA
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 Tolerance: 1e-006
 Maximum number of iterations: 500
 Advanced Groundwater Method: None
 Mesh Element Type: 3 noded triangles
 Number of Elements: 3855
 Number of Nodes: 1998

Material Properties

Property	UI1	UI2	UI3
Color			
Ks [meters/second]	0.001	5e-005	1e-005
K2/K1	1	0.5	0.5

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
100	30
296.666	30
296.664	35.6707
296.662	40.2113
296.66	44.1638
296.66	45.721
276.78	45.6663
264.59	44.6749

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHR1000X001A

Foglio

61 di 82

X	Y
263.037	44.0575
260.506	44.0495
259.059	45.6839
258.139	45.793
248.892	46.8902
236.387	48.9318
235.555	54.3931
223.429	54.4096
210.011	58.46
111.722	59.5228
100	59.74
100	35.6707

Material Boundary

X	Y
263.037	44.0575
296.66	44.1638

Material Boundary

X	Y
100	35.6707
296.664	35.6707

Material Boundary

X	Y
260.506	44.0495
255.784	43.6912
186.266	43.1178
213.558	41.9498
191.854	40.5588
296.662	40.2113

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
62 di 82

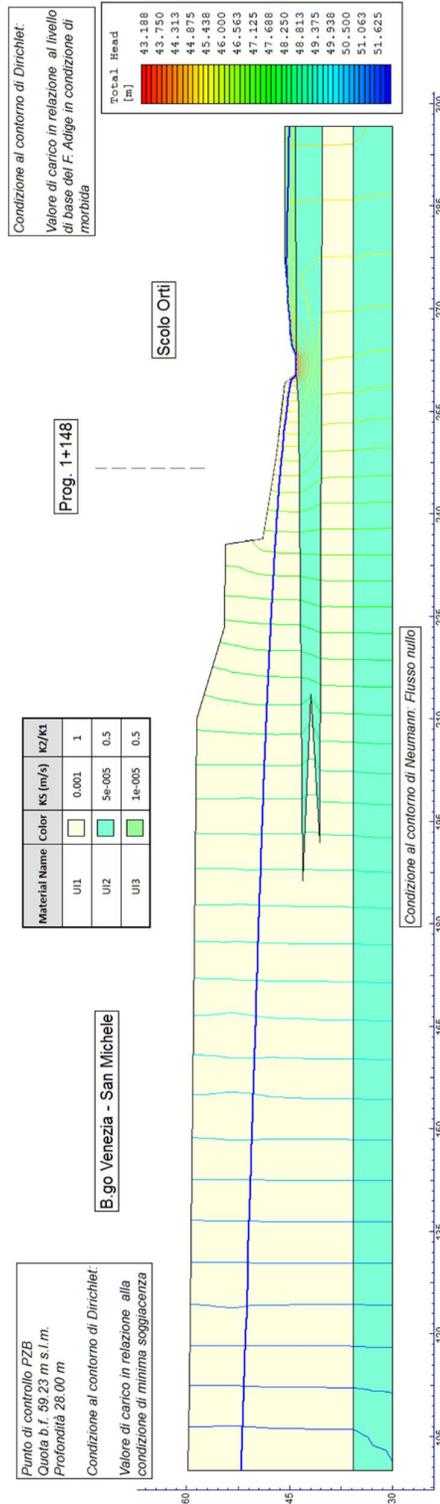


Figura 47 - Ricostruzione della piezometrica e delle linee equipotenziali.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 63 di 82

9.5 Analisi dello stato di progetto in condizioni transitorie

Nell'analisi in condizioni transitorie di piena, il livello massimo di piena dell'Adige per le simulazioni con $T_R = 300$ anni (+47.70 m.s.l.m.m.) è stato determinato in sede di relazione idrologica di modello 2D (elaborato a cui si rimanda) a partire dalle indicazioni del PAI per valori di $T_R = 30, 200$ anni. In questa sede è stato implemento un idrogramma a partire da un'analisi cautelativa dei dati di piena con una fase crescente di durata pari a 24 ore, una fase di livello costante di durata 48 ore, seguita da una decrescita a pendenza costante verso il valore di livello iniziale.

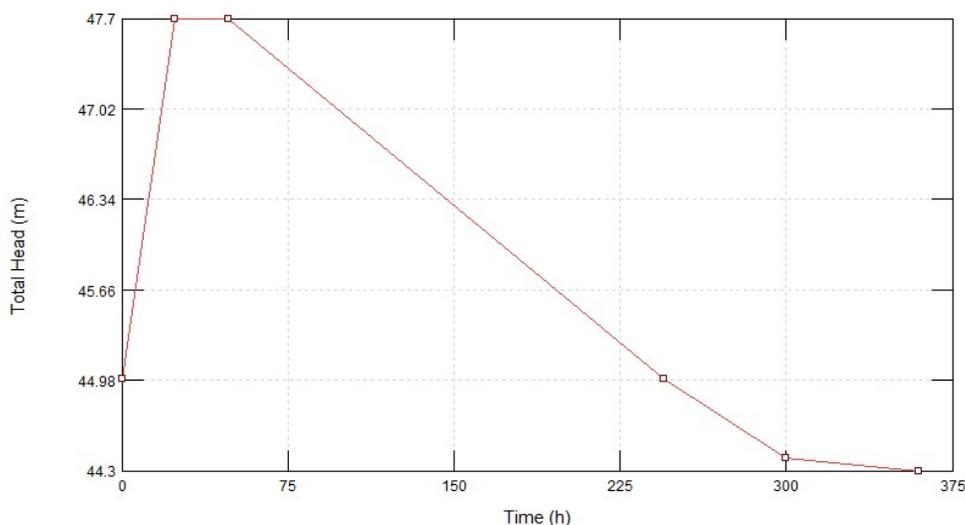


Figura 48 - Idrogramma TR 300.

Nel seguito si riporta un estratto dei dati di input del programma di calcolo mentre, nelle Figure dalla 49 alla 62 vengono illustrate alcune elaborazioni grafiche dell'analisi effettuata tra le quali le portate di transito e la distribuzione del gradiente idraulico orizzontale.

I risultati dell'analisi condotta evidenziano i seguenti aspetti:

- la collocazione dell'opera di progetto determina un rialzo piezometrico rispetto alla configurazione ante di circa 1.77 m (cfr. Fase 1);
- lo stazionamento di un battente di piena TR 300 determina un rialzo piezometrico rispetto alla configurazione ante di circa 2.79 m (cfr. Fase 3);
- il ripristino della configurazione piezometrica T_0 (Fase 1) dopo l'esaurimento del colmo di piena si realizza in circa 10 gg.

Infine, l'analisi evidenzia che a valle dell'opera di sostegno il terreno si presenta saturo ed il gradiente di efflusso raggiunge il valore massimo di 0.21 nel terreno sottostante il muro. Detto gradiente non determina condizioni di criticità ai fini della stabilità del muro pur rappresentando una condizione che si verifica solo a valle di una serie di assunzioni estremamente cautelative utilizzate per il modello.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
64 di 82

ANALYSIS INFORMATION

Slide Modeler Version: 6.039

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: hours
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20

Groundwater Analysis

Advanced Groundwater Method: Transient FEA
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Tolerance: 1e-006
Maximum number of iterations: 500

Transient Settings

Stage Name	Time [h]
Stage 1	0
Stage 2	24
Stage 3	48
Stage 4	245
Stage 5	300
Stage 6	360

Tolerance (Transient): 1e-006
Maximum number of iterations (Transient): 500
Time Steps (Transient): Automatic
Mesh Element Type: 3 noded triangles
Number of Elements: 4141
Number of Nodes: 2143

Transient Boundary Conditions

Time [h]	Total Head [m]
0	45
24	47.7
48	47.7
245	45
300	44.4
360	44.3

Seepage Face Condition: Yes

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHRI000X001A

Foglio

65 di 82

Material Properties

Property	UI1	UI2	UI3	Rilevato	Manufatto sostegno
Color					
Ks [meters/second]	0.001	5e-005	1e-005	1e-005	1e-006
K2/K1	1	0.5	0.5	1	1

List Of Coordinates**External Boundary**

X	Y
100	30
296.666	30
296.664	35.6707
296.662	40.2113
296.66	44.1638
296.66	45.721
276.78	45.6663
261.852	46.4352
258.075	46.4306
257.666	51.5237
256.666	51.5321
249.616	51.5907
243.266	51.3802
236.061	51.3502
235.555	54.3931
223.429	54.4096
210.011	58.46
111.722	59.5228
100	59.74
100	35.6707

Material Boundary

X	Y
263.037	44.0575
296.66	44.1638

Material Boundary

X	Y
100	35.6707
296.664	35.6707

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto

IN17

Lotto

11

Codifica

EI2RHR1000X001A

Foglio

66 di 82

Material Boundary

X	Y
236.061	51.3502
236.387	48.9318
248.892	46.8902
257.066	46.0063

Material Boundary

X	Y
256.666	51.5321
256.666	50.5237
257.066	50.5237
257.066	46.0063
257.066	44.9972
258.224	44.9465
258.135	45.8334
258.075	46.4306

Material Boundary

X	Y
258.135	45.8334
259.059	45.6839
260.506	44.0495
263.037	44.0575
264.59	44.6749
276.78	45.6663

Material Boundary

X	Y
260.506	44.0495
255.784	43.6912
186.266	43.1178
213.558	41.9498
191.854	40.5588
296.662	40.2113

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
67 di 82

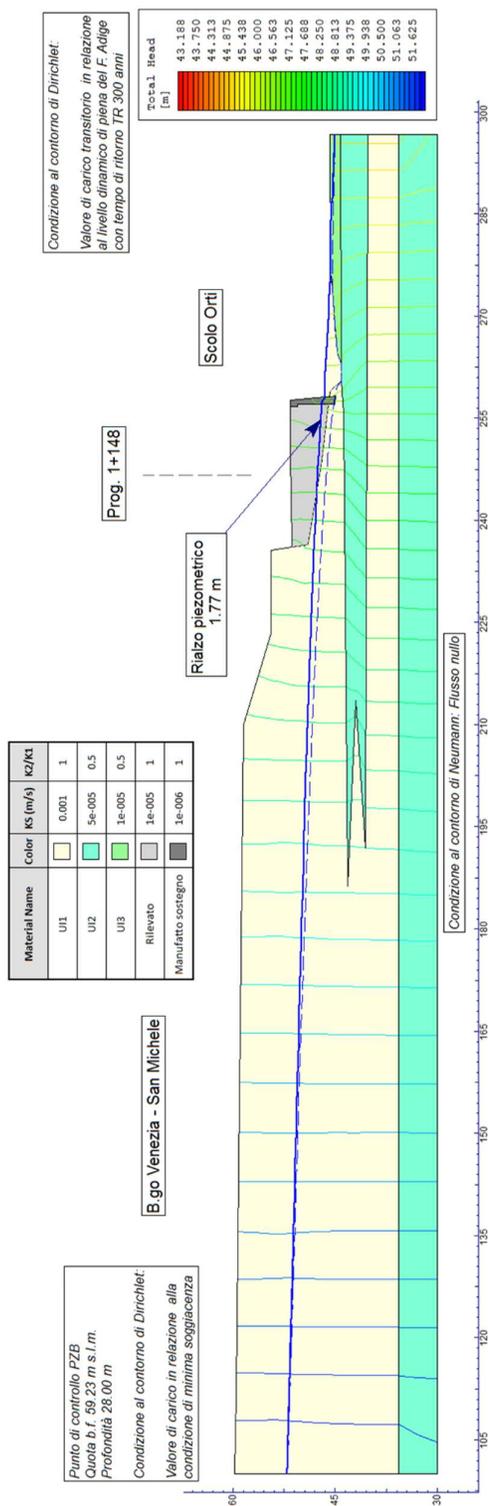


Figura 49 - Fase 1 - T = 0:00 h - Battente 45.00 m s.l.m.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
68 di 82

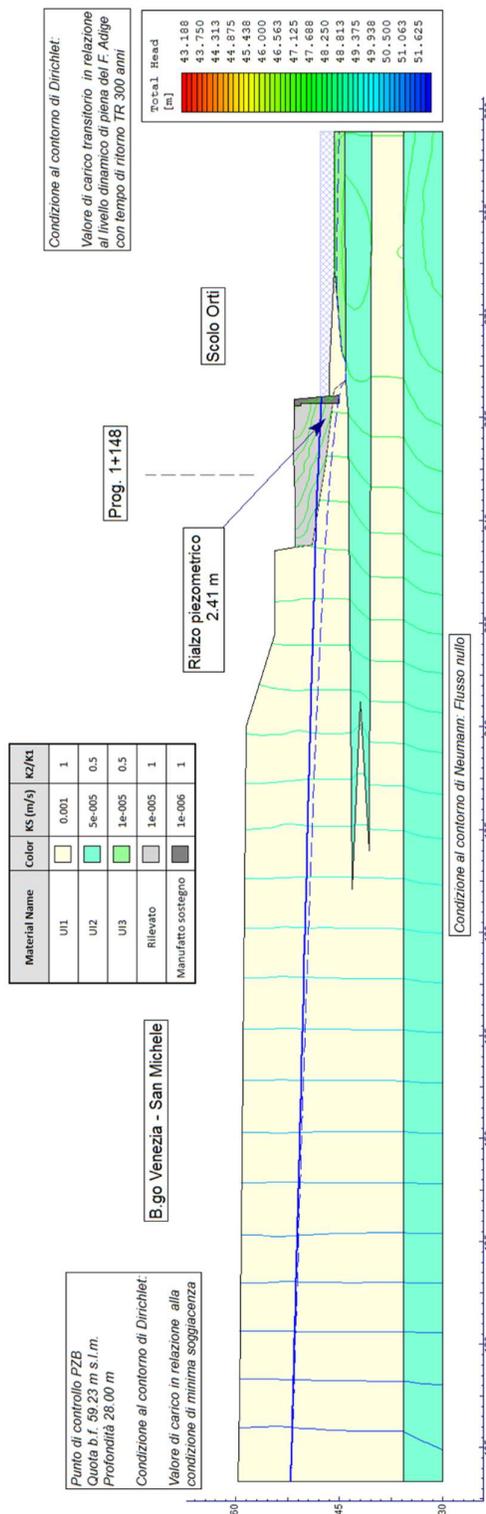


Figura 50 - Fase 2 - T = 12:00 h - Battente 47.70 m s.l.m.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
69 di 82

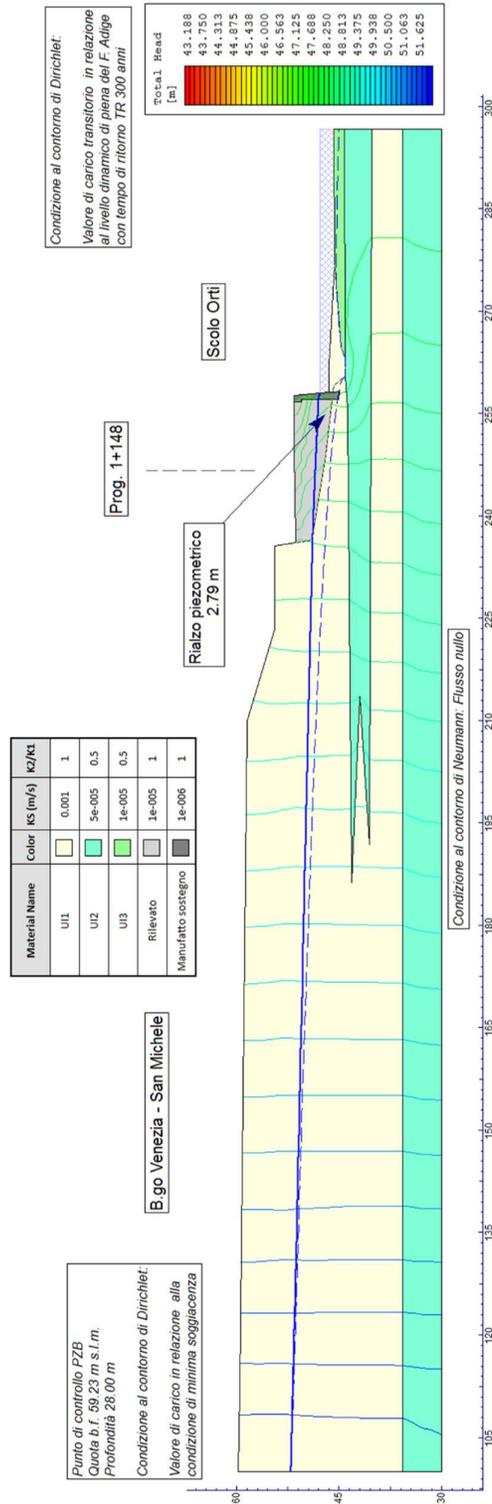


Figura 51 - Fase 3 - T = 48:00 h - Battente 47.70 m s.l.m.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
70 di 82

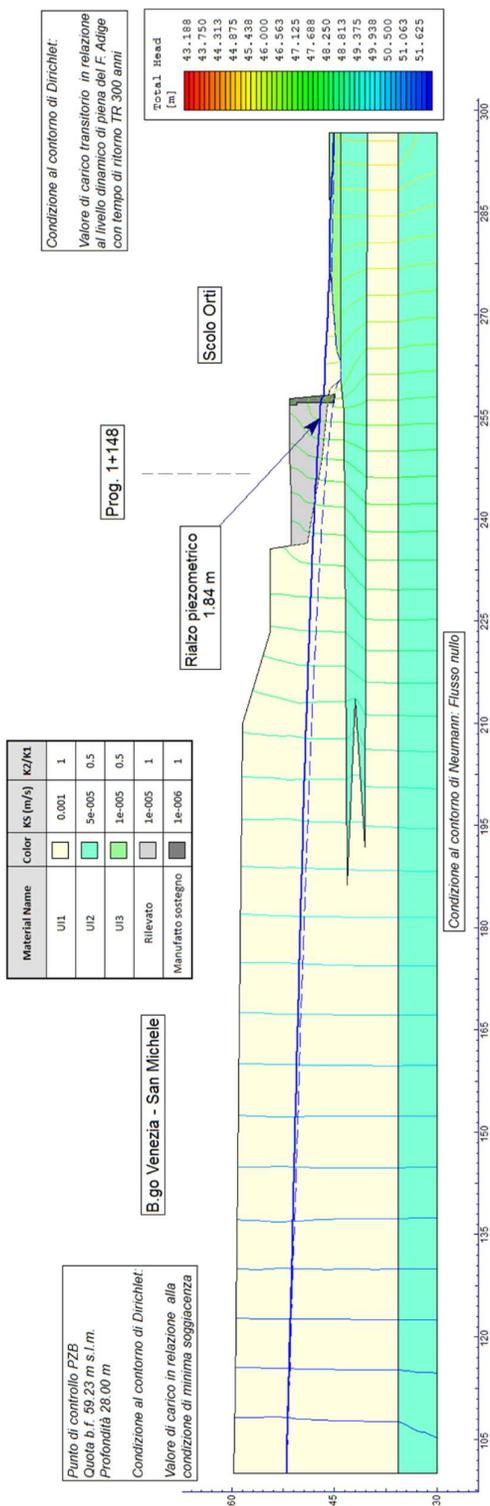


Figura 52 - Fase 4 - T = 24:45:00 h - Battente 45.00 m s.l.m.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
71 di 82

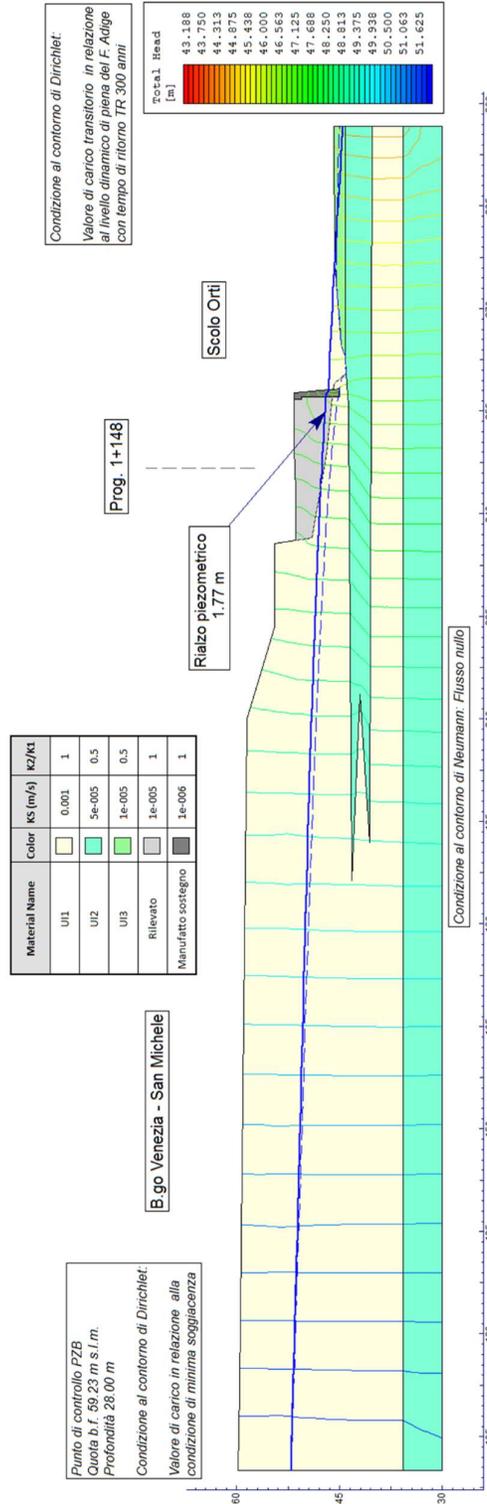


Figura 53 - Fase 5 - T = 300:00 h - Battente 44.40 m s.l.m.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
72 di 82

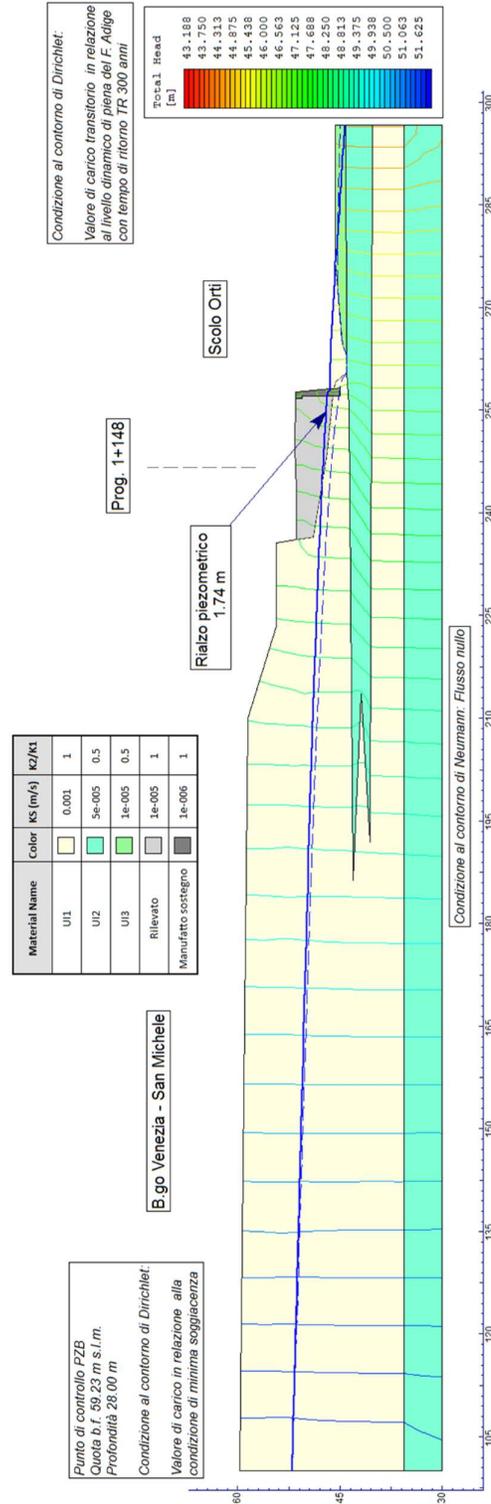


Figura 54 - Fase 6 - T = 360:00 h - Battente 44.30 m s.l.m.



Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
73 di 82

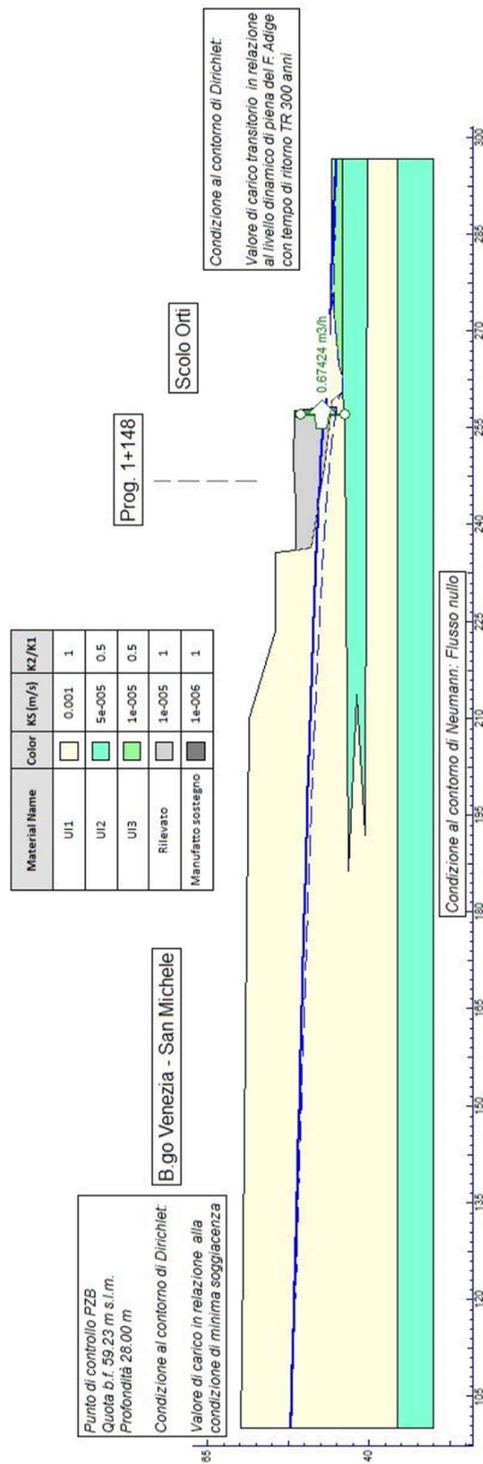


Figura 55 - Fase 1 - T = 0:00 h - Portata di transito 0.674 m³/h.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
74 di 82

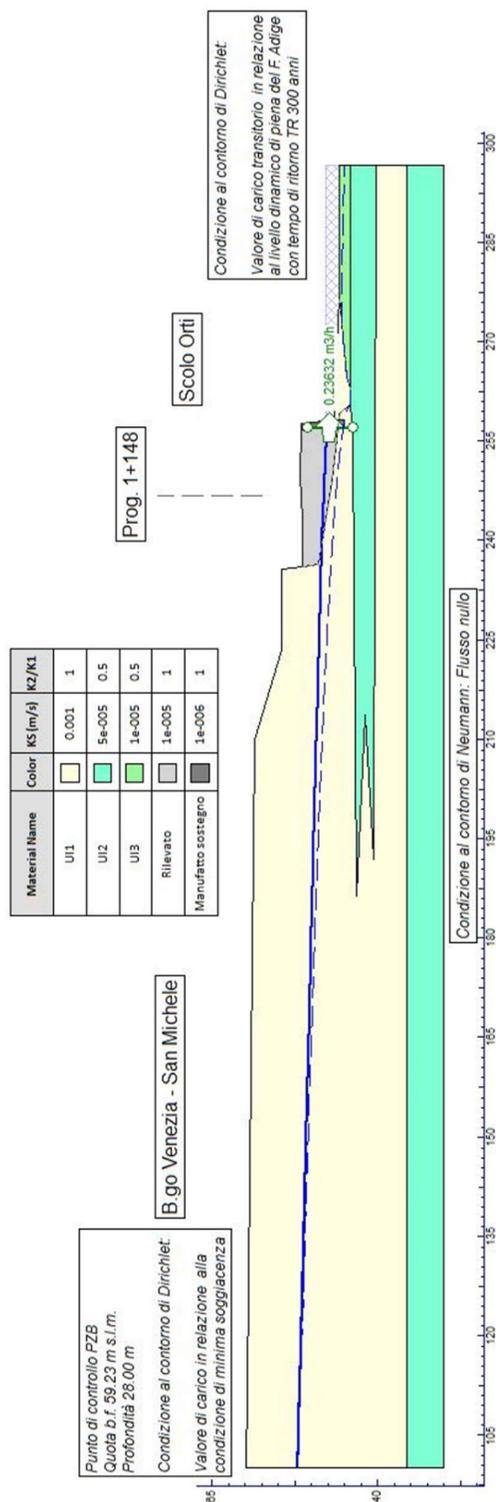


Figura 56 - Fase 2 - T = 12:00 h - Portata di transito 0.236 m³/h.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
75 di 82

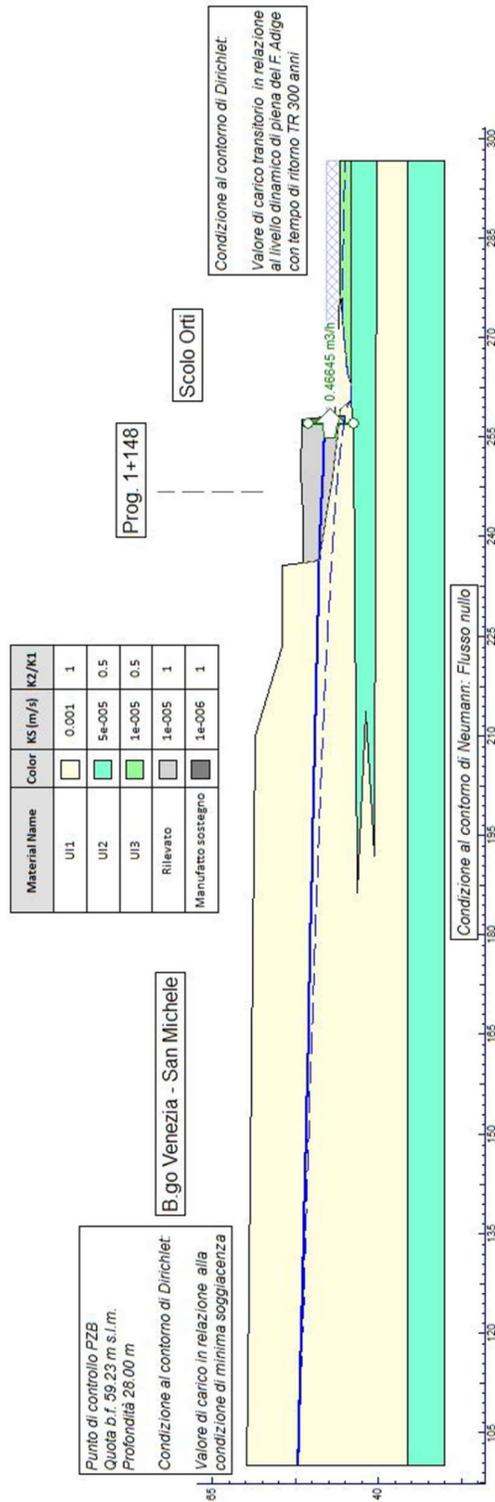


Figura 57 - Fase 3 - T = 48:00 h - Portata di transito 0.466 m³/h.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
76 di 82

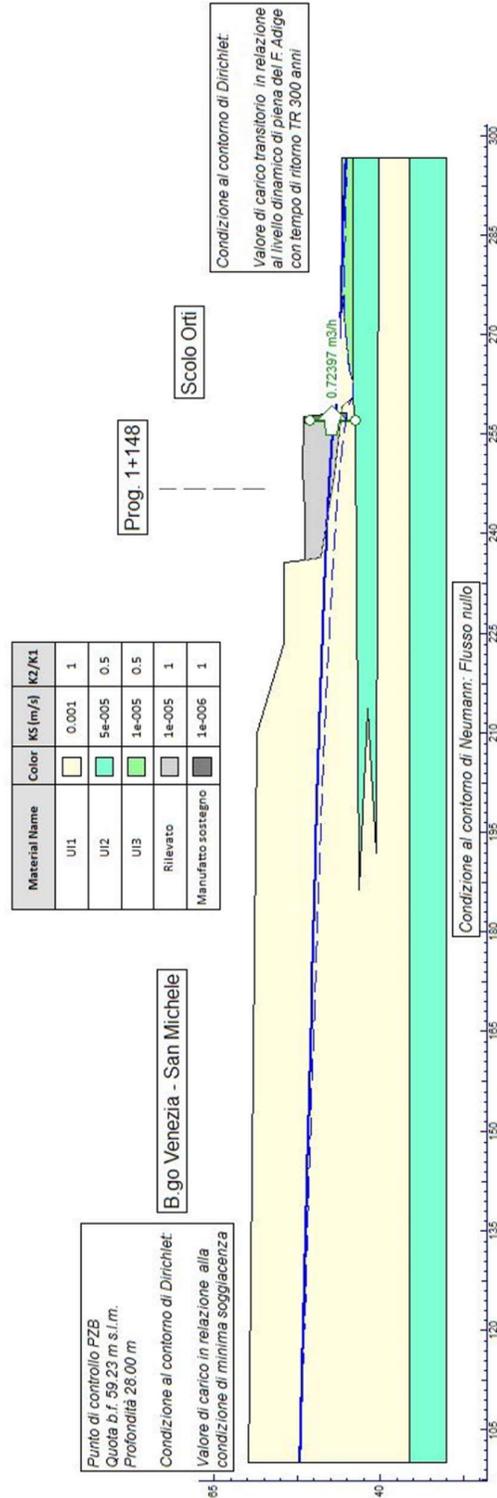


Figura 58 - Fase 4 - T = 245:00 h - Portata di transito 0.724 m³/h.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
77 di 82

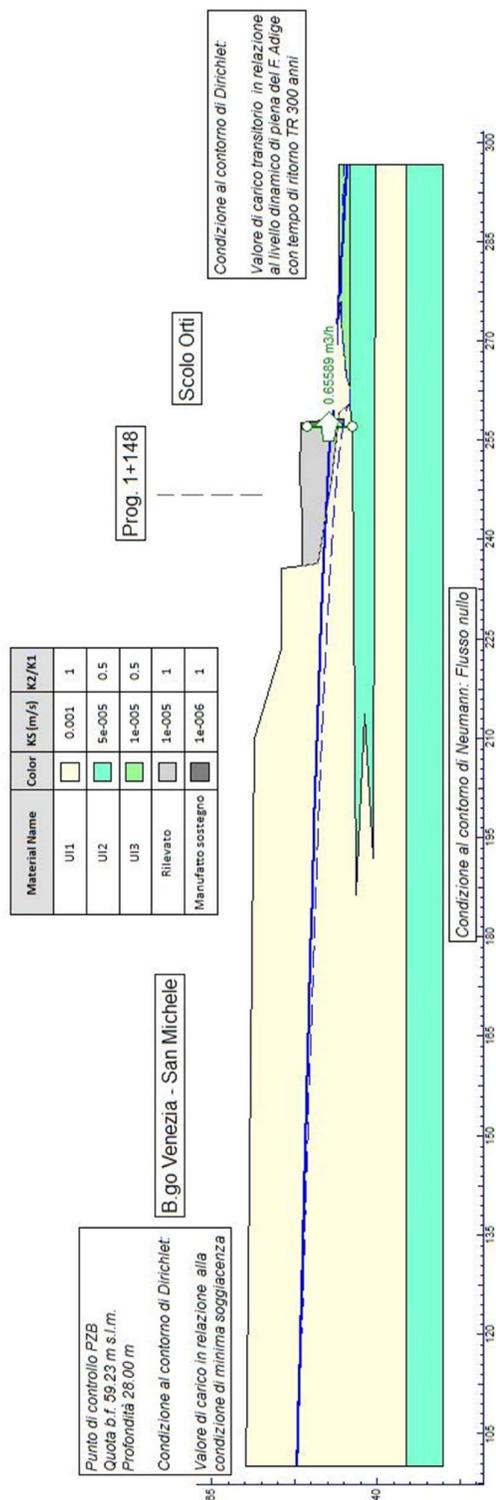


Figura 59 - Fase 5 - T = 300:00 h - Portata di transito 0.656 m³/h.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
78 di 82

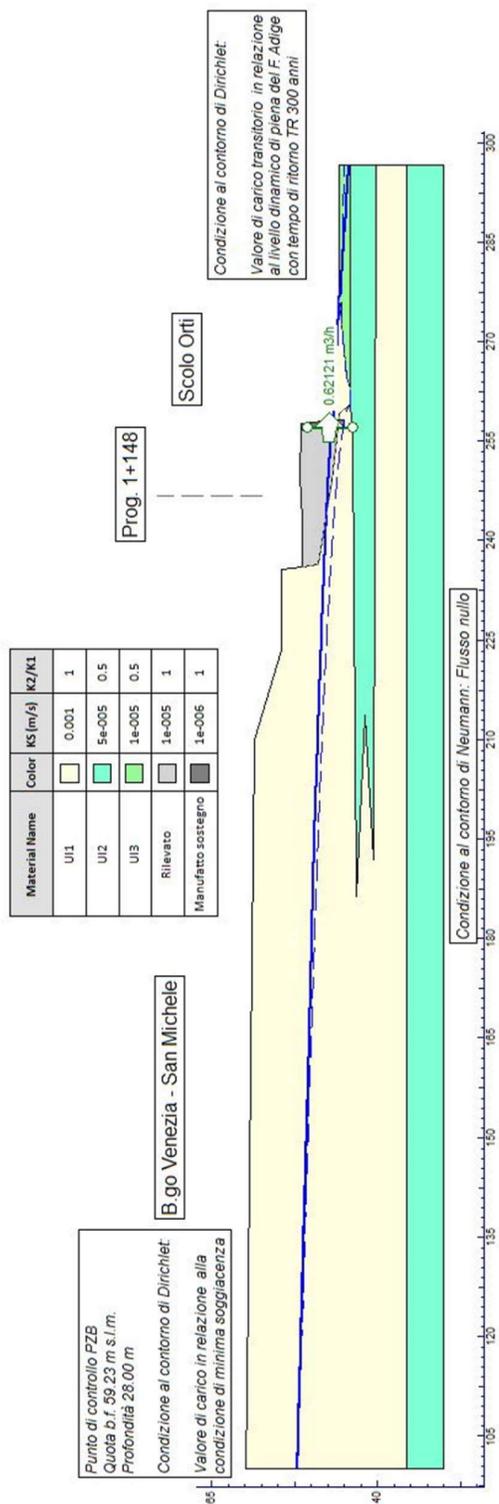


Figura 60 - Fase 6 - T = 360:00 h - Portata di transito 0.621 m³/h.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
79 di 82

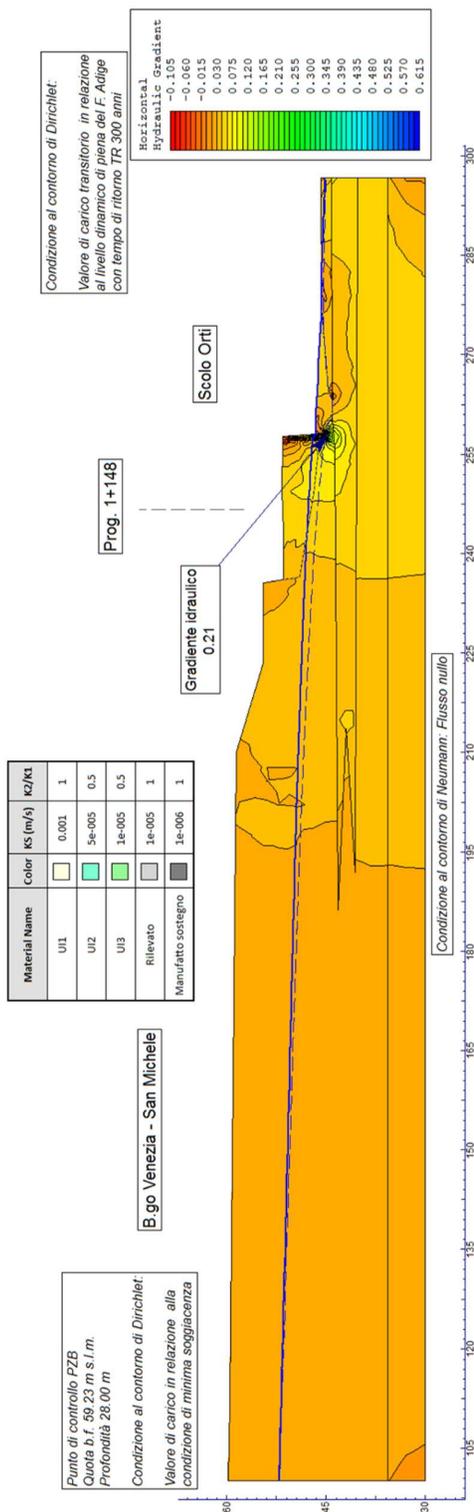


Figura 61 - Fase 4 - T = 245:00 h - Battente 45.00 m s.l.m. - Distribuzione del gradiente idraulico orizzontale.

Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)

Progetto
IN17

Lotto
11

Codifica
EI2RHR1000X001A

Foglio
80 di 82

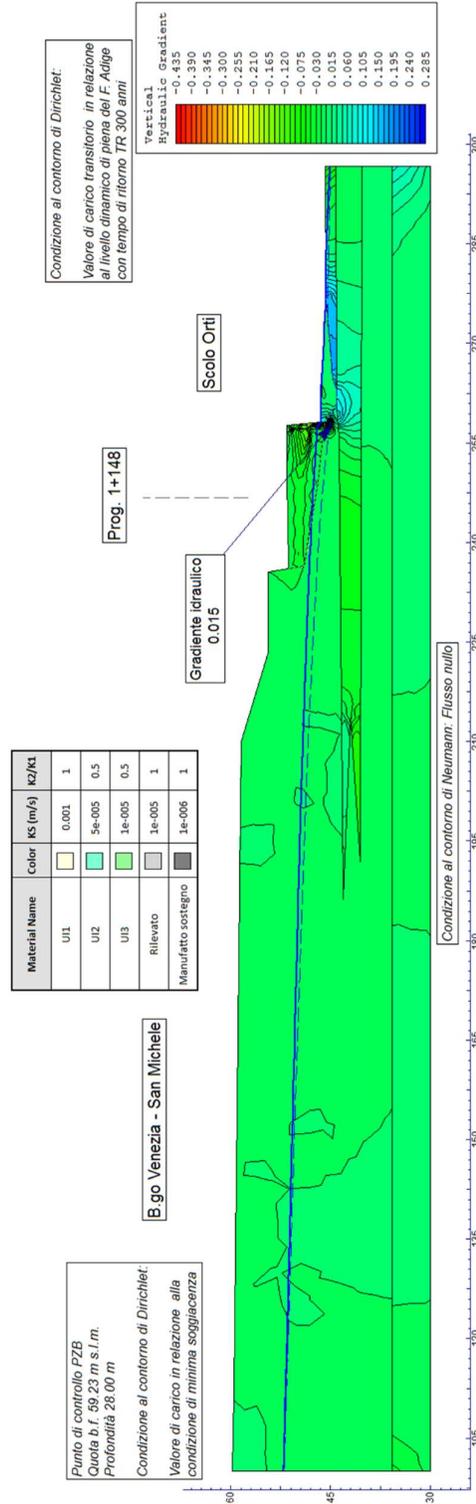


Figura 62 - Fase 4 - T = 245:00 h - Battente 45.00 m s.l.m. - Distribuzione del gradiente idraulico verticale.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHR1000X001A	Foglio 81 di 82

10 CONCLUSIONI

A valle di una approfondita ricerca bibliografica, è stata eseguita una modellazione di flusso 2D in regime transitorio attraverso l'applicativo Groundwater Analysis Transient FEA del software Slide 6.039 di Rocscience Inc. di Toronto allo scopo di valutare gli effetti di interferenza tra il regime delle risorgive ed i livelli di piena associati all'esonazione dell'Adige con $T_r = 300$.

La modellazione è stata eseguita su una sezione di riferimento in corrispondenza della risorgiva Il Mulino che risulta essere quella con le maggiori portate tra le affioranti lungo il rio Orti, alla base del terrazzo su cui sorge l'abitato di San Martino Buonalbergo.

La modellazione nella configurazione di progetto ha permesso di valutare l'andamento della falda, la variazione delle portate di transito e del gradiente idraulico durante la fase crescente e decrescente della piena. Le risultanze della modellazione si possono riassumere nei seguenti punti:

- La piena comporta innalzamenti contenuti della piezometrica a monte.
- l'influenza delle risorgive sulla situazione globale della piezometrica durante la piena dei 300 anni è sostanzialmente trascurabile.
- I tempi di deflusso sono tali da generare per un certo periodo una sovrappressione all'interno del rilevato rispetto alla situazione iniziale (di altezza massima della falda).
- I tempi di riallineamento del regime piezometrico dopo la conclusione dell'evento di piena sono valutabili in circa 10 giorni.
- La variazione delle portate di efflusso delle risorgive a seguito dell'evento di piena segue qualitativamente questo andamento: nelle prime 12 h la risalita della falda ha un netto ritardo rispetto alla curva della piena e pertanto le portate delle risorgive risultano ridotte di circa 1/3 rispetto allo stato pre-piena. La risalita della falda diviene più rapida a seguito del rigurgito che viene creandosi e nelle successive 36 h la piezometrica si stabilizza sul livello della piena trecentennale (47,7 m s.l.m.) con una portata ridotta di circa il 30% a causa del minore gradiente di falda imposto dalla piena. Nella fase discendente della piena il carico idraulico che si è creato a monte determina un aumento della portata alle risorgive che al tempo $T=245$ h (8 giorni dall'inizio della fase discendente della piena) è stimabile in valori del 7-8%; in seguito la portata diminuisce gradualmente tornando al valore di pre-piena a circa 10 giorni dall'inizio della fase discendente della piena.

Si sottolinea che quanto sopra riportato dipende anche dalle caratteristiche di permeabilità del materiale costituente il rilevato e dalla efficacia del sistema di drenaggio del muro al momento della piena, che possono essere solamente ipotizzate in questa fase. A favore di sicurezza, per il nuovo muro di sostegno, sono state assunte condizioni di parziale drenaggio, rappresentative di un possibile leggero intasamento del sistema drenante.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Studio Idrogeologico Integrativo per i Rilevati ubicati nell'Area delle Risorgive da pk 0+800 a pk 1+925 (RI04-RI05-RI06-RI07)	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica EI2RHRI000X001A	Foglio 82 di 82

11 BIBLIOGRAFIA

- [1] Anderson M.P., Woessner W.W., Hunt R.J., 2015. Applied Groundwater Modeling. Simulation of flow and advective transport. San Diego, California.
- [2] Baldassarre G., 2018 - Modellazione numerica del flusso nell'acquifero freatico dell'Alta Pianura Veronese- Tesi di laurea magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, A.A. 2017/2018.
- [3] Benedetti L., 2014. Polo Fieristico Veronese S.p.a..Studio di compatibilità geologica, geomorfologica e idrogeologica.
- [4] Boscolo C. & Mion F., 2008. Le acque sotterranee della pianura veneta. I risultati del progetto SAMPAS.
- [5] Dal Prà & De Rossi, 1989. Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige. Dip. Geol. Univ. Padova, SELCA, Firenze.
- [6] Dal Prà A. & Antonelli R., 1977. Ricerche idrogeologiche e litostratigrafiche nell'alta pianura alluvionale del fiume Adige.
- [7] Dal Prà A., De Rossi P., Furlan F., Siliotti A., Zangheri P., 1991. Il regime delle acque sotterranee nell'alta pianura veronese.
- [8] De Zanche V., Sorbini L., Spagna V., 1977. Geologia del territorio del Comune di Verona. Mem. Mus. Civ. St. Nat. Di Verona, II° serie, Sez. Sc. della Terra, n. 1, Stamperia Valdonega, Verona.
- [9] Fabbri P. & Piccinini L., 2013. «Assessing transmissivity from specific capacity in an alluvial aquifer in the middle Venetian plain (NE Italy)» Harbaugh, 2005. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular GroundWater Model—the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16. In Modeling techniques.
- [10] Nucci E., 2016. Ente fiere Verona. Piazzini O., 2007. Rapporto sullo stato dell'ambiente della provincia di Verona.
- [11] Scussel G.R. & Saccardo I., 2006. Applicazione di diverse tecniche di misura delle portate eseguite in relazione alla valutazione della risorsa idrica: infiltrazioni dialveo, DMV, apporti sorgentizi. Arpav, 11/07/2006 Gestione integrata delle risorse idriche a scala di bacino.
- [12] Sorbini L., Accorsi C. A., Bandini Mazzanti M., Forlani L., Gandini F., Meneghel M., Rigoni A., Sommaruga M., 1984. Geologia e Geomorfologia di una porzione della Pianura a Sud-Est di Verona. Mem. Mus. Civ. St. Nat. Di Verona, II° serie, Sez. Sc. della Terra, n. 2, Cooperativa Tipolitografica Nova Stampa, Verona.
- [13] Sorbini L., Accorsi C. A., Bandini Mazzanti M., Castellani E., Ferrari A., Consolaro S., Forlani L., Marchesini M., Parolotti L., Peretti A., Sauro U., Torri P., Zambrano R., Zampieri D., Zorzon R., 1993. Geologia, Idrogeologia e qualità dei principali acquiferi Veronesi. Mem. Mus. Civ. St. Nat. Di Verona, II° serie, Sez. Sc. della Terra, n. 4, Tipolitografia Gutenberg, Povegliano (VR)