

## **Relazione relativa a siti interessati da procedimento di bonifica**

Classificazione: PT.01.23.22/33.5

Al Responsabile del  
Dipartimento di Pistoia

Oggetto: Codice Regionale Condiviso Sito: PT-1147 Denominazione Sito: Inquinamento da cloruro di vinile falde – Zona via del Redolone, Cantagrillo (PT). Rapporto Conclusivo Indagini Art. 244 D.Lgs 152/2006

# **Inquinamento della Falda Acquifera nell'area circostante via del Redolone, Comune di Serravalle Pistoiese – Rapporto Conclusivo Indagini Art. 244 D.Lgs 152/2006**

## Indice generale

Introduzione.....	3
Indagini MIHPT.....	3
Prove idrogeologiche.....	8
Log di conducibilità e temperatura.....	8
Prove di portata di lunga durata.....	12
Trasmissività.....	14
Tracciante salino.....	16
Facies geochimiche.....	19
Composti organoalogenati.....	20
Campionamento e analisi pozzi.....	22
Mappa geostatistica del pennacchio di contaminazione in CVM.....	23
Modellazione numerica.....	31
Conclusioni.....	35
Allegati.....	39

## Introduzione

Questo rapporto riunisce e conclude le indagini fin qui svolte per la delimitazione dell'area contaminata da cloruro di vinile e la ricerca del responsabile della contaminazione ai sensi dell'Art. 244 del Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152. In particolare integra gli studi presentati nel contributo tecnico di ARPAT dell'aprile 2019 con i risultati delle indagini effettuate a partire da quella data fino a ottobre 2020.

Come comunicato con la nota ARPAT prot. 38524 del 10/06/2020 inviata ai Comuni di Pistoia e Serravalle P.se, nonché alla Regione Toscana, *“l'analisi dei dati storici relativi ai siti SISBON, dei dati idrogeologici di letteratura e di quelli analitici prodotti da ARPAT ad oggi fa ragionevolmente escludere che la contaminazione da cloruro di vinile delle falde nella zona di via del Redolone possa aver avuto origine dai siti SISBON PT052 e PT010 e più in generale da attività poste nel territorio del Comune di Pistoia”*

Per questo motivo le fasi successive delle indagini si sono concentrate sulla zona industriale di via del Redolone, di cui verrà dato conto nella presente relazione.

Le principali attività descritte nel rapporto sono:

- 1) indagini effettuate con sonda MIP/MI-HPT dalla società SGM Geologia e Ambiente S.r.l. presso l'area industriale di via del Redolone nel comune di Serravalle Pistoiese;
- 2) campionamento e analisi chimica delle acque dei pozzi privati e di quelli dell'ex campo pozzi del Redolone;
- 3) prove idrogeologiche (log verticali di conducibilità e di temperatura, prove di pompaggio di lunga durata) eseguite presso l'ex campo pozzi del Redolone;
- 4) elaborazioni geostatistiche finalizzate alla definizione dell'estensione dell'area contaminata;
- 5) modellazione numerica inerente la prova di pompaggio sul pozzo 1 per la ricostruzione del comportamento idrodinamico della falda profonda.

## Indagini MIHPT

Su incarico della regione Toscana la società SGM Geologia e Ambiente S.r.l. ha effettuato, presso la zona industriale di via del Redolone, un'indagine con tecnologia MIP

(Membrane Interface Probe) e MI-HPT (Membrane Interface Hydraulic Profiling Tool) riportata in allegato 1.

Il dispositivo MIP è in grado di rilevare in modo semi-quantitativo la concentrazione dei VOCs (Volatile Organic Compounds) nel sottosuolo insaturo e saturo in funzione della profondità. Lo strumento è inoltre dotato di un sensore in grado di rilevare la conducibilità elettrica del suolo, fornendo informazioni sulle litologie attraversate.

La punta MIHPT può essere considerata un insieme di due punte (MIP e HPT) poste in un unico corpo composto da: una membrana riscaldabile fino a 120°C per la rilevazione dei VOC (MIP), un dipolo per la misura della conducibilità EC (MIP e HPT), una membrana per l'iniezione di acqua durante l'avanzamento della sonda connessa ad un trasduttore di pressione (HPT). La punta viene infissa nel terreno attraverso una batteria di aste.

I VOCs volatilizzati all'interno della membrana vengono condotti in superficie sospinti da un carrier gas fino ai sensori installati all'interno di un Gascromatografo, ossia un rilevatore a ionizzazione di fiamma (FID - Flame Ionization Detector), un fotoionizzatore (PID - Photo Ionization Detector) e un rilevatore (XSD - Halogen-Specific Detector) specifico per composti alogenati come cloruro di vinile (in seguito indicato come CVM o CV), 1,2-dicloroetilene (in seguito indicato come 1,2-DCE o DCE), tricloroetilene (TCE) e tetracloroetilene (PCE). Il sensore XSD presenta una minore specificità nei confronti del CV rispetto al TCE, dovuta alla minore componente in peso di atomi di cloro nel CV rispetto al TCE. Questo favorisce l'individuazione dei termini più primitivi della contaminazione, quindi dell'area più prossima alla fonte di inquinamento.

Nella figura sottostante sono riportati gli 8 punti dove sono stati effettuate le prove con sonda MIP/MI-HPT (in seguito indicati con MIHPT), la cui ubicazione è stata scelta sulla base dei risultati delle analisi chimiche in termini di composti organoalogenati e tenendo conto delle condizioni logistiche di accesso ai siti (Fig. 1). I punti sono stati ubicati in un intorno di via del Redolone lungo l'asse maggiore del pennacchio di contaminazione definito nel contributo dell'aprile 2019.



Fig. 1: Ubicazione delle 8 prove MIHPT (base Google Earth).

Le indagini MIHPT hanno prodotto, inoltre, una caratterizzazione litologica dell'orizzonte esplorato nei primi 20 metri dal piano campagna. Tutte le MIHPT sembrano aver raggiunto ed esplorato completamente fino alla base l'acquifero superficiale in sabbie, indicato nella relazione SGM come "terzo livello" di "terreni prevalentemente granulari con lenti debolmente coesive" compreso tra 10 e 18 m dal p.c.

I log stratigrafici derivati dalle MIHPT sono stati inseriti in Qgis ed analizzati tramite il plugin Midvatten<sup>1</sup>. In particolare è stata prodotta una elaborazione delle quote della base di suddetto livello.

La morfologia della base è rappresentata nella figura successiva attraverso una interpolazione approssimata, stante i pochi dati, tramite kriging. Sembra delinearsi un evidente alto morfologico in corrispondenza di MIHPT2, in prosecuzione verso MIHPT5, e una depressione in MHPT4 (Fig. 2). Il dislivello tra le prove 2 e 4 è sensibile e raggiunge i 5 m.

<sup>1</sup> <https://plugins.qgis.org/plugins/midvatten/>



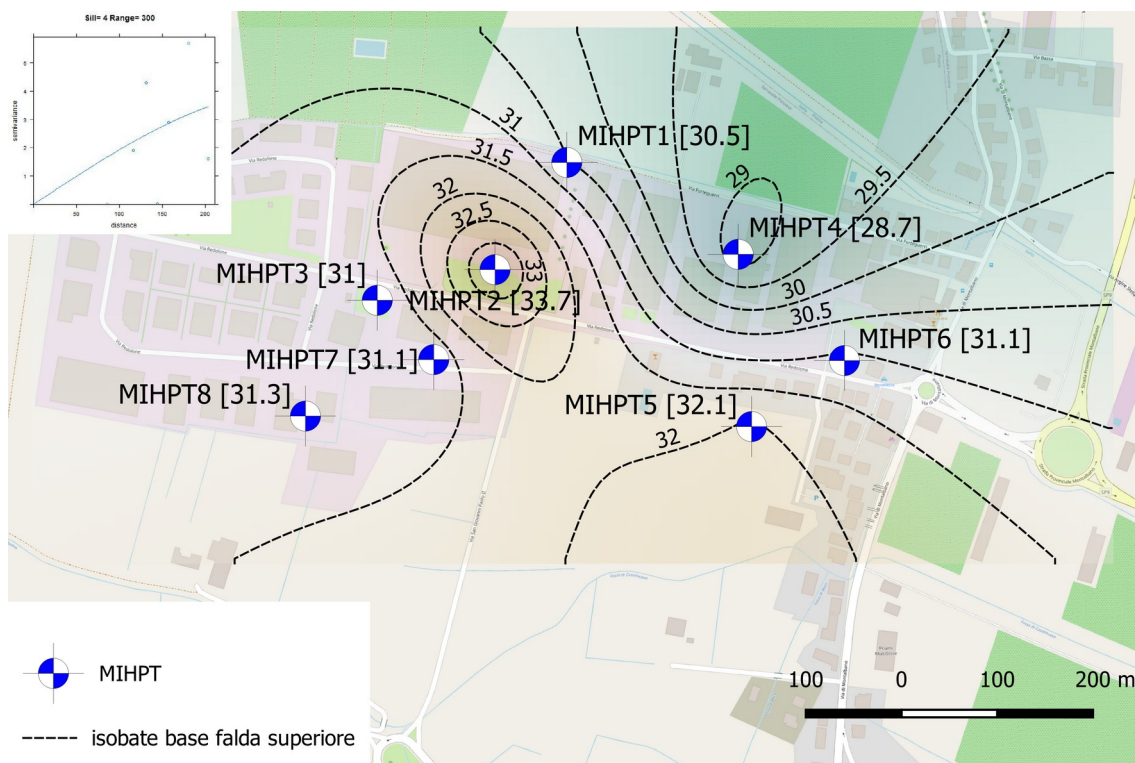


Fig. 2: Ricostruzione a curve isoipse (m s.l.m.) della base della falda superiore (base OpenStreetMap).

Sempre sulla base dei risultati delle prove MIHPT è stata inoltre prodotta una ulteriore elaborazione che rappresenta la media del segnale XSD all'interno degli stessi orizzonti della falda superiore (Fig. 3). I valori ottenuti, pur non sufficienti a rappresentare la continuità spaziale della variabile, indicano l'area con valori superiori evidentemente spostata ad occidente rispetto al nucleo originario delle maggiori concentrazioni in CVM.

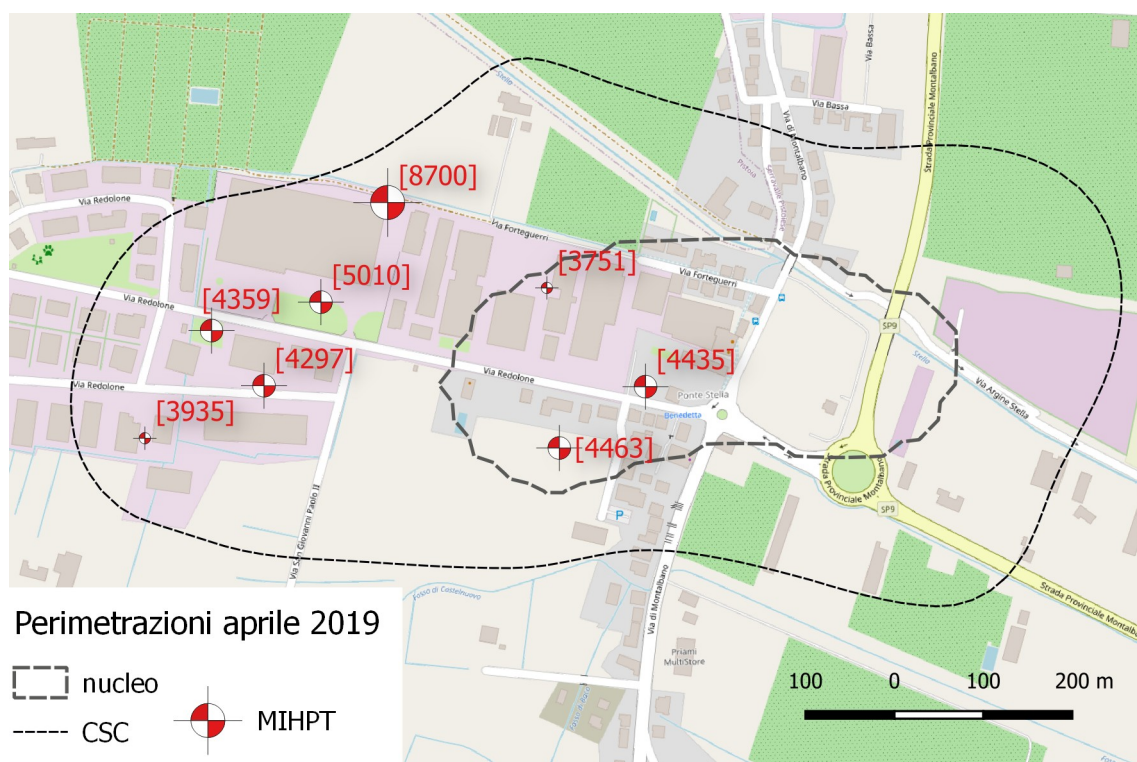


Fig. 3: Mappa della media del parametro XSD sull'orizzonte della falda superiore.

Per quanto notato, il motivo per cui le prove come le MIHPT4, 5 e 6 non sembrano aver risentito delle elevate concentrazioni in CVM può essere attribuito alla minore specificità del sensore XSD nei confronti del CVM rispetto allo stesso TCE, sostanza la cui formula stechiometrica  $C_2HCl_3$  presenta una maggiore componente in peso di atomi di cloro rispetto al CVM  $C_2H_3Cl$ .

Il 25 giugno 2020 è stato prelevato dalla ditta SGM un campione di acqua (MIP1) della prima falda a una profondità compresa tra 11,40 e 11,65 m dal p.c. in prossimità del sondaggio MIHPT1. Per tale campione è stato misurato un potenziale Redox negativo (-110,8 mV), in linea con i valori riscontrati per la prima falda, e sono state determinate concentrazioni di CVM, 1,2-dicloroetilene, 1,1-dicloroetilene e TCE rispettivamente di 236, 48, 13 e 294  $\mu\text{g/L}$ . A riprova di quanto indicato sopra, il campione MIP1 corrispondente ad un valore di XSD di 8700 mV ha infatti espresso una concentrazione di TCE unica, molto elevata, la maggiore fin qui riscontrata.

## Prove idrogeologiche

Le prove idrogeologiche con l'inserimento del tracciante salino avevano l'obiettivo di accertare da un lato l'effettivo isolamento del pozzo 1 Redolone dalla falda superficiale captata nel vicino pozzo 3 e dall'altro verificare possibili influenze sul chimismo riconducibili alla crescita progressiva del cono di depressione e cattura durante la prova. Attraverso le due prove di portata di lunga durata eseguite tra il 25 agosto e il 4 settembre 2020 sono state inoltre ottenute ulteriori stime dei parametri idrodinamici della falda quali la trasmissività e, con il supporto di una modellazione, del coefficiente d'immagazzinamento S.

I pozzi 1 e 3 sono ubicati all'interno dell'ex campo pozzi del Redolone ad una quota di 50 m s.l.m. e sono distanziati tra loro poco più di 10 m. La falda più superficiale si attesta nell'intervallo 12-18 m circa ed è separata da quella più profonda da uno strato di depositi fini impermeabili di circa 15-20 m di spessore. I pozzi 1 e 3 presentano rispettivamente diametri di 219 e 102 mm e profondità di 85 e 17 m. Le loro caratteristiche in termine di tratti ciechi e fessurati sono state ricostruite dalle prove e video ispezioni effettuate da Ingegnerie Toscane a cui si rimanda per approfondimenti.

Le prove idrogeologiche sono state svolte in più fasi: log verticali di conducibilità e temperatura preliminari, prova di portata di lunga durata.

## Log di conducibilità e temperatura

I log verticali sui pozzi 1 e 3 del campo pozzi Redolone sono stati effettuati il 25/08/2020, prima dell'inizio delle prove di pompaggio, utilizzando il datalogger "CTD-diver" della vanEssen Instruments<sup>2</sup>. Tale sensore è in grado di misurare, con frequenza a partire da 1 secondo, i valori di temperatura (in °C), conducibilità specifica (mS/cm a 25°C) e pressione (in cmH<sub>2</sub>O). Nota la pressione all'interno del pozzo e conoscendo la pressione atmosferica esterna, si può determinare il livello piezometrico. Prima di effettuare il log, nel pozzo 1 era stata azionata per qualche minuto la pompa per un test generale del sistema.

Nelle figure sottostanti sono state riportate le retinature degli orizzonti stratigrafici e gli intervalli di posizionamento dei filtri come da progetto per il pozzo 3, mentre per il pozzo 1 è evidenziato l'intervallo da 39,0 a 40,5 m, dove la recente video ispezione ha documentato la presenza di filtri ad asola ancora ben aperti, indicando questo livello come il maggiormente produttivo.

---

2 <https://www.vanessen.com/>



La figura 4 per il pozzo 1 mostra un evidente bulbo di calore che si sviluppa intorno al motore della pompa ancora caldo. La posizione dei filtri è riconosciuta da un evidente aumento della conduttività di poco meno di 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 5) associato ad una leggera diminuzione di temperatura (0,1  $^{\circ}\text{C}$ ).

Nel pozzo 3, in corrispondenza dell'approssimarsi ai filtri del primo livello acquifero, si nota un incremento repentino di conduttività tra 14 e 15 m con un passaggio da 392  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 476  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 6).

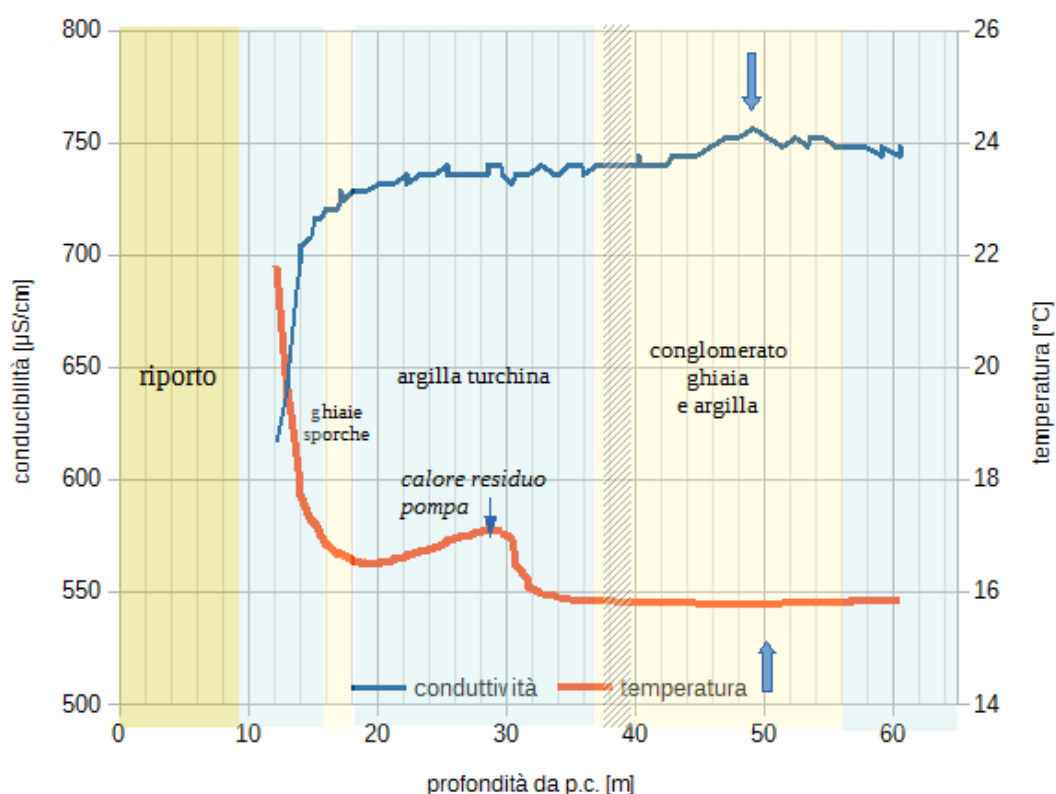


Fig. 4: Andamento con la profondità dei valori di conducibilità e temperatura nel pozzo 1.

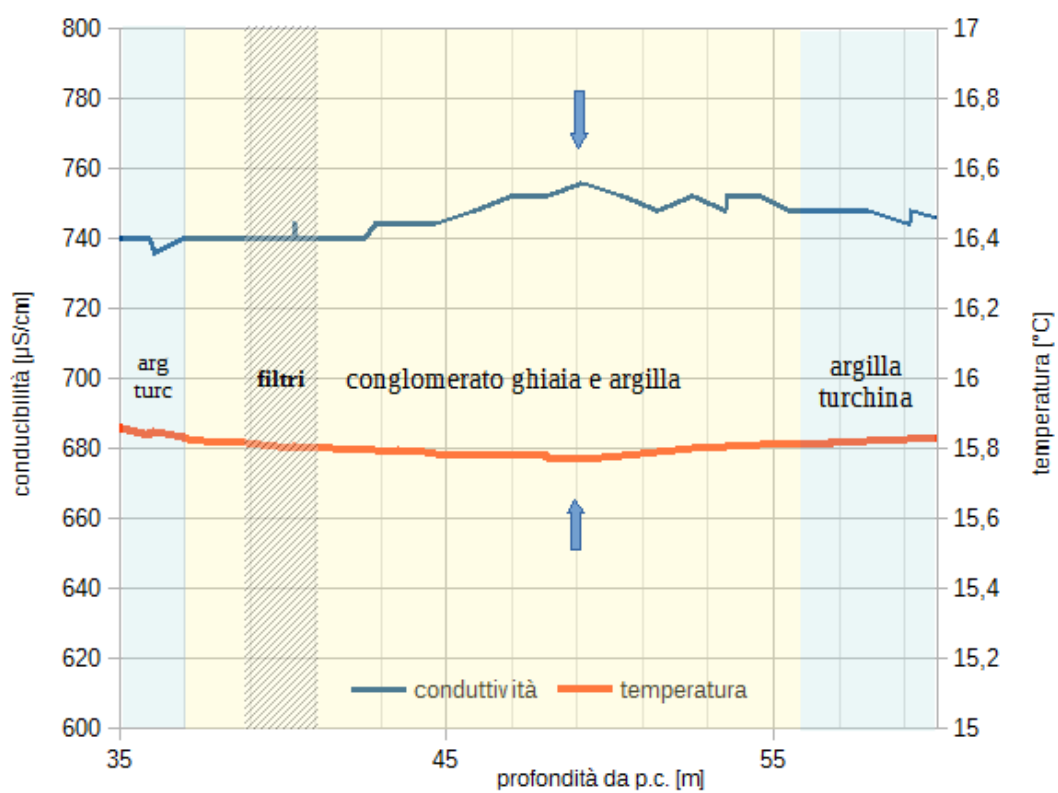


Fig. 5: Andamento con la profondità nel tratto compreso tra 35 e 60 m dei valori di conducibilità e temperatura nel pozzo 1.

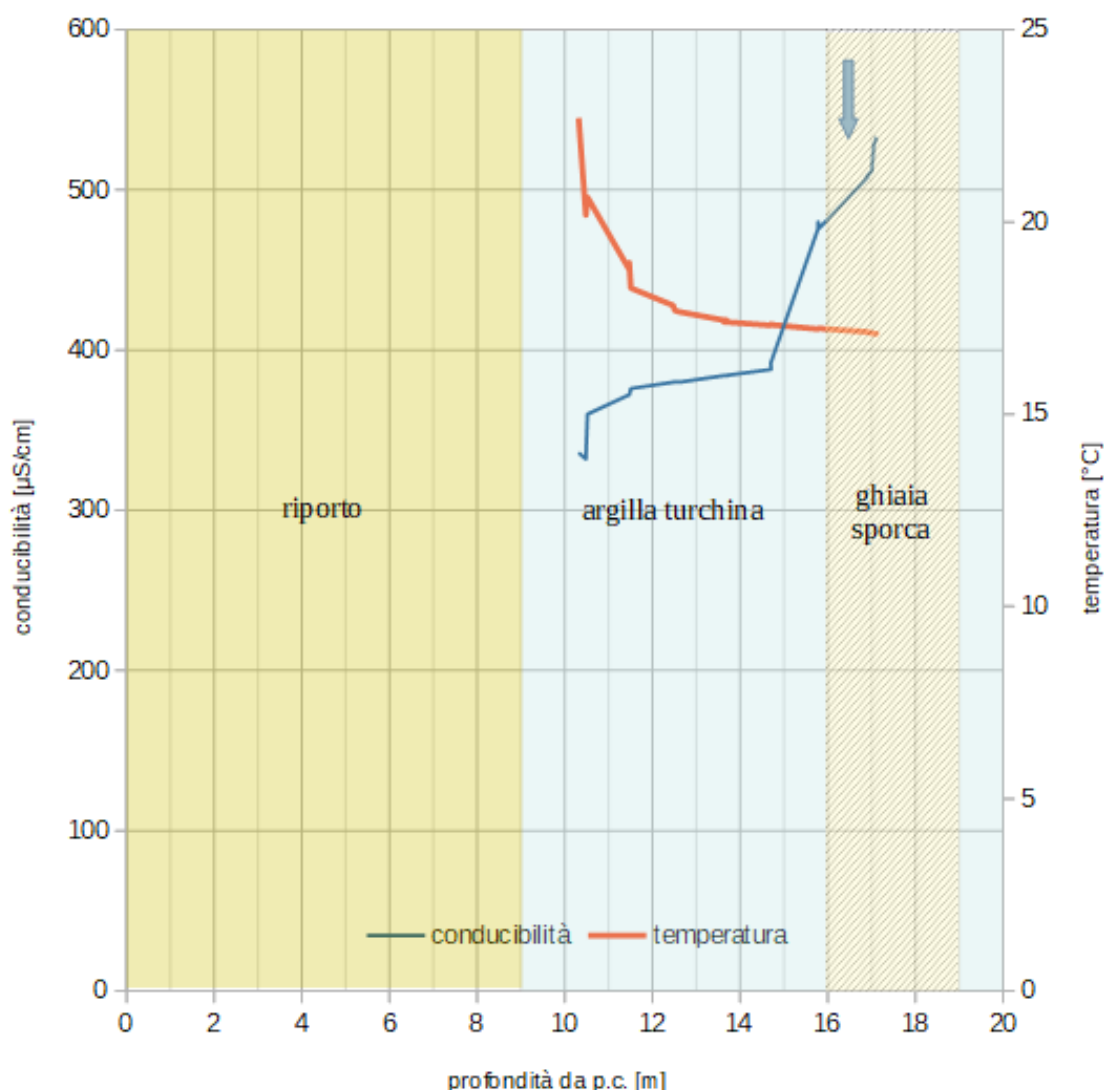


Fig. 6: Andamento con la profondità dei valori di conducibilità e temperatura nel pozzo 3.

Un ulteriore log con la sonda CTD era stato eseguito, in precedenza in data 28/02/2020, presso il pozzo TS01 a seguito di una videoispezione. Il pozzo profondo con un'elevata contaminazione da CVM era stato infatti indicato come potenziale pozzo miscelante tra la falda superiore e quella profonda.

La videoispezione condotta in data 07/12/19 aveva individuato a 13,8 m dal p.c. un'apertura sulla tubazione dalla quale si rilevava l'ingresso di acqua con una certa turbolenza. Il log di conduttività e temperatura sembra confermare quanto osservato dalla videoispezione, con una diminuzione di conduttività e una momentanea stabilizzazione della temperatura in corrispondenza dell'apertura (Fig. 7).

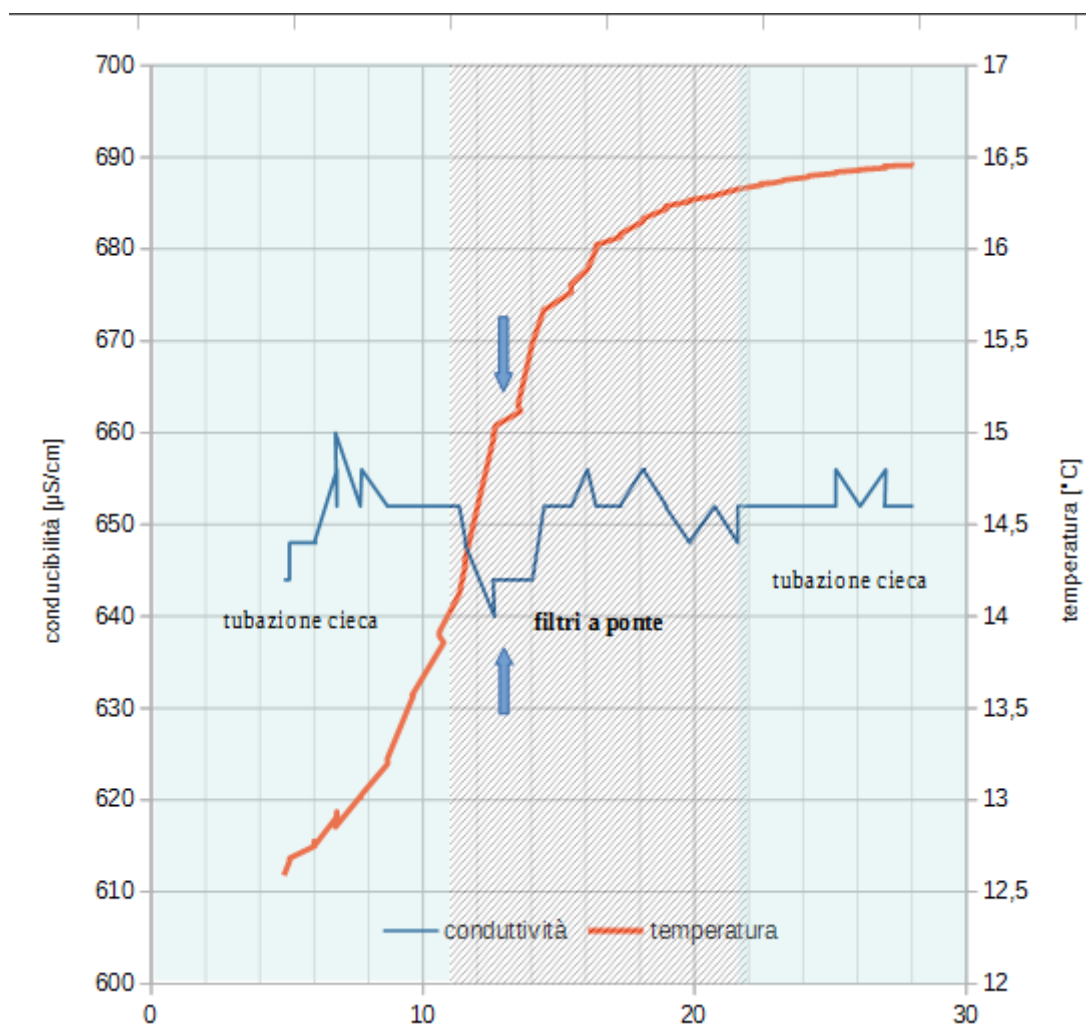


Fig. 7: Andamento con la profondità dei valori di conducibilità e temperatura nel pozzo TS01.

## Prove di portata di lunga durata

La prima prova di portata di lunga durata è stata eseguita tra il 25 ed il 28 agosto 2020. Essendo stata utilizzata durante la fase iniziale della prima prova una portata di emungimento troppo elevata (2 l/s) per il sistema pozzo/acquifero, nella settimana successiva (1-4/09/2020) è stata effettuata un'ulteriore prova a portata costante (1 l/s).

Per l'esecuzione delle prove sono state utilizzate la seguenti attrezzature:

- 1) pompa sommersa posizionata a circa 32 m di profondità nel pozzo in emungimento (pozzo 1);
- 2) flussometro per il monitoraggio della portata;
- 3) freatimetro per misurare l'abbassamento della superficie piezometrica nel pozzo 1 e nel pozzo di controllo (pozzo 3);
- 4) sonda multi-parametrica per la misura di conducibilità, pH, temperatura, ossigeno disciolto, potenziale Redox;
- 5) CTD-diver nel pozzo 1 per la misura di conducibilità, temperatura e pressione;
- 6) TD-diver nel pozzo 3 per la misura di temperatura e pressione;
- 7) Baro-diver per la misura della pressione atmosferica ubicato in corrispondenza del casotto presente nel campo pozzi;
- 8) sale alimentare utilizzato come tracciante chimico.

Prima di iniziare le prove sono state effettuate le seguenti operazioni: misura del livello statico nei pozzi 1 e 3, installazione CTD-diver, TD-diver e Baro-diver e inserimento nel pozzo 3 di una miscela composta da 9 kg di sale alimentare e 25 L di acqua.

Dopo aver azionato la pompa alla portata voluta è stato monitorato periodicamente con freatimetro il livello piezometrico, per annotare successivamente gli abbassamenti, sia nel pozzo 1 che nel 3. Le misure di livello sono servite a tarare gli abbassamenti registrati dai diver nei pozzi. Periodicamente sono stati misurati, con sonda multi-parametrica, i parametri fisico-chimici dell'acqua emunta dal pozzo 1. Le misure di conducibilità hanno avuto lo scopo di tarare le letture del CTD-diver e di verificare l'eventuale incremento di conducibilità dovuto all'arrivo del tracciante salino. All'interno del pozzo 1 è stato installato il CTD-diver ad una profondità di circa 30 m e comunque ad una quota di almeno 1 m sopra la pompa per evitare l'effetto sulle misure dei parametri della turbolenza causa dalla pompa stessa. Il TD-diver è stato installato nel pozzo 3 alla profondità di 13 m circa. Le frequenze di acquisizione di CTD-diver, TD-diver e Baro-diver sono state impostate rispettivamente a 10 secondi, 1 minuto e 60 minuti.

Terminato l'emungimento i diver sono stati lasciati nei pozzi per un periodo congruo a misurare i parametri durante la fase di risalita del livello piezometro. Successivamente sono stati recuperati i diver, scaricati i dati ed elaborati con il software Diver-Office 2019 della vanEssen Instruments.

Oltre ai parametri chimico-fisici acquisiti dal sensore in continuo CTD, durante l'esecuzione delle prove sono stati prelevati campioni di acqua per la verifica di possibili variazioni sia riguardo le concentrazioni degli inquinanti in ragione di una maggiore o



minore cattura del pennacchio di contaminazione, sia in termini di possibili variazioni di facies idrochimica del corpo idrico.

La prima prova ha avuto una durata di 72 ore circa dalle 12:02 del 25/08/20 alle 9:26 del 28/08 nel corso della quale la portata del pozzo è variata tra 2 l/s iniziali ridotti ad 1,5 l/s alle 15:17 e quindi ad 1 l/s dalle 17:23 del 25. La risalita è stata monitorata fino alle 14:24 del 28/08. Sono stati prelevati due campioni, il primo ad inizio prova il 25/08 ed un successivo a prova inoltrata, dopo 49 h (2890 minuti) il 27/08 alle 10:55.

La seconda prova è stata condotta con regolarità alla portata costante di 1 l/s ed ha avuto inizio il 01/09 alle 16:19 per interrompersi il 04/09 alle 9:05 per una durata di 64 h. La risalita è stata monitorata fino alle 14:26 del 04/09 per un totale di 5 h circa.

Nella tabella sottostante sono elencati i riferimenti di data e ora dei campioni prelevati. I rapporti di prova delle analisi effettuate su tali campioni sono riportati in allegato 8. Alle ore 9:55 del 25/08, prima dell'inizio della prima prova, è stato prelevato anche un campione dal pozzo 3.

Campione Descrizione	Data	Ora prelievo	Campione ID	Minuti prova
Prova 25-27 agosto inizio 25/08/20 12:02	25/08/20	09:50:00	FI 2020 2807 O	-132
	27/08/20	10:55:00	FI 2020 2864 O	2813
Prova 1-4 settembre inizio 01/09/20 16:37	01/09/20	16:19:00	FI 2020 2899 O	-18
	02/09/20	08:50:00	FI 2020 2912 O	973
	02/09/20	17:50:00	FI 2020 2918 O	1513
	03/09/20	09:00:00	FI 2020 2924 O	2423
	03/09/20	17:45:00	FI 2020 2925 O	2948
	04/09/20	08:45:00	FI 2020 2930 O	3848

Tabella 1: Campioni prelevati durante le prove idrogeologiche.

## Trasmissività

La prima prova è risultata, come temuto, di difficile interpretazione per l'elaborazione dei parametri idrogeologici stante le variazioni di portata. Nella seconda prova il tracciato è invece regolare e tramite l'equazione<sup>3</sup> di Cooper-Jacob<sup>4</sup> è stato possibile determinare il coefficiente di trasmissività T dall'interpretazione separata delle curve di discesa e risalita del livello (Fig. 8).

<sup>3</sup>  $T = 0,183Q/s$

<sup>4</sup> Cooper, H.H. and C.E. Jacob, 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, Am. Geophys. Union Trans., vol. 27, pp. 526-534.

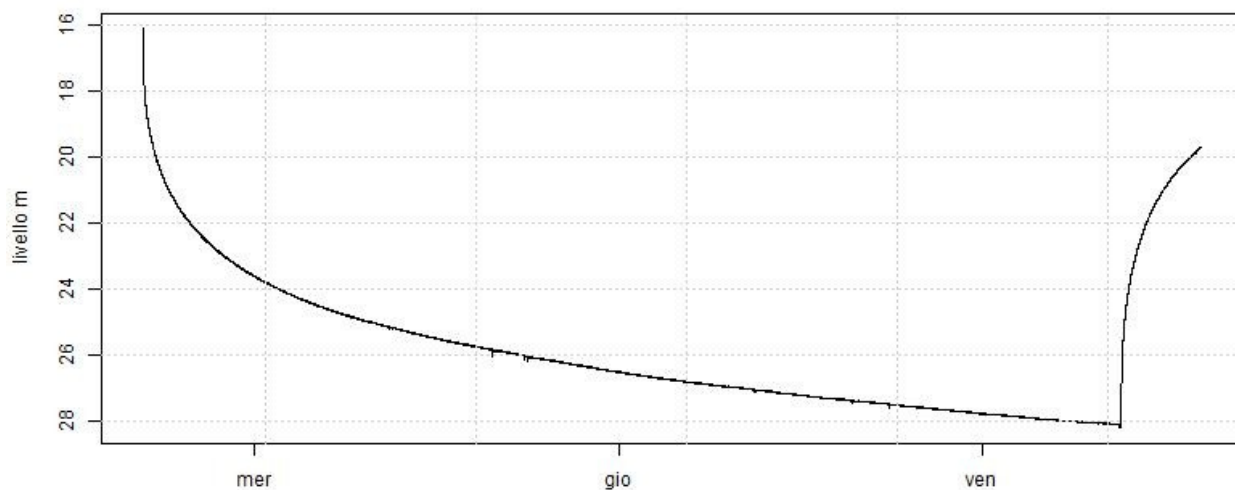


Fig. 8: Seconda prova martedì 01/09 - venerdì 04/09.

I risultati delle due interpretazioni sono molto prossimi,  $3,88E-5$  mq/s per la discesa (Fig. 9) e  $3,71E-5$  mq/s per la risalita (Fig. 10).

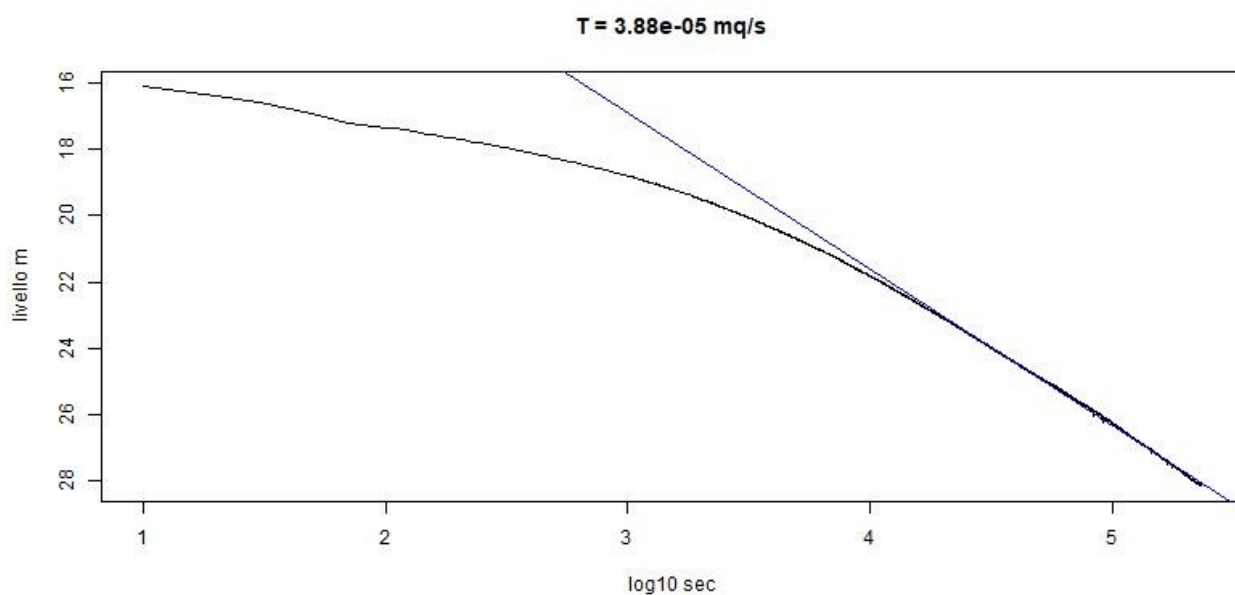


Fig. 9: Prova di emungimento 01/09-04/09 - interpretazione discesa.

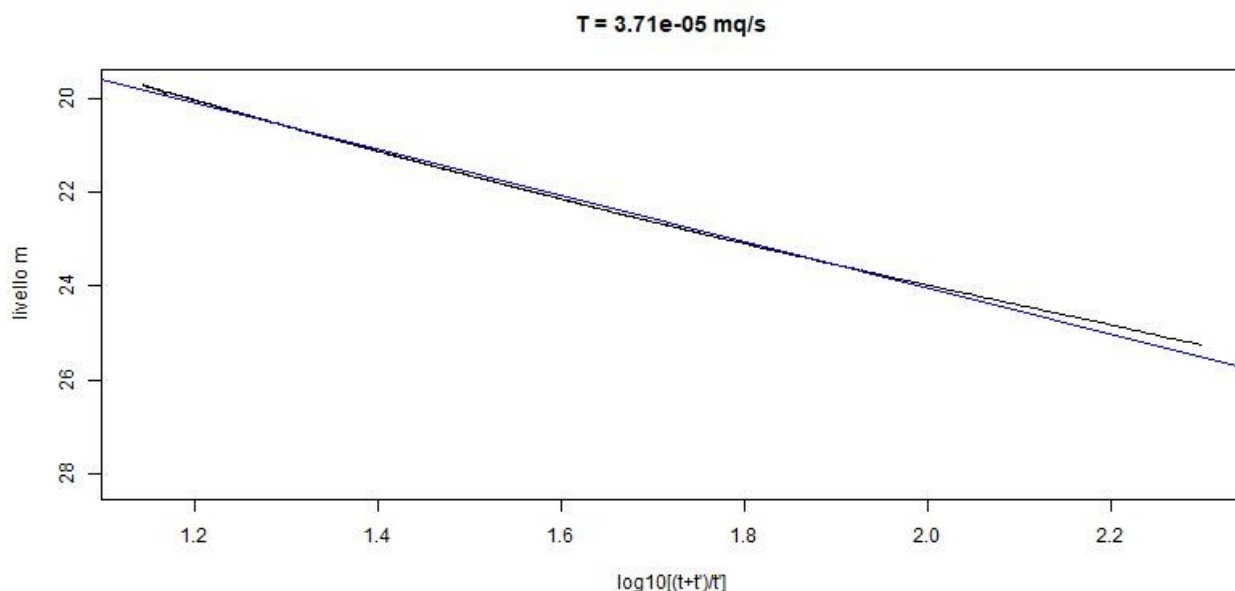


Fig. 10: Prova di emungimento 01/09-04/09 - interpretazione risalita.

Il valore medio rappresentativo di  $3,80E-5 \text{ mq/s}$  è risultato quasi un ordine di grandezza inferiore al valore di  $2,45E-4 \text{ mq/s}$  ottenuto nelle prove del giugno 2019. Il motivo, già discusso in altre sedi, deriva da un problema tecnico occorso nelle prove del 2019 che aveva impedito la registrazione del reale abbassamento oltre la quota di 20,45 m raggiunta nei primi 100 minuti (6000 secondi) da inizio prova. Si trattava dunque di tratto iniziale non rappresentativo.

## Tracciante salino

Durante le due prove, come mostrato nelle tabelle seguenti, sono stati monitorati attraverso sonda multiparametrica i valori di temperatura, pH, conducibilità, ossigeno disciolto e potenziale Redox. Gli stessi parametri sono stati misurati e verificati in concomitanza con i campionamenti.

Data	Ora	Livello	Temperatura	pH	Conducibilità	Ossigeno disciolto		Potenziale Redox
		[m]	[°C]	unità pH	[µS/cm] a 25°C	[mg/L]	[%]	[mV]
25/08/20	09:50	10,52	17,1	7,6	725	6,4	67	-79,6
	12:30	20,02	17,8	7,8	721	6,5	69	-44,2
	15:00	26,30	18,1	7,4	713	5,7	61	-29,4
	17:10	27,25	-	7,3	717	4,3	46	-62,0
26/08/20	14:45	25,76	17,6	7,1	718	6,9	73	-62,2
	17:05	25,82	18,9	7,5	720	6,6	71	-41,8
27/08/20	10:55	26,84	17,6	7,3	711	6,4	68	-18,5
	17:25	27,27	17,4	7,3	715	6,1	65	-32,2
28/08/20	09:15	27,62	17,4	7,4	719	6,8	72	-28,1
	15:20	18,17	17,8	7,4	708	2,9	32	-72,3

Tabella 2: Parametri fisico-chimici misurati durante la prima prova di lunga durata.

Data	Ora	Livello	Temperatura	pH	Conducibilità	Ossigeno disciolto		Potenziale Redox
		[m]	[°C]	unità pH	[µS/cm] a 25°C	[mg/L]	[%]	[mV]
02/09/20	08:50	25,20	16,9	7,2	716	6,9	72	-28,6
	15:40	25,88	17,6	7,0	719	5,3	56	-31,6
	17:50	26,90	17,4	7,2	709	4,6	50	-27,1
03/09/20	09:00	27,10	17,1	7,1	719	6,8	71	-30,4
	15:23	27,42	17,4	7,3	722	7,1	75	-21,4
	17:45	27,59	17,4	7,3	715	6,9	73	-14,8
04/09/20	09:30	28,15	17,1	7,4	704	7,4	78	-6,3
	14:04	19,86	22,2	7,4	715	5,7	67	-51,0

Tabella 3: Parametri fisico-chimici misurati durante la seconda prova di lunga durata.

Il potenziale redox in tutti i rilievi risulta negativo, in accordo quindi con i valori riscontrati per la falda superficiale.

In entrambe le prove non è stato riscontrato un incremento della conducibilità tale da provare l'arrivo al pozzo 1 del tracciante salino immesso nel pozzo 3.

La figura in seguito mostrano, nel dettaglio, l'andamento con il tempo dei dati di livello piezometrico, conducibilità e temperatura registrati durante la seconda prova di pompaggio nel pozzo 1. Il grafico mostra nel complesso minime variazioni di conducibilità in un range di 6 µS/cm da 744 a 750 µS/cm (Fig. 11). A 25 minuti dall'inizio della prova si nota una prima diminuzione della conducibilità che poi torna ad aumentare fino a stabilizzarsi intorno ai 50 minuti. Tra 960 e 1000 minuti circa dall'inizio della prova viene registrato un nuovo e relativamente brusco incremento di conducibilità anche se di soli 2 µS/cm (da 747 a 749 µS/cm).

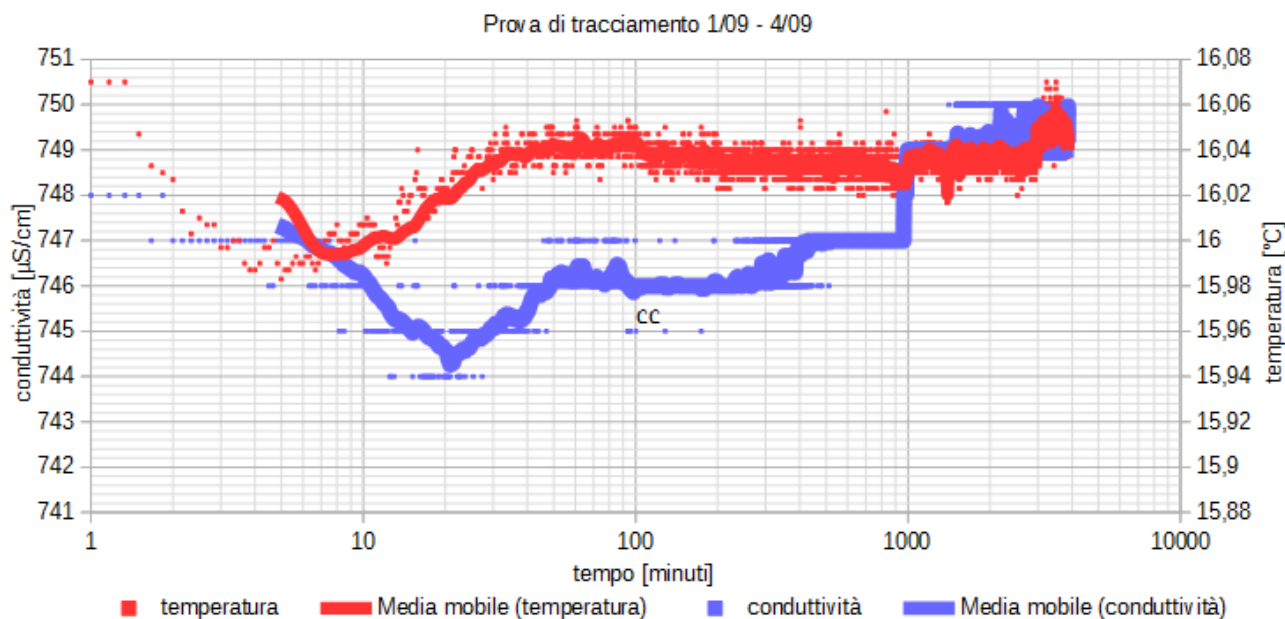


Fig. 11: Parametri in continuo misurati durante la seconda prova di tracciamento chimico.

Per quanto riguarda i livelli piezometrici nel pozzo 1 si registra un abbassamento complessivo di circa 12,2 m, da 16,0 m da inizio prova fino a 28,2 m di profondità dal p.c. a fine prova. Contrariamente, il livello piezometrico nel pozzo 3 passa da 10,13 a 9,86 m di profondità dal p.c. (Fig. 12), mostrando pertanto un lieve innalzamento. Quest'ultimo può essere stato influenzato dalle piogge avvenute dal 29/08 al 02/09, quantificabili in 71 mm al pluviometro di Pontelungo Valle posto pochi chilometri a nord dell'area del Redolone.



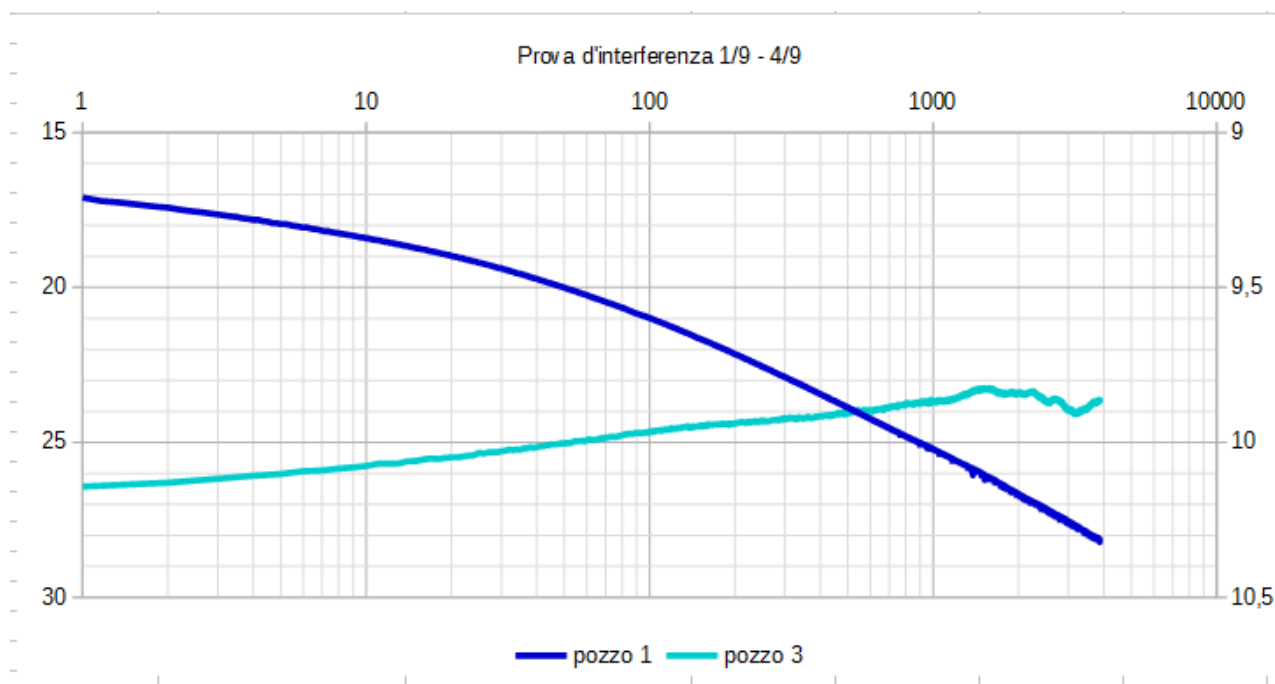


Fig. 12: Confronto tra i livelli piezometri misurati durante la prova d'interferenza idraulica nei pozzi 1 e 3.

Il mancato abbassamento del livello piezometrico nel pozzo 3, seppure in presenza di un minimo incremento di conducibilità nel pozzo 1, sembra indicare una non interferenza ed effettiva comunicazione dei due pozzi. Il pozzo 1, come da progetto si ricorda, sembra dunque efficacemente essere isolato dalla falda superficiale. La risalita del pozzo 3 è stata probabilmente condizionata dalle piogge antecedenti.

## Facies geochimiche

Il confronto tra il campione prelevato inizialmente e quello a prova inoltrata (47 h) durante la prima prova del 25-27/08 non hanno rivelato variazioni significative tra le due date, risultando pressoché coincidenti sul diagramma di Piper in posizione di facies bicarbonato calcica alcalina (Fig. 13).

## Diagramma Piper-Hill

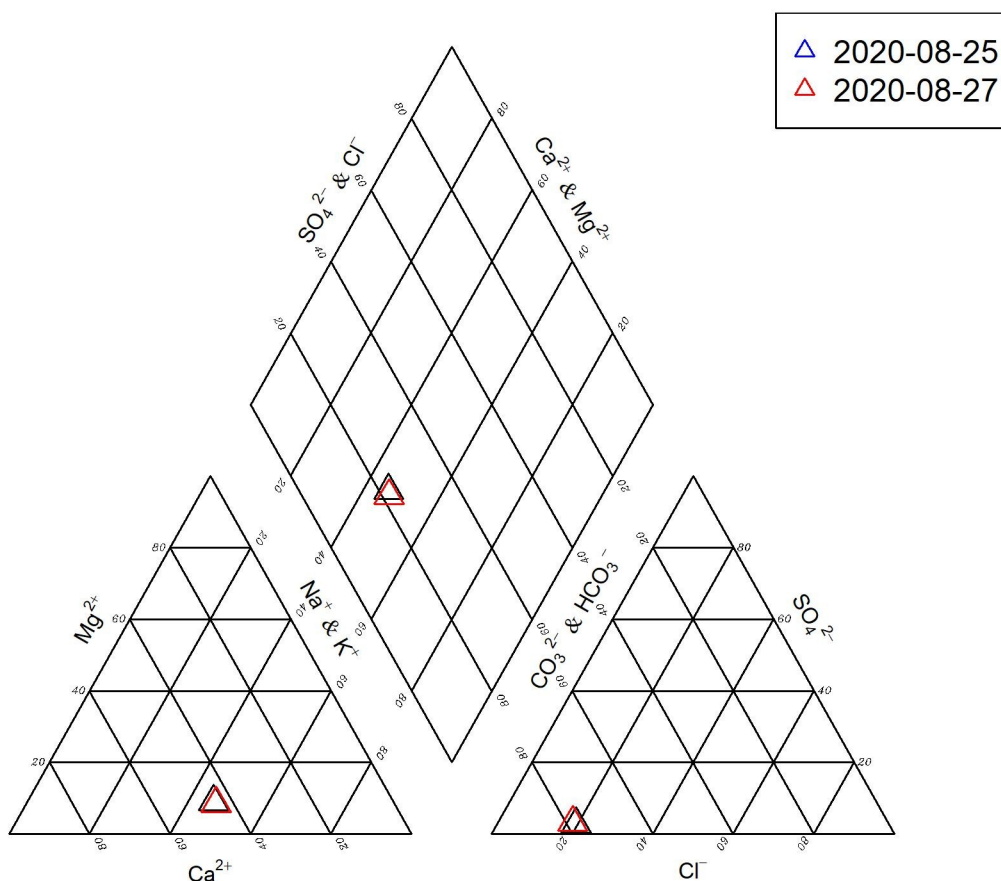


Fig. 13: Facies idrochimiche per i campioni a inizio e prova inoltrata del 25/8 e 27/8.

## Composti organoalogenati

Per quanto riguarda i composti organo-alogenati presenti, CVM, 1,2-DCE e in quantità minore TCE, questi sono stati determinati ad inizio e fine nella prima prova mentre nella seconda si è proceduto ad un prelievo sequenziale in numero di sei campioni.

Nella figura sottostante sono riportati i risultati per CVM e DCE. I valori di TCE sono sempre risultati inferiori al LQ di 0,1 µg/L ad eccezione di quelli per i campioni del 02/09, in coincidenza dei valori più alti di CVM, risultati molto prossimi alla soglia di quantificazione (0,11 µg/L in ambedue i casi).

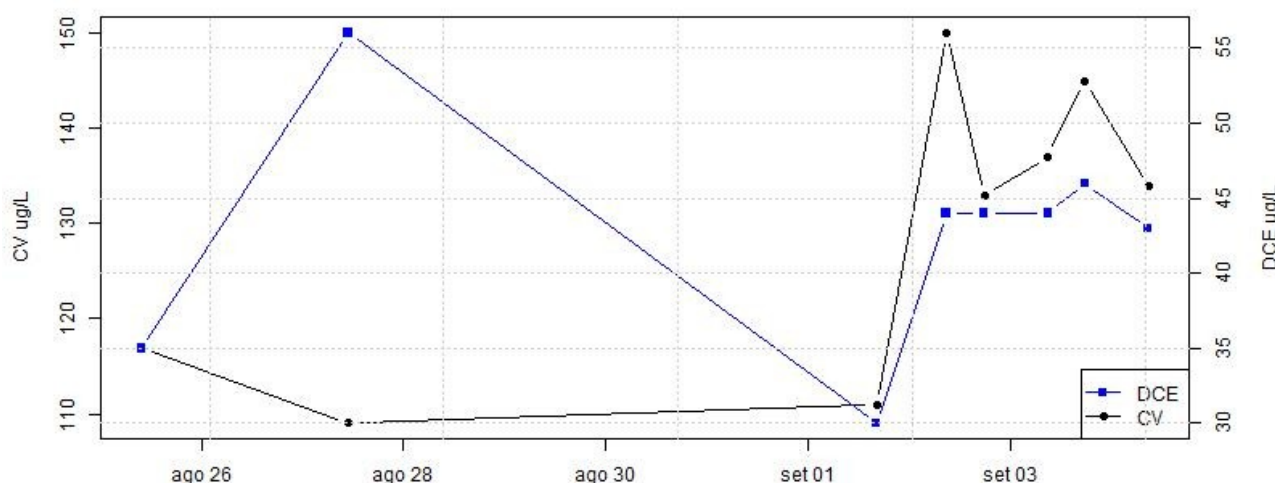
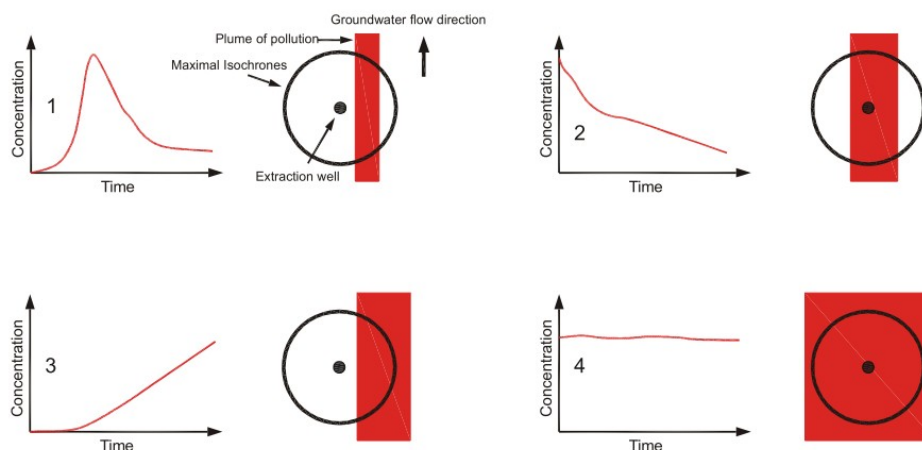


Fig. 14: Andamento dei composti organoalogenati durante gli emungimenti.

L'andamento presenta una singolarità tra i campioni di inizio e fine prova del 25-27/08 con una diminuzione del CVM a fronte dell'aumento del 1,2-DCE, mentre nella seconda si delinea un deciso incremento dei due con lo svolgersi della prova di pompaggio e l'espansione del cono di emungimento (Fig. 14). L'incremento determina un primo massimo in CVM in corrispondenza del secondo campione (970 minuti da inizio prova) ed un secondo per CVM insieme a 1,2-DCE nel quinto campione (2948 min). Il sesto ed ultimo campione a 3838 minuti sembra registrare una minore diminuzione per ambedue le sostanze.

Quanto osservato, in riferimento alle tipologie indicate da Holder & Teutsch (1999), sembra corrispondere alle tipologie 1 e 3 (Fig. 15) confermando la presenza, già a breve distanza, di un'area di maggior concentrazione del contaminante. L'area è raggiunta intorno ai 1000 minuti; nella stessa ascissa temporale si è notato, inoltre, un lieve incremento in conducibilità come evidenziato in precedenza in figura 11.



**Fig. II-4: Characteristic hydrograph curve for concentrations with different capture zone geometries (acc. to HOLDER & TEUTSCH, 1999)**

*Fig. 15: Idrogrammi caratteristici dei contaminanti in differenti configurazioni spaziali tra pozzo e sorgente.*

## Campionamento e analisi pozzi

Nel periodo compreso tra dicembre 2018 e ottobre 2020 è stato prelevato un totale di 82 campioni di acqua sotterranea, di cui 81 da pozzi (71 prelevati durante il monitoraggio, 9 durante le prove di pompaggio) e uno in corrispondenza di un sondaggio MIHPT1. I pozzi coinvolti nei campionamenti sono 52, di cui 43 ricadenti nel Comune di Serravalle P.se e 9 in quello di Pistoia (Fig. 16). Per alcuni di questi pozzi, ritenuti maggiormente significativi al fine del monitoraggio dell'evoluzione della contaminazione, i campionamenti sono stati ripetuti più volte comprendendo sia il periodo di magra che di morbida.

Oltre ai risultati delle analisi chimiche eseguite da ARPAT, sono stati acquisiti i risultati delle analisi chimiche fatte effettuare da privati su 5 pozzi che presentavano concentrazioni in CVM maggiori rispetto alla Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC). Questo ha permesso di avere una maggiore quantità di dati per l'area compresa tra via Forteguerra e il Torrente Stella.

Superamenti delle CSC per CVM e 1,2-DCE si sono registrati rispettivamente in 12 e 3 pozzi campionati da ARPAT. Il valori maggiori di CVM (773 µg/L) e 1,2-DCE (715 µg/L) si sono registrati nel pozzo AL il 10/04/19.

In 33 pozzi è stato riscontrato un valore di potenziale Redox negativo a testimonianza di una falda in condizioni redox riducenti che favorisce la formazione di CVM tramite processo di degradazione di accumuli passati di tricloroetilene.

Le tabelle in allegato 7, oltre a fornire coordinate cartografiche e profondità dei pozzi, riportano i valori di CVM, 1,2-DCE, TCE, PCE e potenziale Redox ottenuti per tutti i campioni analizzati.

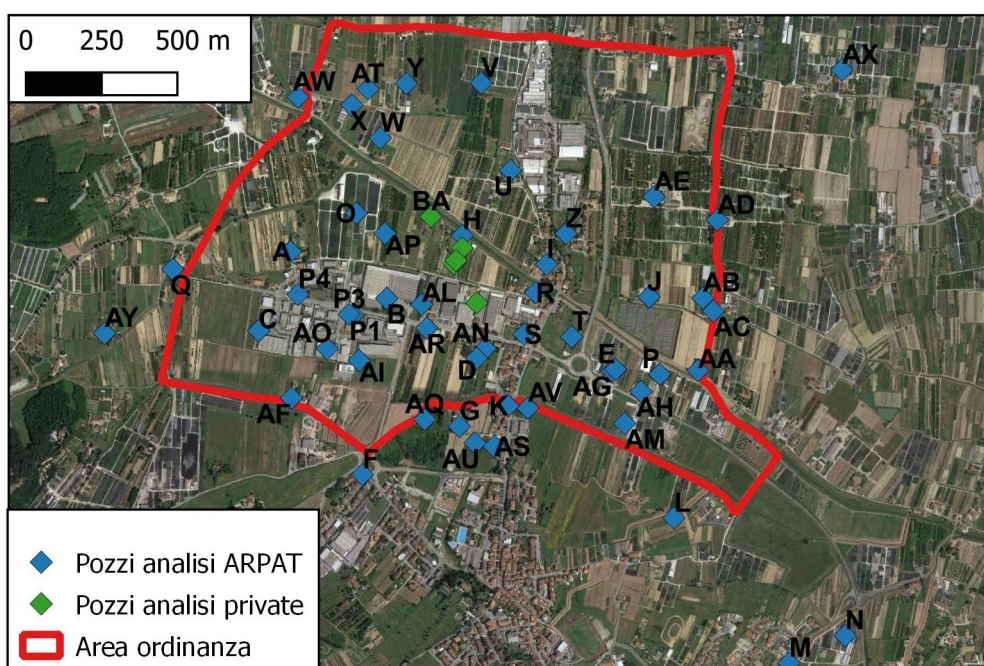


Fig. 16: Ubicazione dei pozzi campionati e analizzati da ARPAT e dei pozzi per cui sono state acquisite le analisi chimiche (base Google Earth).

## Mappa geostatistica del pennacchio di contaminazione in CVM

Le concentrazioni di CVM determinate nell'area oggetto di analisi geostatistica sono riferite a 57 campioni distribuiti dal 10/12/18 al 21/07/20 (Fig. 17). Nelle elaborazioni sono stati utilizzate anche le concentrazioni in CVM ottenute da analisi fatte fare da privati sui pozzi AZ, BA e BB.



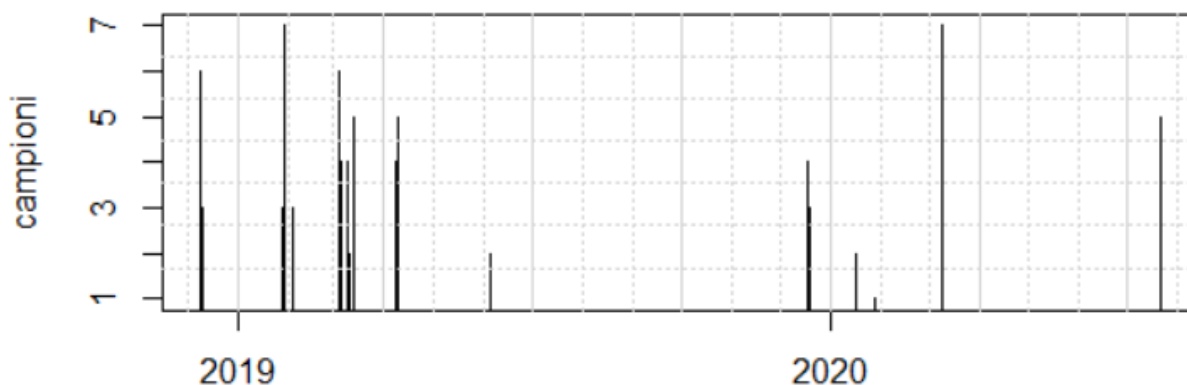


Fig. 17: Andamento temporale del numero di campioni prelevati da ARPAT dal 10/12/18 al 21/07/20.

Si riconoscono tre periodi distinti, da dicembre 2018 ad aprile-giugno 2019, da dicembre 2019 a marzo 2020 e, infine, i più recenti di luglio 2020.

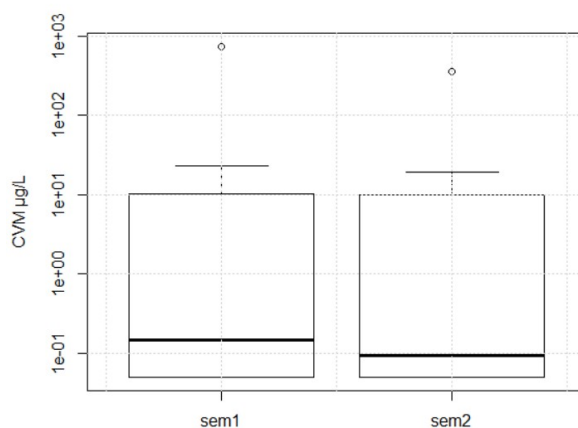
Per verificare la presenza di trend le concentrazioni di CVM riscontrati sullo stesso pozzo nei tre periodi successivi, i dati registrati nei tre periodi sono state confrontate con il t-test per dati appaiati. In tabella 4, per ogni pozzo, sono riportati i valori medi di CVM calcolati per ogni periodo.

Il confronto tra prima e seconda campagna riguarda 12 pozzi e restituisce probabilità a favore dell'ipotesi nulla di una non significatività delle differenze per  $0,31 \gg 0,05$ . Sebbene i valori mostrino una diminuzione nella campagna successiva, tra l'altro non confermata seppure per due soli valori dai campioni più recenti, se ne conclude che l'attenuazione naturale della contaminazione già notata nel precedente rapporto sulla stazione di monitoraggio del Pozzo Redolone 1 non ha avuto esiti statisticamente significativi nel breve periodo.

	CV µg/L		
	dic18lug19	dic19apr20	lug20
Pozzo A	< 0,1	< 0,1	
Pozzo AF	< 0,1	< 0,1	
Pozzo AH	0,09	< 0,1	
Pozzo C	< 0,1	< 0,1	
Pozzo D	603	266	310
Pozzo E	23	9,5	
Pozzo J	20	19,2	
Pozzo K	< 0,1	< 0,1	
Pozzo O	< 0,1	< 0,1	
Pozzo P	0,2	0,07	0,2
Pozzo U	< 0,1	< 0,1	
Pozzo Z	< 0,1	< 0,1	

*Tabella 4: Pozzi con analisi ripetute per il confronto statistico tra i periodi.*

Per verificare la stagionalità dei dati è stato condotto inoltre lo stesso t-test sulle differenze, anche qui su 12 campioni appaiati e distinti tra campioni del primo semestre di morbida (gennaio-giugno) e secondo semestre di magra (luglio-dicembre).



*Fig. 18: Concentrazioni di CVM nel primo e secondo semestre.*

Anche in questo caso il t-test restituisce un'ampia probabilità a favore dell'ipotesi nulla di una non significatività delle differenze stagionali di  $0,33 \gg 0,05$ .

L'elaborazione geostatistica della distribuzione spaziale della contaminazione è stata così condotta riunendo i dati delle campagne e valorizzando, come nel precedente rapporto, nel caso di valori ripetuti, la massima concentrazione di CVM.

L'elaborazione geostatistica, come discusso nel precedente contributo dell'aprile 2019, è relativa ai soli pozzi della prima falda, rimanendo quindi esclusi sia i pozzi della falda più profonda sia i pozzi S e Q relativi ad un livello ancora più superficiale. Pertanto i pozzi esclusi dall'elaborazione, in quanto più profondi rispetto alla falda maggiormente contaminata da CV, sono i pozzi: 1, B, AC, AW, TS01, AG, AX e AP.

Nell'elaborazione è stato invece incluso l'esito analitico del campione prelevato nella prima falda durante l'esecuzione di MIHPT1 che ha dato una concentrazione di CVM pari a 236 µg/L oltre a 1,2-DCE 48 µg/L e, come già notato, ben 294 µg/L di TCE.

I dati interpolati risultano in conclusione 47 con valore minimo pari ad LQ (0,05 µg/L) e valore massimo di 773 µg/L osservato al pozzo AL (Fig. 19). La distribuzione dei dati, qui rappresentata con trasformazione logaritmica per i soli valori  $> LQ$ , è asimmetrica destra con tre valori 730, 740 e 773 (pozzi D, AZ ed AL) indicati come outlier (Fig. 19).

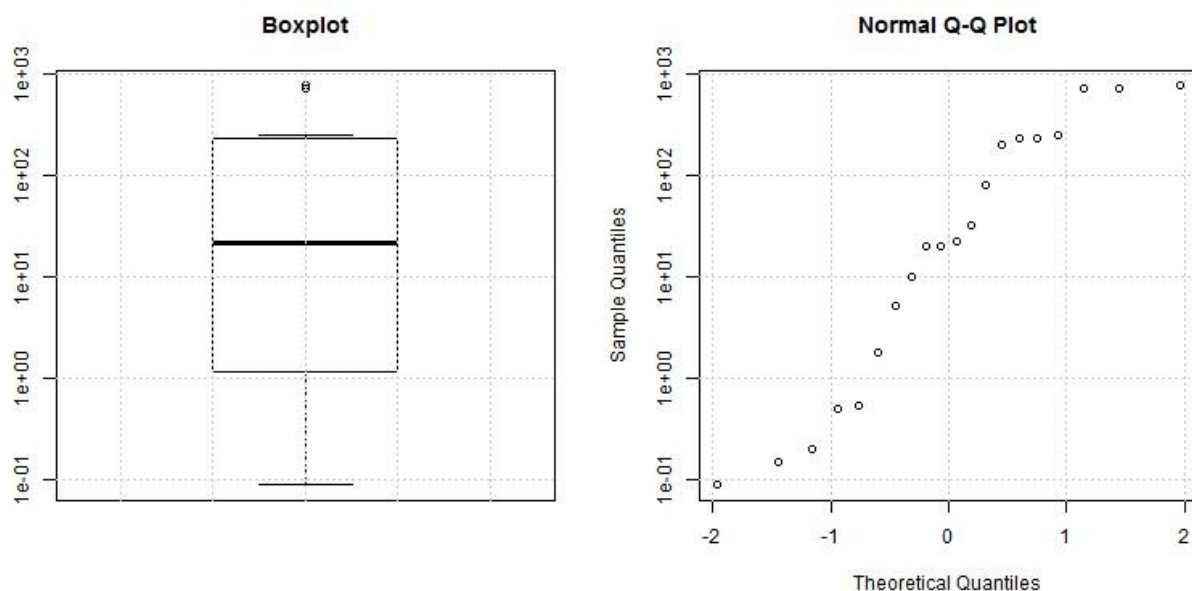


Fig. 19: Grafici della distribuzione de valori (>LQ).

Il grafico di frequenza cumulata in scala di probabilità normale rende evidente più discontinuità di frequenza, che la ricerca tramite cluster gerarchici<sup>5</sup> (hclust) riporta in 3, 51 e 431  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 20). Si tratta di soglie di separazione dei valori associabili, in ipotesi, anche a distinti processi e condizioni quali, ad esempio, presenza/assenza di una fase separata in prossimità della sorgente, il trasporto advettivo lungo il pennacchio di contaminazione e la semplice diffusione per gradiente di concentrazione.

Una soglia pressoché coincidente di 50  $\mu\text{g/L}$  si ricorda, era stata utilizzata nel precedente rapporto per l'individuazione del nucleo della contaminazione.

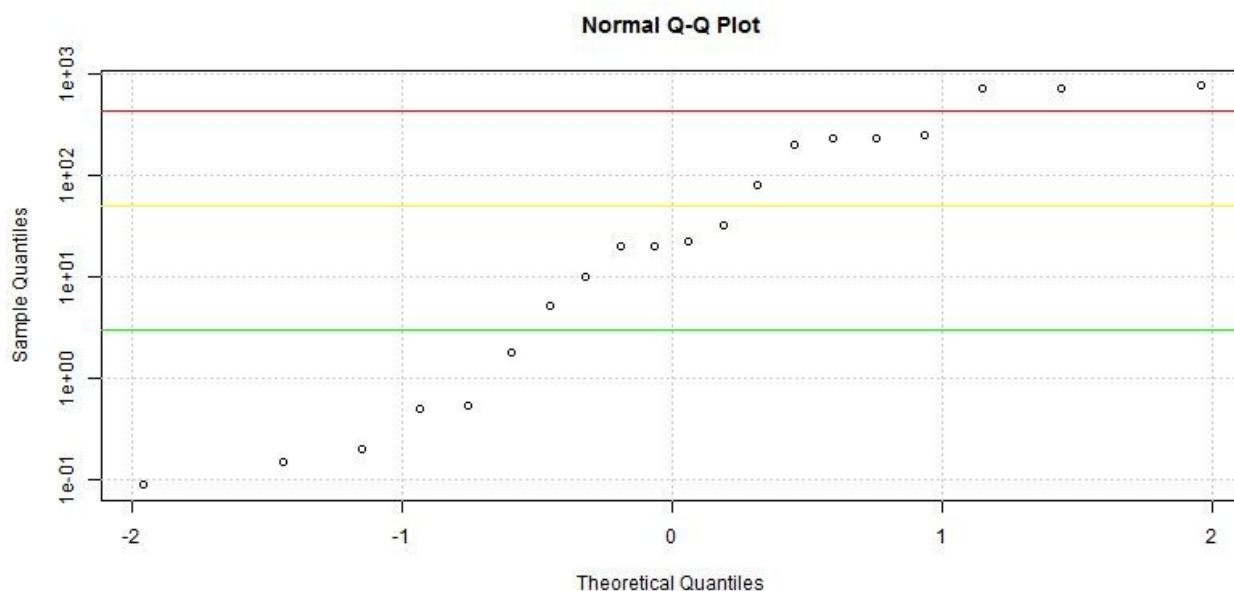


Fig. 20: Soglie di frequenza ottenute dall'analisi di cluster gerarchico (hclust).

L'analisi geostatistica tramite l'indice di Moran ha rivelato, rispetto all'analisi condotta lo scorso aprile su di un numero più limitato di valori, una maggiore e discreta continuità spaziale dei dati. La probabilità statistica a favore dell'ipotesi nulla di una distribuzione spaziale casuale dei valori è, infatti, molto bassa e pari a  $0,005 < 0,05$ .

Lo studio del variogramma spaziale rende ancor più evidente la continuità spaziale dei valori, che sembra svilupparsi, secondo il variogramma modello, entro una distanza (range) di 470 m circa (Fig. 21).

5 l'analisi è stata condotta con la libreria "classInt" di R <https://cran.r-project.org/web/packages/classInt/index.html>

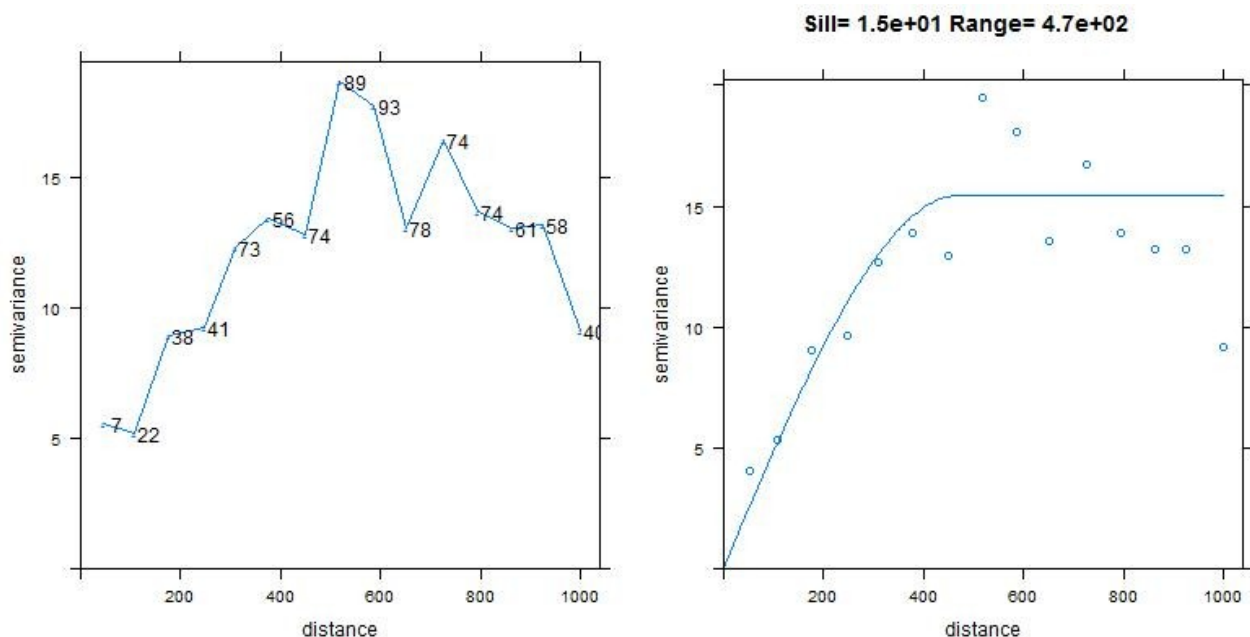


Fig. 21: Variogramma sperimentale e modello.

I diagrammi della cross-validation relativi al kriging mostrano, tuttavia, un accordo ancora limitato tra valori predetti ed osservati per le concentrazioni con una media dei residui pari a 28 ed un RMS (radice quadrata della media del quadrato dei residui) di 210  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 22).

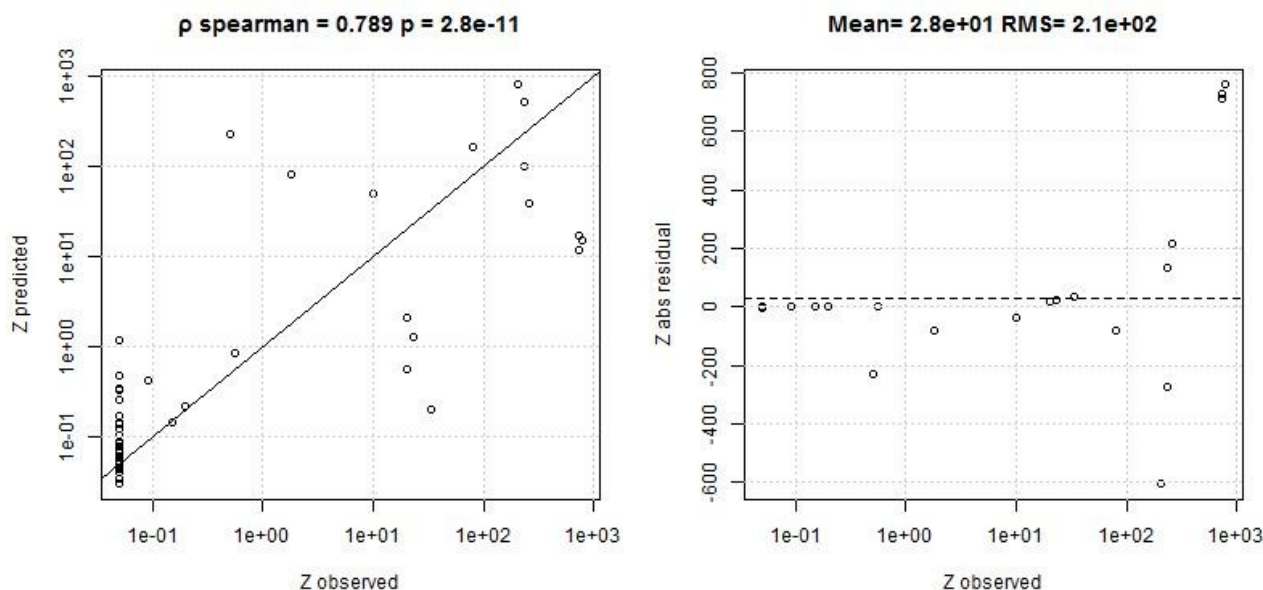


Fig. 22: Cross validazione.



L'attuale mappa geostatistica del CVM prodotta sulla base dei dati fin qui raccolti nell'area di via del Redolone è riportata nella figura seguente con nuovamente determinate le isocone per la CSC di 0,5 µg/L e, per la soglia già identificata come "nucleo del pennacchio", di 50 µg/L (Fig. 23). Una ulteriore soglia rappresentativa di 500 µg/L, prossima al valore di separazione prima visto di 430 µg/L, è stata riportata nella mappa e può indicare aree di possibile accumulo nel sottosuolo, anche in fase separata vista la limitata solubilità in acqua di questi composti organici.

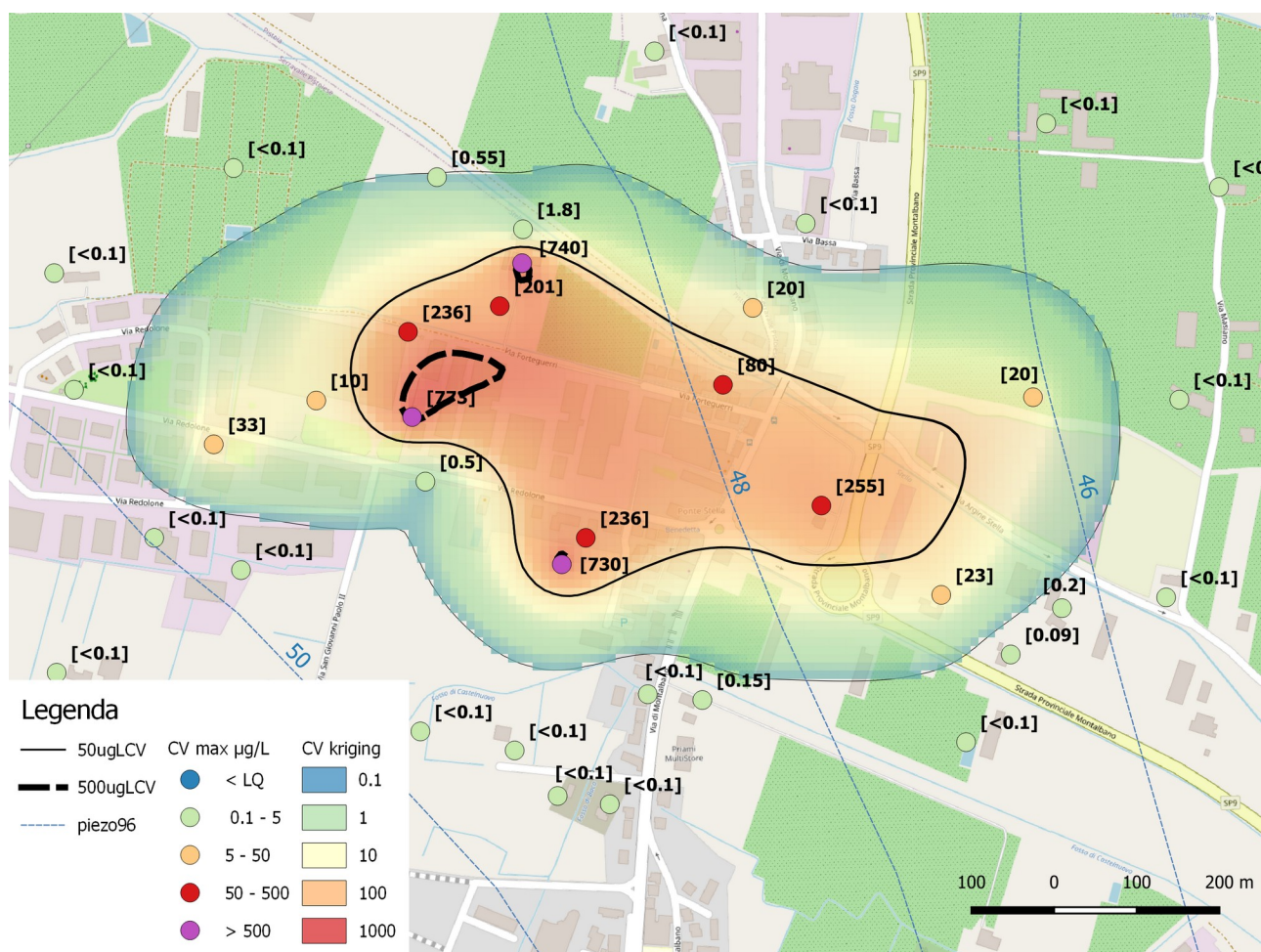


Fig. 23: Mappa del pennacchio di contaminazione in CVM.

Il pennacchio si conferma influenzato dalla direzione di scorrimento della falda da sudovest verso nordest e quindi da ovest verso est, qui rappresentata dalle linee piezometriche del 1996 che, seppur datate, possono corrispondere agli anni nei quali era presumibilmente più attiva la contaminazione.

Una ulteriore elaborazione dei dati delle campagne analitiche riguarda l'analisi dei rapporti evolutivi tra CVM, 1,2-DCE e TCE, sostanze che possono rappresentare, come noto e già

illustrato nel precedente rapporto sulla base della estesa serie temporale dal 2010 al 2018 del pozzo 1 Redolone, diversi stadi della reazione di degradazione delle molecole originarie PCE o TCE per dechlorinazione riduttiva.

Il grafico della figura seguente riporta in ascisse il rapporto percentuale, in  $\mu\text{mol/L}$ , del CVM sulla sommatoria di  $\text{CVM} + 1,2\text{-DCE} + \text{TCE}$  ed in ordinate la concentrazione totale, sempre, in  $\mu\text{mol/L}$  della sommatoria dei tre composti organoalogenati. Il diagramma è stato realizzato, nel caso di analisi ripetute, scegliendo il campione con valore massimo del rapporto di degradazione. Il diagramma rende così evidente come il campione prelevato in MIHPT1 rappresenti il termine più primitivo e quindi più prossimo alla fonte di contaminazione (Fig. 24).

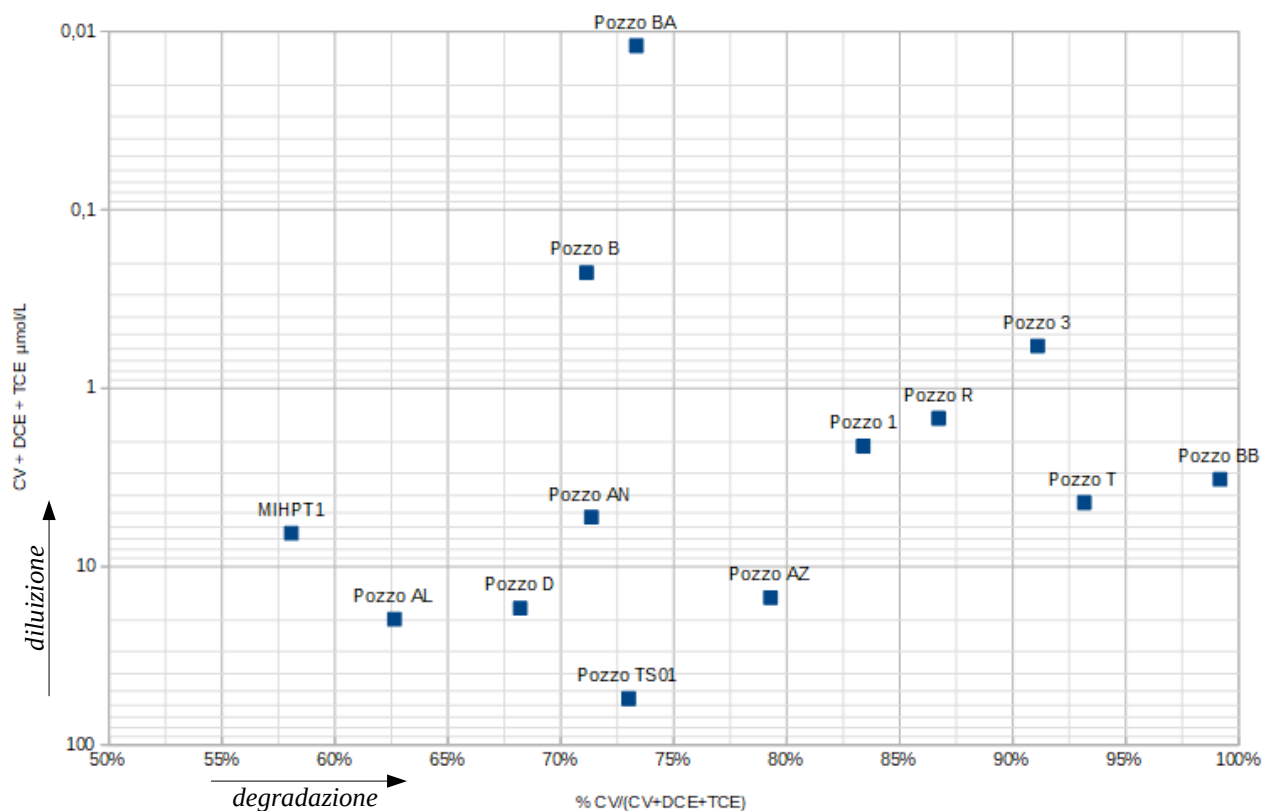


Fig. 24: Diagramma evolutivo della dechlorinazione.

Gli stessi pozzi e relativi valori del diagramma proposto sono rappresentati nella mappa di figura 25 dove si realizzano due distinti percorsi di migrazione e degradazione dei contaminanti, da MIHPT1 in direzione di TS01, R e T secondo la direzione di deflusso

generale, e da MIHPT1 verso i pozzi B, 1 e 3, direzione opposta che con tutta probabilità è stata provocata dal richiamo esercitato per anni dal campo pozzi Redolone.

Si nota una minore degradazione in direzione sud e sudovest verso i pozzi AL e D, che presentano ad oggi elevate concentrazioni di CVM. Potrebbe trattarsi, come suggerito dalla morfologia della base dell'acquifero superiore riportata nella mappa (Fig. 25), di aree laterali con minor deflusso e diluizione da parte di una falda che, proprio in quella direzione per effetto del rialzo della base, incontrerebbe un minore spessore e trasmissività.

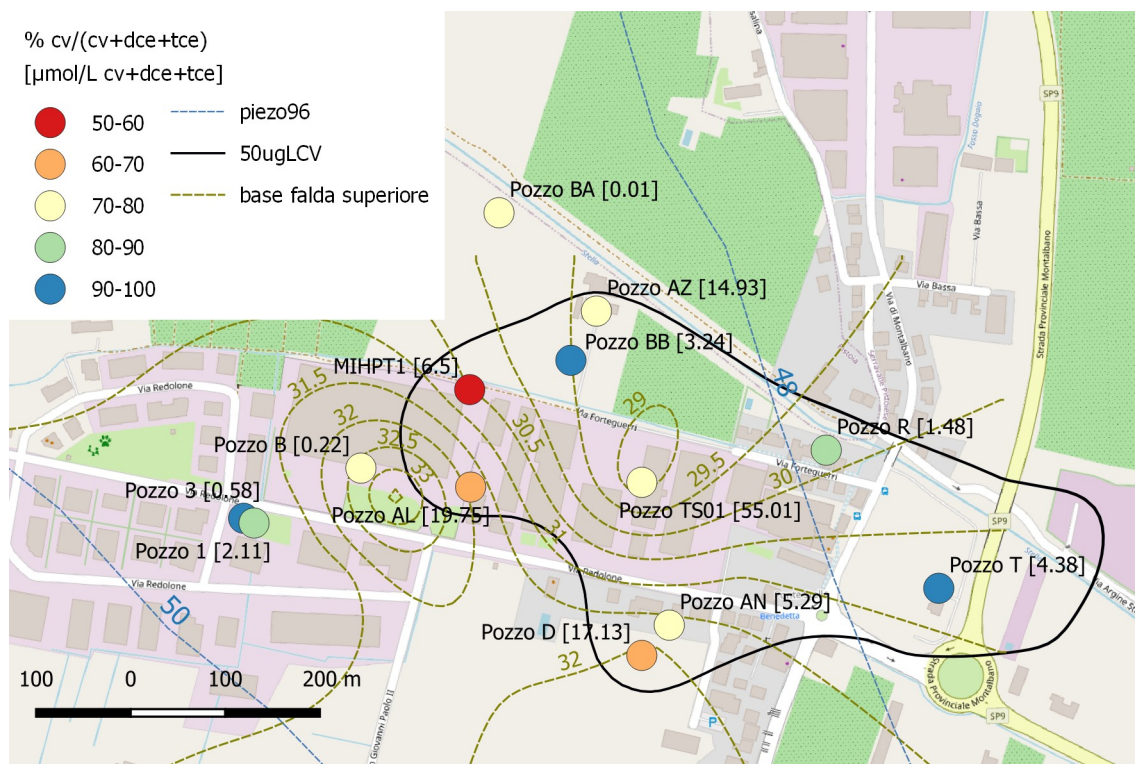


Fig. 25: Mappa dei rapporti evolutivi della dechlorinazione.

## Modellazione numerica

Per l'approfondimento e la verifica di alcuni elementi d'interesse scaturiti dalle indagini si è deciso di ricorrere al supporto della modellazione idrogeologica di flusso e trasporto in

falda tramite i codici di calcolo MODFLOW<sup>6</sup> e MODPATH<sup>7</sup> utilizzati attraverso l'interfaccia Groundwater Vistas<sup>8</sup>.

Un modello semplificato ha riguardato la prova di pompaggio sul pozzo 1 dove si è ricostruito il comportamento idrodinamico della falda profonda che si sviluppa, come da stratigrafia e schema di completamento del pozzo, in tre distinti orizzonti, tra 37 e 56, tra 62,5 a 68, tra 79 e 83 m. Si ricorda che dei tre livelli, come emerso dalla videoispezione di Ingegnerie Toscane per conto di Publiacqua<sup>9</sup> e confermato dal log CTD, il primo livello risulta il più, se non l'unico, produttivo.

E' stato così inserito nel modello il valore di trasmissività ottenuto dalla media delle due prove in discesa e risalita pari a  $3.88 \text{ E-5 m}^2/\text{s}$  ed assunta, come riferimento generale, la distribuzione spaziale dei carichi ottenuta dalle piezometriche del 1996, che definiscono uno scorrimento regionale di direzione variabile, come visto, da SO-NE ad O-E.

L'interpretazione della prova è basata sugli abbassamenti relativi e dunque poco influisce la quota assoluta attuale della piezometrica. La differenza è in ogni caso sensibile, nel 1996 la falda si attestava a 49,55 m s.l.m. ossia a -1,75 m dal p.c., data una quota terreno, ottenuta dalla base CTR, di 51,3 m. Alla data del 25/08 in periodo di magra la quota dal piano campagna risultava a -10,56 m per la falda più superficiale nel pozzo 3 e -10,53 per quella profonda nel pozzo 1. In precedenza in occasione delle prove condotte da Publiacqua il 12/06/19 le quote dal p.c. del pozzo 1 e pozzo 3 risultano rispettivamente -10,32 e -6,45 m da pc.

Il modello monostrato di un acquifero confinato ha consentito innanzitutto, attraverso la calibrazione automatica dei valori di abbassamento osservati, di determinare il coefficiente di immagazzinamento S risultato pari a 0,0183 (Fig. 26).

6 Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

7 Pollock, D.W., 2016, User guide for MODPATH Version 7 -- A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016-1086, 35 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161086>.

8 GWV

9 Ingegnerie Tosca e- Studio Idrogeologico sui pozzi redolone 1, 2 e 3 – Relazione Tecnica 27/06/2019

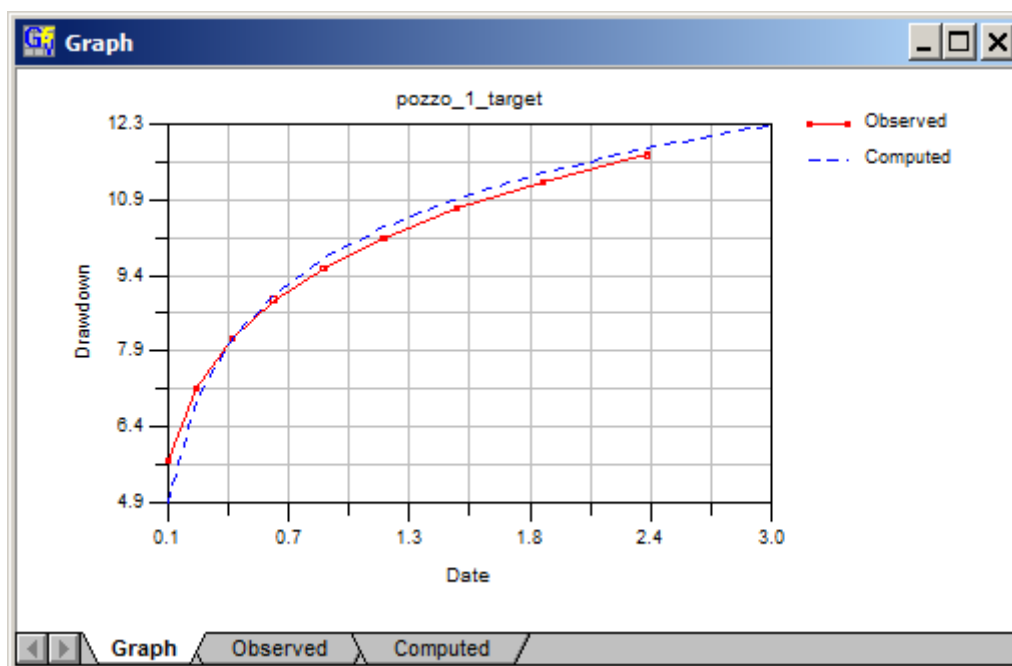


Fig. 26: Calibrazione della prova di abbassamento.

Sul modello monostrato sono state quindi determinate le zone di cattura del pozzo 1, con riferimento sia allo stato stazionario che transitorio, quest'ultimo limitato alla durata della prova.

Nelle due figure successive sono riportate le estensioni delle zone di cattura definite in termini di abbassamenti indotti e linee di flusso con evidenziati i pochi pozzi profondi riscontrati nell'area (Figg. 27, 28). Tra questi si nota il pozzo TS01 che, risultato tra i più contaminati, rappresenta ancora, come emerso dalla videoispezione e dal log CTD prima illustrato, un sicuro collegamento della falda profonda con la contaminazione della falda superiore. Le linee di flusso sono compatibili con un richiamo nel pozzo 1 delle acque contaminate in profondità.



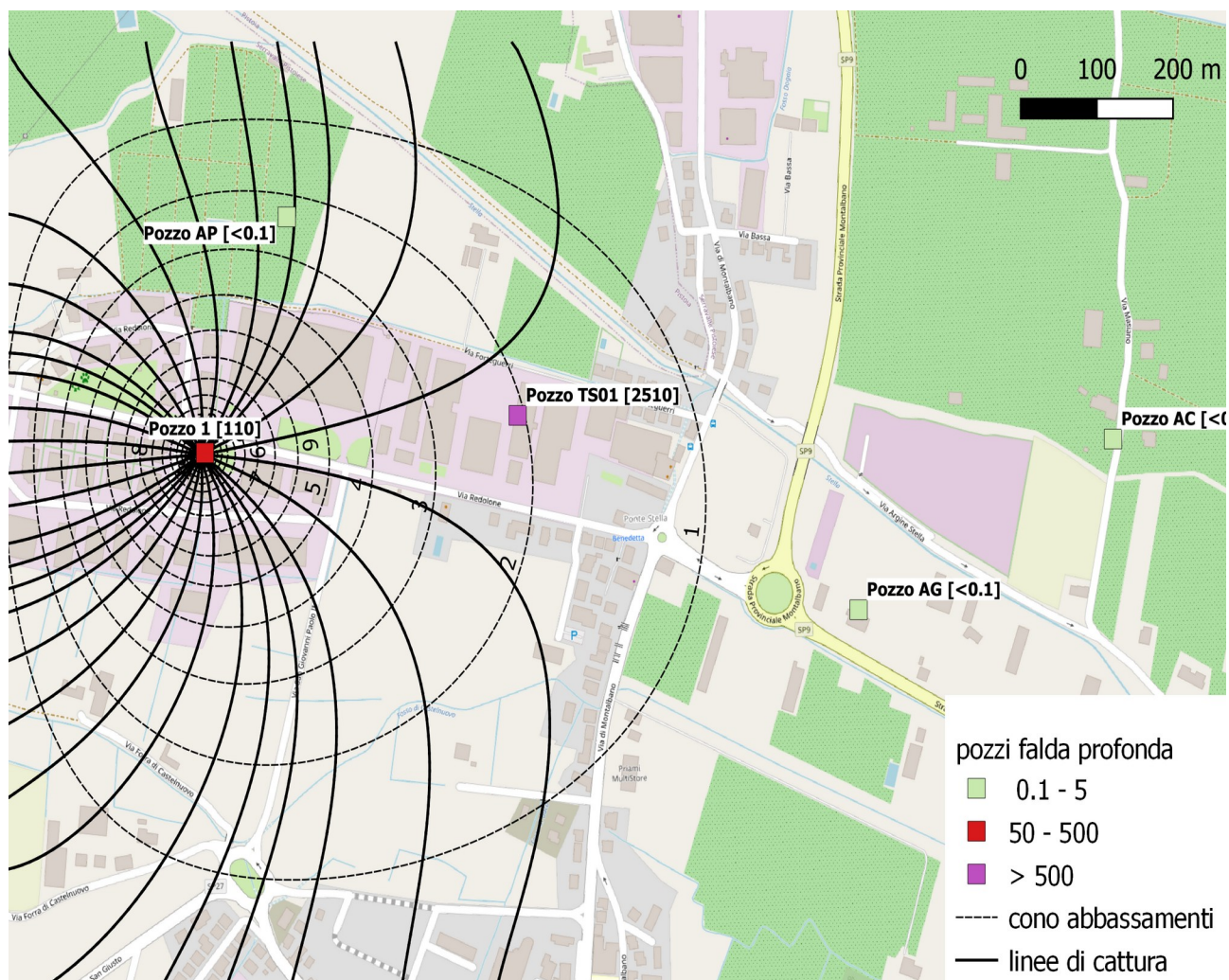


Fig. 27: Zone di cattura del pozzo 1 in regime stazionario (portata di 1 l/s).

La figura dello stato transitorio rappresenta la situazione al termine della prova di discesa, le linee di cattura sono evidentemente più contenute, la durata della prova era stata infatti calibrata per intercettare l'inserimento del tracciante salino nel pozzo 3 distante poco più di 10 metri. Tuttavia, come notato in precedenza, la durata del pompaggio è stata comunque sufficiente per instaurare il richiamo delle acque maggiormente contaminate presenti a valle e per produrre il notato incremento dei composti organoalogenati.



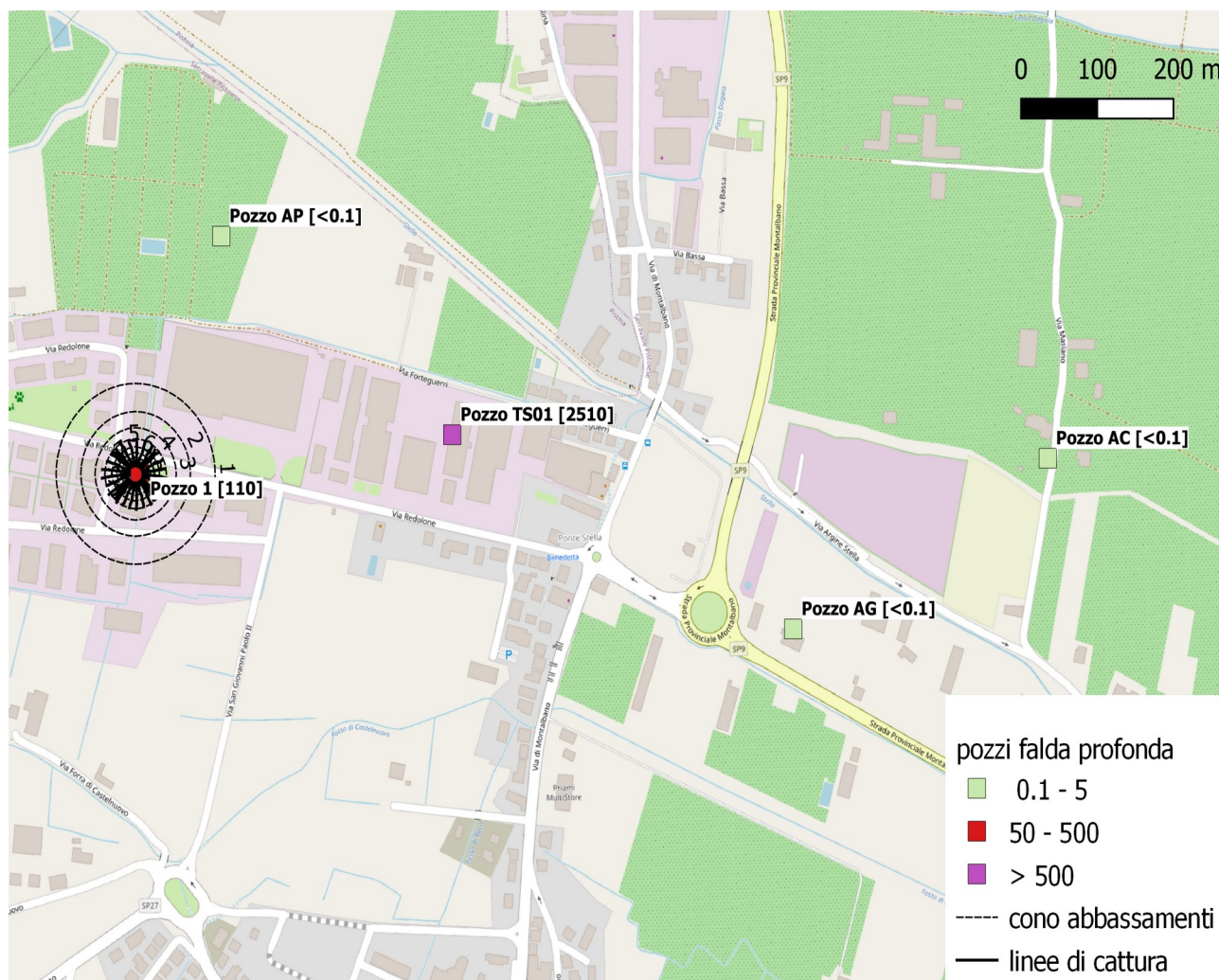


Fig. 28: Zone di cattura del pozzo 1 in regime transitorio termine discesa (portata di 1 l/s).

## Conclusioni

Nel presente rapporto sono state illustrate e discusse le **indagini** svolte per la **delimitazione** dell'**area contaminata** da **cloruro di vinile** monomero in località via del Redolone nel Comune di Serravalle (PT) e per la ricerca del **responsabile** della **contaminazione** ai sensi dell'Art. 244 del Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152. Si è trattato di:

- 1) **indagini** effettuate con **sonda MIP/MI-HPT** dalla società SGM Geologia e Ambiente S.r.l. presso l'area industriale di via del Redolone;

- 2) **prove idrogeologiche (log verticali di conducibilità e temperatura, prove di pompaggio di lunga durata e tracciamento salino con registrazione in continuo e campionamento per la verifica di interferenza tra falda superiore ed inferiore nell'area del campo pozzi del Redolone;**
- 3) **campionamento e analisi chimica delle acque dei pozzi privati e di quelli dell'ex campo pozzi del Redolone con elaborazioni geostatistiche finalizzate alla definizione dell'estensione dell'area contaminata;**
- 4) **modellazione numerica per l'area di cattura del pozzo 1 Redolone.**

Le indagini MIHPT hanno evidenziato nella **prova 1 (MIHPT1)** il **segnale più alto** dei sensori **FID, PID** e in particolare **XSD**, specifico per i composti **organoalogenati** quali lo stesso CVM ed ancor più per i composti di origine quali il **tricloroetilene TCE**. La prova, condotta in adiacenza alle **vasche in calcestruzzo** di una precedente attività di **manifattura di componenti meccanici** metallici che ne prevedeva, da notizie raccolte, il loro **sgrassaggio** e successiva cromatura, ha previsto il **prelievo** di un **campione** che ha denunciato le **maggiori concentrazioni in TCE (294 µg/L)** fin qui **osservate**.

Si è notato, inoltre, come gli **unici pozzi** con **valori di TCE** al di sopra del limite di rilevabilità siano quelli **più prossimi** al sondaggio **MIHPT1**, concentrazioni di TCE, sono state riscontrate, infatti, nel pozzo **AL** (valore max 0,42 µg/L) ubicato in via del Redolone a circa 100 m di distanza in direzione SE dal punto di indagine MIHPT1 e nel pozzo **B** (valore medio 0,55 µg/L), posto a una distanza di circa 150 m in direzione SE.

Una **maggiore "primitività"** e prossimità alla sorgente di contaminazione è stata infine indicata dallo studio dei **rapporti di declorinazione** con un **più basso rapporto evolutivo CV/(CV+DCE+TCE)**, ancora per **MIHPT1** ed a seguire per gli **stessi pozzi AL, B e D**.

Per quanto riguarda le **prove idrogeologiche di interferenza e tracciamento** condotte al campo pozzi Redolone, gli esiti sembrano **escludere** la **comunicazione** tra la **falda superficiale**, captata dal **pozzo 3**, e la **falda profonda** che alimenta il **pozzo 1**. In due prove ripetute si è potuto constatare **l'assenza di interferenza idraulica** con il pozzo 3 che, a fronte di abbassamenti della falda profonda di oltre 10 metri, ha sempre mantenuto il livello costante, addirittura incrementandosi nell'ultima prova per effetto delle precipitazioni.

Le registrazioni in continuo hanno **tuttavia indicato** a partire dai **1000 minuti** dall'inizio della prova un **debole** ma distinto **incremento di conduttività** (2 µS/cm) unito ad un altrettanto **minimo incremento** (0,02 °C) della **temperatura**. Nessuna differenza di facies geochemica è stata riscontrata tra i due stadi ad inizio e fine prova mentre le **concentrazioni in CVM e 1,2-DCE** rivelano, anche queste a **partire dai 1000 minuti**, un **deciso incremento**.

Quanto osservato al pozzo 1 è stato analizzato con il supporto di un **modello numerico idrogeologico** semplificato e relativo agli orizzonti della **falda profonda**, in particolare il **primo** e più rilevante, come accertato dalla videoispezione e dal log CTD, compreso tra **37 e 56 m dal p.c.**

Le simulazioni rendono evidente come nello stato **stazionario**, per **lunghi tempi** di **pompaggio**, l'**area** di maggiore **contaminazione** è **interamente compresa** nella **zona di cattura del pozzo 1**. In particolare, per lo stesso pozzo **TS01**, che **viene raggiunto dalle linee di cattura**, sia la relativa videoispezione che l'esecuzione del log CTD hanno indicato, a differenza del pozzo 1, il **sicuro miscelamento** con la **falda superiore** già dai 10 m dal p.c.

Nelle condizioni transitorie relativa all'ultima prova, eseguita tra il 1 ed il 4 settembre, le linee di **cattura** sono invece **rimaste** nelle **prossimità**, a **qualche decina di metri** del pozzo, **sufficienti** però, come **provato** dagli **incrementi in contaminanti**, a **richiamare acque più contaminate**, forse responsabili anche del debole incremento in conduttività e che, in condizioni statiche, sono invece trascinate verso est dal flusso di falda.

In conclusione, per quanto osservato, il **pozzo 1 Redolone** non appare **responsabile** del **miscelamento** con la **falda superiore**, ma può invece aver **determinato**, con un regime continuo di **pompaggio**, il **richiamo** della **contaminazione presente** più ad est **nell'area industriale** e lì **veicolato** in profondità da **pozzi profondi** non adeguatamente separati, dei quali il **TS01** ne rappresenta al momento un **concreto**, ma **probabilmente non l'unico, esempio**.

L'esame dei dati analitici raccolti conferma innanzitutto le **condizioni di redox negativo**, principale motivo della **dechlorinazione spinta** che ha prodotto il **CVM** dalle sostanze originariamente sversate nel sottosuolo quali **TCE**, oggi riscontrato unicamente in **quantità discrete** nelle vicinanze della **possibile fonte**.

Il **confronto** sia **stagionale** che **tra periodi** successivi condotto anche su base statistica **non** ha mostrato **differenze** statisticamente **significative**, motivo per cui si è proceduto nell'aggiornamento della mappa di distribuzione dei valori basata, come nel precedente rapporto, unicamente sui **valori massimi**.

L'analisi delle frequenze statistiche ha indicato **quattro** distinti **cluster** di valori delle concentrazioni in CVM separati dalle **soglie di 3, 51 e 431 µg/L di CVM**. Cluster che, in ipotesi, possono corrispondere a condizioni di accumulo e mobilità dei contaminanti diverse, quali nell'ordine: diffusione per gradiente di concentrazione, dispersione e advezione secondo il moto di scorrimento naturale o indotto della falda, presenza di accumuli di fase separata.

La **mappa** seguente che riporta il **confronto** con il precedente **report di aprile 2019** per le isocone corrispondenti di **5, 50 e 500 µg/L, oltre alla CSC di 0,5 µg/L**, rappresenta in



definitiva un'area che, nel suo perimetro, **sembra non mostrare variazioni** effettive né stagionali né temporali (Fig. 29).

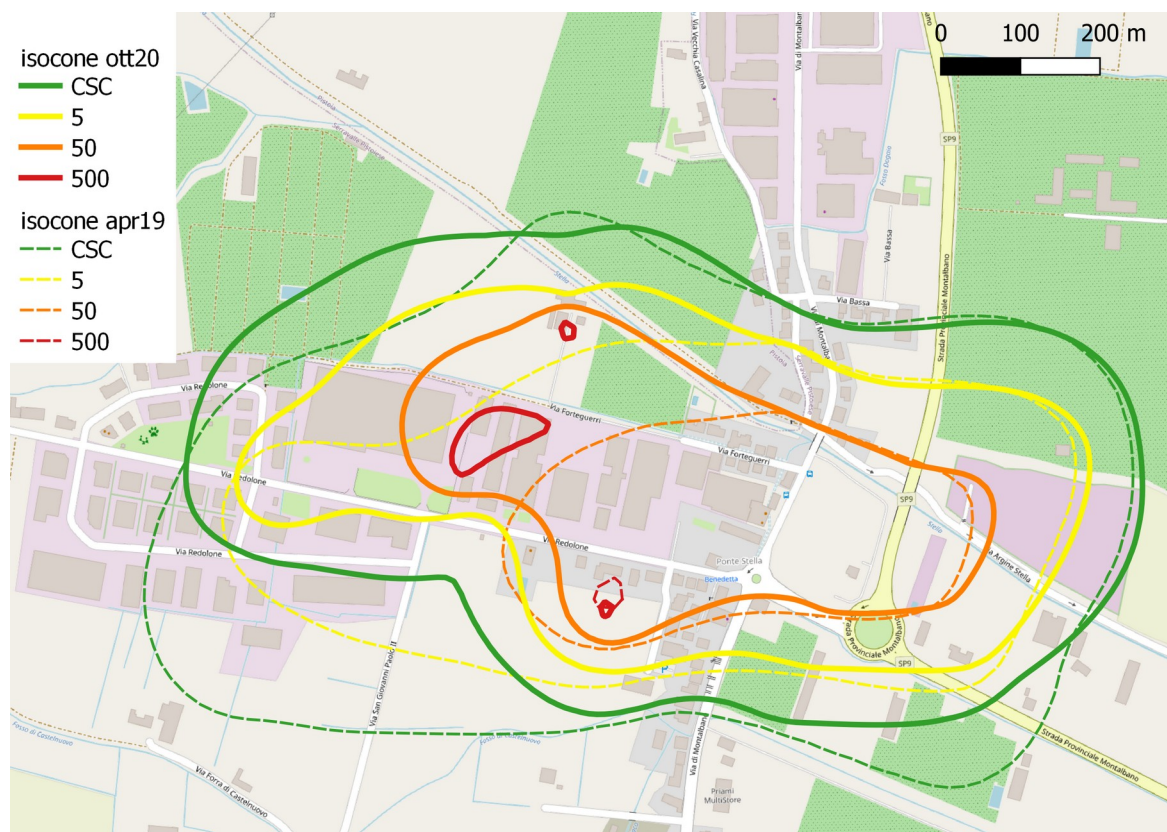


Fig. 29: Aggiornamento delle isocone del CVM per l'area contaminata di via del Redolone nel Comune di Serravalle Pistoiese (PT).

Le variazioni nel dettaglio sono derivanti dai **nuovi campionamenti ed indagini** che hanno:

- **delimitata** e ristretta l'**area contaminata** in direzione **sudest** come visibile dall'isocona verde della CSC;
- **segnalato** nuove **aree** interne in direzione **nordovest** a **maggior contaminazione** corrispondenti alle **isocone rosse ed arancio**: si tratta di zone di possibili accumuli di fase separata e, tra queste, è **individuata** la **probabile fonte** in **TCE**, in adiacenza al sondaggio MIHPT1, riferita ad una precisa **attività** condotta **in passato**;
- **definito** un **modello concettuale** per la **contaminazione** passata ed attuale del **pozzo** ad uso idropotabile **Redolone 1**, oggi inattivo e adibito a **stazione di monitoraggio ambientale** e da cui, si ricorda, sono partite le indagini; il motivo

sembra risiedere nei **passati pompaggi** e nel **permanere** di un **cono** di **depressione** in grado di **richiamare** verso **ovest** e contrariamente al deflusso naturale di falda acque **localmente contaminate** della falda **profonda** per via dei **pozzi miscelanti**, altrettanto profondi ma di vecchia o cattiva fattura, **condizione** che in un caso, probabilmente non unico, è stata **verificata**.

## Allegati

Allegato 1: Relazione indagini MIHPT

Allegato 2: Relazione videoispezione pozzo TS01

Allegato 3: Registrazioni diver log verticali

Allegato 4: Registrazioni diver prove idrogeologiche

Allegato 5: Planimetria pozzi campionati

Allegato 6: Elenco pozzi

Allegato 7: Tabelle analisi campioni

Allegato 8: Rapporti di prova campo pozzi

Pistoia, 19/11/2020

Stefano Menichetti

Yuri Galanti

Veronica Pistolozzi

Serena Nesti