

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE BIOLOGICHE, GEOLOGICHE
E AMBIENTALI

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

Studio Idrogeologico e Idrochimico nell'Area di
Minerbio

Candidato:
Lorenzo Preci

Relatore:
Prof. Alessandro Gargini

Correlatori:
Prof. Paolo Severi
Prof. Enrico Dinelli

Sessione Marzo 2022
Anno Accademico 2020-2021

Indice

1. Riassunto	2
2. Inquadramento Geografico e Geologico	3
2.1 Inquadramento Geografico.....	3
2.2 Inquadramento Geologico.....	5
2.3 Geomorfologia.....	11
2.4 Idrologia ed idrogeologia.....	12
2.5 Assetto Strutturale e Giacimento del Metano.....	14
3. Metodi di rilevamento e analisi di laboratorio	17
3.1 Metodi di Campo.....	17
3.1.1 Parametri Idrologici.....	17
3.1.2 Parametri Fisico-Chimici.....	19
3.1.3 Parametri Chimici.....	20
3.1.4 Metodo Filtraggio Campioni.....	21
3.1.5 Metodo Prelievo Campioni.....	22
3.2 Metodi Analitici di Laboratorio.....	23
4. Censimento dei pozzi	25
4.1 Pozzi Inferiori ai 10 m di Profondità.....	25
4.2 Pozzi compresi tra 10 e 20 m di Profondità.....	25
4.3 Pozzi con Profondità Maggiore di 20 m.....	26
5. Descrizione dei Dati Raccolti	27
5.1 Prima Campagna (19 maggio – 1 giugno 2021).....	27
5.2 Seconda Campagna (4 ottobre – 8 ottobre 2021).....	31
5.3 Terza Campagna (18 ottobre – 29 ottobre 2021) e Analisi di Laboratorio.....	33
6. Interpretazione e Discussione dei Dati	38
6.1 Georeferenziazione dei Pozzi.....	38
6.2 Ricostruzione della Superficie Piezometrica.....	39
6.3 Distribuzione della Conducibilità Elettrica.....	42
6.4 Temperatura dell'Acqua.....	44
6.5 Analisi Chimiche.....	47
6.5.1 Diagramma di Piper.....	48
6.5.2 Diagramma di Schoeller.....	49
6.5.2 Mappe di Concentrazione.....	53
6.7 Considerazioni sulla Geochimica delle Acque Campionate.....	60
7. Conclusioni	62
8. Bibliografia	63
APPENDICE A.....	64
APPENDICE B.....	67

1. Riassunto

La presente tesi ha lo scopo di esporre i risultati dello studio effettuato nel comune di Minerbio, a seguito della segnalazione di un pozzo la cui acqua aveva iniziato a presentare anomalie di composizione con problemi alle colture. Si è quindi deciso di ricostruire la situazione idrogeologica della zona tramite un censimento pozzi, uno studio piezometrico ed una caratterizzazione idrochimica, il tutto agganciato ai data-base geologici del luogo derivati dalle banche dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. L'obiettivo era comprendere le cause della specifica anomalia e di altre presenti nell'area proponendo un modello concettuale interpretativo.

A tale scopo è stata seguita come metodologia operativa la seguente:

- Consultazione della cartografia tematica dell'area (carta topografica, carta geologica e dei suoli)
- Sopralluoghi per identificazione dei pozzi per la definizione di una rete piezometrica ed idrochimica.
- Prima campagna di raccolta dati: misurazione di temperatura dell'acqua e conducibilità elettrica con livello piezometrico (19/5-1/6/2021)
- Seconda campagna di raccolta dati: misurazione di temperatura dell'acqua e conducibilità elettrica con livello piezometrico (4/10-8/10/2021)
- Campagna di caratterizzazione idrochimica con prelievo di campioni (18/10-29/10/2021)
- Creazione di mappe piezometriche e di distribuzione dei parametri in situ
- Analisi chimiche di laboratorio sui campioni d'acqua.
- Grafici idrochimici di interpretazione
- Modello concettuale interpretativo

Il lavoro di tesi è stato condotto in collaborazione con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (dott. Paolo Severi) e, per la parte idrochimica, si è appoggiato al Laboratorio di Geochimica del Dipartimento BiGeA ed al Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali a Ravenna (prof. Enrico Dinelli).

2. Inquadramento Geografico e Geologico

2.1 Inquadramento Geografico

La zona di studio è situata in Emilia-Romagna, tra le città di Ferrara e Bologna, a circa 20 km Nord-Est da quest'ultima. Comprende il territorio comunale di Minerbio e una piccola parte di quello di Budrio (Fig.1).

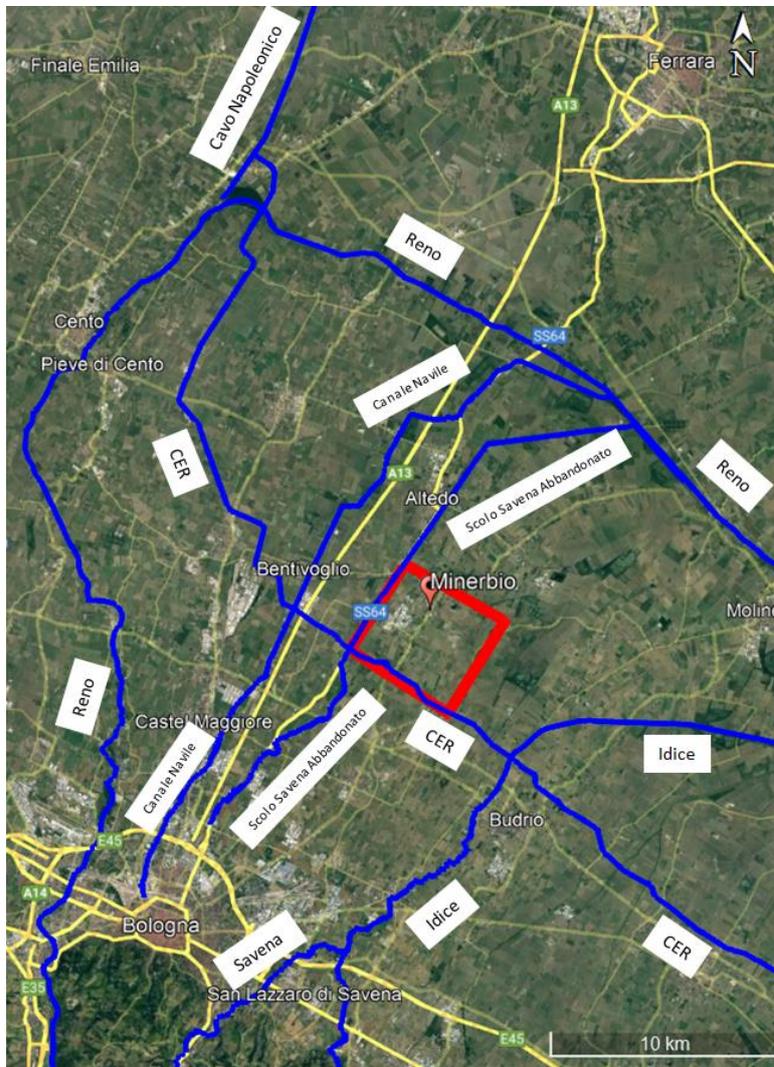


Figura 1. Immagine di Google Maps che mostra posizione ed estensione dell'area di studio ed i principali corsi d'acqua.

Per questa tesi ho utilizzato gli Elementi N°: 221034 Maddalena, 221021 Cazzano, 203141 Minerbio Nord, 203142 Minerbio Sud, 203143 Cà De'Fabbri, 203153 San Martino In Soverzano e 203154 Baricella.

I limiti dell'area di studio (Fig.2) sono stati definiti mantenendo il pozzo, che ha manifestato l'anomalia, grosso modo al centro dell'area:

- A Nord il confine è segnato dal Canale Allacciante, che nasce da una deviazione del Savena Abbandonato. Ha un flusso molto lento, atto a raccogliere le acque di scolo dai campi circostanti ed ha profondità del letto compresa nell'intervallo 2-5 m dal piano campagna.
- A Sud il confine è segnato dal Canale Emiliano-Romagnolo (CER), che comincia il suo percorso dal Cavo Napoleonico e trasporta l'acqua del Po fino al mare Adriatico. Questo canale è interamente rivestito in cemento e trasporta grandi volumi d'acqua per uso agricolo.

- A Est il confine è rappresentato dalla Via San Donato, direttrice che parte dall'omonima porta a Bologna.
- A Ovest il confine è segnato dal tratto rettilineo dello Scolo Savena Abbandonato, creato nel 1500 per i frequenti straripamenti del fiume Savena. Il letto è delimitato da argini in terra alti 3-5 m rispetto al piano campagna circostante.



Figura 2. Immagine dell'area di studio che ne mostra i confini dell'area di studio e la posizione del pozzo.

Il territorio compreso nell'area di studio è caratterizzato da una superficie topografica regolare ed è formato da due settori distinti: un settore di alta pianura e uno di bassa pianura. L'alta pianura si sviluppa a ridosso del margine appenninico (parte a Sud-Ovest dell'area) ed è caratterizzata da quote comprese tra 20 e 15 m s.l.m. mentre la bassa pianura (parte a Nord-Est dell'area) è caratterizzata da quote comprese tra 15 e 10 m s.l.m., delineando così il gradiente tipico della pianura emiliana (circa 5 metri ogni 2.5 km da Sud-Ovest a Nord-Est). Questo gradiente è generalmente seguito dalla circolazione delle acque superficiali lungo la rete di canali e canalette per l'irrigazione dei campi. In passato, prima che venisse realizzata questa rete idrica, gli agricoltori e gli allevatori emungevano l'acqua principalmente dai pozzi a grande diametro per irrigare e per l'abbeveraggio. Oggigiorno gli allevamenti non ci sono più ma l'attività agricola, che ricomprende la maggior parte del territorio comunale, richiede molta acqua. I contadini la prelevano principalmente dal Canale Emiliano-Romagnolo e dallo Scolo Zena (Fig.3) per irrigare le colture limitrofe ma, se queste sono troppo distanti, utilizzano ancora i pozzi. A Sud-Ovest di Minerbio è presente la zona industriale (Fig.3 in arancione), che ricopre un'area di circa 1 km² e dove si trovano fabbriche di macchinari pesanti, vernici e

componenti metallici. Un'altra attività industriale importante è lo stoccaggio del metano, da parte della Snam Rete Gas Minerbio (Fig.3 in giallo), nel secondo giacimento più grande d'Italia. Quest'ultimo si trova ad una profondità di 1200 m e venne esaurito a metà degli anni 70 per poi essere usato come riserva sino ad oggi. Durante l'estate, il gas, che proviene da Russia e Nord Africa, è stoccato nel giacimento per poi essere estratto d'inverno, quando la richiesta è maggiore.

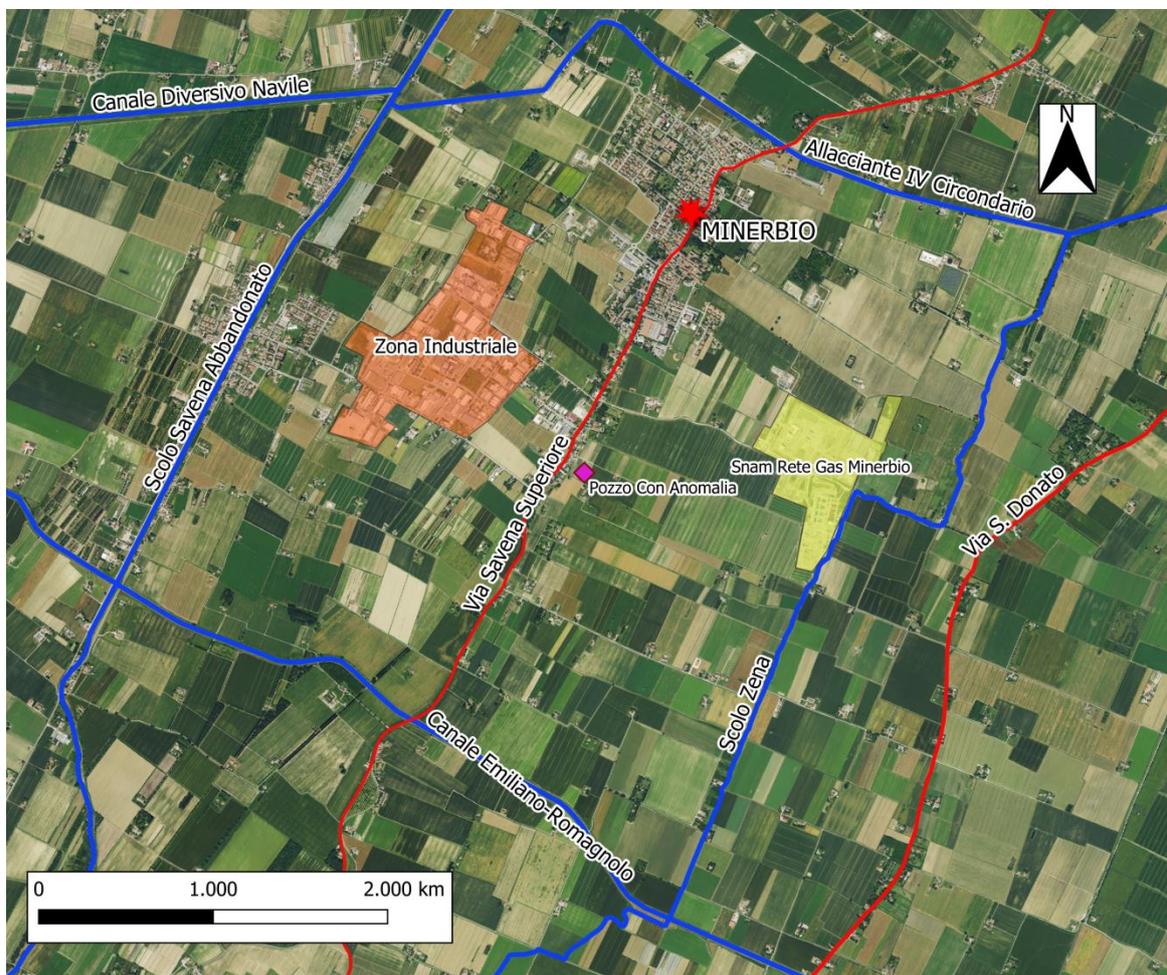


Figura 3. Immagine dell'area di studio che mostra la posizione della Zona Industriale e la centrale Snam Rete Gas.

2.2 Inquadramento Geologico

La Pianura Padana è un grande bacino deposizionale che rappresenta la porzione frontale di due catene a convergenza opposta: a Nord la catena alpina e pre-alpina e a Sud l'Appennino settentrionale. A partire dal Pliocene Medio-Superiore (circa 3,5 Ma) l'orogenesi appenninica ha causato sovrascorrimenti delle falde e la creazione di bacini sedimentari sin-orogenici fortemente condizionati dalle fasi tettoniche dello sviluppo della catena. Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedepenninic Thrust Front o PTF. Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985). La successione sedimentaria di riempimento del Bacino Padano presenta un carattere regressivo con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite verso l'alto da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, chiuso al tetto da depositi continentali. Al margine appenninico il passaggio da sedimentazione marina a depositi continentali non avviene in maniera continua e progressiva ma è il risultato di eventi

tettonico-sedimentari che determinano la formazione di numerose superfici di discontinuità stratigrafica riconosciute e cartografate all'interno della successione quaternaria (Fig.4).

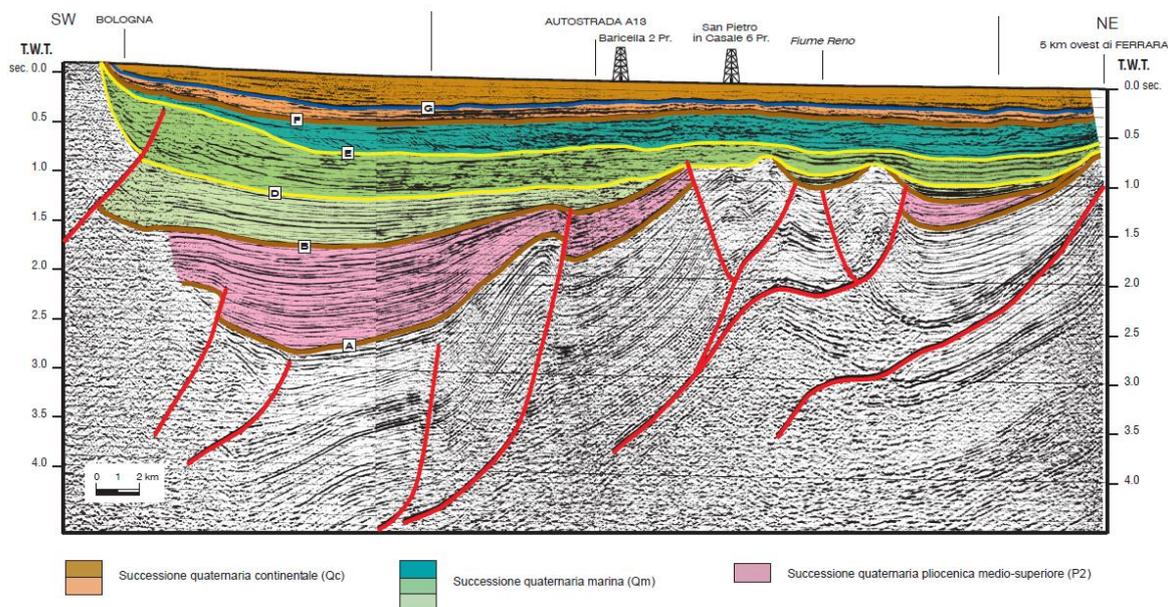


Figura 4. Sezione presa da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998, che mostra le diverse successioni stratigrafiche e le superfici di discontinuità.

Le ricerche condotte dall'AGIP, i cui dati sono stati ottenuti da stratigrafie sismiche e perforazioni petrolifere, hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano (Fig.4) mediante l'interpretazione di profili sismici (Ricci Lucchi et al, 1982). Pertanto le unità stratigrafiche più profonde verranno descritte usando la nomenclatura AGIP (Fig.11b). Nel 1998 la Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP propongono, per il progetto CARG, uno schema stratigrafico regionale dei depositi quaternari di sottosuolo dal Pliocene Medio all'Olocene (Fig.5), le cui unità stratigrafiche più recenti verranno descritte di seguito.

Formazione di Porto Garibaldi

Questa formazione è costituita da numerosi banchi sabbiosi potenti anche 50-10 m, separati da setti argillosi di spessori più modesti (5-20 m). Poggia generalmente sulla formazione di Porto Corsini o sulle Argille del Santerno Inf. e altre formazioni preplioceniche. Verso l'alto passa più o meno gradualmente alle Sabbie di Asti o alle Argille del Santerno Sup. Siccome i livelli sabbiosi presentano sequenze di Bouma incomplete verso l'alto e le faune presenti sono caratterizzate da plancton ricco di specie e bentos caratteristico di mare profondo; si tratta di un deposito torbiditico di tipo prossimale (Cremonini et Ricci Lucchi, 1982).

Lo spessore di questa formazione è di molte centinaia di metri, con spessori massimi al centro del bacino padano-adriatico di circa 2000 m.

L'età deposizionale è compresa tra Pliocene Inferiore e Pliocene Superiore.

Formazione Argille del Santerno

Per via della sua ampia estensione nel sottosuolo della pianura emilano-romagnola e nel Appennino settentrionale, questa formazione è conosciuta con diversi nomi, come Argille Azzurre negli affioramenti appenninici. La formazione è costituita da argille di colore

grigio-verde o azzurro, talora intercalate da livelli arenacei e sabbiosi di qualche metro, molto frequenti ai bordi del bacino. Gli ambienti deposizionali di questa formazione erano le aree più esterne della piattaforma continentale e le scarpate.

Lo spessore di questa formazione è molto variabile poiché risente sia delle variazioni di facies fra sabbie ed argille, sia della subsidenza differenziale legata alla tettonica pliocenica e pleistocenica (Cremonini et Ricci Lucchi, 1982). Per questo sotto l'area di studio il suo spessore varia tra i 500 e circa 120 m (Fig.11b).

L'età deposizionale è compresa tra Pliocene Inferiore e Pleistocene.

Sabbie di Asti

Questa formazione corrisponde alla sequenza deposizionale Qm della figura 5, di cui le Sabbie di Imola verranno descritte successivamente. È costituita da una successione di sabbie argillose, argille sabbiose e silt che presentano passaggi abbastanza graduali da un litotipo all'altro. Talora sono presenti livelli di ghiaie e ciottoli dispersi nella massa sabbiosa. La sedimentazione è avvenuta su piattaforma a scarsa profondità, mentre per la parte inferiore di questa formazione, in cui si ritrovano depositi torbidity, si è depositata sulla scarpata (Cremonini et Ricci Lucchi, 1982).

Lo spessore totale è di circa 350 m.

L'età deposizionale è compresa tra il Pliocene Inferiore e il Pleistocene.

Sabbie di Imola (IMO)

Fanno parte della Successione Quaternaria Marina (Qm_{3'} e Qm_{3''} in Fig.5) e sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi e, subordinatamente, da peliti. Queste corrispondono alla parte superiore delle Sabbie di Asti nella nomenclatura AGIP.

Le Sabbie di Imola sono state oggetto di un dettagliato studio di terreno, corredato da numerose analisi biostratigrafiche e petrografiche (Amorosi et alii, 1998), che ha condotto al riconoscimento di due cicli deposizionali: il ciclo inferiore è costituito da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia e delta-conoide; il ciclo superiore è formato da una porzione inferiore prevalentemente argillosa di piana alluvionale e costiera, alla quale si sovrappongono in trasgressione depositi di spiaggia simili a quelli basali.

Il limite tra i due cicli deposizionali è una superficie di discontinuità, marcata dal contatto erosivo tra sabbie di spiaggia e sovrastanti argille di piana alluvionale.

Lo spessore è circa 100 m.

Le Sabbie di Imola sono attribuibili, secondo lo schema cronostratigrafico proposto e sulla base dei dati Amorosi et al (1998), alla parte terminale del Pleistocene inferiore e al Pleistocene medio.

Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore(AEI)

Unità stratigrafica che fa parte della Successione Quaternaria Continentale inferiore (corrispondente al Qc₁ di Ricci Lucchi et al, 1982) e si trova a contatto, con una superficie d'inconformità e in discordanza angolare, con le Sabbie di Imola sottostanti. Questa unità, nel sottosuolo bolognese, è costituita prevalentemente da un'alternanza di limi/argille di colore grigio-verde e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie (Amorosi et al, 1996; Carta Geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna). Lo spessore al di sotto della pianura è di circa 65 m e diminuisce verso il margine appenninico.

L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale e deltizia.

L'età attribuita da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) è compresa tra i 350.000-450.000 e 650.000 anni.

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Costituisce la porzione superiore della Successione Quaternaria Continentale, corrispondente al Qc₂ (Fig.5) di Ricci Lucchi et al, 1982, ed è composto da ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille e limi di piana inondabile variamente pedogenizzati. Il limite di tetto è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è netto e discordante sul Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore.

Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a superare i 300 m in prossimità del fiume Po'.

L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale.

L'età deposizionale è Pleistocene Medio – Olocene.

UNITA' STRATIGRAFICHE		SEQUENZE DEPOSIZIONALI	ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE				
					GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO		
SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	Qc ₂	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE-OLOCENE	A	A1			
			Qc			~0.35-0.45	A2		
							A3		
							A4		
	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	Qc ₁			~0.65	B	B1		
					B2				
					B3				
					B4				
	SABBIE DI IMOLA	Qm	Qm _{3''}		~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE	C	C1	
			Qm _{3'}		~0.8			C2	
GRUPPO DEL SANTERNO	P2	Qm ₂	~1.0	PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE	C3				
		Qm ₁	~2.2		C4				
			~3.3-3.6		C5				
	~3.9	PLIOCENE INFERIORE							
				PLIOCENE INFERIORE					
				MIOCENE					
					ACQUITARDO BASALE				

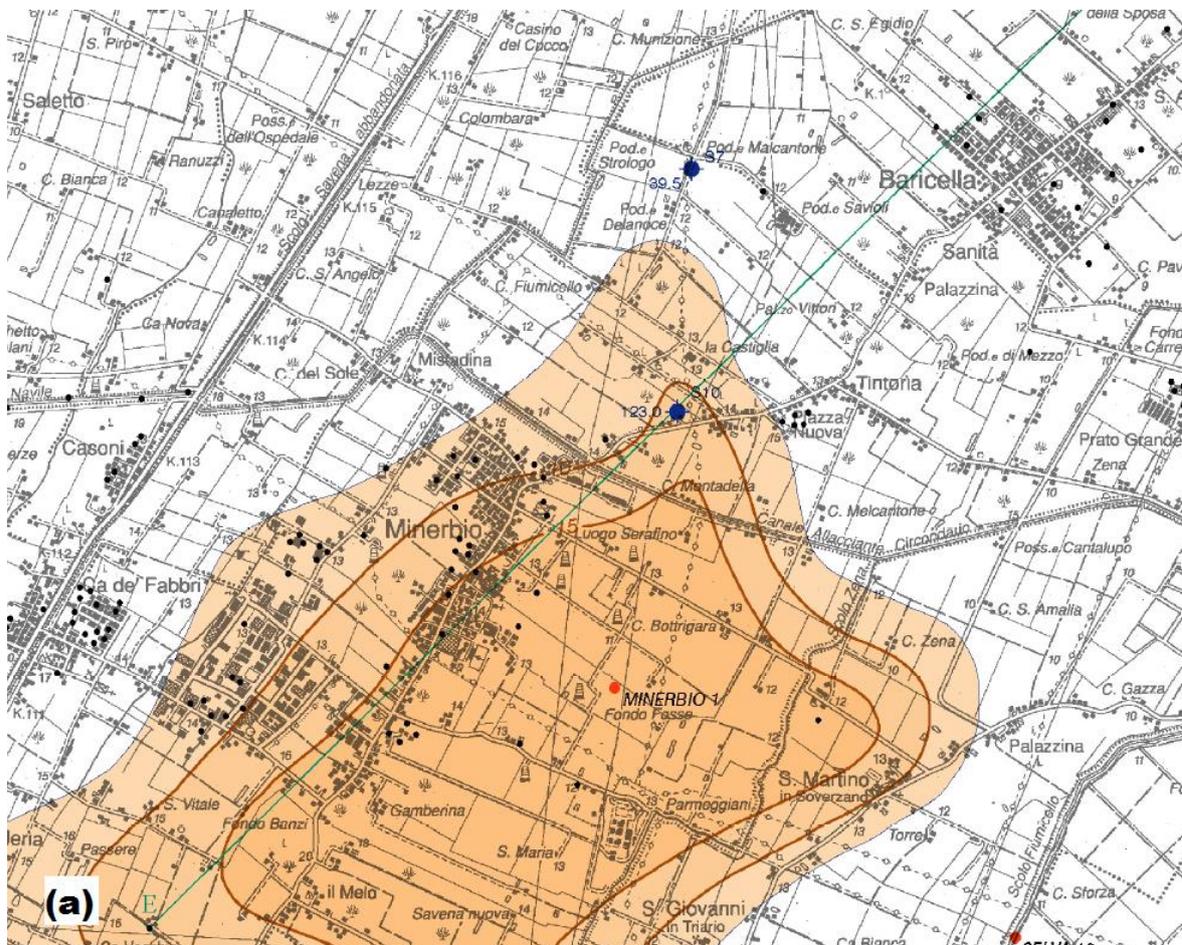
— Superficie di discontinuità principale

— Superficie di discontinuità minore

Figura 5. Schema preso da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998. A sinistra le diverse successioni stratigrafiche e le superfici di discontinuità nei depositi plio-quaternari del bacino padano. A destra i gruppi e complessi acquiferi al di sotto della pianura emiliano-romagnola.

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (Subsintemi), associando ad AES un numero. Questi rappresentano cicli deposizionali che sono generalmente organizzati verticalmente in sequenze coarsening-upward e in sequenze finingupward/coarsening upward entrambe caratterizzate da un'evoluzione di tipo trasgressivo-regressivo (Carta Geologica d'Italia 1:50000 Foglio 203 Poggio Renatico).

Nella zona studiata, tra circa 30 e 100 m di profondità (Fig.6), è presente il Subsistema di Villa Verucchio (AES₇), formatosi nel Pleistocene Superiore. La sua base, che corrisponde alla porzione trasgressiva del ciclo, è costituita da depositi fini di tracimazione fluviale e piana inondabile contenenti livelli metrici di argille e limi localmente ricchi di sostanza organica, di origine palustre poggianti, in contatto netto, sulle sabbie fluviali del tetto di AES₆. La porzione intermedia è costituita da fitte alternanze di sabbie, limi e argille dove sono frequenti livelli pedogenizzati, parzialmente o totalmente decarbonatati. La porzione regressiva sommitale è costituita da depositi sabbiosi di riempimento di canale fluviale che formano dei corpi composti a geometria nastriforme.



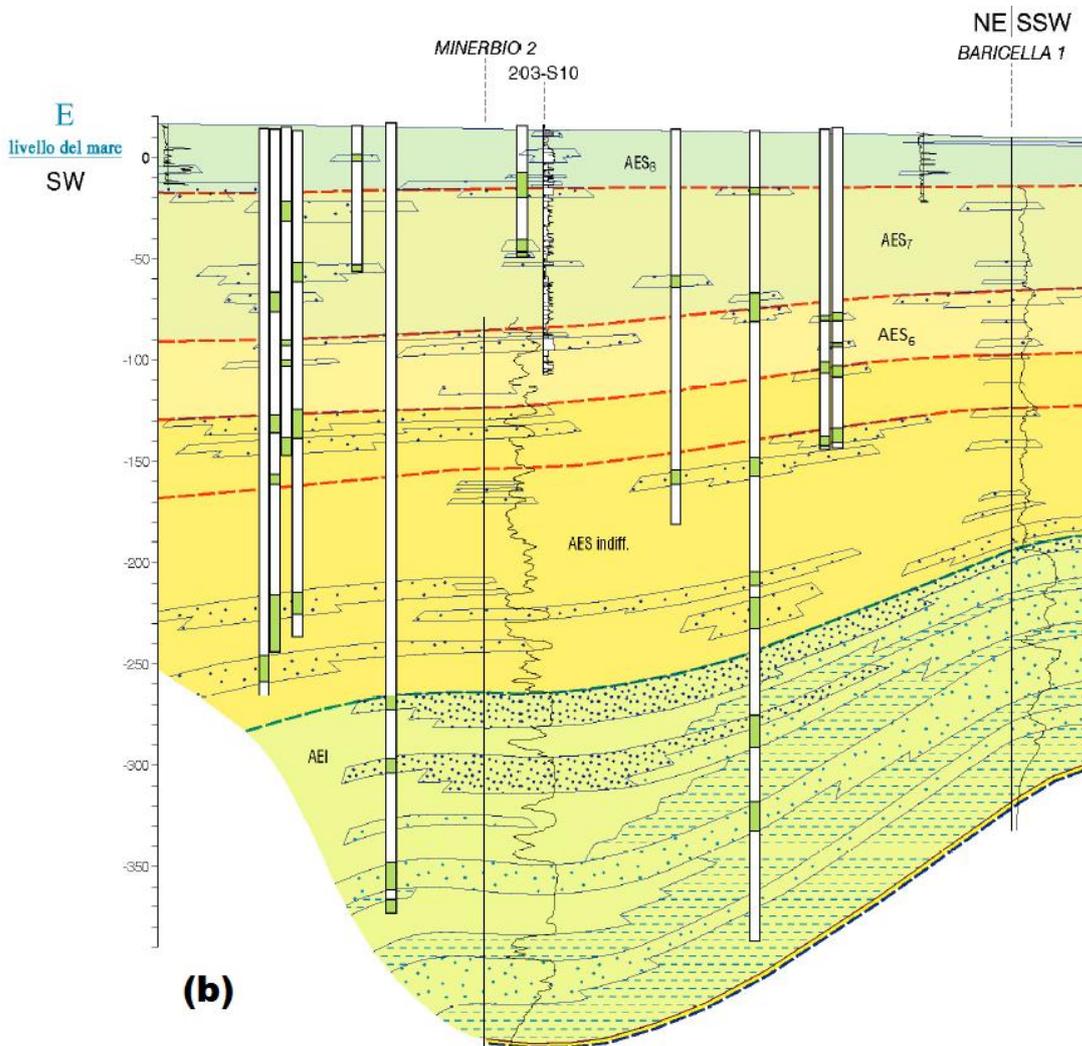


Figura 6. (a) parte dell'allegato "Geologia del Sottosuolo" al Foglio 203, che mostra su mappa parte della sezione della sezione E-E' e (in arancione) le sabbie di riempimento canale e rotta fluviale del Subsistema AES₇. (b) parte della sezione della sezione E-E' che mostra i Subsistemi di AES al di sotto di Minerbio.

Dal piano campagna a 20 m di profondità, la Carta Geologica della Regione Emilia Romagna Foglio 203 riporta nell'area studiata (Fig.7), terreni riconducibili al Subsistema di Ravenna (AES₈), formatosi tra il Pleistocene Superiore e l'Olocene, che consiste in depositi sabbioso-limosi (di canale, argine e rotta fluviale) e argilloso-limosi di piana inondabile. Questi costituiscono la porzione trasgressiva e quella iniziale regressiva di un ciclo trasgressivo-regressivo. In questo Subsistema è stata distinta una unità di rango gerarchico inferiore, l'unità di Modena (AES_{8a}), che negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale risulta costituita da un'alternanza di ghiaie, sabbie, limi e argille. Il limite inferiore di AES_{8a} è dato dal contatto, in discontinuità, delle sue tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo di AES₈. Il limite superiore è definito da un suolo calcareo sempre affiorante, di colore bruno olivastro e bruno grigiastro con reperti archeologici post-romani. L'età deposizionale infatti è compresa tra il IV-VI secolo d.C. e l'attuale.

I materiali fini (argille e limi) si dispongono in strutture pressoché tabulari la cui origine è da attribuire agli eventi di tracimazione durante le fasi di piena dei corsi d'acqua.

I materiali grossolani (sabbie e ghiaie) si concentrano per lo più in strutture lenticolari e nastriformi tra loro isolate o interconnesse, corrispondenti al letto fluviale o ad eventi localizzati di rottura degli argini.

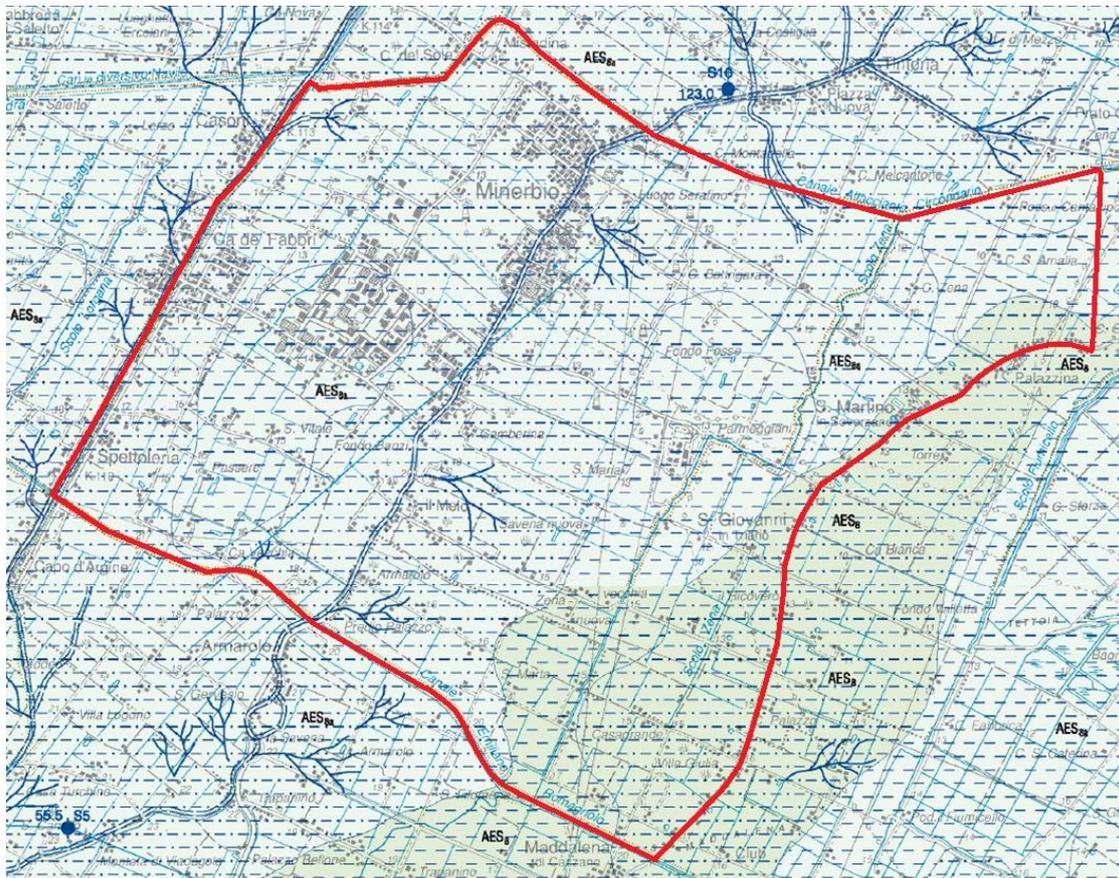


Figura 7. Parte del foglio 203 della Carta Geologica d'Italia che mostra gli affioramenti di AES₈ e AES_{8a} nell'area studiata (circondata in rosso) .

2.3 Geomorfologia

La morfologia originaria risulta in parte alterata dall'azione dell'uomo e dalle alterazioni dovute alle coltivazioni. L'ambiente di pianura inondabile è caratterizzato da pendenze molto modeste e locali microrilievi riconducibili a paleo alvei, ventagli di rotta ed argini abbandonati e derivanti dalle divagazioni dei corsi d'acqua nel tempo. Nei secoli l'intervento dell'uomo ha modificato o celato gran parte di queste forme di superficie. Si riconosce tuttavia come la Via Savena Superiore, che attraversa l'abitato di Minerbio, risulti rialzata rispetto alle campagne circostanti. Il centro storico del paese sorge infatti sull'antico corso abbandonato del Fiume Savena, come si può vedere nella Fig.8.

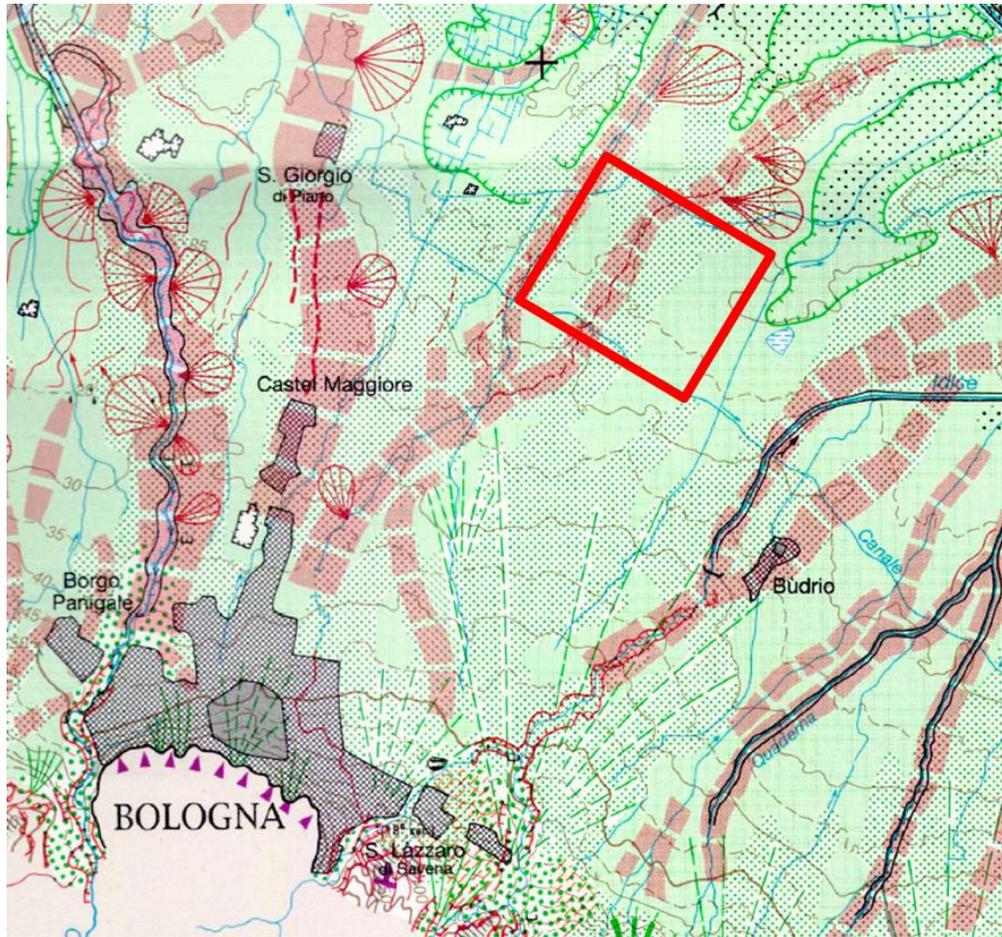


Figura 8. Immagine presa dalla Carta Geomorfologica della Pianura Padana che mostra il percorso abbandonato e il dosso del Savena al centro dell'area di studio.

2.4 Idrologia ed idrogeologia

In ENI-AGIP & Regione Emilia-Romagna (1998), sono state proposte le cosiddette Unità Idrostratigrafiche per i depositi alluvionali e marino-marginali della pianura emiliano-romagnola, denominandole Gruppo acquifero A, B e C. Questi gruppi sono formati da più sequenze deposizionali alla cui base è presente un livello continuo e poco permeabile, che funge da barriera impermeabile. Sono pertanto delle unità geologiche che hanno un valore sia stratigrafico che idrogeologico (Fig.5, Fig.9). Esse sono:

- **Gruppo Acquifero C:** è il più profondo, formato da depositi costieri e marino-marginali del Pliocene Inferiore-Pleistocene Medio. Corrisponde alle Sabbie di Imola e alla parte più recente del Gruppo del Santerno;
- **Gruppo Acquifero B:** è formato principalmente da depositi alluvionali. Corrisponde al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore formatosi nel Pleistocene Medio;
- **Gruppo Acquifero A:** è il più superficiale e, come il precedente, è formato da depositi alluvionali. Corrisponde al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore formatosi tra Pleistocene Medio e l'Olocene;

Nella idrostratigrafia proposta i Gruppi Acquiferi vengono suddivisi a loro volta in Complessi Acquiferi, unità gerarchicamente inferiori, denominate con numeri progressivi a seguito del nome del Gruppo a cui appartengono (Fig.4). Tutti i Complessi corrispondono a una sequenza deposizionale (un ciclo trasgressivo-regressivo) alla cui base è presente un

acquitarzo, costituito da sedimenti fini e ricchi in materia organica. Ciò significa che i Complessi Acquiferi appartenenti al Gruppo A corrispondono ai Subsistemi citati in 2.4.

La maggior parte dei pozzi identificati nella zona non supera i 10 m di profondità, mentre quello più profondo trovato per questa tesi è di 111m. Perciò verranno descritti di seguito i Complessi Acquiferi del Gruppo A che sono intercettati dai pozzi identificati:

- **Complesso Acquifero A2** corrisponde a AES₆ (un ciclo trasgressivo-regressivo completo), il cui letto si trova ad una profondità di circa 140 m e ha uno spessore complessivo di 40 m (Fig.6);
- **Complesso Acquifero A1** corrisponde a AES₇ e rappresenta l'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo completo del Pleistocene Superiore. La sua base si trova ad una profondità di 100 m e ha uno spessore complessivo di 70 m (Fig.6);
- **Complesso Acquifero A0** corrisponde a AES₈ che rappresenta un ciclo incompleto perché si è depositata soltanto la parte inferiore trasgressiva, marcata da argille con molta materia organica. Nelle zone di pianura può superare i 20 m di spessore e può contenere, nella parte inferiore, acquiferi confinati di piccole dimensioni. La porzione freatica, e quindi libera, di A0 interessa soltanto i primi 10 m da piano campagna e, da un punto di vista idrogeologico, è un acquifero di modesto interesse per quel che riguarda il volume della risorsa idrica e la sua produttività specifica. Tuttavia, per la sua scarsa profondità, esso è interessato da molti pozzi di grande diametro perforati soprattutto in corrispondenza dei depositi di paleo-alveo e comunque dove è presente una significativa percentuale di sabbia.

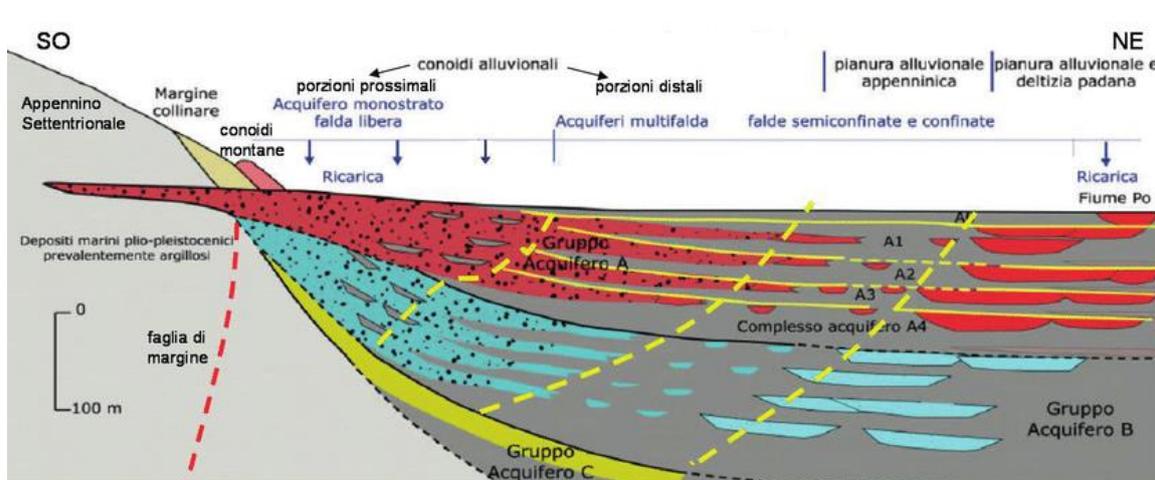


Figura 9. Sezione che rappresenta i diversi gruppi di acquiferi al di sotto della pianura emiliano-romagnola presa da "Riserve Idriche Sotterranee" (Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP, 1998).

2.5 Assetto Strutturale e Giacimento del Metano

Le prospezioni geofisiche ed i sondaggi effettuati dall'ENI-AGIP per la ricerca di idrocarburi hanno individuato nel sottosuolo padano strutture profonde, sviluppatasi in un lasso di tempo compreso tra il Miocene superiore ed il Pleistocene, geneticamente connesse all'evoluzione strutturale dell'Appennino. Queste strutture interessano le stesse unità litologiche, per lo più di origine marina, che è possibile osservare in affioramento nel margine collinare. L'assetto strutturale delle successioni sepolte mio-pleistoceniche nel settore di pianura in esame è dato da una serie di pieghe e *thrust* ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE (Fig.10).

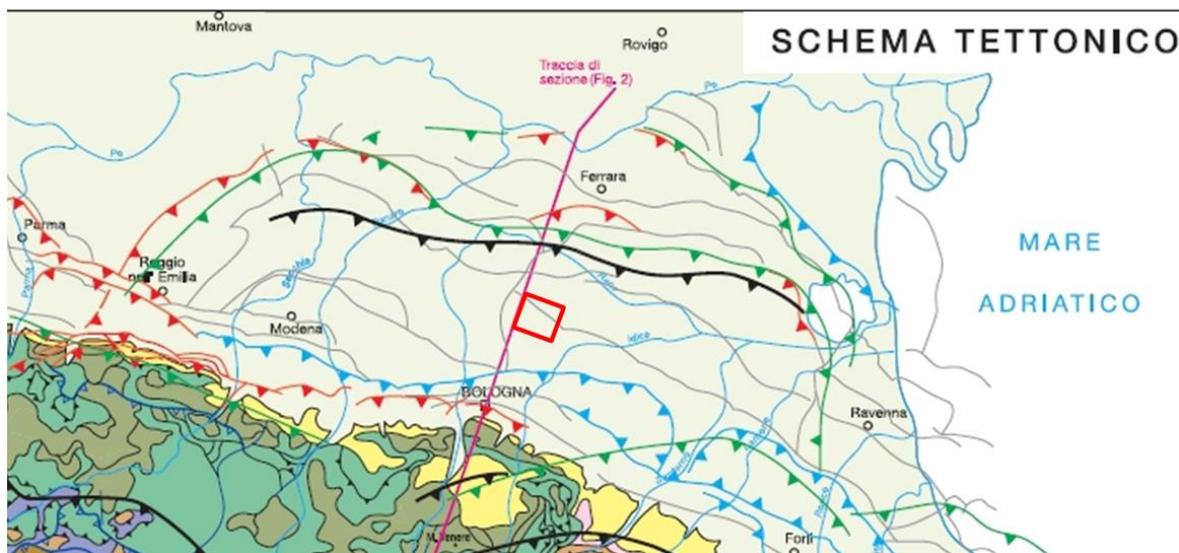


Figura 10. Parte della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (Boccaletti et alii, 2004) in cui si vedono le principali strutture tettoniche nel sottosuolo e l'area di studio (quadrato rosso).

La struttura che ospita il giacimento rappresenta la parte nord-occidentale di un'anticlinale fortemente asimmetrica allungata in direzione NO-SE (Fig.11a), delimitata a NE da faglie inverse nord-vergenti che creano notevoli dislocamenti verticali degli strati più profondi (Fig.11b). Questa situazione ha creato una trappola di tipo stratigrafico-strutturale, nella quale gli elementi stratigrafici (geometrie lenticolari dei livelli sabbiosi con progressiva chiusura stratigrafica) si combinano alle strutture tettoniche plastiche (anticlinali asimmetriche) e rigide (faglie marginali nord-orientali). La copertura del giacimento è garantita dalla facies argilloso-siltosa del membro superiore della Formazione Argille del Santerno, che è presente sull'intera area del giacimento e che costituisce una sigillatura continua. Il giacimento è composto da diversi livelli sabbiosi isolati compresi nella Formazione di Porto Garibaldi a circa 1270 m di profondità. La traccia del contatto gas-acqua originario (localizzato a 1370 m di profondità) individua un'area di circa 8 km² (Fig.11a) la cui superficie è situata per circa l'80% nel comune di Minerbio.

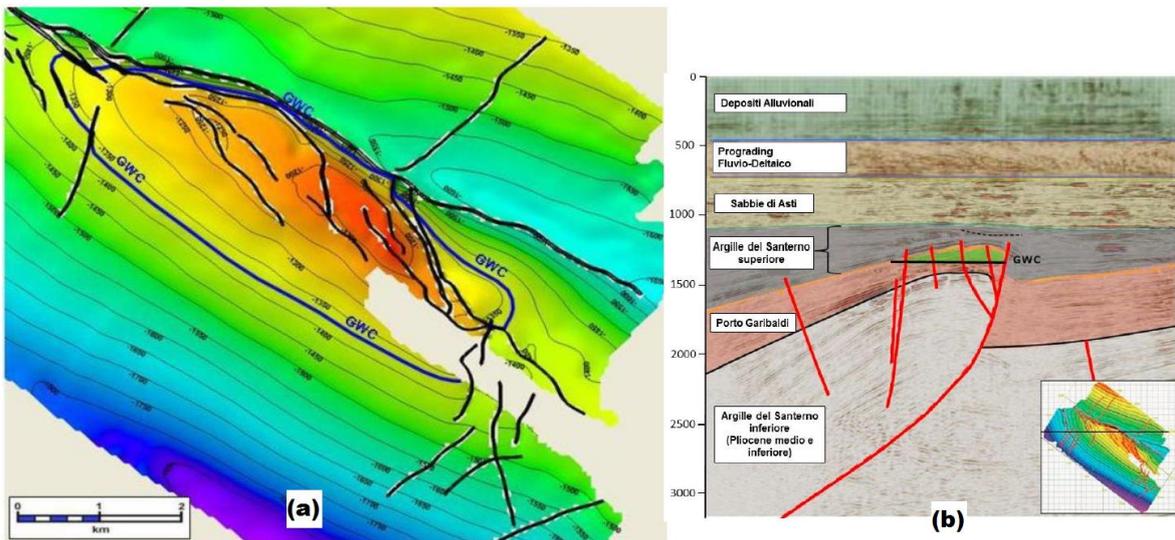


Figura 11. (a) Mappa del top strutturale del giacimento di Minerbio, delimitato dalla linea di contatto gas-acqua (GWC); sezione tettono-stratigrafica in direzione EW della struttura che ospita il giacimento (INGV, 2019).

L'estrazione del metano iniziò alla fine degli anni 50 e si concluse nel 1971 (con la perforazione di 36 pozzi, di cui 24 produttivi) e dal 1975 si passò all'attività di stoccaggio. Quest'ultima si avvale attualmente di 51 pozzi di iniezione/erogazione organizzati in clusters (Fig.12) e di 6 pozzi-spia per il monitoraggio delle pressioni di giacimento. Negli anni, sono stati estratti $13.400.710 \times 10^3 \text{ Sm}^3$ (standard metri cubi) di gas naturale dai diversi livelli sabbiosi mentre la capacità annua di stoccaggio è di $2.658 \times 10^6 \text{ MSm}^3$.

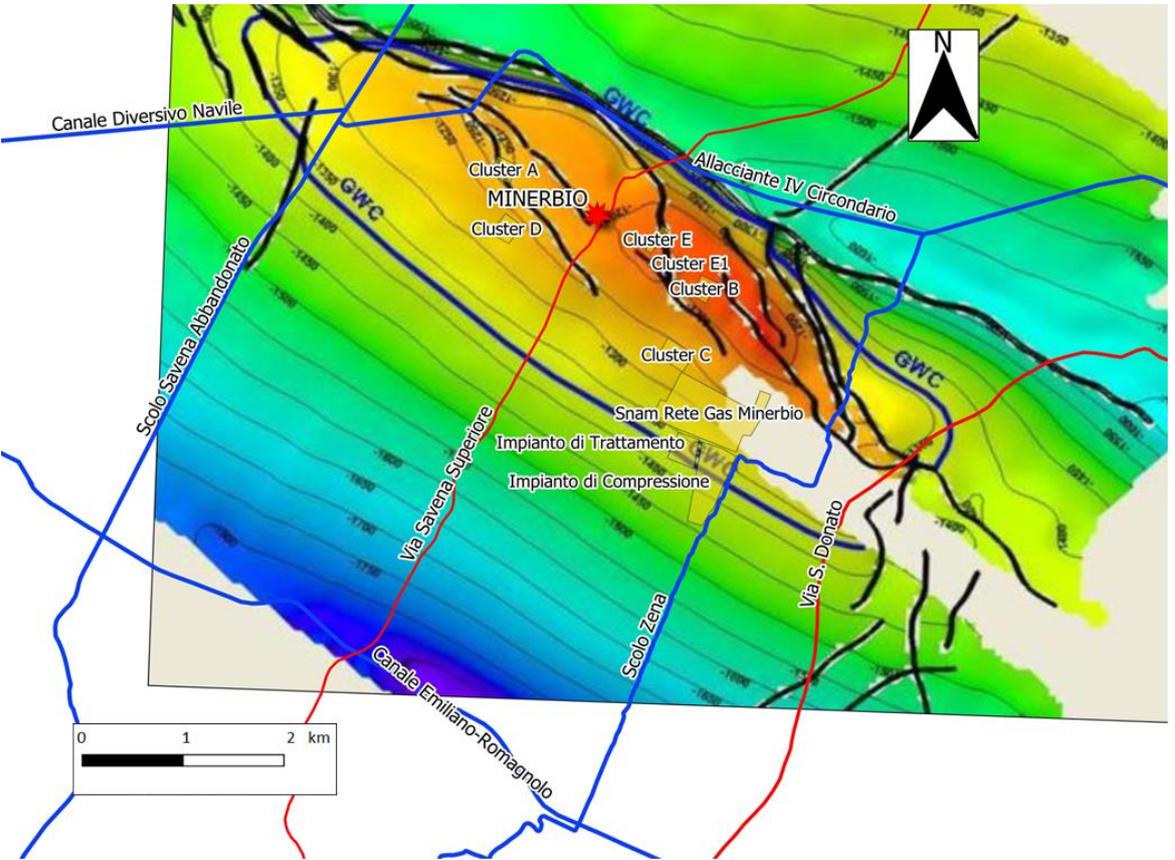


Figura 12. Posizione del giacimento e impianti STOGIT nell'area di studio.

In data 8/1/2013, STO.G.IT. (Stoccaggi Gas Italia) S.p.A., ha avviato presso il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare una procedura di Valutazione di Impatto Ambientale per “Ampliamento capacità di stoccaggio mediante incremento della pressione massima di esercizio (p_{max}) oltre la pressione statica ($p=150,4$ bar a) di fondo originaria del giacimento ($p_{max} = 1,07p$)”. La procedura è stata avviata a seguito della realizzazione di un progetto di fattibilità, condotto da STOGIT S.p.A, comprendente una serie di studi e di interventi operativi, finalizzati alla raccolta dei dati per una accurata descrizione delle principali caratteristiche del giacimento. I risultati dello studio geologico-strutturale e i risultati di un periodo di esercizio di sperimentazione in sovrappressione autorizzato dal MiSE, hanno assicurato la possibilità tecnica di raggiungere nel giacimento di Minerbio, in condizioni di totale sicurezza, un incremento di pressione statica di giacimento fino al 107% della pressione di scoperta. Acquisito il parere positivo della Commissione Tecnica di Verifica dell’Impatto Ambientale, del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, e della Regione Emilia-Romagna, in data 14/3/2017 è stata decretata la compatibilità ambientale del progetto, subordinatamente al rispetto di una serie di prescrizioni. In particolare, le prescrizioni indicate da RER richiedono la realizzazione di attività di monitoraggio da svolgere in accordo con quanto definito nel “Protocollo Operativo – Attività di Sperimentazione degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della concessione Minerbio Stoccaggio”, sottoscritto da MiSE, RER e Concessionario in data 5/5/2016, che individua l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia come struttura preposta al monitoraggio (INGV, 2019).

3. Metodi di rilevamento e analisi di laboratorio

Prima di andare sul campo è stato creato un data-set dei punti di misura e campionamento utilizzando il Catasto Pozzi Regionale, i pozzi individuati per la tesi “Studio idrogeologico preliminare di un'area nei pressi di Minerbio (Provincia di Bologna)” di Eugenia Giorgini e quelli individuati sugli Elementi della CTR. Successivamente sono stati effettuati dei sopralluoghi, durante la prima campagna, per identificare il pozzo ed entrare in contatto con il proprietario. Se quest'ultimo era presente e si dimostrava disponibile a cooperare, si iniziava a raccogliere informazioni e misurazioni su una scheda. Le principali informazioni e misure da inserire erano: il nome del pozzo, conducibilità-temperatura 0,5 m sopra il fondo e conducibilità-temperatura 0,5 m sotto il pelo dell'acqua. Altre informazioni sono state chieste direttamente al proprietario del pozzo (se presente), come: presenza di una pompa, tipo di utilizzo, ultimo utilizzo, presenza di un serbatoio, disponibilità al prelievo di campioni, nome del proprietario, recapito telefonico e note particolari.

Il diametro del pozzo e l'altezza della bocca del pozzo sul p.c. sono stati misurati, dove possibile, con un metro estensibile. I metodi di rilevamento e le analisi chimiche utilizzati durante questa tesi verranno descritti di seguito, suddividendoli in: Metodi di Campo e Metodi Analitici di Laboratorio.

3.1 Metodi di Campo

I metodi di campo vengono suddivisi loro volta in: Parametri Idrologici, Parametri Fisico-Chimici, Parametri Chimici, Metodo Filtraggio Campioni e Metodo Prelievo Campioni.

3.1.1 Parametri Idrologici

Rete di pozzi per misura e campionamento

Per l'ubicazione dei pozzi si è provveduto manualmente su fogli della CTR in scala 1:5000, riportandoli su carta a partire dal sopralluogo sul campo (esempio in Fig.13 dove le quote assegnate al p.c. sulla base dei pozzi indicati sono: 16,4 per P52; 16 per P53; 16,5 per P54 e 17,8 per P56). Dai fogli della CTR si è anche stimata la quota del piano campagna (relativa ad ogni pozzo), utilizzata per calcolare il livello piezometrico. Per avere misure e pianificare il campionamento si è cercato di identificare pozzi distribuiti in maniera omogenea e fitta su tutta l'area di studio.

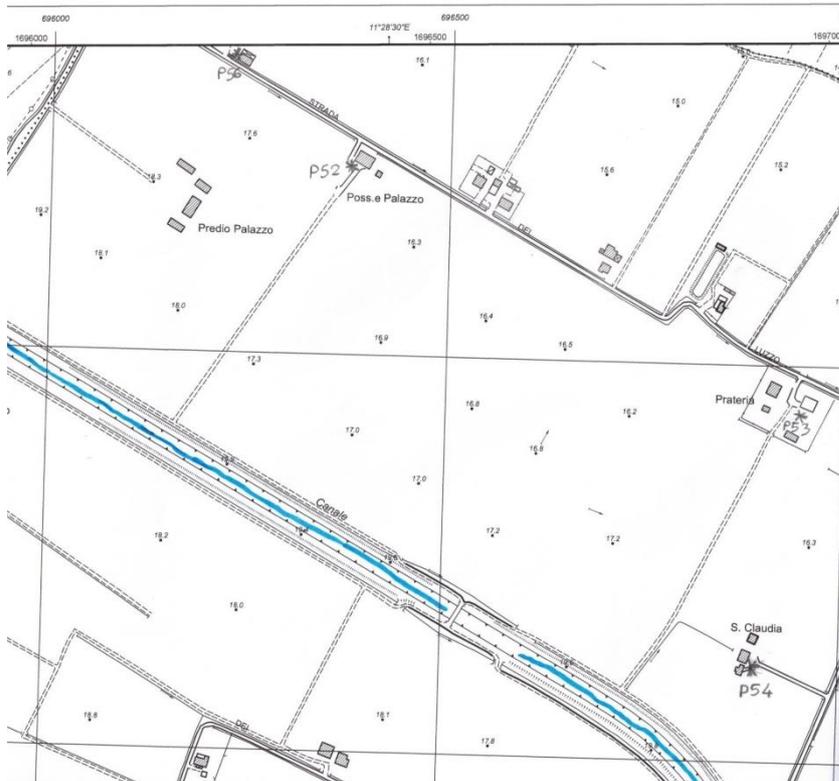


Figura 13. Parte del Elemento N° 221021 “Cazzano” della CTR, dove è stato segnato il Canale Emiliano-Romagnolo (in blu) e la posizione di alcuni pozzi a matita.

Freatimetro

Il freatimetro (Fig.14) è uno strumento portatile che è stato utilizzato per misurare la soggiacenza del livello piezometrico all'interno dei pozzi e piezometri. Le componenti principali sono: sonda (detta anche puntale), montata su cordella metrica contenente un filo conduttore elettrico collegato ad un circuito di segnalazione, struttura per l'appoggio-trasporto e un avvolgicavo che contiene il tutto. Lo strumento emette un suono e accende una luce per comunicare che la sonda ha toccato il livello idrico.



Figura 14. Foto del freatimetro utilizzato.
 Marca: OTT.
 Modello: Typ 010

3.1.2 Parametri Fisico-Chimici

Conducimetro

Questo strumento (Fig.15) misura la conduttività elettrica dell'acqua (compensata a una temperatura di 25 °C), applicando una tensione nota agli elettrodi e misurando la corrente elettrica. Maggiore è la quantità di ioni disciolti nell'acqua, più alto sarà il valore di conducibilità elettrica che lo strumento misura. La sonda utilizzata permette anche di misurare la temperatura dell'acqua. I parametri sono determinati in °C e $\mu\text{S}/\text{cm}$. Oltre a raccogliere questi dati, questo strumento è stato utilizzato per misurare la profondità del pozzo, nel caso fosse ignota, sfruttando l'allentamento della tensione del cavo quando il puntale tocca il fondo del foro (più efficace rispetto al freatimetro perché il puntale pesa di più).



Figura 15. Foto del
conducimetro utilizzato.
Marca: OTT.
Modello: KL 010 TCM.

3.1.3 Parametri Chimici

Spettrofotometro Portatile

Lo spettrofotometro portatile (Fig.16) è uno strumento in grado di effettuare analisi quantitative di specie in soluzione acquosa utilizzando la capacità della luce di essere assorbita, a diverse frequenze, dagli analiti disciolti. Un raggio luminoso viene filtrato attraverso un monocromatore, che lascia passare una singola lunghezza d'onda. Questa viene impostata dallo strumento quando si sceglie lo ione o la molecola da misurare. Il raggio filtrato passa attraverso il campione di acqua (dove sarà in parte assorbito) e viene registrato da un fotometro che ne misura l'intensità. Conoscendo l'intensità luminosa iniziale e quella trasmessa, lo strumento calcola l'assorbanza e da questa ricava la concentrazione della specie chimica.

Questo strumento è stato utilizzato sul campo per misurare il ferro bivalente (Fe^{2+}) e l'ammoniaca (NH_3), in quanto queste due specie sono molto sensibili all'ossidazione e la loro concentrazione determinata successivamente in laboratorio non sarebbe più rappresentativa.

Le fasi operative di analisi sono le seguenti:

Si prepara una bocchetta con l'acqua del pozzo e un'altra con acqua distillata, detto campione di "bianco".

- Si seleziona il programma per analizzare una specie, normalmente si parte con il Fe^{2+} perché il più ossidabile e quindi il più fugace.
- Si versa il reagente nella bocchetta con l'acqua del pozzo (nel caso del NH_3 anche nell'acqua distillata) e si attiva il timer per dare tempo alla reazione (3 minuti per Fe^{2+} e 15 minuti per NH_3).
- Allo scadere del tempo, se è presente ferro bivalente la soluzione diventa rosso-arancione, mentre per l'ammoniaca diventa verde (Fig.10).
- Si inserisce nell'apposito alloggiamento il "bianco" e lo si fa analizzare per tarare lo strumento a zero assorbanza.
- Si ripete il punto precedente per la bocchetta con l'acqua del pozzo, ottenendo la concentrazione della specie chimica.

Nel caso che le concentrazioni siano molto alte è necessario diluire il campione, perché i limiti di rilevabilità per il Fe^{2+} sono nell'intervallo 0,02-3,00 mg/L e per NH_3 sono nell'intervallo 0.025-167 mg/L.



Figura 16. Spettrofotometro portatile (HACH, Modello: DR1900) e bocchette durante la prova per rilevare l'ammoniaca (in verde l'acqua del pozzo e in giallo quella con acqua distillata)

Kit Misura Alcalinità

Con alcalinità dell'acqua si intende la sua capacità di neutralizzare gli acidi e corrisponde alla somma di tutte le basi titolabili tramite un acido. È controllata dalla concentrazione di ione carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) e quindi permette di determinare indirettamente la loro concentrazione.

La procedura analitica è la seguente:

- Inserimento di 5 ml di acqua del pozzo nel contenitore (Fig.11).
- Aggiunta di 2 gocce di reagente (R1) per il carbonato o di (R2) per il bicarbonato.
- Se uno di questi 2 ioni è presente (di fatto sempre per il bicarbonato, se la soluzione è molto alcalina per il carbonato), la soluzione diventa azzurra e si procede aggiungendo, goccia a goccia tramite siringa graduata, il titolante (R3).
- Quando la soluzione vira al rosa (Fig.17), si legge sulla siringa la dose di titolante aggiunta da cui si ricava la concentrazione in mmol di HCO_3^- e eventualmente di CO_3^{2-} presente nel campione.

In realtà in tutti i pozzi analizzati non è stato mai rilevato ione carbonato.



Figura 17. Foto dell'acqua del pozzo dopo aver aggiunto il titolante per misurare il bicarbonato presente.
Marca: MERCK
Modello: MColortest™ 1.11109.0001

3.1.4 Metodo Filtraggio Campioni

Pompa Peristaltica e Filtraggio dell'Acqua

I campioni prelevati dai pozzi, e destinati alle analisi chimiche, devono essere preventivamente filtrati sul campo per eliminare i solidi sospesi, tenendo conto anche del fatto che spesso non è possibile operare in condizioni ideali di campionamento a basso flusso. Il filtraggio viene ottenuto facendo fluire il campione di acqua attraverso un filtro tramite il richiamo operato da una pompa peristaltica (Fig.18) La pompa è composta da un motore elettrico (alimentato da una batteria per auto), un tubo in silicone ed un rotore a cui sono applicati 2 eccentrici che, sottoposti a rotazione, comprimono alternativamente il tubo e provocano il richiamo dell'acqua che è costretta a passare attraverso un contenitore a tenuta, in modo tale da permettere un flusso attraverso un filtro in cellulosa (maglia 0,45 μm). Con l'acqua filtrata sono stati riempiti 2 flaconi in PET (rispettivamente da 250 ml e 100 ml) inviati poi al laboratorio.



Figura 18. Pompa peristaltica e camera filtrante all'interno della quale è alloggiato il filtro. La siringa aiuta a tenere in depressione il sistema. Sulla destra il contenitore dove verrà inserito il campione filtrato.

3.1.5 Metodo Prelievo Campioni

Bailer

Un campionatore di tipo “bailer” (Fig.19) è composto da un tubo in PVC dove a un'estremità è presente una valvola di chiusura a sfera, mentre all'altra è legata una corda. Una volta calato nel pozzo e completamente sommerso, la sfera al suo interno scende per gravità e blocca la valvola in modo tale che, quando si tira su, l'acqua non esce dall'estremità inferiore. Questo strumento è stato principalmente utilizzato in pozzi abbandonati o laddove non era presente una pompa. L'acqua prelevata con il bailer è stata comunque trattata come descritto nel paragrafo precedente.



Figura 19. Campionatore tipo “Bailer” .

3.2 Metodi Analitici di Laboratorio

Le analisi chimiche sono state effettuate utilizzando uno Spettrometro a Fiamma, nel Laboratorio di Geochimica, Dipartimento BiGeA (Bologna) e uno Ionocromatografo, presso i laboratori del Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali (Ravenna).

Spettrometro per Assorbimento Atomico a Fiamma

Lo spettrometro a fiamma (Fig.20) ha permesso l'analisi quantitativa dei seguenti cationi: Na, K, Ca e Mg. All'inizio della prova si seleziona sul computer l'elemento di cui si vuole sapere la concentrazione, in modo tale che lo strumento possa preparare la lampada a catodo cavo di luce monocromatica. Quando questa è in posizione, si tara lo strumento con soluzioni a diverse concentrazioni dell'elemento ed una volta fatto ciò si può misurare la concentrazione nei campioni d'acqua prelevati sul campo. Il campione viene aspirato da una cannucchia e nebulizzato in una camera dove viene miscelato con combustibile e ossidante. Questa miscela esce dal bruciatore con una fiamma che atomizza la soluzione e fa da "porta campione". A questo punto un raggio di luce, emesso dalla lampada a catodo cavo, viene fatto passare attraverso la fiamma ed in base a quanto viene assorbito lo strumento misura la concentrazione dell'elemento.



Figura 20. Foto dello spettrometro a fiamma utilizzato per le analisi di elementi chimici nel Laboratorio di Geochimica del Dipartimento BiGeA.
Marca: Thermo Elemental. Modello: Solaar S4.

Ionocromatografo

Lo ionocromatografo (Fig.21) permette di quantificare in sequenza diverse specie ioniche presenti in una soluzione. La prova inizia effettuando un paio di lavaggi con acqua distillata, in modo tale da eliminare sostanze residue e aumentare la pressione del sistema. Mentre si inseriscono nel programma il nome del campione e se necessario altri dati, si prepara il filtro lavandolo direttamente con l'acqua del campione per eliminare possibili bolle d'aria e fermare corpi solidi dall'entrare nello strumento. Quando l'acqua del campione viene inserita, si mescola con dell'eluente e passa attraverso una "colonna cromatografica". All'interno di questa si trova una resina che rallenta le diverse specie, facendole arrivare al rilevatore (un conducimetro) con tempi di ritenzione tipici di ognuna. Il programma registra in un grafico "segnale del rilevatore-tempo" una curva con dei picchi, le cui aree vengono utilizzate per calcolare le concentrazioni delle diverse specie ioniche.

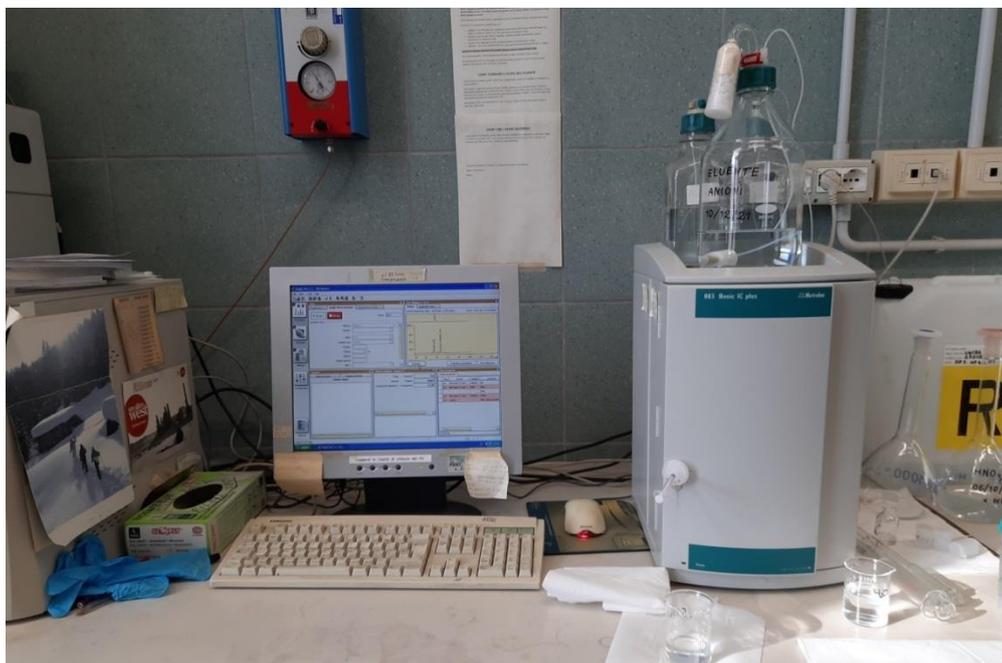


Figura 21. Ionocromatografo collegato al computer nel Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali (RA).
 Marca: METROHM. Modello: 883 BASIC IC Plus.

Nella tabella seguente verranno riassunti e divisi, secondo i metodi impiegati, tutti gli analiti misurati.

Metodi di Campo		Metodi di Laboratorio				
Spettrofotometro Portatile		Kit di Misura Alcalinità	Spettrometro per Assorbimento Atomico a Fiamma		Ionocromatografo	
Analiti misurati	Limite di rilevabilità	Analiti misurati	Analiti misurati	Limite di rilevabilità	Analiti misurati	Limite di rilevabilità
Fe ²⁺ (ferro bivalente), NH ₃ (ammoniaca)	0,02 mg/l 0,025 mg/l	CO ₃ ²⁻ (carbonato), HCO ₃ ⁻ (bicarbonato)	Ca (calcio), Na (sodio), Mg (magnesio), K (potassio)	0,01 mg/l	F (fluoro), Cr (cromo), Cl (cloruro), Br (bromo), NO ₃ (nitrato), SO ₄ ²⁻ (solfato), NO ₂ ⁻ (nitrito), PO ₄ ³⁻ (fosfato), Al (alluminio), As (arsenico), Ba (bario), B (boro), Cd (cadmio), Co (cobalto), Cu (rame), Fe (ferro), Pb (piombo), Li (litio), Mn (manganese), Mo (molibdeno), Ni (nikel), Se (selenio), Sr (stronzio), Ti (titanio), V (vanadio), Zn (zinco), S (zolfo)	0,01 mg/l

4. Censimento dei pozzi

In questo capitolo verranno descritti i pozzi identificati durante lo svolgimento della tesi, suddividendoli in tre tipologie (in base alla loro profondità): pozzi inferiori ai 10 m, pozzi compresi nell'intervallo 10-20 m e pozzi maggiori di 20 m.

4.1 Pozzi Inferiori ai 10 m di Profondità

Questa tipologia di pozzo è stata quella più incontrata durante lo svolgimento del lavoro sul campo, con un numero complessivo di 75. La loro presenza è molto comune in zone agricole perché in passato ogni abitazione contadina ne aveva almeno uno e per questo possono essere molto antichi. Questi pozzi, detti anche “Pozzi alla Romana” o di “grande diametro” o “pozzi a sterro” (in quanto scavati a mano) hanno generalmente un diametro compreso tra nell'intervallo 1-1,5 m e non superano i 10 m di profondità perché sono stati scavati a mano. Sono generalmente completati con: un rivestimento in pietrame sciolto, sotto il livello della falda, in modo da sostenere le pareti del foro ma far passare l'acqua e da un rivestimento in cemento-muratura nella zona non satura per sostenere le pareti. In passato, per estrarre l'acqua, si utilizzava un secchio o pompe a mano mentre oggi queste sono state sostituite da pompe elettriche esterne. Per la protezione dei pozzi, alcuni in superficie vengono chiusi con cemento o botole con una struttura in muratura (Fig.22). La tipologia di acqua sotterranea da cui questi pozzi attingono è quella più vicina a piano campagna, rappresentata da falda libera freatica oppure falda libera sospesa. Siccome gli acquiferi filtrati sono molto superficiali, la dinamica della falda dipende molto dalle precipitazioni ed è elevata la vulnerabilità all'inquinamento. Vi è da dire inoltre che il grande diametro, e quindi l'elevato volume di acqua immagazzinato nel pozzo, e la facilità di interazione con l'atmosfera e la superficie, rende i valori analitici delle acque campionate critici per una piena rappresentatività delle caratteristiche dell'acquifero. Questo è tanto più vero se il pozzo è utilizzato sporadicamente e quindi quando non viene rinnovato adeguatamente il volume di acqua invasata nel pozzo.



Figura 22. Esempio di struttura in muratura di un pozzo a grande diametro.

4.2 Pozzi compresi tra 10 e 20 m di Profondità

Questa tipologia di pozzo è stata la seconda più numerosa incontrata durante lo svolgimento del lavoro sul campo, con un numero complessivo di 9 (P3, P4, P8, P12, P13, P41, P47, P62, che presenta l'anomalia, e P83). I pozzi appartenenti a questa categoria sono spesso stati inizialmente scavati a sterro; quindi, con caratteristiche identiche a quelle descritti in precedenza, ma, successivamente, per problemi di insufficienza di portata, i proprietari hanno commissionato una “perforazione di approfondimento”. Ciò consiste

nell'inserire una trivella nel pozzo, con diametro inferiore a quest'ultimo, e scavare per qualche metro al di sotto del fondo con l'obiettivo di captare acquiferi più profondi. In questa zona tali acquiferi, come indicato da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), sono semiconfinati e di limitata trasmissività.

4.3 Pozzi con Profondità Maggiore di 20 m

Di questa tipologia di pozzo, ne sono stati identificati soltanto 6. Questi pozzi sono realizzati con metodi di trivellazione a rotazione e completati con tubi di produzione in acciaio o PVC. Il diametro interno è di 3 o 4 pollici (circa 10-15 cm), molto inferiore rispetto ai pozzi freatici, ma possono raggiungere diverse centinaia di metri di profondità, e l'acqua viene prelevata grazie a delle elettropompe sommerse installate nel pozzo. L'acqua proviene da acquiferi dichiaratamente confinati (da complessi acquiferi A2 e A3), cioè sono racchiusi all'interno di livelli poco permeabili e per questo meno suscettibili ad inquinamento antropico e meno dipendenti dalle precipitazioni. In superficie sono generalmente ospitati dentro strutture interrato, chiuse da un tombino in cemento o metallo (Fig.23). All'interno le tubazioni del pozzo terminano con un rubinetto di prelievo e una valvola di non ritorno.



Figura 23. Esempio di struttura interrato di un pozzo profondo più di 20 m.

5. Descrizione dei Dati Raccolti

In questo capitolo verranno descritti e mostrati i dati raccolti: nella prima campagna dal 19/5 al 1/6/2021, nella seconda campagna dal 4/10 al 8/10/2021 e nella terza campagna di prelievo campioni e analisi chimiche in situ dal 18/10 al 29/10/2021. Verranno anche illustrati i dati delle analisi di laboratorio.

	Prima Campagna	Seconda Campagna	Terza Campagna
Periodo di Svolgimento	dal 19/5 al 1/6/2021	4/10 al 8/10/2021	18/10 al 29/10/2021
Pozzi e Piezometri	79 inferiori ai 10 m 12 tra i 10 e 20 m 6 superiori ai 20 m	76 inferiori ai 10 m 11 tra i 10 e 20 m 6 superiori ai 20 m	23 inferiori ai 10 m 4 tra i 10 e 20 m 3 superiori ai 20 m
Tipologia di Parametri Misurati	Idrologici e Fisico-Chimici	Idrologici e Fisico-Chimici	Chimici

5.1 Prima Campagna (19 maggio – 1 giugno 2021)

La prima campagna ha avuto come obiettivo il censimento dei punti e l'acquisizione della disponibilità dei proprietari. Si è creato un data-set di informazioni, su Excel, per un totale di 98 pozzi censiti con 22 tipologie di dati per ciascuno (non disponibili per tutti).

Questa campagna si è svolta a fine maggio – inizio giugno per poter raccogliere dati dopo il periodo di variabilità stagionale primaverile ma prima del periodo estivo.

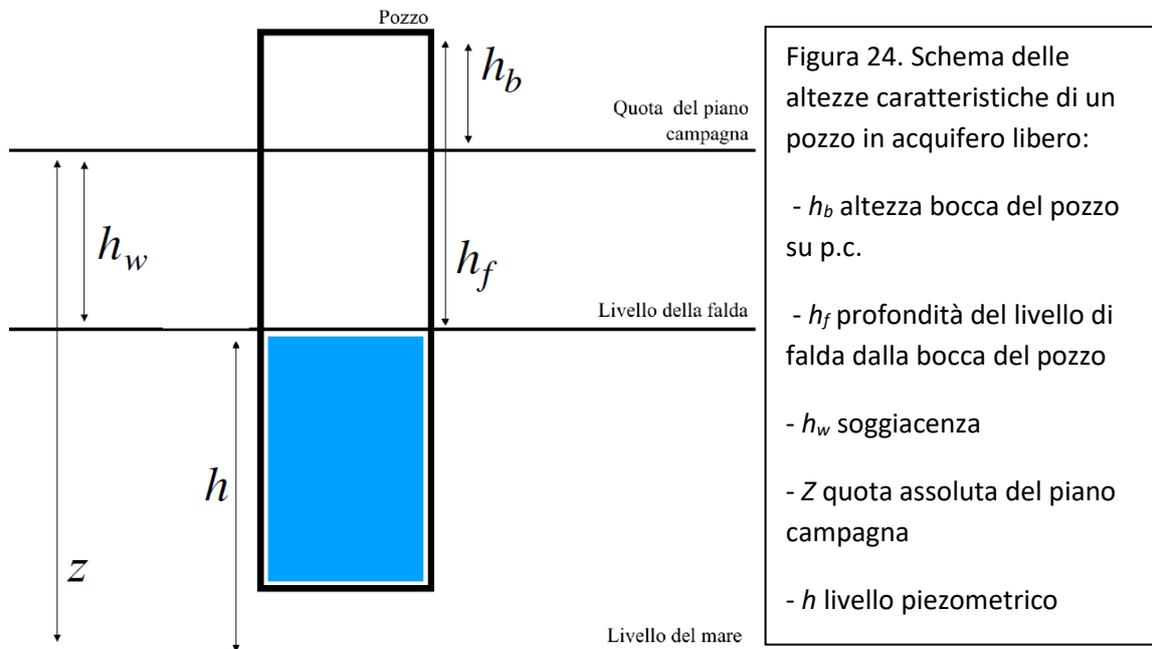
Tutti i dati censiti sono riportati in APEENDICE A. Nella Tabella n.1 sono riportati quelli ritenuti più significativi:

- *Nome*, scelto come una sigla formata dalla lettera “P” e un numero per i pozzi che appartengono a privati o sono ubicati in proprietà abbandonate, mentre i piezometri all'interno della *Snam Rete Gas Minerbio* sono stati identificati con la sigla specifica della proprietà. Per quelli che sono in coppie a diversa profondità è stato aggiunto il suffisso “p” per identificare il più profondo.

- *Profondità da piano campagna*, ottenuta sottraendo alla profondità, misurata con conducimetro da bocca foro, l'altezza della bocca del foro sul piano-campagna. Per alcuni pozzi non era possibile accedere all'interno per poterla misurare, come il P10. Per quelli con profondità superiore ai 20 m è stata chiesta ai proprietari. Un caso particolare è rappresentato da P4 e P8 in cui la profondità totale è data dalla somma di quella originale del pozzo, e misurata con conducimetro, con quella di approfondimento, realizzato successivamente con diametro minore dal fondo del pozzo e finalizzato per aumentarne la quantità d'acqua prelevabile (comunicato dal proprietario).

- *Diametro del perforo*, misurato con un metro estensibile.

- *Livello Piezometrico*, ottenuto dalla misura sul campo della soggiacenza (profondità del livello piezometrico dalla bocca del pozzo sottratta l'altezza della bocca del pozzo sul piano campagna) poi sottratta alla quota del piano campagna sul livello del mare (Fig.24).



- *Temperatura e Conducibilità elettrica specifica*: la misura è stata effettuata su 2 profondità, una 0,5 m sopra il fondo del pozzo ed un'altra 0,5 m sotto il livello idrico nel pozzo. La decisione di effettuare due misure è stata presa per verificare eventuali cambiamenti della conducibilità nella colonna d'acqua presente nel pozzo in relazione alla densità. Per i pozzi in cui non era possibile accedere al perforo, le misure sono state effettuate direttamente in un secchio con l'acqua emunta dalla pompa; tale misura rappresenta ovviamente una media delle caratteristiche dell'acquifero in corrispondenza del tratto filtrato.

Per i pozzi dal P28 al P83, per un mal funzionamento del conducimetro, non è stato possibile effettuare la misura a 2 profondità. Nel caso di pozzi senza pompa è stata effettuata solo una misura 0,5 m sopra il fondo.

Nel caso del P67 è stato impossibile raccogliere dati per la presenza di soli 0,1 m di acqua dentro il pozzo.

Nome	Profondità da p.c. in m	Diametro m	Livello Piezometrico m s.l.m.	Cond. 0,5 m sopra il fondo in $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. $^{\circ}\text{C}$ 0,5 m sopra il fondo	Cond. 0,5 m sotto pelo dell'acqua in $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. $^{\circ}\text{C}$ 0,5 m sotto livello idrico
P1	7,05	0,8	15,04	3,8	12,9	3,55	13,5
P2	98	0,15		0,896			
P3	15	1	14,6	1,875	12,1	1,885	12,8
P4	19	1	12,2	0,996	13,5	0,874	13
P5	7	1	14,03	1,195	14,5	1,216	14,6
P6	6,5	1		1,311	19,7		
P7	6,38	1	13,03	0,9	14,9	0,8	14,5
P8	16,5	0,8	12,36	1,427	15,2	1,429	15,3
P9	8,25	0,8	14,55	2,88	14,2	2,91	14,2
P10				1,519	15,1		

P11	7,7	1	14,1	1,989	13,6	1,95	13,5
P12	10,5	1	14,97	1,108	12,6	2,21	12,5
P13	10,1	1	14,9	1,429	12,7	1,424	12,6
P14	5,95	1	13,85	2,18	14,4	2,17	14,4
P15	8,1	1,5	11,45	1,695	14	1,541	13,8
P16	6,15	1,5	12,25	2,3	12,9		
P17	5,8	1	10,5	7,13	13,7	7,22	13,5
P18	5	1,2	11	2,76	15,8	0,861	15,7
P19	6,75	1,2	11,2	1,446	13,4	1,238	13,2
P20	5,06	1	11,41	1,366	14,5	1,381	14,4
P21	4,98	1,5	12,37	0,853	13,3	0,862	13,3
P22	5,95	1,2	11,6	3,07	15,1	2,57	15,1
P23	7,4	1	11,6	4,68	15,1	4,67	14,9
P24	96	0,15		0,984	16,8		
P25	6,37	1	10,63	1,238	14,8	1,245	14,8
P26	5,75	1	10,93	7,4	13,2	7,37	13,6
P27	5,8	1,7	10,86	1,089	14	1,104	14,6
P28				1,874			
P29	5,65	1,5	10,75	1,756	13,9		
P30	6,9	1,5	10,5			1,713	14,4
P31	4,42	1	10,68	1,011	15		
P32	6,3	3	10,5	0,987	19		
P33	9,15	1,5	10,95	1,51	15		
P34	107	0,07		0,906	15,9		
P35	9,4	1,5	13,8	0,229	20,5		
P36	111	0,15		0,739	17,9		
P37	8,3	1	13,88	1,284	15,5		
P38	6,05	1	11,69	2,54	17,9		
P39	4,85	1,2	15,15	1,324	20,4		
P40	6,75	1,2	11,92	2,16	16,6		
P41	15	0,9		1,304	15		
P42	6,27	1	13,93	1,421	18,2		
P43	5,71	1	12,86	2,03	13,9	1,86	14
P44	8,1	1	11,7	3,58	18,5		
P45	6	1	12,3	1,376	18,6		
P46	6,8	1	12,05	2,21	17,3		
P47	12,4	1	12,15	2,21	18,8		
P48	7,9	1,5	10,95	1,474	16,3		
P49	7,5	1	14,8	1,206	17		
P50	7,13	1	11,74	1,242	17,2		
P51	8,8	1,5	12,77	1,468	17		
P52	9,7	1	13,7	3,4	13,9	4,05	14
P53	8	1,5	13,8	1,844	13,8	2,11	13,5
P54	7,87	1	14,79	4,32	15		
P55	6	1	16,8	1,37	18,6		
P56	3,5	1	15,5	1,047	14,3		
P57	8,9	1	15,1	0,672	14,7		

P58	7,89	1	14,31	1,623	15,9		
P59	9,19	1	14,21	1,263	17,2		
P60	9,38	1,5	13,32	3,29	15,5		
P61	5,85	2	14,73	1,186	16,3		
P62	17	0,15	13,55	6,35	14,5	3,82	15
P63	92	0,15		1,025	16,1		
P64	5,6	1,5	10,9	2,34	16,4		
P65	7,4	1	13	2,41	18,7		
P66	7,08	1,1	13,32	0,236	15		
P67	4,47	1	secco				
P68	6,3	1	9,95	1,301	16,1		
P69	5,5	1	9,9	2,01	18		
P70	5,56	1	8,44	2,76	16,2		
P71	5,85	2	6,75	2,24	16		
P72	7,33	1	7,97	1,43	18		
P73	70	0,1		0,923	18,6		
P74	4,9	1	14,8	0,966	14,8		
P75	4,55	1,2	11,1	2,16	16,8		
P76	5,27	1,2	9,18	1,23	15,2		
P77	5,17	1	8,93	1,151	15		
P78	7,03	0,75	10,47	2,8	18,7		
P79				0,738	17,8		
P80	5,62	1	10,43	3,07	16,8		
P81	3,89	1	9,27	2,8	16,7		
P82	8,15	1	10,05	3,41	14,4		
P83	11,3	2	9,8	3,25	15,4		
P84	7,66	0,9	10,79	8,79	13,9	2,16	13,2
P85	9,57	0,9	9,46	2,18	12,7	2,17	12,9
P86	8,7	0,9	9,43	2,95	14	2,96	13,9
P87	5,9	0,9	8,17	2,64	13,1	2,65	13,1
P88	4,52	1	8,76	1,094	14,8	1,093	14,7
P89	6,1	1	8,22	2,54	12,9	2,55	13
P90	7,4	0,9	9,31	2,8	14,2	2,81	14,1
P91	9,8	1	9,28	5,24	14,6	5,24	14,5
PZ1	6,29		10,53	3,55	13,2	2,84	13,1
PZ2	6,26		10,51	1,863	15,9	1,901	15,5
PZ2p	19,09		10,13	1,559	16,2	1,504	15,7
PZ3	6,16		10,3	5,48	15,2	8,76	15,2
PZ3p	18,63		10,21	0,917	14,9	0,915	15,1
PZ4	6,28		10,79	7,59	15,2	7,32	14,9
PZ4p	17,61		10,47	1,603	15,9	1,436	15,1

5.2 Seconda Campagna (4 ottobre – 8 ottobre 2021)

La seconda campagna ha avuto una durata di 4 giorni (Tabella n.2) ed è stata condotta con le medesime modalità della prima. Si è creato un data-set di informazioni, su Excel, per un totale di 93 pozzi censiti con 22 tipologie di dati per ciascuno (non disponibili per tutti).

Questa campagna si è svolta ad inizio ottobre per poter raccogliere dati dopo il periodo di scarse precipitazioni estive e utilizzo delle acque per l'irrigazione, ma prima del periodo autunnale, così da evitarne le piogge (APPENDICE B).

Per i pozzi P28, P53, P55, P82, P83, P90 l'indagine non è stata svolta per indisponibilità o irreperibilità dei proprietari. In alcuni casi è stato possibile determinare soggiacenza e profondità, mancanti invece per la prima campagna.

Nella seconda campagna sono stati aggiunti anche due piezometri, presenti all'interno del Cluster B della Snam Rete Gas Minerbio (B Nord-Ovest, B Nord-Est).

Tabella n.2 Principali Dati Raccolti nella Seconda Campagna						
Nome	Profondità da p.c.	Livello Piezometrico o m s.l.m.	Cond. 0,5 m sopra il fondo in $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. C° 0,5 m sopra il fondo	Cond. 0,5 m sotto pelo dell'acqua in $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. C°0,5 m sotto livello idrico
P1	7,05	14,55	3,79	14,5	3,153	15,9
P2	98		0,636	17,5		
P3	15	13,8	1,914	16,2	1,854	17
P4	19	12,9	0,482	16,2	0,165	19
P5	7	12,7	1,23	15,9	0,778	18,7
P6	7,2	13	1,807	15,4	1,845	17,3
P7	6,38	13,15	0,77	16,6	0,56	18,7
P8	16,5	11,8	1,465	15,8	1,45	20,4
P9	8,25	14,3	2,53	15,1	2,75	17,5
P10	7,9	14,2	1,902	14,9	1,645	17,3
P11	7,7	14,4	2,09	14,4	1,966	16
P12	10,5	14,3	2,25	13,4	2,09	15,5
P13	10,1	14,2	1,776	13,5	1,44	15,5
P14	5,95	13,2	1,705	15,3	1,37	16,6
P15	8,1	10,2	2,46	16,1	2,03	18,6
P16	6,15	13,4	2,96	15,9	2,07	18,8
P17	5,8	10,2	7,38	16,3	4,92	19,2
P18	5	10,6	3,03	16,8	2,76	19
P19	6,75	10,7	2,94	15,1	0,542	19,2
P20	5,06	11,04	1,44	16,2	1,4	19,1
P21	4,98	12,12	0,637	17,2	0,447	19,3
P22	5,95	11	3,08	17,4	3,04	21,5
P23	7,4	11,1	4,88	15,4	3,98	18,7
P24	96		0,945	16,1		
P25	6,37	10,28	1,306	16,4	1,161	19,3
P26	5,75	10,55	8,02	16	7,81	18,2
P27	5,8	10,7	1,069	15,4	1,129	17,3
P29	5,65	10,6	0,655	16,6	0,471	18,8
P30	6,9	10,75	1,636	16,3	0,82	19,9

P31	4,42	10,23	0,976	17,4	0,926	18
P32	6,3	10	1,042	15,9	0,829	17
P33	9,15	11,2	2,42	14,3	1,496	14,9
P34	107		0,93	17		
P35	9,4	12,6	0,425	14,6	0,137	15,3
P36	111		0,773	20,3		
P37	8,3	13,45	1,399	14,8	1,345	16,9
P38	6,05	11,3	2,72	16,4	1,151	18,3
P39	4,85	14,85	1,291	17,4	1,038	19,3
P40	6,75	10,25	1,824	15	1,479	16
P41	15		1,109	19,4		
P42	6,27	13,23	1,442	17,3	1,468	19,7
P43	5,71	12,09	2,17	15,4	1,62	17,5
P44	8,1	11,1	3,37	16,3	3,25	19,8
P45	6	11,8	1,44	15,4	1,425	18,4
P46	6,8	11,85	3,37	16,3	2,16	19,8
P47	12,4	11,85	2,23	15	1,91	18,7
P48	7,9	10,8	1,366	16,1	0,989	18,4
P49	7,5	14,6	1,41	15,8	1,149	18,7
P50	7,13	11,72	1,3	16,5	1,087	19,5
P51	8,8	12,3	1,555	15,4	1,532	20
P52	9,7	13,4	4,27	14,3	3,59	17,4
P54	7,87	13,83	4,41	14,5	4,21	17,4
P56	3,5	14,9	1,009	17,1	1,02	17
P57	8,9	15,1	0,816	14,6	0,457	16,8
P58	7,89	13,36	1,839	15,2	1,63	16,6
P59	9,19	13,61	6,35	14,4	1,379	16,2
P60	9,38	12,92	2,87	15,3	2,48	16,2
P61	5,85	14,4	1,439	15,6	1,136	16,3
P62	17	13,1	6,7	14,5	3,14	15,7
P63	92		1,233	16,9		
P64	5,6	11,2	2,69	14,8	2,47	16,1
P65	7,4	12,8	1,977	16,4	1,709	20
P66	7,08	12,82	0,249	16,4	0,096	19,7
P67	4,47	17,83	secco			
P68	6,3	9,6	1,364	17,4	1,292	19,2
P69	5,5	11,1	1,083	17,1	0,596	18,5
P70	5,56	8,34	2,83	15,5	2,81	17,2
P71	5,85	6,3	2,09	16,2	2,17	17,3
P72	7,33	7,62	1,514	14,9	1,474	17,8
P73	60		0,982	15,8		
P74	4,9	14,8	0,847	16,3	0,706	16,3
P75	4,55	10,5	2	18,9	1,94	19,5
P76	5,27	8,73	1,252	15,5	1,21	17,4
P77	5,17	8,93	1,196	15,7	1,85	18
P78	7,03	10,27	2,88	17,2	2,54	20,5
P79			0,751	17,2		

P80	5,62	9,48	3,44	14,9	2,52	16,6
P81	3,89	8,96	2,8	16,1	2,75	16,8
P84	7,66	10,39	9,17	14,2	2,41	15,5
P85	9,57	9,13	2,19	13,8	2,1	16,4
P86	8,7	9	3,07	14,8	2,75	16,5
P87	5,9	7,75	2,65	14,5	2,57	16,2
P88	4,52	8,28	1,09	16,6	1,091	18,1
P89	6,1	7,9	2,51	14,3	2,28	16,6
P91	9,8	8,6	9,18	14,9	5,26	18,3
PZ1	6,29	10,26	5,25	15,4	2,3	20,7
PZ2	6,26	10,44	2,26	16,7	2	21,3
PZ2p	19,09	9,81	0,907	15,4	0,904	20,1
PZ3	6,16	9,89	6,27	16,6	8,69	21
PZ3p	18,63	9,77	0,922	14,9	0,925	20,6
PZ4	6,28	10,92	7,55	16,4	10,91	20,2
PZ4p	17,61	10,14	1,815	15,8	1,308	19,9
B Nord- Est	2,7	8,7	1,52	19,4	1,516	19,5
B Nord- Ovest	2,75	8,65	1,089	21,8	0,928	22,1

5.3 Terza Campagna (18 ottobre – 29 ottobre 2021) e Analisi di Laboratorio

La terza campagna ha avuto una durata complessiva di 11 giorni e si è concentrata sull'aspetto chimico delle acque. Sono stati selezionati 30 pozzi, dai circa 100 individuati, da cui prelevare campioni d'acqua e svolgerci analisi chimiche sia sul campo che in laboratorio. Di questi 30 pozzi: 23 sono profondi meno di 10 m, 4 tra i 10-20 m (P4, P8, P47 e P62) e 3 più profondi di 20 m (P36, P63 e P73). I pozzi da campionare per l'idrochimica sono stati scelti sulla base di considerazioni legate alla possibilità di prelievo del campione tramite pompa, alla distribuzione territoriale ed alle eventuali anomalie di conducibilità rilevate. La determinazione degli ioni HCO_3^- , NH_3 e Fe^{2+} sono state effettuate direttamente sul campo mentre quella relativa alle altre specie è stata effettuata nel Laboratorio di Geochimica del Dipartimento BiGeA sui campioni d'acqua filtrati. Tutti i dati idrochimici sono riportati nella Tabella n.3.

Tabella n.3 Dati Chimici Ottenuti sul Campo o con Analisi Di Laboratorio

ID	P4	P7	P8	P14	P17	P22	P23
Conducibilità Elettrica (mS/cm)	1,066	0,837	1,4	1,478	7,1	2,83	3,97
pH in laboratorio	8,33	8,55	8,67	7,55	7,77	8,09	7,72
HCO₃⁻ mg/l	610,2	524,8	768,9	677,3	1263,1	1220,4	1189,9
Cl mg/l	87,8	27,7	127,9	82,6	484,9	135,5	274,5
NO₃⁻ mg/l	4,70	1,25	0,84	1,36	7,74	2,40	23,10
SO₄²⁻ mg/l	7,98	8,11	5,72	218,31	3520,75	687,80	1323,43
F mg/l	0,45	0,70	1,27	0,23	0,00	0,33	0,41
Br mg/l	9,29	0,00	1,53	0,49	6,30	2,67	2,76
NO₂⁻ mg/l	4,03	5,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PO₄³⁻ mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na mg/l	69,22	66,08	146,78	65,59	778,65	317,71	426,52
K mg/l	0,33	2,02	0,29	9,48	0,54	2,12	4,81
Mg mg/l	37,09	38,86	50,40	56,05	418,49	153,79	209,22
Ca mg/l	88,37	66,51	71,76	182,68	579,95	144,29	191,17
NH₄⁺ mg/l	4,00	0,19	0,00	0,20	0,12	0,04	0,04
Fe²⁺ mg/L	2,85	1,26	1,15	1,82	2,24	2,34	0
N mg/L	3,8	0,15	0	0,15	0,1	0,03	0,03
NH₃ mg/L	3,8	0,18	0	0,19	0,12	0,04	0,03
Al µg/l	26,9	49,1	18,9	28,5	20,3	30,1	12,9
As µg/l	21,9	203,8	43,8	1,9	2,8	4,9	1,9
Ba µg/l	175,0	71,8	172,5	61,2	27,2	34,1	26,0
B µg/l	476,5	546,6	941,2	348,0	1860,7	1659,0	1654,0
Cd µg/l	5,0	23,6	2,0	3,0	2,9	20,1	1,0
Cr µg/l	2,9	1,9	2,9	1,9	<1	5,9	3,9
Co µg/l	<0.5	1,0	<0.5	1,0	2,9	4,0	<0.5
Cu µg/l	5,8	8,7	4,8	5,9	9,5	8,8	11,8
Fe µg/l	2820,0	1166,8	824,3	2310,8	3464,8	2403,3	728,2
Pb µg/l	1,9	6,7	1,0	1,1	1,0	4,5	<1
Li µg/l	18,9	16,6	24,8	71,2	110,7	57,2	119,1
Mn µg/l	466,7	599,0	117,3	1290,9	7764,0	3084,8	480,5
Mo µg/l	<0.7	6,3	3,4	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7
Ni µg/l	2,0	3,0	3,0	7,1	16,5	7,0	8,0
Se µg/l	1,2	<1	2,2	<1	12,8	5,2	6,2
Sr µg/l	1068,1	977,1	1066,1	1636,6	9457,0	3683,7	4431,6
Ti µg/l	3,1	3,1	3,1	2,2	2,1	3,1	2,1
V µg/l	1,4	2,4	1,3	1,2	3,2	3,3	3,3
Zn µg/l	82,9	103,3	118,6	54,9	119,5	115,4	69,9
S⁻ µg/l	12,95	9,74	16,43	18,02	107,89	38,24	55,23
S⁺ µg/l	10,70	9,45	14,12	16,83	97,27	33,73	45,43

ID	P26	P27	P30	P36	P43	P44	P47
Conducibilità Elettrica (mS/cm)	7,7	1,43	1,46	0,75	2,1	3,2	2,32
pH in laboratorio	8,05	8,6	7,76	8,2	7,89	7,9	8,32
HCO ₃ ⁻ mg/l	1452,3	701,7	750,5	579,7	628,5	836,0	933,6
Cl mg/l	646,6	48,0	85,5	13,0	84,7	184,3	194,0
NO ₃ ⁻ mg/l	9,92	1,22	1,24	1,29	210,04	159,97	1,96
SO ₄ ²⁻ mg/l	3071,85	1,21	109,23	1,09	341,59	937,89	215,73
F mg/l	0,00	1,14	0,40	0,50	0,25	0,46	0,63
Br mg/l	6,60	0,63	0,00	0,51	0,00	0,92	1,67
NO ₂ ⁻ mg/l	5,38	7,48	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na mg/l	827,19	98,64	77,26	61,10	60,56	255,38	178,01
K mg/l	1,07	0,36	5,29	0,26	7,48	0,26	2,33
Mg mg/l	412,67	40,30	43,53	29,39	94,37	173,11	96,59
Ca mg/l	359,60	92,69	186,32	61,03	210,58	248,17	134,63
NH ₄ ⁺ mg/l	1,36	2,95	1,80	3,45	0,00	0,05	0,00
Fe ²⁺ mg/L	0,59	3,15	0,4	0,69	0,04	0,03	0,65
N mg/L	1,05	2,3	1,4	2,35	0	0,04	0
NH ₃ mg/L	1,28	2,8	1,7	2,85	0	0,05	0
Al µg/l	15,8	12,9	10,9	34,1	<1	16,8	19,9
As µg/l	2,9	59,7	1,0	25,2	<1	1,9	3,9
Ba µg/l	33,7	138,5	187,9	213,3	53,0	16,7	203,2
B µg/l	2093,6	600,3	365,5	460,0	489,7	1128,0	711,1
Cd µg/l	7,1	9,9	11,0	<1	<1	1,0	11,0
Cr µg/l	5,8	2,9	<1	1,8	10,9	<1	2,9
Co µg/l	<0.5	<0.5	1,0	<0.5	1,0	<0.5	1,0
Cu µg/l	7,7	1,8	8,8	5,7	2,8	9,7	3,8
Fe µg/l	1602,1	3470,0	738,3	620,0	828,0	950,7	862,2
Pb µg/l	2,1	4,1	5,3	<1	<1	<1	4,2
Li µg/l	105,2	20,8	74,9	13,5	98,0	103,3	40,9
Mn µg/l	8262,7	319,5	639,5	101,9	1820,9	5,6	490,1
Mo µg/l	<0.7	<0.7	<0.7	5,2	<0.7	<0.7	1,4
Ni µg/l	5,0	2,0	4,0	11,7	4,0	5,9	6,0
Se µg/l	14,0	<1	<1	<1	<1	2,1	2,2
Sr µg/l	9775,4	1069,1	1481,6	895,1	2746,8	4734,1	2551,1
Ti µg/l	3,1	3,1	2,1	3,0	<2	2,1	2,1
V µg/l	4,3	2,3	2,3	2,2	2,3	1,3	1,3
Zn µg/l	30,6	28,8	89,9	1028,7	4,9	122,0	35,9
S ⁻ µg/l	106,36	13,13	17,03	9,94	23,21	41,05	25,35
S ⁺ µg/l	87,99	12,40	16,48	8,32	21,10	37,75	22,47

ID	P52	P58	P61	P62	P63	P64	P65	P68
Conducibilità Elettrica (mS/cm)	3,7	1,703	1,45	4,2	0,879	2,5	1,984	1,251
pH in laboratorio	7,94	7,86	8,08	7,3	8,03	7,75	8,37	7,93
HCO ₃ ⁻ mg/l	903,1	1110,6	610,2	1263,1	671,2	933,6	683,4	811,6
Cl mg/l	478,5	69,1	48,4	251,1	12,4	205,7	181,3	60,0
NO ₃ ⁻ mg/l	5,21	0,67	33,97	2,33	0,87	27,12	31,54	0,68
SO ₄ ²⁻ mg/l	915,11	0,46	243,05	997,39	3,55	439,08	0,00	54,71
F mg/l	0,24	0,27	0,09	0,56	1,08	0,23	0,43	0,24
Br mg/l	2,85	0,88	0,00	2,57	0,00	3,48	0,95	0,00
NO ₂ ⁻ mg/l	0,00	0,00	0,33	41,76	0,00	0,00	0,00	0,00
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na mg/l	182,18	82,38	30,93	294,42	88,46	196,10	165,06	79,80
K mg/l	4,36	1,58	1,10	4,22	0,19	3,88	9,61	5,66
Mg mg/l	168,78	95,11	42,64	191,82	37,47	105,09	52,99	41,30
Ca mg/l	365,30	198,13	231,04	284,14	59,90	226,89	170,47	154,38
NH ₄ ⁺ mg/l	0,79	0,08	0,08	25,60	2,80	0,05	0,73	0,51
Fe ²⁺ mg/L	1,21	1,15	2,11	0,05	1,05	0,08	0,15	0,23
N mg/L	0,62	0,06	0,06	20	2,2	0,04	0,57	0,4
NH ₃ mg/L	0,75	0,07	0,08	24	2,7	0,05	0,69	0,48
Al µg/l	24,6	13,7	19,7	32,6	28,7	29,6	17,7	29,8
As µg/l	1,9	1,0	1,0	4,9	124,3	2,0	3,9	2,9
Ba µg/l	55,2	55,2	37,6	151,8	296,1	55,1	58,3	139,4
B µg/l	694,7	733,8	181,8	1004,1	736,8	710,2	693,2	429,7
Cd µg/l	1,0	8,8	1,0	1,0	9,2	65,2	8,9	13,9
Cr µg/l	3,8	3,8	1,9	5,8	3,0	3,0	1,9	2,9
Co µg/l	1,0	1,0	1,0	1,0	<0.5	1,0	1,0	1,0
Cu µg/l	7,7	1,8	5,8	4,8	6,0	13,1	9,7	6,8
Fe µg/l	1999,5	1551,8	2050,0	1221,1	1608,9	934,9	684,0	793,2
Pb µg/l	<1	3,0	<1	<1	<1	17,0	2,3	5,8
Li µg/l	64,0	66,9	86,1	82,1	14,3	91,8	71,0	87,5
Mn µg/l	884,3	438,3	837,4	4737,9	141,6	50,7	182,4	453,8
Mo µg/l	1,4	<0.7	<0.7	<0.7	7,6	<0.7	6,3	<0.7
Ni µg/l	14,8	5,9	12,9	8,9	2,1	10,2	8,9	5,0
Se µg/l	13,0	1,1	<1	5,1	1,2	5,3	2,1	3,2
Sr µg/l	5017,1	3150,0	1434,4	4821,9	1014,9	2796,2	1630,0	1368,8
Ti µg/l	3,1	3,1	3,1	12,0	5,3	2,2	4,1	4,1
V µg/l	1,3	2,3	1,3	3,3	1,4	2,4	4,3	5,3
Zn µg/l	305,7	96,5	34,6	30,6	39,5	173,5	95,7	43,7
S ⁻ µg/l	47,49	20,20	16,99	49,56	11,50	30,74	16,86	16,16
S ⁺ µg/l	40,20	21,34	16,42	44,30	10,08	28,60	20,33	14,75

ID	P73	P75	P77	P79	P80	P84	P85	P91
Conducibilità Elettrica (mS/cm)	0,935	2,1	1,109	0,726	3,2	5,3	1,955	7,8
pH in laboratorio	8,67	7,94	8,5	7,59	7,98	7,78	7,57	7,8
HCO ₃ ⁻ mg/l	634,6	500,4	646,8	598,0	1220,4	2495,7	1171,6	1196,0
Cl mg/l	19,0	135,2	60,4	89,6	248,6	579,4	157,2	971,5
NO ₃ ⁻ mg/l	0,96	217,05	0,96	2,18	13,26	0,74	1,87	2,90
SO ₄ ²⁻ mg/l	0,69	341,02	16,59	0,76	731,76	1067,09	23,58	2182,69
F mg/l	1,35	0,14	0,56	0,24	0,49	0,30	0,38	0,00
Br mg/l	0,00	0,00	0,84	1,10	6,96	3,87	8,68	6,45
NO ₂ ⁻ mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,17	0,00
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	7,17	11,85	0,00
Na mg/l	102,37	73,95	68,47	91,63	292,78	406,37	119,60	639,12
K mg/l	0,21	10,13	0,78	0,24	3,17	2,29	23,75	0,75
Mg mg/l	40,60	45,51	66,44	26,97	182,26	270,63	78,46	386,20
Ca mg/l	60,38	262,57	88,51	70,77	188,97	308,49	124,56	436,88
NH ₄ ⁺ mg/l	2,90	0,07	0,00	3,80	0,15	35,40	43,25	0,44
Fe ²⁺ mg/L	0,89	0,48	0,2	1,16	0,29	0,11	0,05	4,12
N mg/L	2,3	0,05	0	2,9	0,12	27,4	39,75	0,34
NH ₃ mg/L	2,8	0,07	0	3,5	0,14	32	42	0,41
Al µg/l	16,9	25,4	37,7	22,7	23,7	15,9	15,9	23,6
As µg/l	213,5	<1	3,9	3,9	2,9	26,7	15,9	6,8
Ba µg/l	169,7	39,1	283,0	211,4	24,7	267,6	1430,1	53,3
B µg/l	868,8	334,3	449,4	288,2	492,4	987,9	682,4	1619,4
Cd µg/l	11,0	<1	17,9	8,9	16,8	9,0	15,9	13,8
Cr µg/l	2,9	1,8	1,9	<1	3,9	2,5	2,9	2,9
Co µg/l	<0.5	<0.5	1,0	<0.5	2,0	1,0	<0.5	1,0
Cu µg/l	2,8	10,6	6,8	3,8	9,7	7,8	2,8	9,7
Fe µg/l	836,0	1044,2	524,8	1171,0	882,5	1372,2	490,9	4250,0
Pb µg/l	4,7	<1	7,5	3,8	6,2	2,6	6,6	5,6
Li µg/l	12,9	91,0	43,6	17,8	107,8	42,8	118,5	115,5
Mn µg/l	138,5	4,5	722,7	107,8	1653,1	482,9	7512,5	3783,7
Mo µg/l	19,4	<0.7	<0.7	1,4	<0.7	<0.7	1,4	<0.7
Ni µg/l	1,0	6,9	8,9	1,0	12,9	14,0	11,0	8,9
Se µg/l	<1	4,1	2,2	<1	4,1	19,1	3,2	12,0
Sr µg/l	946,1	1626,2	1388,4	886,1	3471,6	5324,6	2017,9	8248,7
Ti µg/l	3,1	2,1	3,1	4,1	3,1	17,1	13,1	3,1
V µg/l	2,3	1,3	1,3	2,3	1,3	4,3	4,3	3,3
Zn µg/l	32,9	142,9	392,2	117,0	144,5	15,9	30,8	70,1
S ⁻ µg/l	11,04	22,62	12,71	12,41	42,65	79,78	26,43	92,58
S ⁺ µg/l	10,97	20,33	12,88	9,95	37,25	57,37	20,88	81,42

6. Interpretazione e Discussione dei Dati

In questo capitolo verranno interpretati e discussi i dati, ottenuti durante il lavoro sul campo ed in laboratorio, utilizzando grafici e mappe. Tutti i dati georiferiti sono stati riportati su QGIS (*Team Sviluppo QGIS*) per creare diverse *base map* da utilizzare su Surfer 8.0 (*Golden Software*) come strumento di interpolazione dei dati puntuali. Qui è stato utilizzato il metodo di interpolazione *Kriging* con variogramma lineare di default. Le linee isovalore (*countour map*) create da Surfer sono state importate su QGIS come immagine raster. Per interpretare visivamente la “facies chimica” e la mineralizzazione dell’acqua, sono stati creati diversi diagrammi (uno tipo *Piper* e cinque *Schoeller*) tramite l’utilizzo del programma *Geochemist's Workbench* (*Aqueous Solutions LLC*).

6.1 Georeferenziazione dei Pozzi

Per poter creare mappe isovalore sono state riportate le posizioni dei pozzi in QGIS, assegnando ai punti diverso colore in relazione alla profondità (Fig.25).

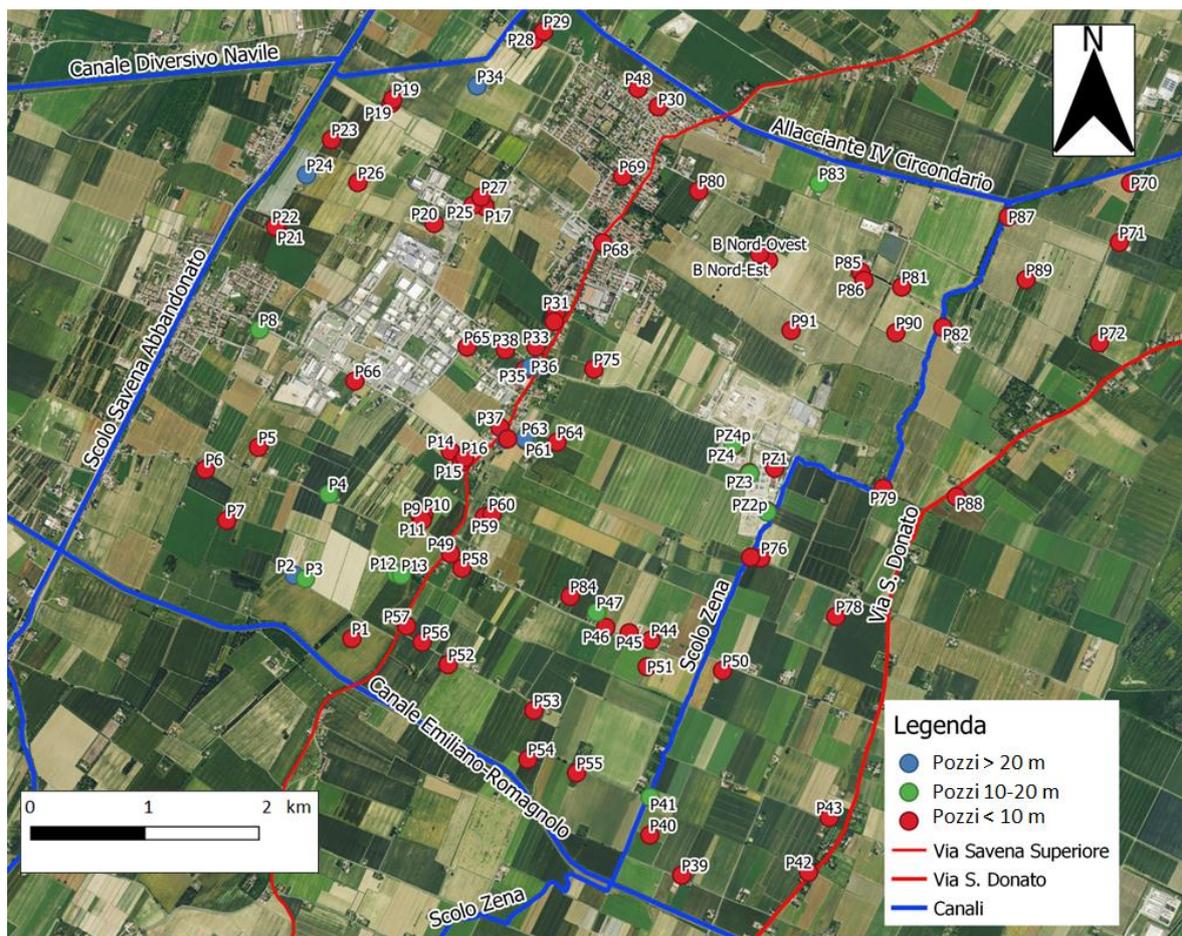


Figura 25. Mappa della distribuzione dei pozzi individuati su in tutta l’area di studio.

6.2 Ricostruzione della Superficie Piezometrica

Con i dati raccolti nelle prime due campagne sono state interpolate 2 superfici piezometriche relativamente a diverse condizioni idrologiche e di irrigazione.

La prima piezometria (Fig.26), creata con i dati raccolti nella prima campagna (dal 19/5 al 1/6/2021), può essere considerata una piezometria di morbida. Essa mostra un alto piezometrico (da 15 m s.l.m. fino a circa 10 m s.l.m.) nella zona centrale dell'area, decorrente in senso SW-NE in corrispondenza del paleo-alveo interessato dalla via Savena Superiore. Da tale dorsale piezometrica l'acqua è richiamata verso NE ed E da bassi piezometrici relativi (fra 9 e 10 m s.l.m.) ubicati nel quadrante nord orientale dell'area. Osservando l'andamento delle isopieze, si può affermare che al di sotto della Via Savena Superiore è presente uno spartiacque sotterraneo in quanto il flusso delle acque diverge rispetto allo sviluppo longitudinale del paleo-alveo.

Le zone depresse corrispondono anche a depressioni morfologiche del territorio. A Ovest del paleo-alveo la falda è comunque più alta che ad Est e questo può significare che l'acquifero ha una maggiore continuità verso la parte occidentale dell'area.

Si possono notare diversi punti con quote anomale rispetto alle altre, che creano isopieze concentriche. Questo può essere dovuto a vari fattori quali il filtraggio di pozzi vicini in acquiferi con parziali condizioni di confinamento oppure il recente uso del pozzo o di pozzi vicini.

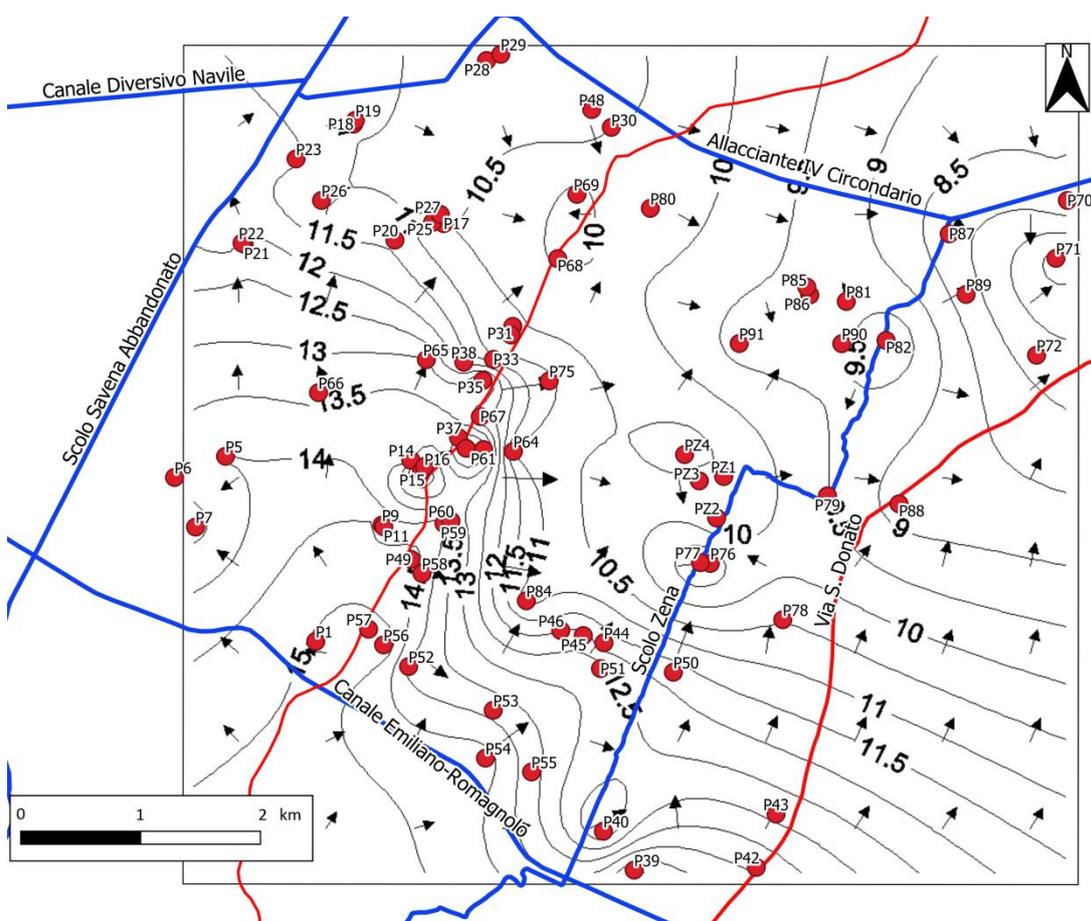


Figura 26. Superficie piezometrica dei pozzi superficiali (< 10 m) relativa alla prima campagna (equidistanza fra isopieze di 0,5 m).

La seconda piezometria (Fig.27), creata con i dati raccolti nella seconda campagna (dal 4/10 al 8/10/2021), ha delle quote generalmente più basse (di circa mezzo metro su tutta l'area di studio), rispetto a quella mostrata in precedenza, dovute alle scarse precipitazioni del periodo estivo e può essere considerata una piezometria di magra. Nonostante questa differenza, l'andamento della piezometria e i punti con quote anomale sono simili a quelle del periodo primaverile.

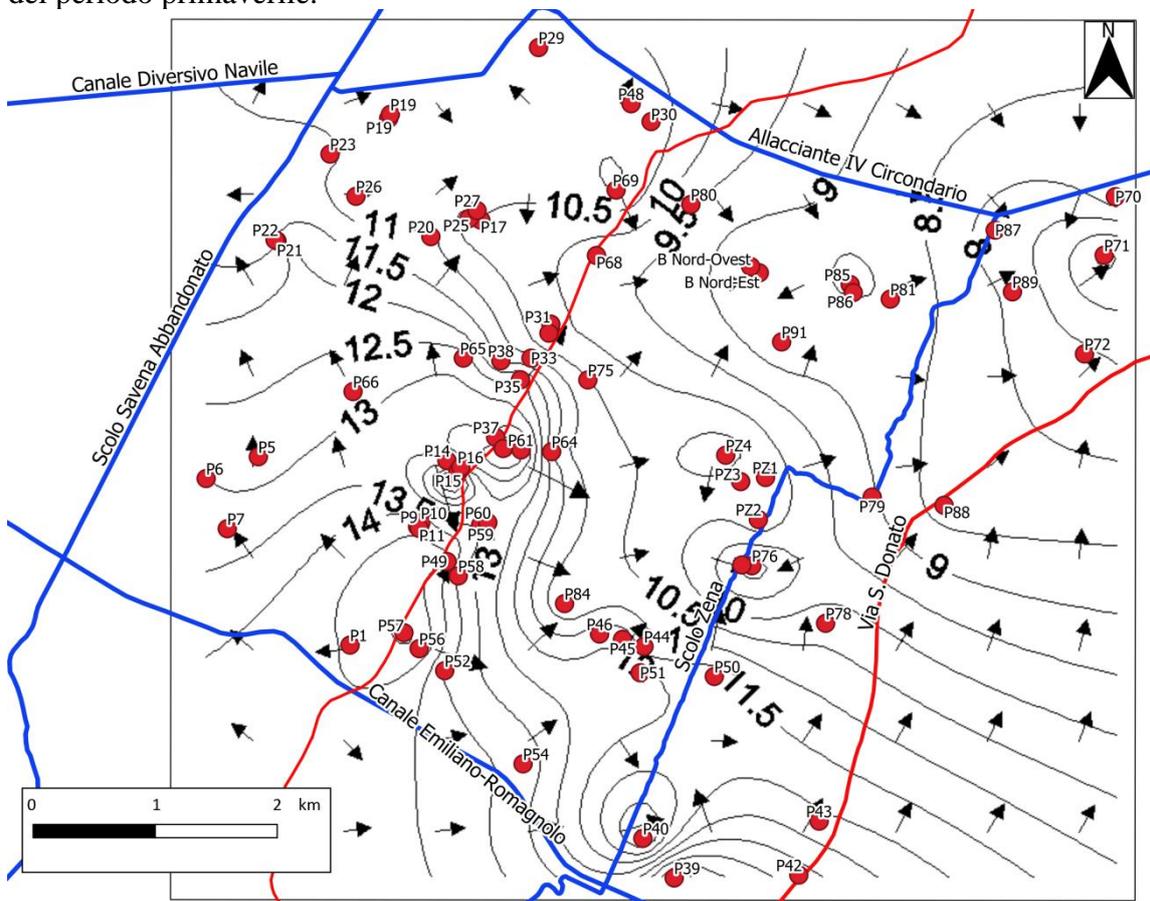


Figura 27. Superficie piezometrica dei pozzi superficiali (< 10 m) relativa alla seconda campagna (equidistanza fra isopiezies di 0,5 m).

Per quanto riguarda i pozzi profondi tra i 10 ed i 20 m non è stato ritenuto necessario ricostruire una piezometria essenzialmente per due motivi:

- 1°) Sono un numero scarso (solo 9) e presenti praticamente soltanto nella metà meridionale dell'area di studio.
- 2°) Come riportato in Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP (1998), in questa zona gli eventuali acquiferi confinati al di sotto dei 10 m da piano campagna sono in forma di lenti o livelli di limitata continuità laterale e quindi avrebbe poco senso ricostruire una piezometria.

Il livello piezometrico di questi pozzi è stato comunque comparato con il livello piezometrico dei pozzi inferiori ai 10 m, come riportato in Figura 28. Per alcuni pozzi (es. P12 e P13) i livelli sono abbastanza concordanti; per altri, come ad esempio il P4, si può notare una maggiore differenza, variabile fra 2 m nella prima campagna e circa 0,5 m nella seconda, con il livello della falda freatica dominante su quella della semiconfinata.

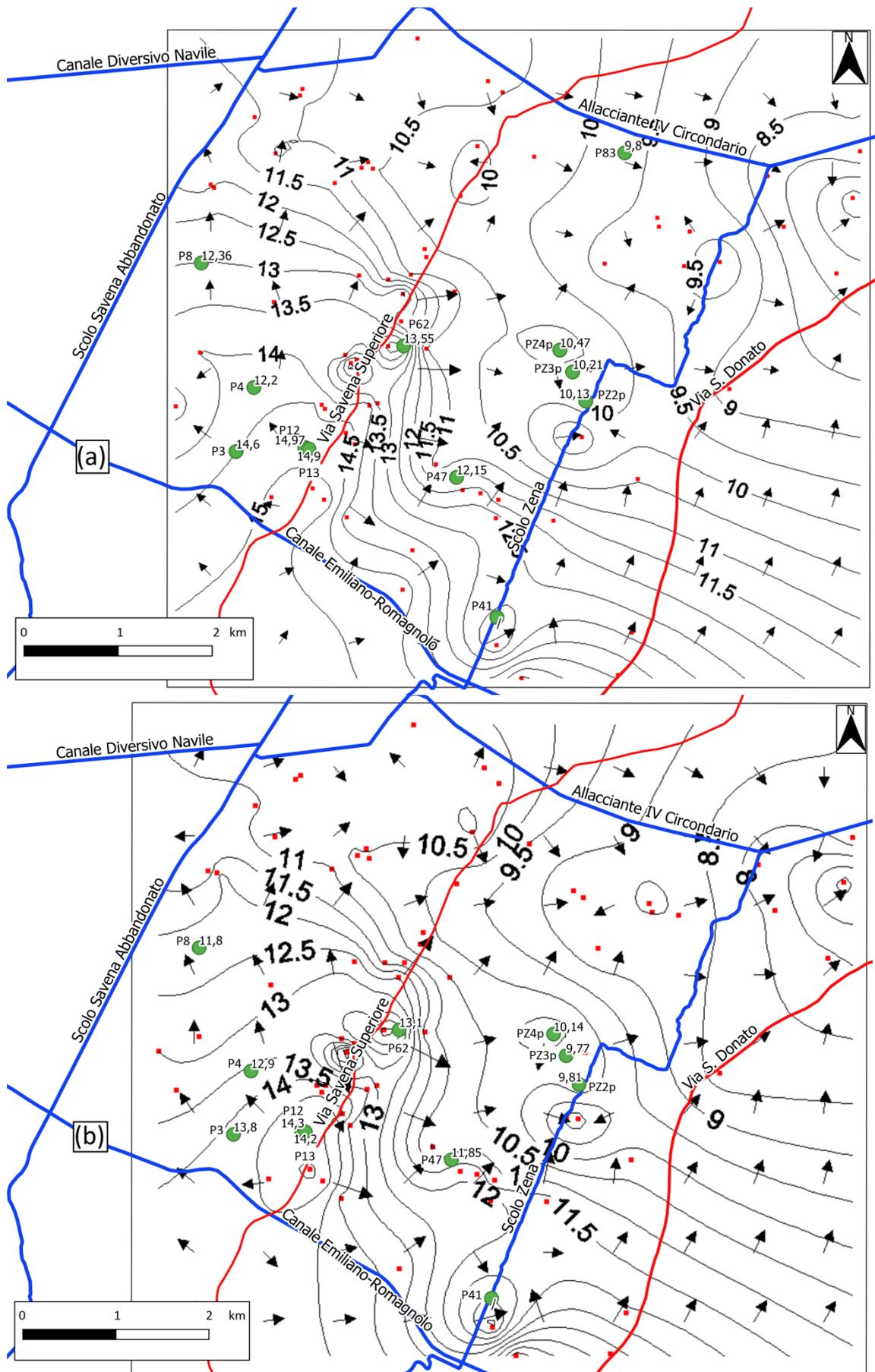


Figura 28. Confronto fra le superfici piezometriche dei pozzi freatici (prima campagna: a; seconda campagna: b) con il livello piezometrico dei pozzi profondi tra i 10 e i 20 m. (equidistanza fra isopieze di 0,5 m).

Per i pozzi profondi più di 20 m non è stato possibile effettuare la misurazione del livello piezometrico perché in superficie le tubazioni sono chiuse con dei bulloni e così non si riusciva ad accedere all'interno del pozzo con il freatimetro. Inoltre questi pozzi hanno tutti profondità diverse, prelevando quindi acqua da diversi livelli acquiferi. Il contributo conoscitivo apportato da questi punti è quello legato alle caratteristiche idrochimiche per la possibilità di operare confronti con le acque delle falde superficiali.

6.3 Distribuzione della Conducibilità Elettrica

Per via del malfunzionamento al conducimetro, a cui abbiamo accennato in precedenza, non è stato ritenuto significativo creare la mappa della conducibilità 0,5 m sotto il pelo del livello idrico nel pozzo con i dati della prima campagna, i cui valori variano tra 0,229 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P35) e 8,79 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P84). La media di tutte le misure è 2,195 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mentre la mediana risulta 1,613 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Perciò è stata creata soltanto la mappa della conducibilità 0,5 m sopra il fondo del pozzo (Fig.29). In questa si può notare come le aree a conducibilità più elevata, dal colore rosso-arancio, siano in corrispondenza di 4 anomalie: pozzi P26 e P17 a Nord-Ovest; , P84 e PZ4 in una fascia orientale che si estende a nord fino al P91. I valori più bassi di conducibilità si allineano, invece, lungo il paleo-alveo della Via Savena Superiore e nella porzione sud occidentale.

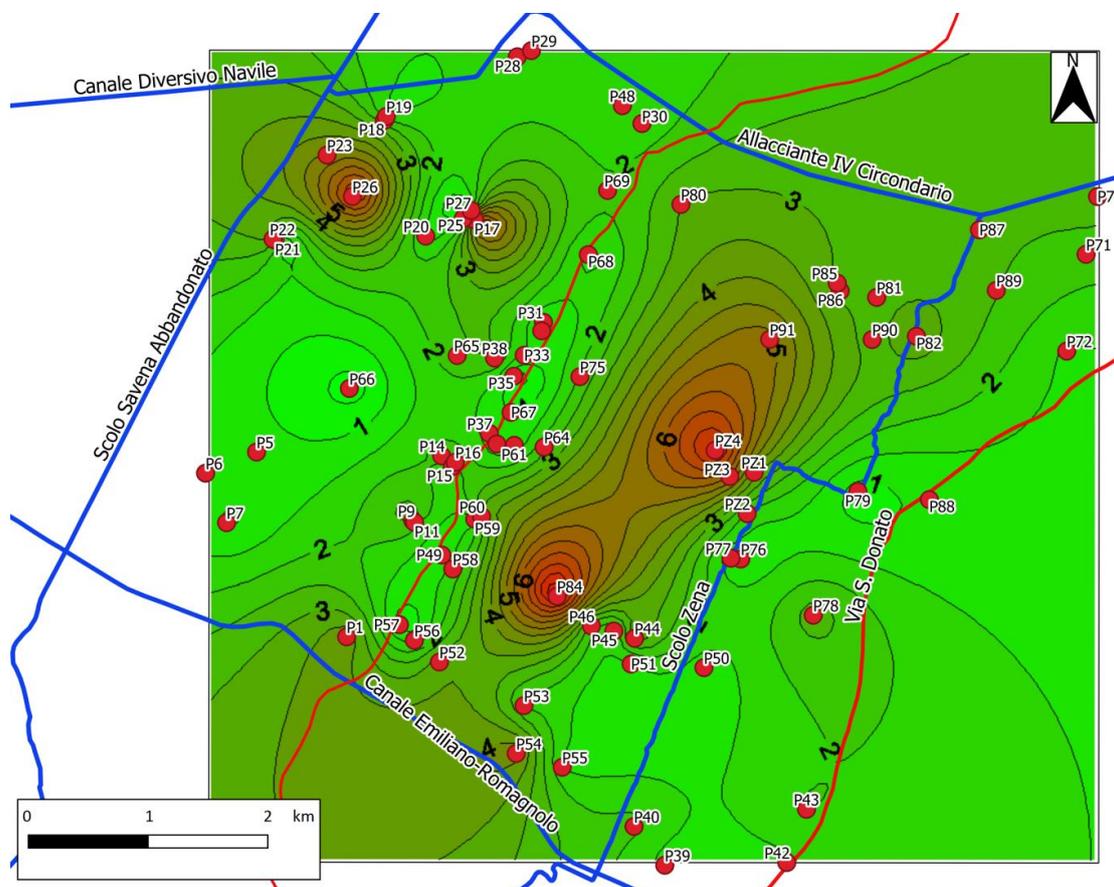


Figura 29. Mappa della conducibilità elettrica determinata a 0,5 m sopra il fondo dei pozzi freatici (prima campagna primaverile). I valori sono in $\mu\text{S}/\text{cm}$ (equidistanza fra isoconduttive di 0,5 mS/cm).

Per la seconda campagna sono state realizzate le mappe di conducibilità sia relativamente a 0,5 m sotto il pelo dell'acqua sia a 0,5 m sopra il fondo del pozzo (Fig.30). Per la prima mappa i valori variano tra 0,096 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P66) e 10,91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PZ4) e, con la media di tutte le misure è 2,020 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mentre la mediana risulta 1,532 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Per la seconda mappa i valori variano tra 9,18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P91) e 0,249 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P66), con la media di tutte le misure è 2,362 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mentre la mediana risulta 1,807 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si può notare come, per i pozzi P17,

P91 e P84 la conducibilità aumenti drasticamente verso il basso, mentre nel piezometro PZ4 la situazione appare opposta anche se questo è poco significativo perché comunque i valori sono ambedue molto alti.

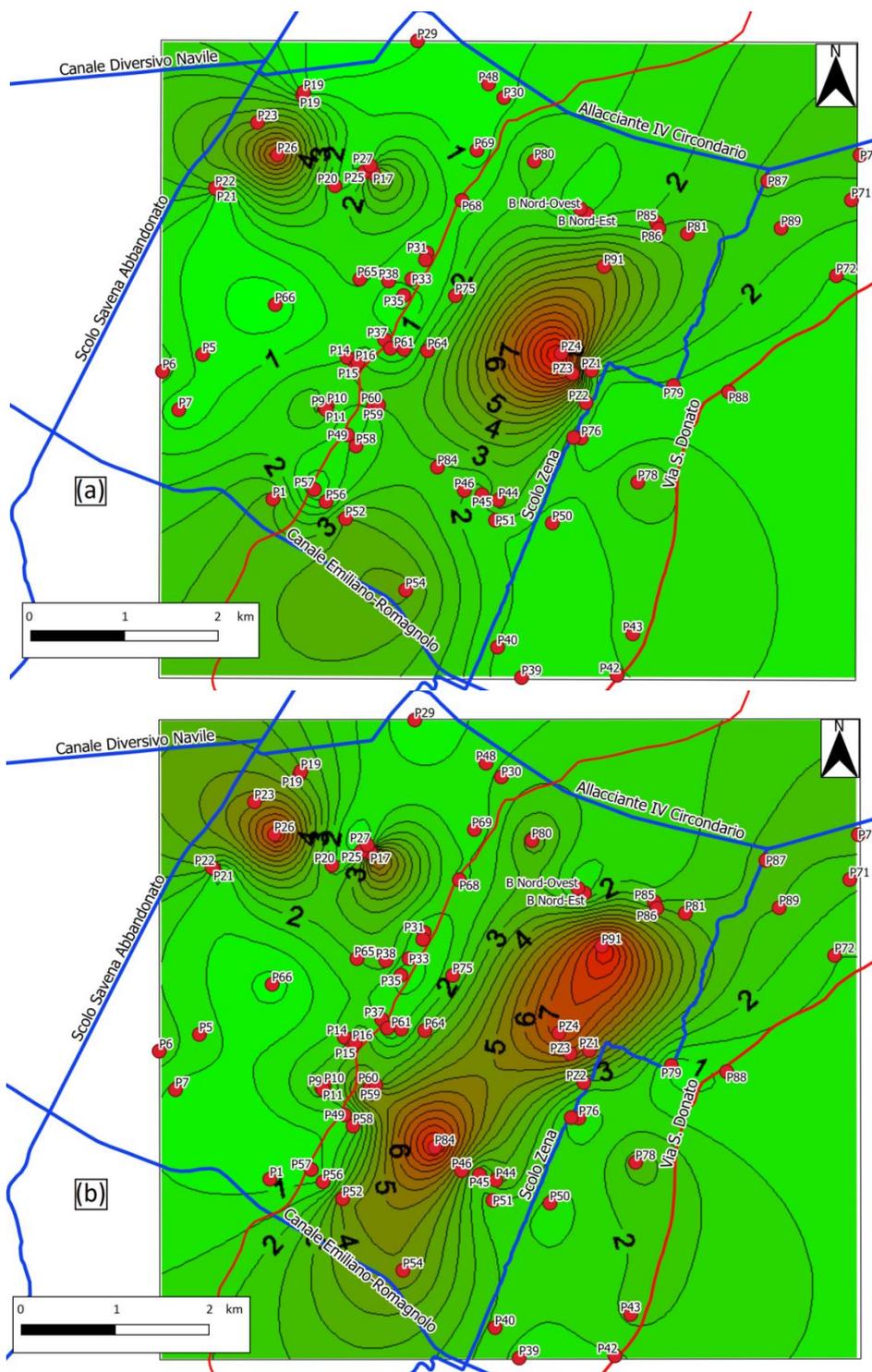


Figura 30. Mappa della conducibilità elettrica a 0,5 m sotto il pelo dell'acqua (a) e a 0,5 m sopra il fondo del pozzo (b) per i pozzi freatici nella seconda campagna. I valori sono in mS/cm (equidistanza fra isoconduttive di 0,5 μ S/cm)

Le mappe create con i dati di conducibilità 0,5 m sopra il fondo del pozzo, per la prima campagna e per la seconda, sono simili ma la conducibilità risulta generalmente più elevata.

6.4 Temperatura dell'Acqua

Nella prima campagna, per lo stesso motivo descritto nel paragrafo precedente, non è stata creata una mappa con la temperatura 0,5 m sotto il pelo dell'acqua, ma soltanto quella a 0,5 m sopra il fondo dei pozzi (Fig.31). Le temperature registrate variano generalmente tra i 12,7°C (P85) e i 20,5 °C (P35), con la media di 15,6 °C e la mediana di 15,2°C. I valori più elevati non coincidono con anomalie di conducibilità.

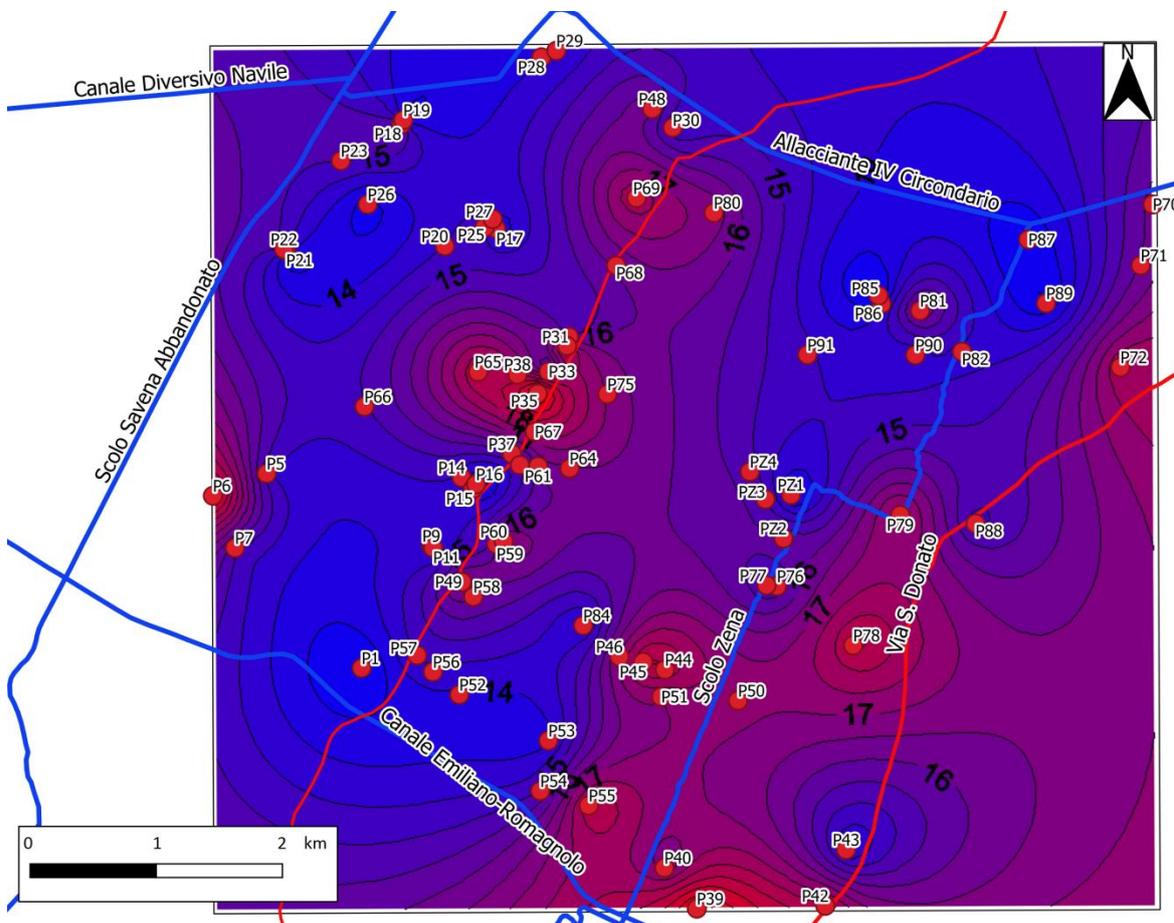


Figura 31. Mappa della temperatura 0,5 m sopra il fondo dei pozzi freatici individuati nella prima campagna. Rosso temperatura elevata; blu temperatura bassa. Valori in °C; equidistanza fra le isoterme di 0,5°C.

Per la seconda campagna sono state realizzate le mappe di conducibilità 0,5 m sotto il pelo dell'acqua e 0,5 m sopra il fondo del pozzo (Fig.32). Le temperature più superficiali variano tra i 14,9 °C (P33) e i 22,1 °C, che risulta essere il massimo, fra tutti i valori, registrato nel piezometro B Nord-Ovest della STO.G.IT. La media di tutte le misure è 18,1 °C mentre la mediana risulta 18,3 °C. Quelle più profonde, risultano invece più basse, tra i 13,8 °C (P85) e i 21,8 °C (B Nord-Ovest). La media di tutte le misure è 15,9 °C e la mediana risulta uguale.

La maggiore temperatura superficiale è certamente dovuta all'effetto termico della temperatura atmosferica nel periodo estivo. L'influenza atmosferica sulla temperatura dell'acqua in un pozzo freatico può dipendere da diversi fattori come: tempo d'esposizione al sole del pozzo, presenza o no di una botola che separa il pozzo dall'atmosfera, temperatura dell'aria, quantità d'acqua all'interno del pozzo, trasmissione della temperatura in superficie all'acqua del pozzo tramite i materiali di costruzione usati per il pozzo medesimo, ecc. Anche nei piezometri composti da tubi in metallo, con l'estremità superiore esposta sopra il p.c., vi può essere un trasferimento di calore al loro interno verso

l'acqua. Questo lo si può notare nei piezometri PZ, dove l'acqua superficiale supera i 20 °C mentre quella vicino al fondo si aggira attorno ai 16,5 °C. Gli unici che mantengono temperature elevate sono i piezometri B Nord-Ovest e B Nord-Est perché sono poco profondi e contengono poca acqua.

Appare evidente l'effetto "raffrescante" del paleoalveo nella seconda campagna mentre tale effetto è meno presente nella prima campagna. Le anomalie termiche positive, comunque, tendono ad essere concentrate nelle zone dove la falda è più depressa e dove, presumibilmente, soprattutto in magra, si fa più risentire l'effetto atmosferico.

Non sembra esservi una coincidenza apprezzabile fra anomalie di conducibilità ed anomalie di temperatura.

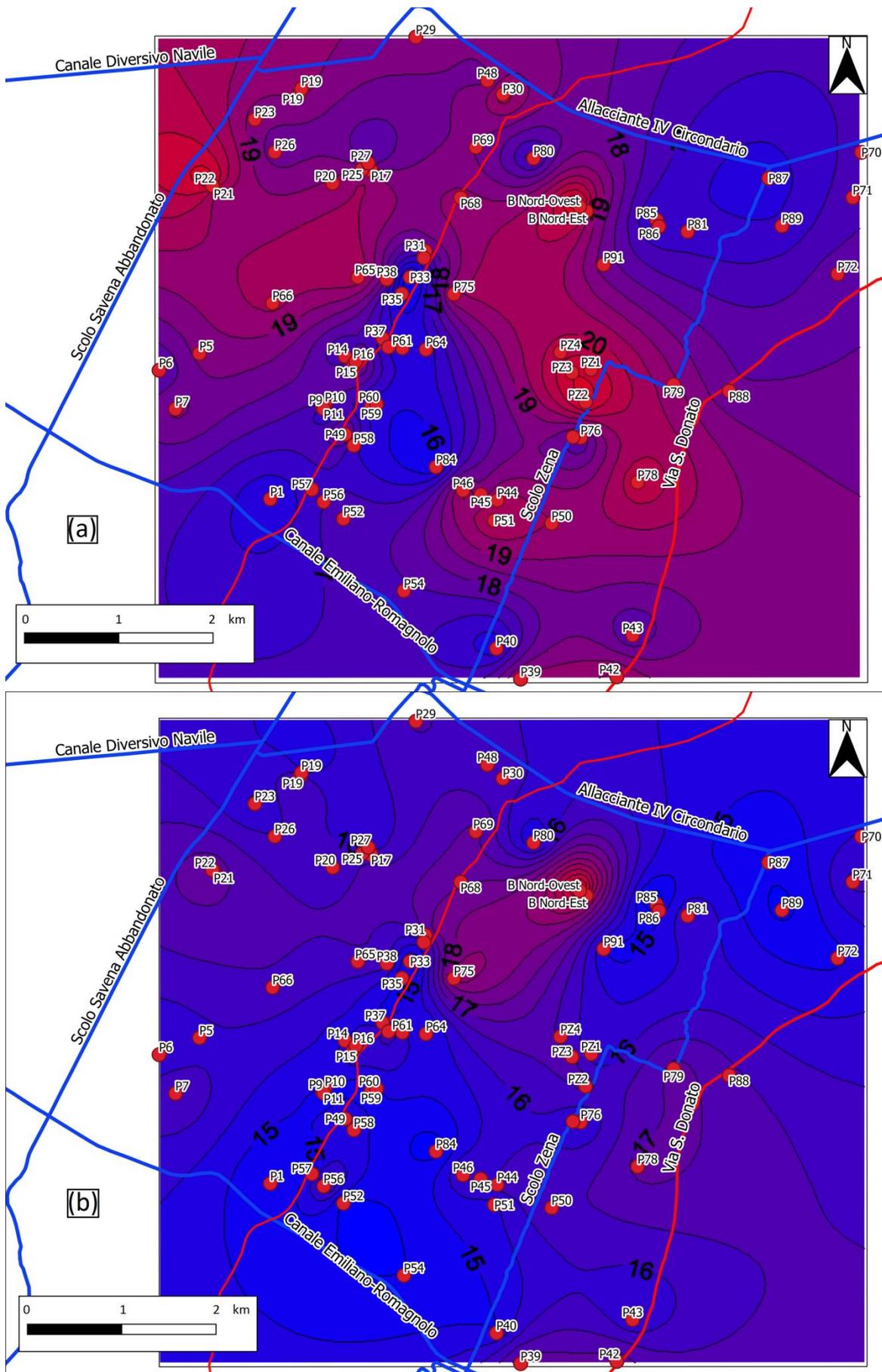


Figura 32. Mappe della temperatura dell'acqua 0,5 m sotto il livello idrico nel pozzo (a) e 0,5 m sopra il fondo del pozzo (b) nei pozzi freatici individuati nella seconda campagna. Valori in °C; equidistanza fra le isoterme di 0,5°C.

6.5 Analisi Chimiche

I 30 pozzi scelti per il prelievo di campioni sono mostrati in Fig.33.

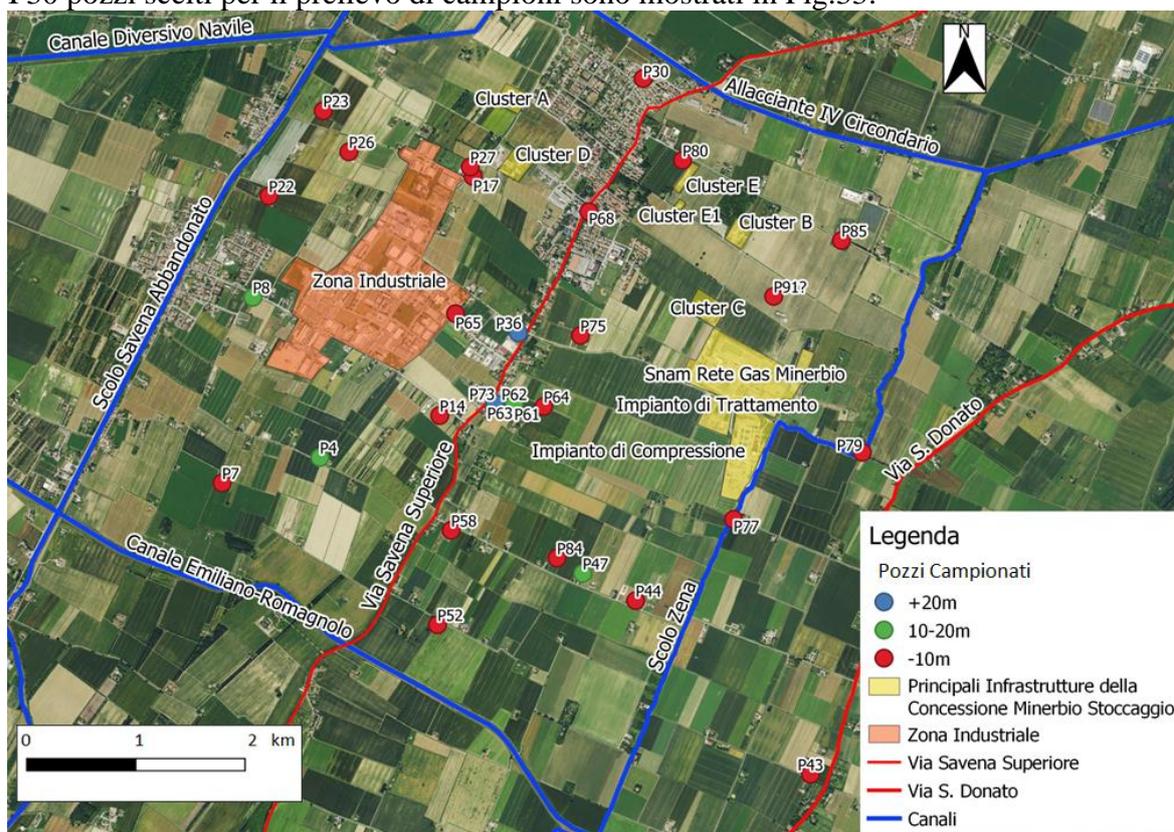


Figura 33. Ubicazione dei pozzi campionati, differenziati secondo la profondità.

Le concentrazioni degli ioni sono state espresse in meq/l (milliequivalenti per litro) al fine di determinare, tramite grafici, la loro classificazione idrochimica. La facies chimica di appartenenza viene determinata dall'anione predominante che funge da sostantivo, cui si aggiunge un aggettivo che indica il tipo di catione dominante.

Esistono diverse rappresentazioni grafiche che permettono di confrontare le caratteristiche chimiche più salienti e di individuare univocamente la facies dominante. Vengono utilizzati diagrammi qualitativi che forniscono una buona interpretazione visiva della facies chimica ma nessuna indicazione sull'effettiva mineralizzazione dell'acqua, e diagrammi quantitativi che danno anche una indicazione sulla mineralizzazione dell'acqua sotterranea. Il più rappresentativo dei diagrammi qualitativi è quello di Piper caratterizzato da due diagrammi triangolari per gli anioni e per i cationi e da un diagramma rombico. Dividendo ulteriormente i due triangoli basali in 4 subtriangoli equilateri si può assegnare a ciascuno dei cationi e degli anioni, una propria dominanza (acque a dominanza di calcio, magnesio, di alcalini, di bicarbonati, di solfati e di cloruro e/o nitrati). In questo modo è possibile migliorare le definizioni delle facies idrochimiche, evidenziando il gruppo o lo ione prevalente.

Il diagramma di Piper permette di distinguere molto bene le facies pure (confinata ai 4 vertici della losanga grande) da quelle impure, ossia da quelle derivate dai mescolamenti fra i diversi tipi (Fig.34). Le facies pure sono numerate da 1 a 4 in Fig.34.

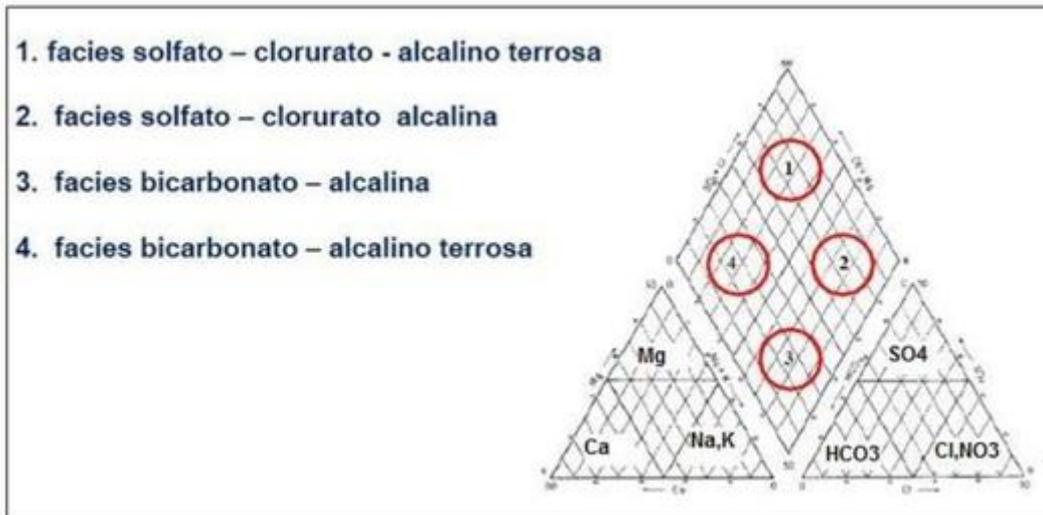


Figura 34. Diagramma di Piper che mostra le aree delle diverse facies idrochimiche.

6.5.1 Diagramma di Piper

Con i dati ottenuti con le analisi chimiche è stato possibile creare il diagramma di Piper riportato in Fig.35.

Si osserva una notevole dispersione delle acque nella losanga per i pozzi più superficiali mentre le acque prelevate da pozzi profondi (> 20 m) sono addensate in uno spazio ristretto. Le acque relative ai pozzi inferiori ai 10 m sono comprese tra la facies solfato alcalino-terrosa e quella bicarbonato alcalino-terrosa, con una evidente transizione graduale fra le 2. I campioni dei pozzi con profondità compresa tra i 10 e i 20 m sono in genere appartenenti alla facies bicarbonato alcalino-terrosa (ad eccezione del P62) come quelli profondi più di 20 m.

I campioni sono stati riportati nella losanga con un cerchio proporzionale al TDS (*Total Dissolved Solids* o Residuo Fisso) per dare una rappresentazione della forza ionica della soluzione. Si nota come il TDS aumenti al passaggio dalla facies bicarbonata a quella solfatica.

Nel diagramma triangolare dei cationi si può notare come le proporzioni tra concentrazioni di alcali (sodio+potassio), calcio e magnesio sia piuttosto bilanciata tranne che alcuni pozzi allineati lungo il paleo-alveo di via Savena Superiore (P14, P30, P61, P68, P75) che invece tendono ad avere maggiori quantità di calcio.

Nel diagramma triangolare degli anioni si può notare come le acque dei pozzi campionate abbiano prevalenza di solfato o bicarbonato, in relazione alla facies, a discapito del cloruro. I campioni presi dai pozzi profondi sono tutti più ricchi in bicarbonato rispetto agli altri anioni, e per questo sono collocati nel vertice sinistro. Per gli altri pozzi superficiali ed intermedi si assiste ad una progressione continua fra acque dichiaratamente bicarbonatate (es. P7, P27, P58, P68, P77, P79, P85, P65 fra i pozzi inferiori a 10 m e P4 e P8 fra i pozzi fra 10 e 20 m) ed acque dichiaratamente solfate (es. P17 e P26).

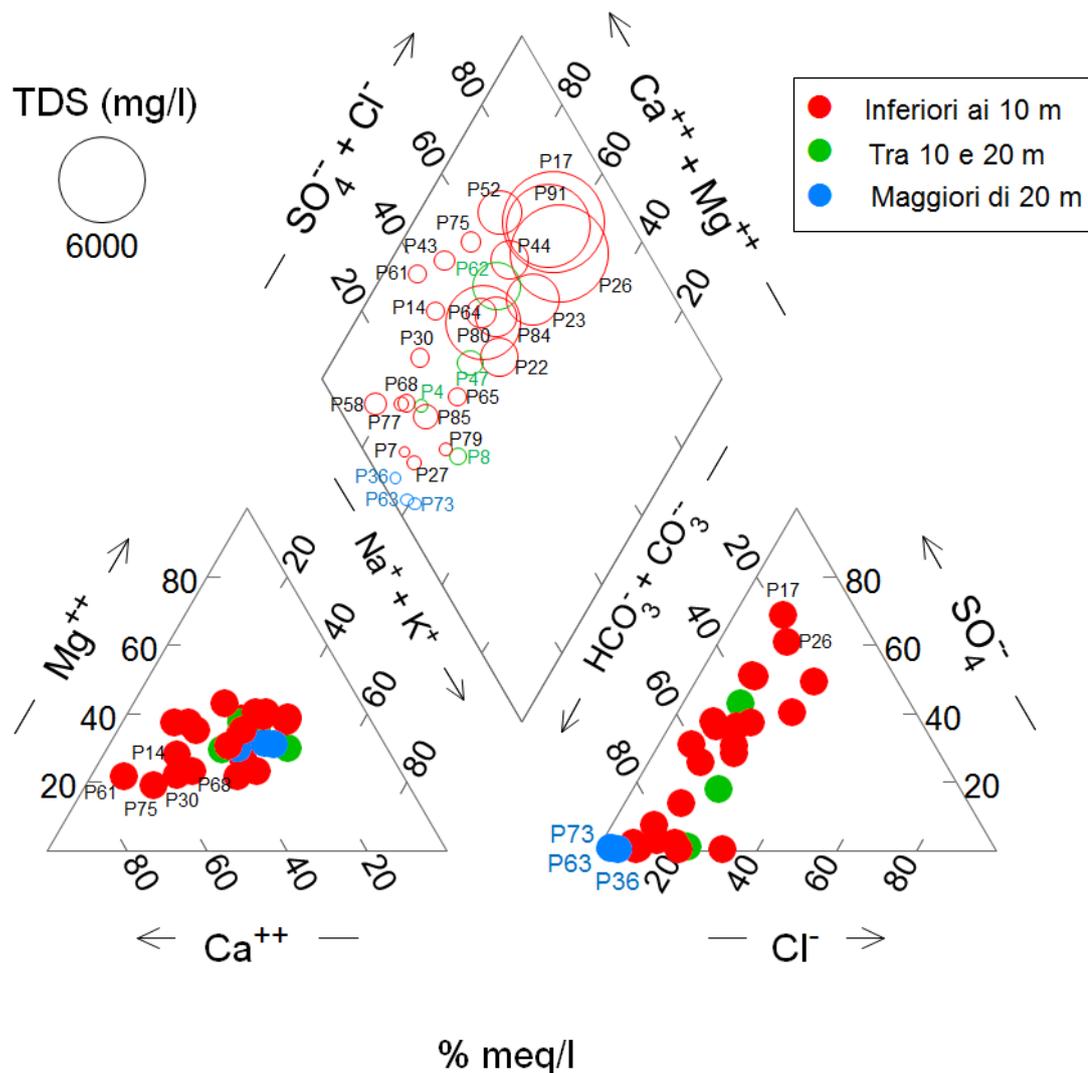


Figura 35. Diagramma Piper che mostra la varietà delle tipologie di acque.

6.5.2 Diagramma di Schoeller

Tra le rappresentazioni quantitative il diagramma più largamente utilizzato è quello di Schoeller, costituito da una serie di assi logaritmici verticali sui quali si riporta la concentrazione in meq/l dei componenti analitici.

Si dispongono gli ioni nell'ordine: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- e HCO_3^- e, sulla base della forma assunta dalla spezzata congiungente i vari punti, si può distinguere la dominanza principale dell'acqua. In questo diagramma si può avere quindi un'indicazione visiva dei rapporti caratteristici fra due ioni mediante l'inclinazione della retta che li unisce.

Con gli stessi dati utilizzati per creare il Piper sono stati creati sei diagrammi Schoeller (Fig.36): uno per le acque dei pozzi più profondi di 20 m (Gruppo a), uno per quelli profondi tra 10 e 20 m (Gruppo b) e tre per le acque di quelli inferiori ai 10 m (Gruppi c, d, e).

Di seguito viene fornita la descrizione dei gruppi:

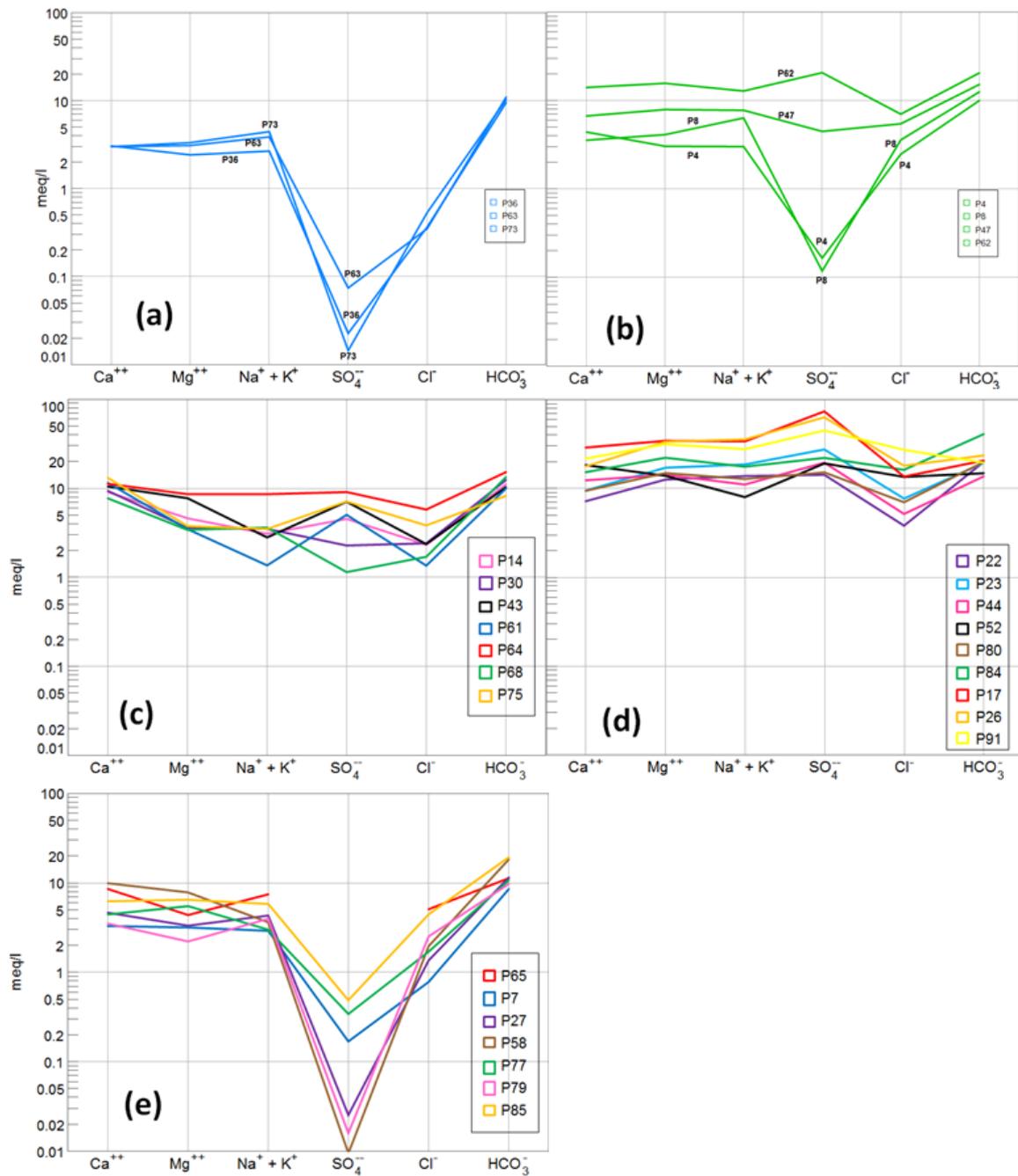


Figura 36. Diagrammi di Schoeller delle acque campionate divisi per gruppi (vedi testo).

- Gruppo (a): pozzi maggiori di 20 m (P36, P63, P73) con bicarbonato dominante sul solfato e cationi in quantità simili. L'omogeneità composizionale è elevata.

- Gruppo (b): pozzi fra 10 e 20 m con una presenza di alcuni con affinità a quelli profondi ed altri ricchi in solfato (P47, P62), situati nella porzione orientale dell'area (Fig.37).

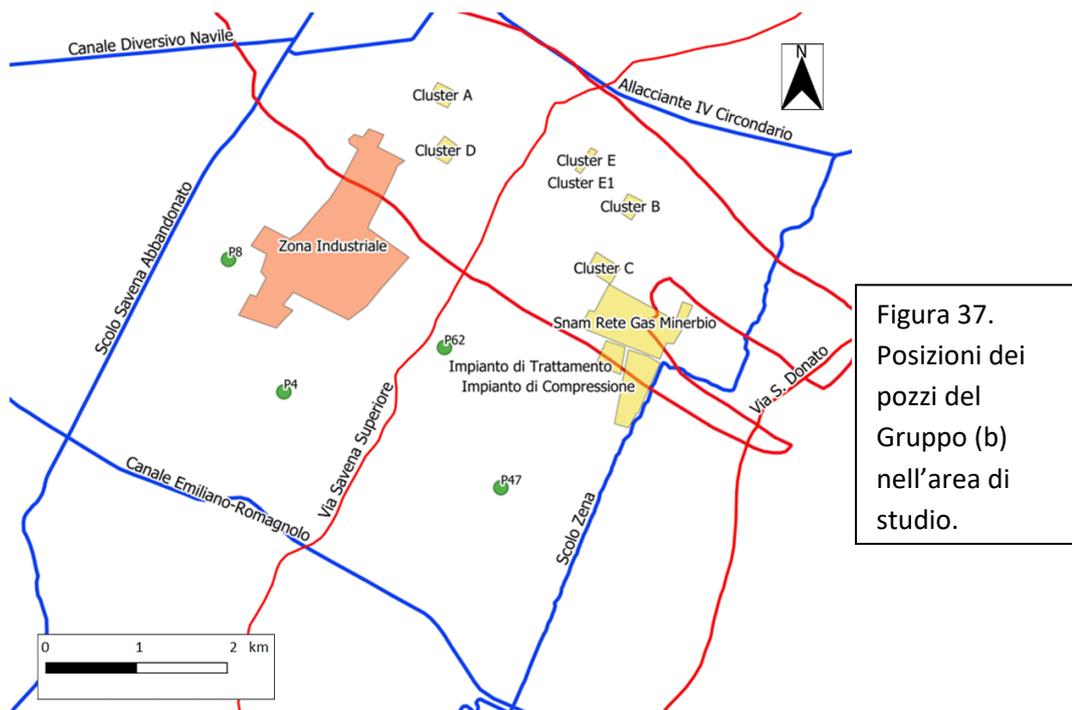


Figura 37. Posizioni dei pozzi del Gruppo (b) nell'area di studio.

- Gruppo (c): pozzi inferiori ai 10 m. La dominanza chimica è bicarbonata per gli anioni e calcica per i cationi con grande variabilità nelle concentrazioni di sodio, solfato e cloruro. Sulla mappa (Fig.38), la distribuzione dei pozzi di questo gruppo sembra seguire la Via Savena Superiore, tranne il pozzo P43 che si ritrova vicino al confine Est dell'area di studio.

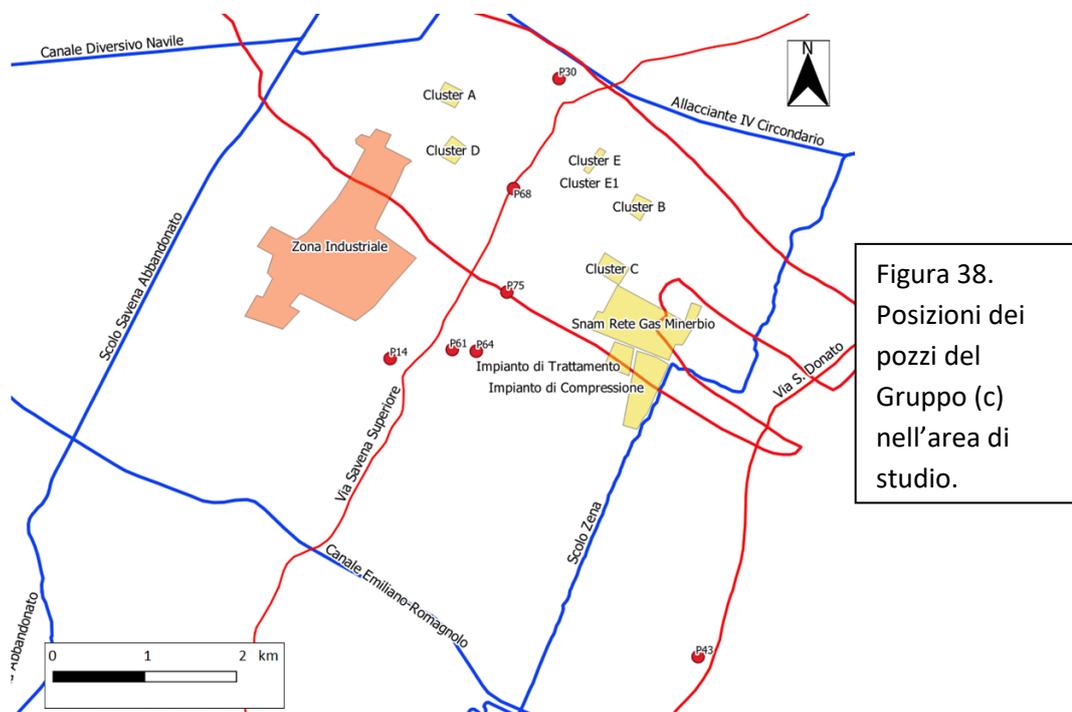


Figura 38. Posizioni dei pozzi del Gruppo (c) nell'area di studio.

- Gruppo (d): pozzi inferiori ai 10 m formato da campioni con concentrazione maggiore di 10 meq/l per tutti o quasi gli ioni. Lo ione prevalente è il solfato con in subordine il cloruro (in alcuni maggiore di 10 meq/l mentre in altri è inferiore). Sulla mappa (Fig.39) la maggior parte dei pozzi di questo gruppo formano 2 anomalie: una collocata nella zona settentrionale dell'area e l'altra (pozzi P44, P84, P52) nella zona sud-orientale.

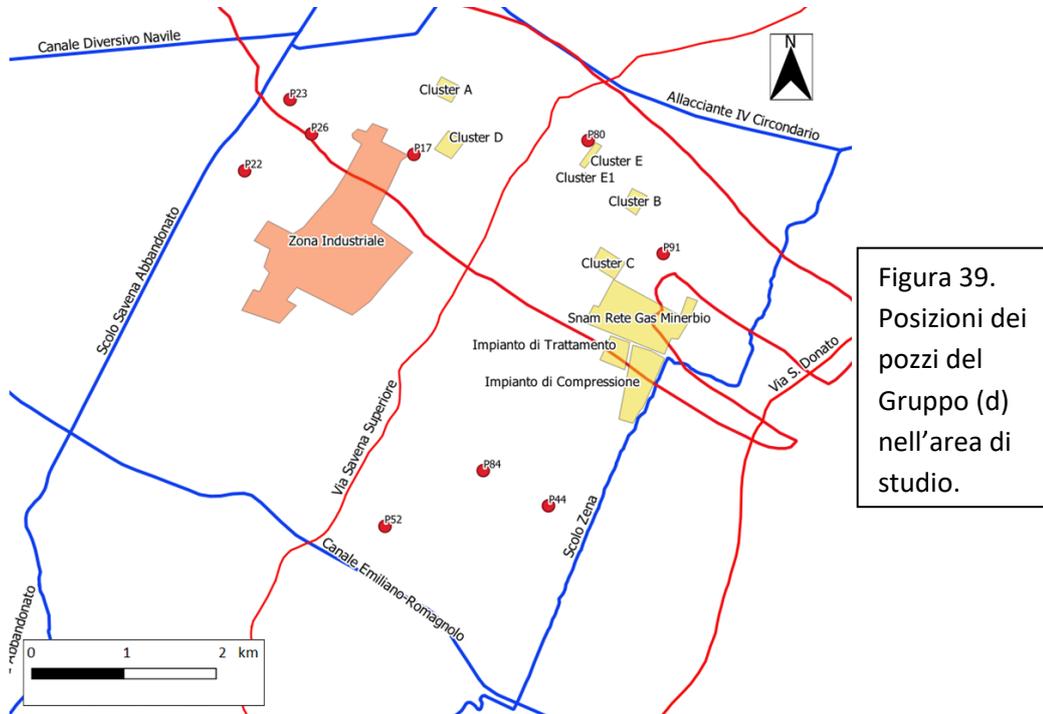


Figura 39. Posizioni dei pozzi del Gruppo (d) nell'area di studio.

- Gruppo (e): pozzi inferiori a 10 m, con campioni a concentrazione molto bassa di Solfato, in certi casi addirittura inferiore al limite di rilevabilità. Questo gruppo potrebbe essere ulteriormente diviso in due sottogruppi: uno con Solfato compreso fra 0,2 e 0,5 meq/l ed un altro fra 0,03 meq/l e LDR. Sulla mappa (Fig.40) i pozzi di questo gruppo sono dispersi su tutta l'area di studio.

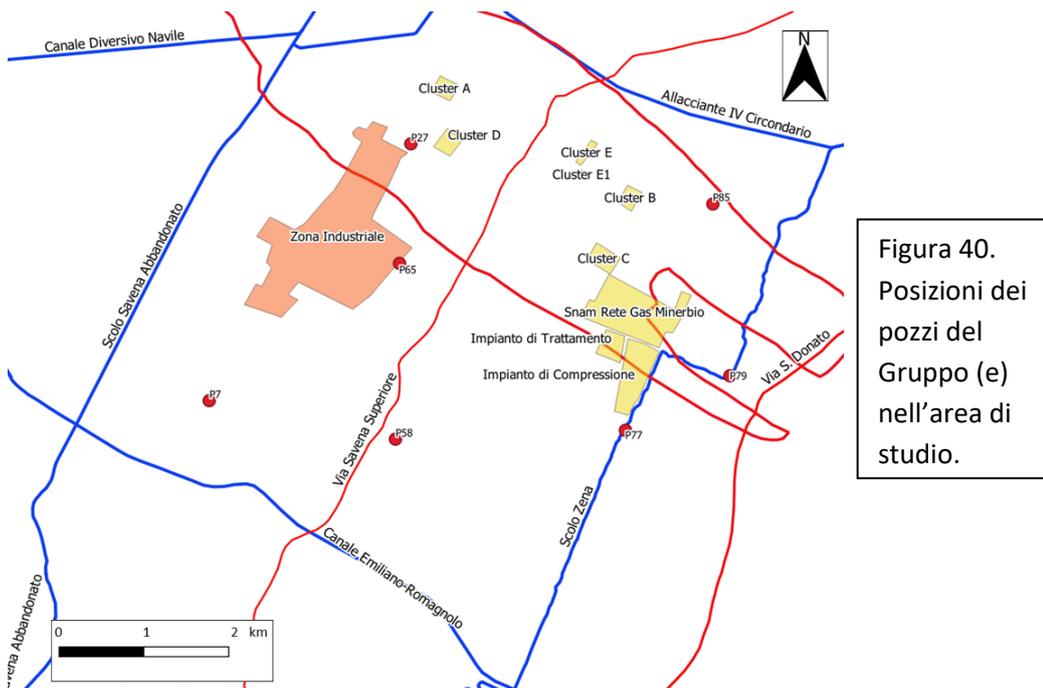


Figura 40. Posizioni dei pozzi del Gruppo (e) nell'area di studio.

6.5.2 Mappe di Concentrazione

Sono state create mappe di concentrazione con grafici a torta, in corrispondenza dei rispettivi pozzi, per mostrare le proporzioni tra principali anioni, cationi e specie azotate.

MAPPA ANIONI

La mappa degli anioni (Fig.41) è stata creata con le concentrazioni in proporzione a bicarbonato, cloruro, solfato e nitrato. Tra questi, l'anione dominante in tutti i pozzi è il bicarbonato, tranne P17 e P26 (dove prevale il solfato, Gruppo d) e P91 (dove prevale il cloruro, Gruppo d).

Il nitrato ha, in confronto agli altri anioni, un valore molto basso in tutti i pozzi ed il suo sporadico rinvenimento può essere associato ad un'origine agricola.

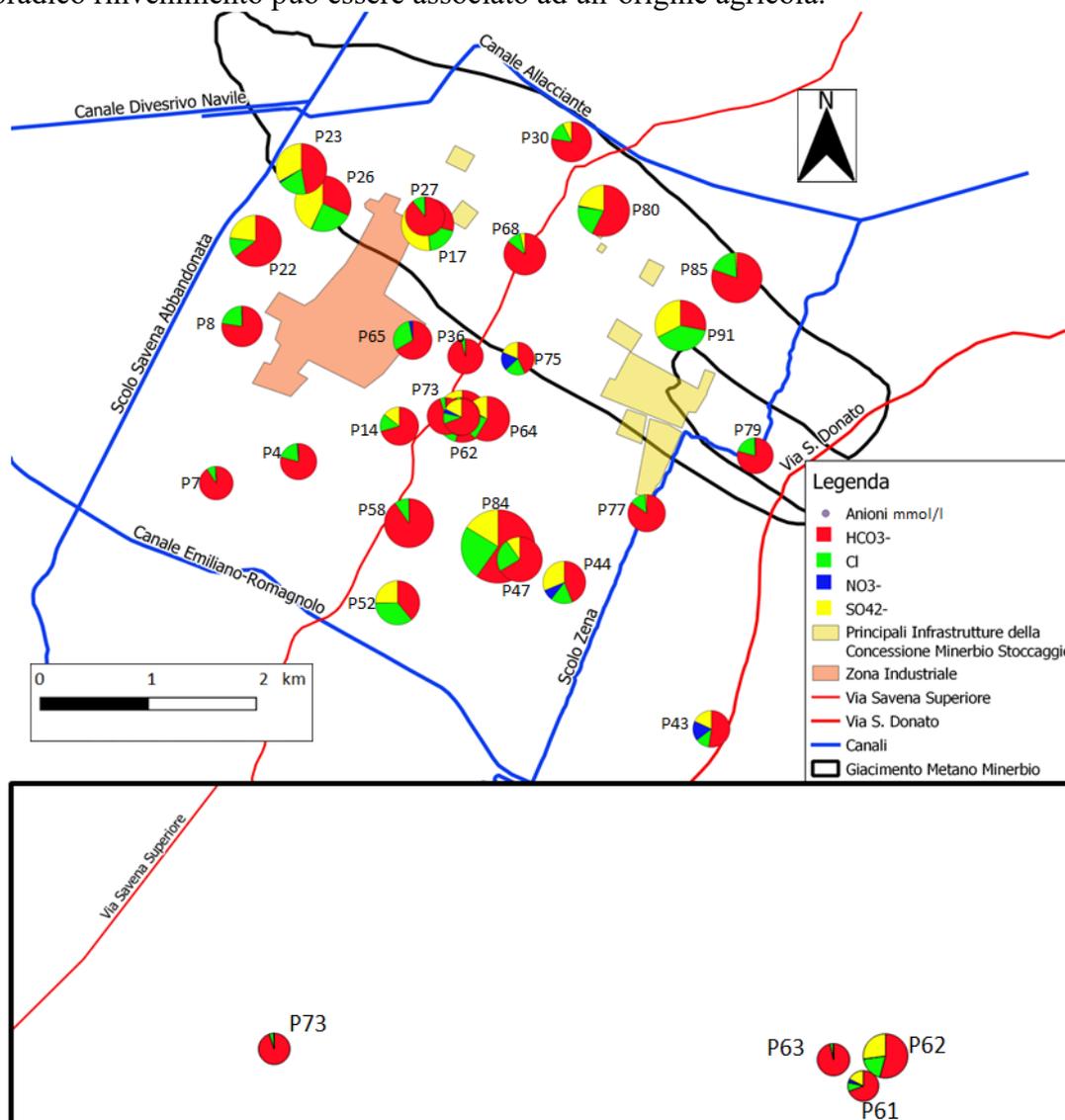


Figura 41. In alto, mappa delle concentrazioni (millimoli per litro) in proporzione di: bicarbonato, cloruro, solfato e nitrato. In basso, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73.

MAPPA CATIONI

La mappa dei cationi (Fig.42) è stata creata con le concentrazioni in proporzione a: sodio, potassio, magnesio, calcio e ione ammonio. Tra questi, il catione dominante nella maggioranza dei pozzi è il sodio, tranne P14, P58, P52, P44, P61 (dove prevale il calcio). Le concentrazioni maggiori di sodio si riscontrano nella porzione settentrionale dell'area. Il potassio e l'ammonio hanno, in confronto agli altri cationi, un valore molto basso in tutti i pozzi.

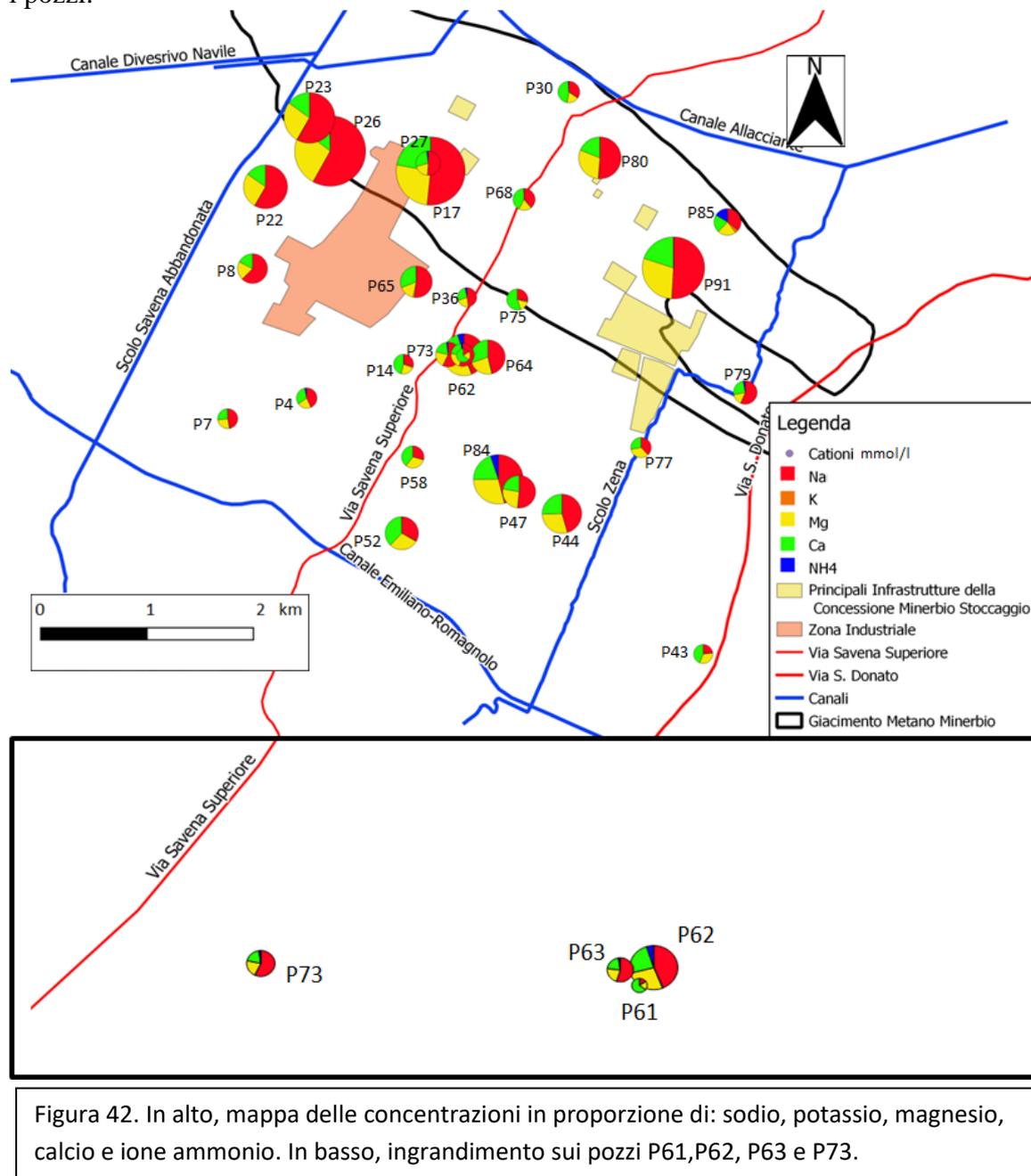


Figura 42. In alto, mappa delle concentrazioni in proporzione di: sodio, potassio, magnesio, calcio e ione ammonio. In basso, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73.

MAPPA SPECIE DELL'AZOTO

La mappa delle specie dell'azoto (Fig.43) è stata creata con le concentrazioni in proporzione di: ammoniaca (NH_3), ammonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-). Tra questi la specie dominante nella maggioranza dei pozzi è il nitrato e ciò può essere dovuto all'utilizzo di fertilizzanti per le colture o alla decomposizione della materia organica. Gli unici pozzi in cui il nitrato non è dominante sono: P7, P4, P30, P85, 84, P79, P47, P27, fra i pozzi superficiali, e P73, P63, P36 fra i pozzi a profondità maggiore di 20 m.

Per i pozzi profondi (P73, P63 e P36), siccome sono filtrati in un acquifero anossico, dominano le specie ridotte.

I pozzi in cui dominano le specie ridotte sono: P68, P30, P79, P62 e P84. Di questi soltanto gli ultimi tre coincidono con concentrazioni elevate del ferro e gli ultimi due anche con concentrazioni elevate di solfato.

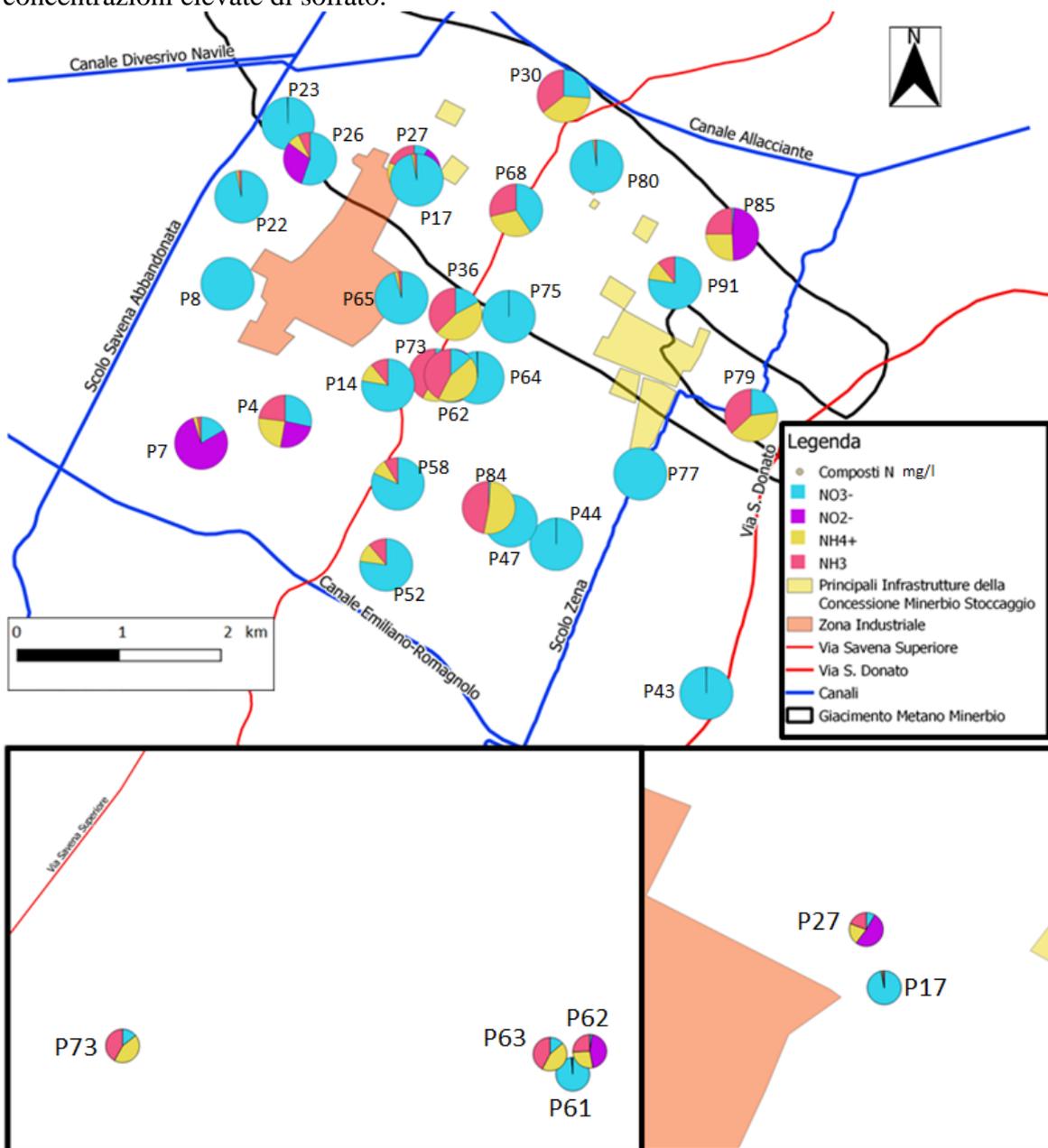


Figura 43. In alto, mappa delle concentrazioni in proporzione di: ammoniaca, ammonio, nitrito, nitrato. In basso a sinistra, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73. In basso a destra, ingrandimento sui pozzi P27 e P17.

Con riferimento alle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione), riportate nel D.Lgs. 152/06, sono state create delle mappe che riportano la concentrazione di arsenico, ferro totale, solfato e boro. È stata fatta una mappa anche per le concentrazioni del litio, anche se non è riportato nel D.Lgs. 152/06, per motivi che verranno discussi in seguito.

MAPPA CONCENTRAZIONE ARSENICO

La CSC del arsenico è di 10 µg/l e, come mostrato in mappa, viene superata 9 volte. Di questi superamenti preme evidenziare valori significativi in due campioni nei a CSC del arsenico è di 10 µg/l e, come mostrato in mappa (Fig.44), viene superata 9 volte. Di queste, sono individuati valori significativi in due campioni dei pozzi P73 (60 m) e P63 (92 m) che corrispondono ad una nota anomalia dell'arsenico presente negli acquiferi profondi e riscontrata in Regione Emilia Romagna (2018).

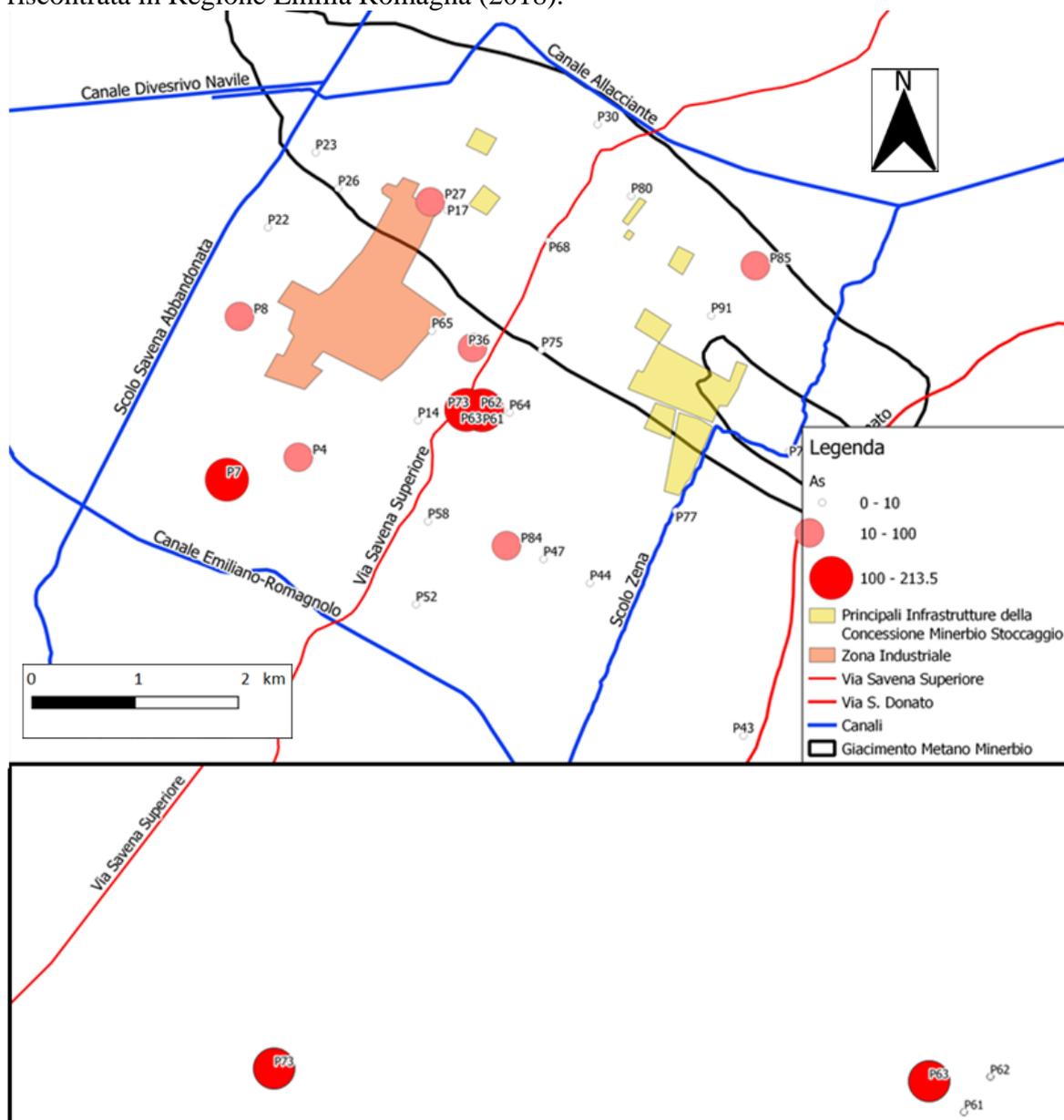


Figura 44. In alto, mappa delle concentrazioni del arsenico in µg/l. In basso, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73.

MAPPA CONCENTRAZIONE FERRO

La CSC del ferro è di 200 $\mu\text{g/l}$, ma questa è meno della metà rispetto al valore minimo registrato (491 $\mu\text{g/l}$) ed il valore massimo registrato (4250 $\mu\text{g/l}$) la supera più di venti volte. Concentrazioni così elevate (Fig.45) testimoniano un ambiente riducente associato a presenza di sostanza organica e possono essere considerate associabili ad un valore di fondo naturale. Per i pozzi P84 e P62, questa alta concentrazione di ferro sembra coincidere con alte concentrazioni di solfato e ammonio. Ciò significa che c'è molta sostanza organica che induce riduzione di ferro.

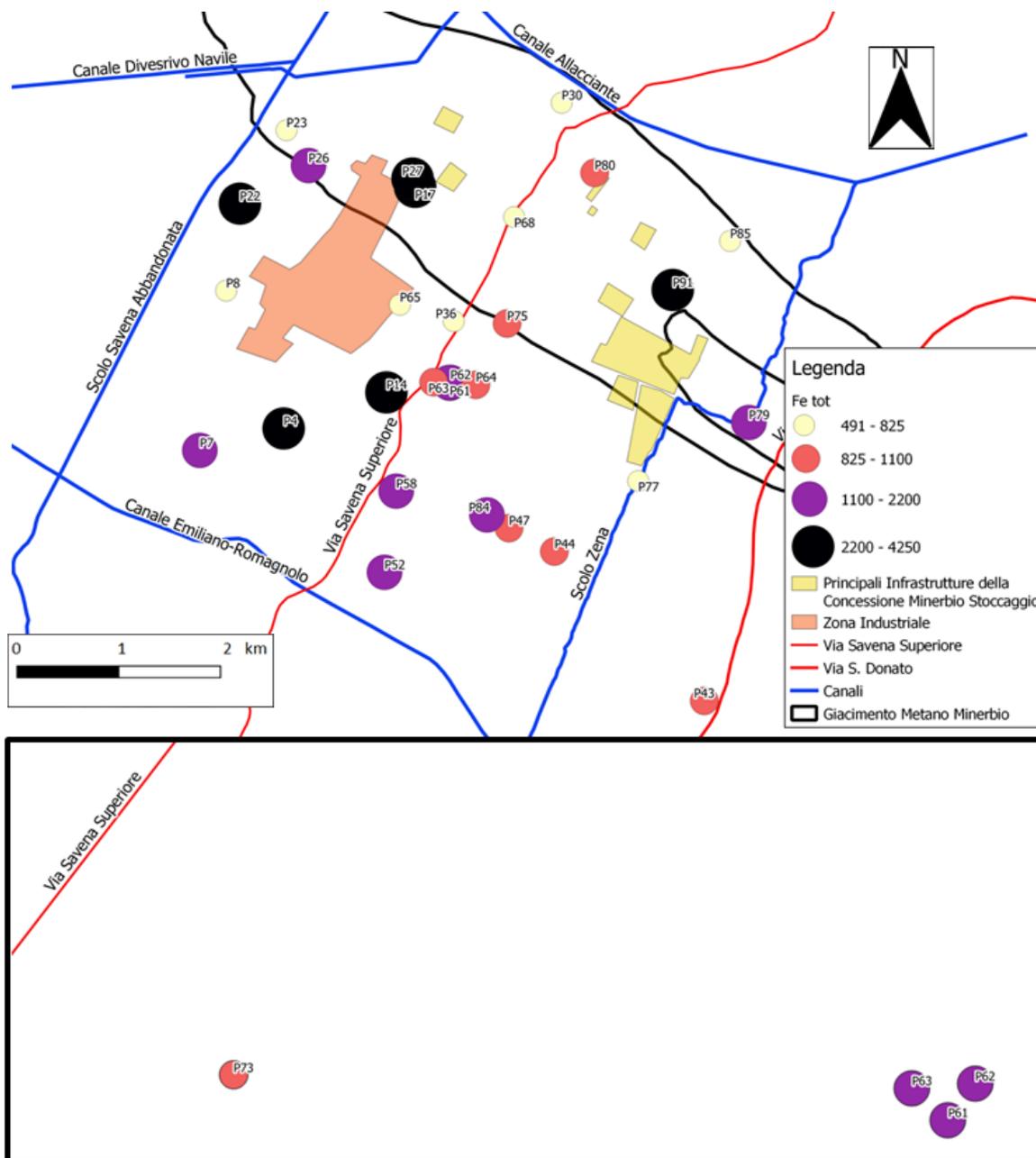


Figura 45. In alto, mappa delle concentrazioni del ferro in $\mu\text{g/l}$. In basso, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73.

MAPPA CONCENTRAZIONE SOLFATO

La CSC del solfato è di 250 mg/l e viene superata 13 volte (Fig.46). Per confronto si può dire che questo dato di solfato elevato non viene riscontrato nei dati di monitoraggio delle acque sotterranee di ARPAE dei pozzi freatici. Il solfato, nello specifico il solfato di ammonio, viene usato come acidificante su terreni calcarei o di natura alcalina e per concimare e rendere fertili i terreni dove vengono coltivati pomodori e patate anche se l'uso del suolo non sembra indicare un tale impiego e riteniamo che il solfato elevato abbia una origine geochimica e non antropica. Avevamo comunque già commentato la distribuzione del solfato nella caratterizzazione idrochimica generale.

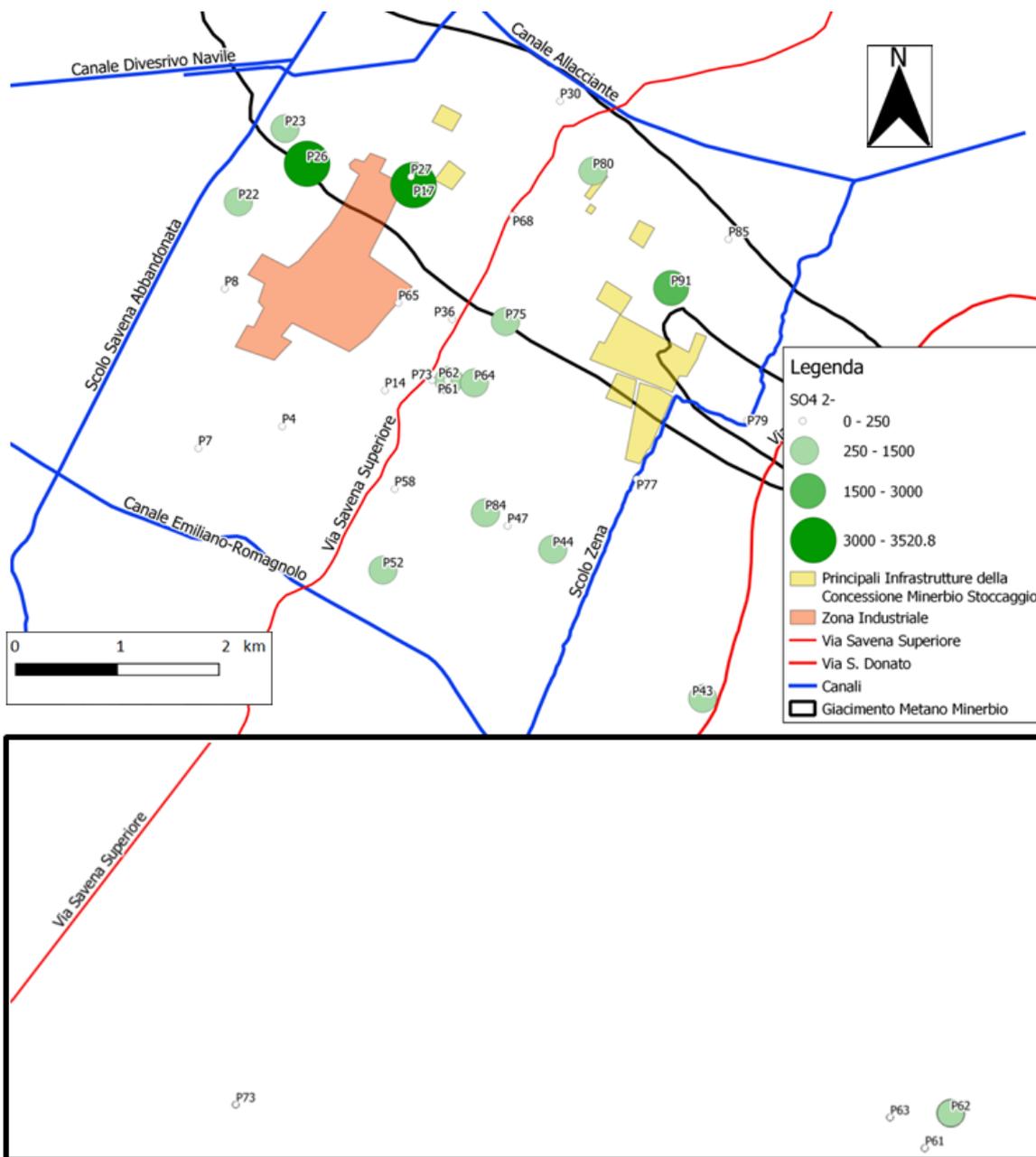


Figura 46. In alto, mappa delle concentrazioni del solfato in mg/l . In basso, ingrandimento sui pozzi P61,P62, P63 e P73.

MAPPA CONCENTRAZIONE BORO

La CSC del boro è di 1000 $\mu\text{g/l}$ ed è superata in 7 campioni (Fig.47), con la maggior parte di questi in prossimità della zona settentrionale dell'area. Concentrazioni così elevate nell'acqua della falda freatica non sono riscontrate nei pozzi freatici del database ARPAE. I valori di boro rilevati dalla regione in pozzi freatici, ubicati in provincia di Bologna, variano tra 119 e 940 mg/l , con un solo superamento delle CSC (1080 mg/l) a San Giovanni in Persiceto (20 km Ovest dell'area di studio).

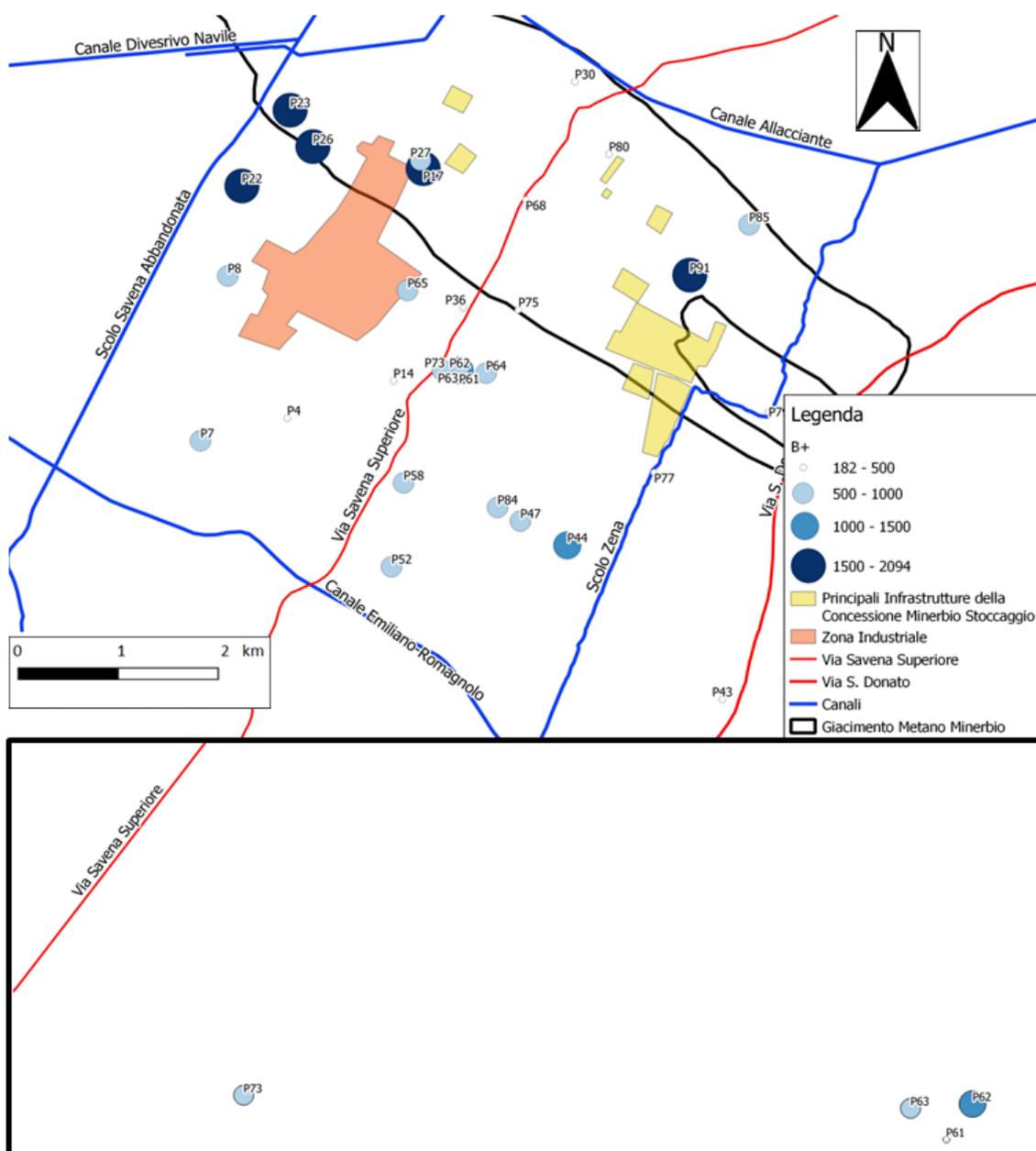


Figura 47. In alto, mappa delle concentrazioni del boro in $\mu\text{g/l}$. In basso, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73.

MAPPA CONCENTRAZIONE LITIO

Il litio non ha una CSC riportata nel D.Lgs. 152/06, ma le concentrazioni misurate in diversi pozzi sono troppo elevate per essere trovate in normali acque di falda freatica (Fig.48). La maggior parte dei valori più elevati vengono registrati nella porzione settentrionale dell'area ed anche nella porzione sud-orientale.

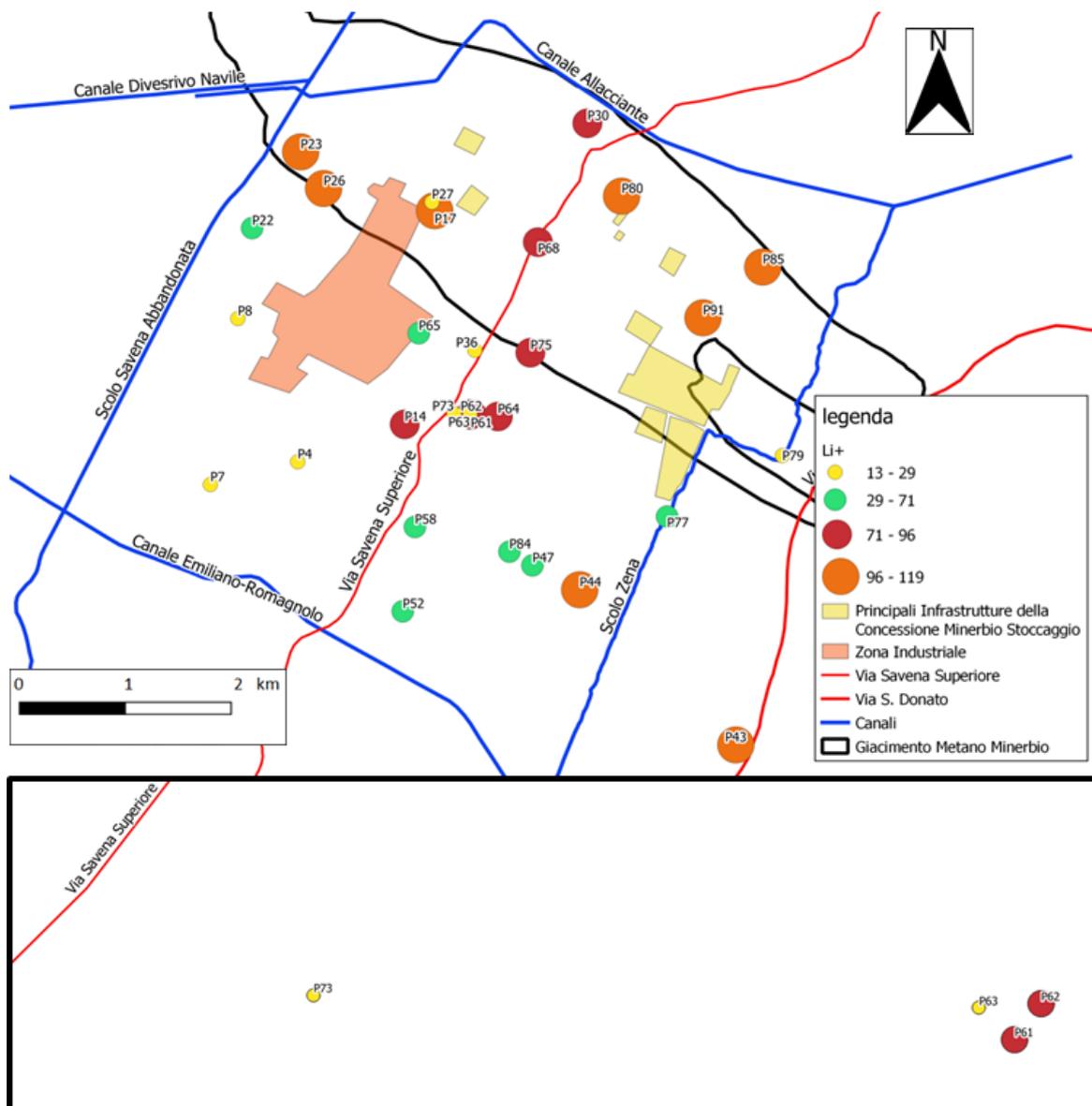


Figura 48. In alto, mappa delle concentrazioni del litio in $\mu\text{g/l}$. In basso, ingrandimento sui pozzi P61, P62, P63 e P73.

6.7 Considerazioni sulla Geochimica delle Acque Campionate

Il litio e il boro sono elementi che si trovano in acque di acquiferi profondi diverse centinaia di metri e in acque marine. La presenza di queste acque in superficie potrebbe essere causata dalla risalita di acque lungo vie preferenziali.

Queste vie preferenziali potrebbero essere:

- Strutture Tettoniche: simile a quello che avviene nell'Appennino modenese, ma in letteratura non sono riportate faglie, al di sotto di Minerbio, che mettano in comunicazione il giacimento con la superficie;
- Pozzi Metaniferi: nella Fig.49 sono riportate le posizioni dei vecchi pozzi, utilizzati negli anni '50 e adesso abbandonati, per l'estrazione del metano (punti rossi senza ID). Una volta terminata la loro attività, vengono riempiti di cemento per sigillarli e tagliati ad un

paio di metri sotto il p.c. per ripristinare il terreno in superficie. Dei fluidi potrebbero averli utilizzati come vie preferenziali ed essere passati tra lungo l'intercapedine non adeguatamente sigillata. Questo potrebbe spiegare le alte concentrazioni di boro e litio in pozzi come P22, P23, P26, P17, P91 dato che sono limitrofi ad alcuni di questi pozzi metaniferi, ma non lo spiega per quelli che sono a Sud del giacimento, dove invece non sono presenti pozzi metaniferi.

Queste risalite potrebbe anche essere messa in relazione all'azione di incremento di pressione nel giacimento, che avrebbe determinato la risalita di acque profonde sino alla superficie lungo appunto tali zone di flusso preferenziale.

Se la risalita dei fluidi si sviluppasse lungo strutture tettoniche si dovrebbero riscontrare anomalie, peraltro, anche nei campioni di acqua prelevati dai pozzi profondi più di 20 m, ma i pochi campionati presentano acque del tutto in linea con il tipo di acquiferi da cui pescano anche se bisogna comunque affermare che sono stati analizzati soltanto tre pozzi profondi più di 20 m e che sono collocati a poca distanza l'uno dall'altro.

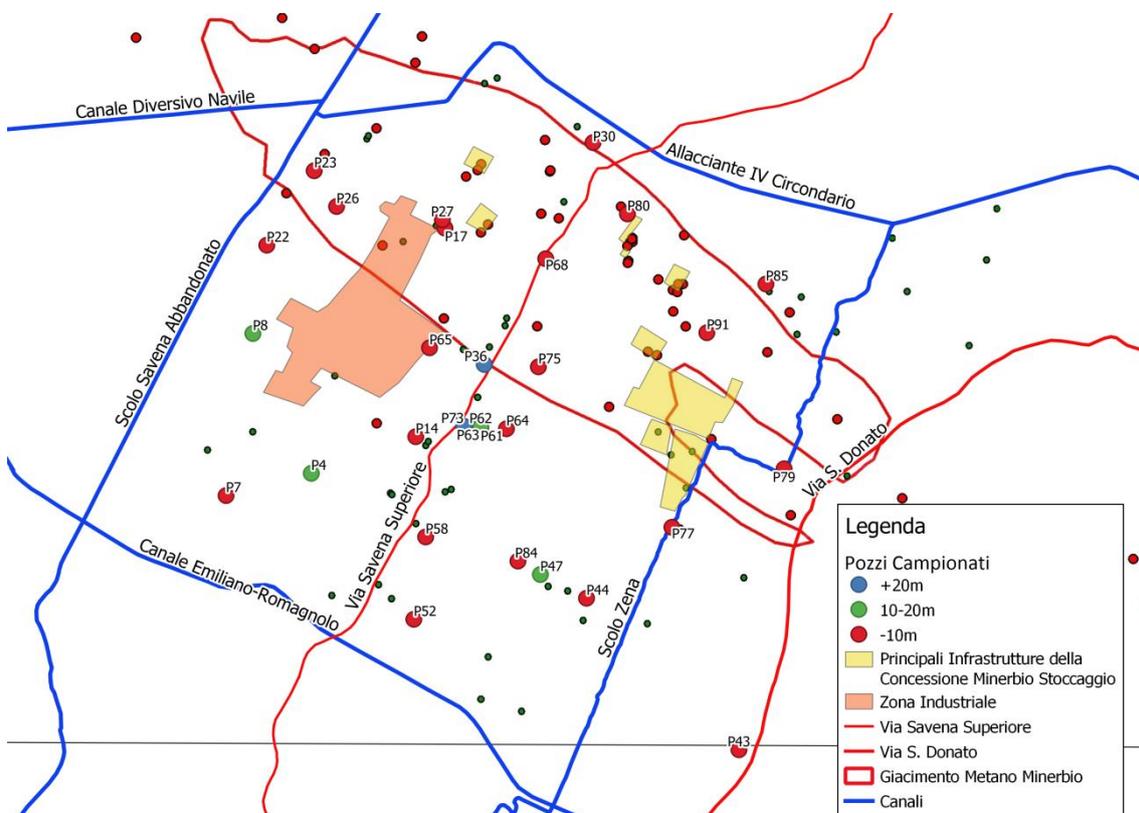


Figura 49. Posizione dei pozzi metaniferi, segnati con punti rossi senza ID, all'interno e in prossimità dell'area di studio.

7. Conclusioni

Nel presente elaborato è stato presentato uno studio finalizzato a definire la situazione idrogeologica e idrochimica nella zona di Minerbio a seguito del rinvenimento di alcune improvvise anomalie di elevata conducibilità elettrica in alcuni pozzi ad uso domestico.

Durante lo svolgimento del lavoro sul campo sono stati individuati e rilevati un totale di 91 pozzi e 9 piezometri presenti all'interno dell'area in esame. Sono state ricostruite 2 superfici piezometriche, relative rispettivamente ad una condizione di piena e di magra idrologica, e mappe con caratteristiche idrochimiche di 30 pozzi campionati relativamente alla facies idrochimica e ad alcuni analiti di interesse geochemico (composti azotati, Ferro, Litio, Boro).

La falda freatica ha un deflusso medio generale verso N-NE con lo sviluppo di uno spartiacque piezometrico, rilevato morfologicamente, in corrispondenza di un paleo alveo del Savena che decorre lungo via Savena Superiore. Dalla dorsale piezometrica il deflusso è radiale verso le zone circostanti più depresse. L'andamento piezometrico pertanto è simile a quello topografico con quote più elevate nella zona a Sud-Ovest, mentre quote minori si riscontrano proseguendo verso Nord-Est.

Le acque campionate sono state classificate secondo la facies idrochimica tramite grafici di Piper e Schoeller. Le acque appartengono alla facies bicarbonato alcalino-terrosa, laddove sono acque di infiltrazione recente, ma si assiste ad un mescolamento con un altro termine estremo rappresentato da una facies solfato alcalino terrosa, nettamente distinta e concentrata in zone anomale ben definite. I campioni prelevati dai pozzi freatici sono stati suddivisi in gruppi idrochimici.

L'intersezione della anomalie idrochimiche con alto tenore in solfato, del tutto anomalo per la falda freatica del luogo, assieme alla concentrazione anomala di Boro e Litio in alcune zone, ha permesso di identificare delle anomalie idrochimiche nella falda superficiale.

Quanto all'interpretazione dell'origine delle anomalie di solfato, sembra difficile attribuirle all'attività agricola anche perché associate a firme geochemiche molto particolari (boro e litio) che fanno propendere per un'origine profonda dei fluidi. La principale ipotesi potrebbe essere la risalita di acque profonde lungo pozzi dismessi di giacimento (metaniferi) non più in uso ma non adeguatamente sigillati, probabilmente anche conseguente ad un incremento della pressione massima di esercizio di stoccaggio del metano nel giacimento di Minerbio. Quest'ultima ipotesi non spiegherebbe però le concentrazioni elevate rilevate in altre zone dell'area dove non sono presenti pozzi metaniferi profondi; in tal caso la risalita potrebbe essere legata a strutture profonde.

Comunque le indagini richiederanno ulteriori rilevazioni geochemiche e isotopiche più approfondite.

8. Bibliografia

- Amorosi A., Farina M., Severi P., Preti D., Capora le L., Di Dio G. 1996. Genetically Related alluvial deposits across active fault zone: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy. *Sedimentary Geology*, 102: 275-295.
- Amorosi A., Caporale L., Cibin U., Colalongo M.L., Pasini G., Ricci Lucchi F., Severi P. & Vaiani S.C. 1998. The Pleistocene littoral deposits (Imola Sands) of the northern Apennines foothills. *Giornale di Geologia* 60, pp. 83-118
- ARPAE, 2018. Rete Regionale per la qualità ambientale acque sotterranee. Dati chimismo sotterranee.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G. & Postpischl D., 1985. Considerations on the seismotectonics on the Northern Apennines. *Tectonophysics* 117: 7-38.
- Castellarin A., Eva C., Giglia G. e Vai G. B., 1985. Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. *Giornale di Geologia*, pp. 47-76.
- Cremonini G., Ricci Lucchi F., 1982. Lessico delle Formazioni del bacino padano. In: Guida alla Geologia del margine Appenninico-Padano. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., pp. 205-236.
- Giorgini E., 2019. Studio idrogeologico preliminare di un'area nei pressi di Minerbio (Provincia di Bologna). Tesi di Laurea.
- INGV, 2019. Relazione Finale, Progetto: SPERIMENTAZIONE ILG MINERBIO STOCAGGIO.
- Regione Emilia Romagna – Agip, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna, Technical Report. Regione Emilia Romagna, Firenze.
- Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998. Carta Geologica d'Italia 1:50000 Note Illustrative del Foglio Foglio 203 Poggio Renatico. Progetto CARG.
- Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998. Carta Geologica d'Italia 1:50000 Note Illustrative del Foglio 221 Bologna. Progetto CARG.
- Ricci Lucchi F., Colalongo M.L., Cremonini G., Gasperi g., Iaccarino S., Papani G., Raffi I. & Rio D. 1982. Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico. In: Cremonini G., Ricci Lucchi F. (a cura di), Guida alla geologia del margine appenninico-padano. Guide Geologiche Regionali Soc. Geol. Ital., pp. 17-46.

APPENDICE A

Tabella dei dati della prima campagna di indagine.

Nome	Settore	Profondità da Boccaforo in m	Profondità da p.c. in m	Diametro m	Armato	Tipo di Utilizzo	Ultimo Utilizzo	Quota p.c. in m s.l.m.	Altezza Boccaforo	Soggiacenza da B.P.	Livello Piezometrico m s.l.m.	Cond. 0,5 m sopra il fondo $\mu\text{S/cm}$	Temp. in °C 0,5 m sopra il fondo	Cond. 0,5 m sotto pelo dell'Acqua $\mu\text{S/cm}$	Temp. in °C 0,5 m sopra il fondo	Serbatoio	Prelievo Campioni	Indirizzo	Proprietario	Recapito	Data
P1	S-O	7.9	7.05	0.8	no			18.4	0.85	4.21	15.04	3.8	12.9	3.55	13.5	no	si	via amarolo n.2	Stefano Zobbi	3386098318	P.19-5-2021
P2	S-O	98	98	0.15	si	irriguo	oggi	16.4	0		15.4	0.896				no	si	via amarolo			P.19-5-2021
P3	S-O	16	15	1	no			16.4	1	2.8	14.6	1.875	12.1	1.885	12.8	no	si	via amarolo			P.19-5-2021
P4	S-O	19		1	si	irriguo	oggi	15.2	1	4	12.2	0.996	13.5	0.874	13	si	si	via amarolo			P.19-5-2021
P5	S-O	7	7	1	si	irriguo	oggi	15.4	0	1.37	14.03	1.195	14.5	1.216	14.6	no	si	via piastino n.8/B	Bonini Roberto	349614553	P.20-5-2021
P6	S-O	7.5	6.5	1	si	irriguo	oggi	15.2	1		16.2	1.311	13.7			no	si	via piastino n.4	Martin Gianni	3355340760	P.20-5-2021
P7	S-O	7.23	6.38	1	si	irriguo	oggi	15.9	0.85	3.72	13.03	0.9	14.9	0.8	14.5	no	si	Via Ronchi Sup. n.18	Vanti Mauro, Tiziano	3396144457	P.20-5-2021
P8	S-O	16.5		0.8	si	irriguo	ieri p.	14.2	0	1.84	12.36	1.427	15.2	1.429	15.3	no	si	Via Ronchi Inf. n.46	Stanghellini Graziella	o516605447	P.20-5-2021
P9	S-O	9.5	8.25	0.8	no			18.5	1.25	5.2	14.55	2.88	14.2	2.91	14.2	no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	o516610466	P.21-5-2021
P10	S-O				si	irriguo	5 g. fa	18.5			18.5	1.519	15.1			no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	o516610466	P.21-5-2021
P11	S-O	8.8	7.7	1	no			18.5	1.1	5.5	14.1	1.989	13.6	1.95	13.5	no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	o516610466	P.21-5-2021
P12	S-O	11.3	10.5	1	no			18.9	0.8	4.73	14.37	1.108	12.6	2.21	12.5	no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	o516610466	P.21-5-2021
P13	S-O	10.8	10.1	1	no			18.9	0.7	4.7	14.9	1.429	12.7	1.424	12.6	no	si				P.21-5-2021
P14	S-O	6.5	5.95	1	si sommersa	irriguo	5 g. fa	17	0.55	3.7	13.85	2.18	14.4	2.17	14.4	no	si	Via Ronchi Inf.	Manferrari	o516610453	M.22-5-2021
P15	S-O	8.1	8.1	1.5	si	irriguo	10 g. fa	17.7	0	6.25	11.45	1.695	14	1.541	13.8	no	si	Via Ronchi Inf. n.2	Giuliana Galanti	3395684631	M.22-5-2021
P16	S-O	6.95	6.15	1.5	si esterna	irriguo	1 mese fa	17.7	0.8	6.25	12.25	2.3	12.9			no	si	Via Ronchi Inf. n.2	Giuliana Galanti	3395684631	M.22-5-2021
P17	N-O	6.8	5.8	1	si esterna	irriguo	2 anni fa	12.3	1	2.8	10.5	7.13	13.7	7.22	13.5	no	si	Via Marconi n.45/B	Demurtas Ignazio	3772086169	P.22-5-2021
P18	N-O	5	5	1.2	si esterna	irriguo	oggi	13.2	0	2.2	11	2.76	15.8	0.861	15.7	no	si	Via Canaletto n.21	Maccacferri Patrizia	3452139357	P.22-5-2021
P19	N-O	7.85	6.75	1.2	no	irriguo	10 anni fa	13.2	1.1	3.1	11.2	1.446	13.4	1.238	13.2	no	si	Via Canaletto n.21	Maccacferri Patrizia	3452139357	P.22-5-2021
P20	N-O	6	5.06	1	si	irriguo	ieri	12.8	0.94	2.33	11.41	1.366	14.5	1.381	14.4	no	si	Via Marconi n.6	Chiara Cavazza	3398105645	P.22-5-2021
P21	N-O	5.8	4.38	1.5	no	animali	secolo scorso	13.8	0.82	2.25	12.37	0.853	13.3	0.862	13.3	no	si	Via Cantarana n.11	Rizzi Lanfranco	Barbara 3382688644	P.22-5-2021
P22	N-O	5.95	5.95	1.2	si	irriguo	7 g. fa	13.8	0	2.2	11.6	3.07	15.1	2.57	15.1	no	si	Via Cantarana n.11	Rizzi Lanfranco	Barbara 3382688644	P.22-5-2021
P23	N-O	8.4	7.4	1	si sommersa	irriguo-animali-esce dai rubinetti	oggi	14.6	1	4	11.6	4.68	15.1	4.67	14.9	no	si	Via Canaletto n.31	Rizzi Renato	o516605883	P.22-5-2021
P24	N-O	96		0.15	si a 37m di profondità	irriguo	2 g. fa	14.4			14.4	0.984	16.8			no	si	Via Canaletto n.31	Rizzi Renato	o516605883	P.22-5-2021
P25	N-O	6.65	6.37	1	no	irriguo	10 anni fa?	12.3	0.28	1.95	10.63	1.236	14.8	1.245	14.8	no	si				M.23-5-2021
P26	N-O	6.65	5.75	1	no	irriguo	deocenni?	13.4	0.9	3.37	10.93	7.4	13.2	7.37	13.6	no	si				M.23-5-2021
P27	N-O	6.6	5.8	1.7	si sommersa	irriguo-animali	ieri	12.2	0.8	2.14	10.86	1.089	14	1.104	14.6	no	si	Via Marconi n.45/B	matteo Maiani	3478810969	M.23-5-2021
P28	N-O	6			si sommersa	irriguo		12.4			12.4	1.874				no	si	Via canaletto n.46		o516610482	P.23-5-2021
P29	N-O	6.65	5.65	1.5	si esterna	irriguo	ieri	13	1	3.25	10.75	1.756	13.9			no	si	Via Fiumicello n.11	Malaquti Fernanda	3474425488	P.23-5-2021
P30	N-O	5.3	6.9	1.5	si esterna	irriguo	ieri	14.3	-1	2.8	10.5			1.713	14.4	no	si	Via Canaletto n.17	CONDOMINIO		P.24-5-2021
P31	N-O	4.95	4.42	1	si esterna	irriguo	2 g. fa	13.2	0.53	3.05	10.68	1.011	15			no	si	Via savena Sup. n.1	Bacillieri Stefano	3289248692	M.25-5-2021
P32	N-O	6.3	6.3	3	si esterna	irriguo	2 g. fa	14.9	0	4.4	10.5	0.987	19			no	si	Via savena Sup. n.3A	Bacillieri Rita	3331769212	M.25-5-2021
P33	N-O	3.9	3.15	1.5	si esterna-interna	irriguo	2 g. fa	15.5	0.75	5.3	10.95	1.51	15			no	si	Via savena Sup. n.13	Landi Giuliana	3339470434	M.25-5-2021
P34	N-O	107		0.07	si esterna	irriguo	2 g. fa	12.2			12.2	0.906	15.9			no	si	Via Canaletto n.44	Fiorini valeria	3339470434	M.25-5-2021
P35	N-O	10.4	9.4	1.5	si esterna	irriguo	2 g. fa	16.5	1	3.7	13.8	0.229	20.5			no	si	Via Savena Sup. n.17	Fabbris Fabio	Nadia 3358250636	P.25-5-2021
P36	N-O	111		0.15	si	irriguo	1 anno	16.5			16.5	0.739	17.9			no	si	Via Savena Sup. n.17	Fabbris Fabio	Nadia 3358250637	P.25-5-2021
P37	N-O	3.2	8.3	1	si esterna	irriguo	15 g. fa	17.3	0.9	4.32	13.88	1.284	15.5			no	si	Via Savena Sup. n.47			P.25-5-2021
P38	N-O	6.05	6.05	1	si esterna	irriguo	2 g. fa	15	0	3.31	11.69	2.54	17.9			no	si	Via Maceri Sup. n.4	Parma Roberto	o51877133	P.25-5-2021
P39	S-E	5.7	4.85	1.2	si esterna	irriguo	oggi 5-10 quintali	17	0.85	2.7	15.15	1.324	20.4			no	si	Via luzzo n.3	Gherardi Rino	o51807087	M.26-5-2021
P40	S-E	7.6	6.75	1.2	si sommersa	irriguo	10-15 g. fa	16.6	0.85	5.53	11.92	2.16	16.6			no	si	Via luzzo n.4	3388697492		M.26-5-2021
P41	S-E	15	15	0.9	si esterna	irriguo	ieri pomeriggio	16.7	0		16.7	1.304	15			no	si	Via luzzo n.5	Giampaolo Difandi	3311195663	M.26-5-2021
P42	S-E	7.2	6.27	1	si esterna e sommersa	irriguo	2 g. fa	16.5	0.93	3.5	13.93	1.421	18.2			no	si	Via San Donato n. 56	Fontana Giorgio	o51807196	M.26-5-2021
P43	S-E	6.6	5.71	1	si esterna	irriguo	inverno scorso	15.3	0.89	3.33	12.86	2.03	13.9	1.86	14	no	si	Via Luzzo n.1	Mamolini Andrea	3892647297	M.26-5-2021
P44	S-E	8.1	8.1	1	si esterna	irriguo	ieri	14.3	0	2.6	11.7	3.58	18.5			no	si	Via Melo n.26	Pazzaglia Marino	3394737591	P.26-5-2021
P45	S-E	6	6	1	si esterna	irriguo	ieri	14.3	0	2	12.3	1.376	18.6			no	si	Via Melo n.20	Stanghelli Stefano	3356921212	P.26-5-2021
P46	S-E	6.8	6.8	1	si esterna	irriguo	3 g. fa	14.3	0	2.25	12.05	2.21	17.3			no	si	Via Melo n.18	Mondini Sandra	o51878093	P.26-5-2021
P47	S-E	12.4	12.4	1	si sommersa	irriguo	ieri	14.5	0	2.35	12.15	2.21	18.8			no	si	Via Melo n.16	Longhi Roberto	3393467165	P.26-5-2021
P48	N-O	8.65	7.9	1.5	si esterna	irriguo	ieri	14.3	0.75	4.1	10.95	1.474	16.3			no	si	Via Canaletto n.25	Tugnoli Gianluca	3935801884	P.26-5-2021

P49	S-E	7.5	7.5	1 si esterna	irriguo	15 g. fa	18.4	0	3.6	14.8	1.206	17			no	si	Via Melo n.2	Calzolari Ivano-Silvia	o51878250	P.26-5-2021
P50	S-E	8	7.13	1 si esterna	irriguo	4 g. fa	14.2	0.87	3.33	11.74	1.242	17.2			no	si	Via Melo 7/A	Chiellini Andrea	Mattia 3403694954	P.26-5-2021
P51	S-E	8.8	8.8	1.5 si esterna	irriguo-trattamenti	7 g. fa 20 quintali	14.9	0	2.13	12.77	1.468	17			no	si	Via Melo n.7	Bellei Giuseppe	3389530354	P.26-5-2021
P52	S-E	10.9	9.7	1 no			16.4	1.2	3.9	13.7	3.4	13.9			no	si				M.27-5-2021
P53	S-E	9	8	1.5 no			16	1	3.2	13.8	1.844	13.8	4.05	14	no	si				M.27-5-2021
P54	S-E	8.7	7.87	1 no			16.5	0.83	2.54	14.79	4.32	15			no	no				M.27-5-2021
P55	S-E	6.5	6	1 si			16.3	0.5		16.8	1.37	18.6			no	no				M.27-5-2021
P56	S-E	4.3	3.5	1 no			17.8	0.8	3.1	15.5	1.047	14.3			no	si	Via Luzzo n.20	Landi? Riccardo	3407747169	M.27-5-2021
P57	S-E	3.9	8.9	1 no			19	1	4.9	15.1	0.672	14.7			no	si				M.27-5-2021
P58	S-E	8.8	7.89	1 si esterna	irriguo-cani	questa mattina	17.9	0.91	4.5	14.31	1.623	15.9			no	si	Via Melo n.13	Marconi Fabio	Gabriella 3406658950	P.27-5-2021
P59	S-E	10	9.19	1 si	irriguo-cani	ieri sera	17.1	0.81	3.7	14.21	1.263	17.2			no	si	Via Savena Sup. 80	Fausta Panoaldi	3391636001	P.27-5-2021
P60	S-E	10.3	9.38	1.5 si sommersa	irriguo	1h fa	17.1	0.92	4.7	13.32	3.29	15.5			no	si	Via Savena Sup. 80	Fausta Panoaldi	3391636001	P.27-5-2021
P61	S-E	6.7	5.85	2 si sommersa	irriguo	fine febbraio?	19	0.85	5.12	14.73	1.186	16.3			no	si	AZIENDA TUGNOLI	Massimo Cesari	3391716652	M.28-5-2021
P62	S-E	17	17	0.15 non adesso	irriguo	gennaio?	18.9	0	5.35	13.55	6.35	14.5	3.82	15	no	si	AZIENDA TUGNOLI	Massimo Cesari	3391716652	P.1-6-2021
P63	S-E	32		0.15 si sommersa	irriguo	stamattina				0	1.025	16.1			no	si	AZIENDA TUGNOLI	Massimo Cesari	3391716652	M.28-5-2021
P64	S-E	5.6	5.6	1.5 si esterna	irrigua-animali	poco fa	15.2	0	4.3	10.9	2.34	16.4			si a parte	si	Via savena Sup. n. 72	Lorenzo Alessandro	34979036181	P.27-5-2021
P65	N-O	7.5	7.4	1 si esterna	irriguo	stamattina	14.4	0.1	1.5	13	2.41	18.7			no	si	Via Ronchi Vecchia n.10	Betti Ines	Monica 3405410185	P.27-5-2021
P66	S-O	7.9	7.08	1.1 no	irriguo	2-3 anni fa	13.9	0.82	1.4	13.32	0.236	15			no	si	Via Ronchi Inf. n.30	Donati Giancarlo	o5116605029	P.27-5-2021
P67	S-E	5.3	4.47	1 no	irriguo	anni fa	17	0.83	5.25	12.58					no	si				M.28-5-2021
P68	N-E	6.3	6.3	1 si esterna	irriguo	15-20 g. fa	13.3	0	3.35	9.95	1.301	16.1			no	si	Via Roma n.16	Lazzari Massimo	Gianna 3355261113	M.28-5-2021
P69	N-O	6.5	5.5	1 si sommersa	irriguo	poco fa	13.9	1	5	9.9	2.01	18			no	si	Via A. Degasperin n.7	Atti-Finarelli	Gualliero 3297333613	P.28-5-2021
P70	N-E	6.5	5.56	1 si sommersa	irriguo	2-3 g. fa	11.3	0.94	3.8	8.44	2.76	16.2			no	si	Via Cantalupo n.4	Andreghetto	Matteo 3886466302	P.28-5-2021
P71	N-E	6.6	5.85	2 si esterna	animali	poco fa	8.9	0.75	2.9	6.75	2.24	16			no	si	Via Cantalupo n.2-3?			P.28-5-2021
P72	N-E	7.5	7.33	1 si esterna	irriguo	6 g. fa	10.2	0.17	2.4	7.97	1.43	18			no	si	Via Cantalupo n.1	Manservigi Renesto	3286864575	P.28-5-2021
P73	S-E	60		0.1 si sommersa	irriguo	3 g. fa	19.1			19.1	0.923	18.6			no	si	Via Savena Sup. 72/E	Cantelli Daniele	3203660442	P.28-5-2021
P74	S-E	5.8	4.9	1 si sommersa	irriguo	1-2 anni fa	19.1	0.9	5.2	14.8	0.966	14.8			no	si	Via Savena Sup. 72/E	Cantelli Daniele	3203660442	P.28-5-2021
P75	N-E	5.25	4.55	1.2 si esterna	irriguo	ieri	14	0.7	3.8	11.1	2.16	16.8			no	si	Via Zena n.2	Andrea Soverini	3288138848	P.28-5-2021
P76	S-E	6.05	5.27	1.2 si esterna	irriguo-animali	stamattina	11.5	0.78	3.1	9.18	1.23	15.2			no	si	Via Pedagna n.5	Pellegrino Severio	339101201	P.29-5-2021
P77	S-E	6	5.17	1 si sommersa	irriguo	ieri sera	11.7	0.83	3.6	8.93	1.151	15			no	si	Via Pedagna n.12	Frassinetti Roberto	3471705525	P.29-5-2021
P78	S-E	8	7.03	0.75 no	irriguo	anni fa	12	0.97	2.5	10.47	2.8	18.7			no	no				P.29-5-2021
P79	N-E	6.5		si sommersa	irriguo	7 g. fa				0	0.738	17.8			no	si	Via Zena n.16	Scarano Massimiliano	3479265612	P.29-5-2021
P80	N-E	6.6	5.62	1 si esterna	irriguo-animali	stamattina	12.8	0.98	3.35	10.43	3.07	16.8			no	si	Via Palio n.3	Roberto Rizzi	3336482378	M.30-5-2021
P81	N-E	4.8	3.89	1 si sommersa	riempire stagno anatre	7 g. fa	11.7	0.91	3.34	9.27	2.8	16.7			no	no				M.30-5-2021
P82	N-E	9.25	8.15	1 no	irriguo	3 anni fa	12.7	1.1	3.75	10.05	3.41	14.4			no	si	Via Palio n.27	Pirazzini Erminia	3497107285	M.30-5-2021
P83	N-E	12	11.3	2 si sommersa	irriguo	ieri	13.7	0.7	4.6	9.8	3.25	15.4			no	no				M.30-5-2021
P84	S-E	8.5	7.66	0.9 no			14.4	0.84	4.45	10.79	8.79	13.9	2.16	13.2	no	no				
P85	N-E	10.3	9.57	0.9			12	0.73	3.27	9.46	2.18	12.7	2.17	12.9	no	no				
P86	N-E	9.3	8.7	0.9			12	0.6	3.17	9.43	2.95	14	2.96	13.9	no	no				
P87	N-E	6.8	5.9	0.9			10.5	0.9	3.23	8.17	2.64	13.1	2.65	13.1	no	no				
P88	N-E	5.3	4.52	1			11	0.78	3.02	8.76	1.094	14.8	1.093	14.7	no	no				
P89	N-E	7.1	6.1	1			10.2	1	2.98	8.22	2.54	12.9	2.55	13	no	no				
P90	N-E	8.5	7.4	0.9			11.6	1.1	3.39	9.31	2.8	14.2	2.81	14.1	no	no				
P91	N-E	10.8	9.8	1			11.3	1	3.02	9.28	5.24	14.6	5.24	14.5	no	no				
P21	Centrale	6.55	6.29		Piezometro		11.7	0.26	1.43	10.53	3.55	13.2	2.84	13.1	no	no				
P22	Centrale	6.8	6.26		Piezometro		11.6	0.54	1.63	10.51	1.863	15.9	1.901	15.5	no	no				
P22p	Centrale	19.3	19.09		Piezometro		11.6	0.21	1.68	10.13	1.559	16.2	1.504	15.7	no	no				
P23	Centrale	6.7	6.16		Piezometro		11.6	0.54	1.84	10.3	5.48	15.2	8.76	15.2	no	no				
P23p	Centrale	19	18.63		Piezometro		11.6	0.37	1.76	10.21	0.917	14.9	0.915	15.1	no	no				
P24	Centrale	6.8	6.28		Piezometro		12.5	0.52	2.23	10.79	7.59	15.2	7.32	14.9	no	no				
P24p	Centrale	17.9	17.61		Piezometro		12.5	0.29	2.32	10.47	1.603	15.9	1.436	15.1	no	no				

APPENDICE B

Tabella dei dati della seconda campagna di indagine.

Nome	Luogo	Profondità da B.P.	Profondità da p.c.	Diametro m	Armato	Tipo di Utilizzo	Ultimo Utilizzo	Quota p.c.	Altezza Boccaforo	Soggiacenza da B.P.	Livello Piezometrico m s.l.m.	Cond. 0,5 m sotto pelo dell'Acqua µS/cm	Temperatura 0,5 m sotto pelo dell'acqua	Cond. 0,5 m sopra il fondo µS/cm	Temperatura 0,5 m sopra il fondo	Serbatoio	Prelievo Campioni	Indirizzo	Proprietario	Recapito	Data
P1	S-O	7.9	7.05	0.8	no			18.4	0.85	4.7	14.55	3.153	15.9	3.79	14.5	no	si	via armarolo n.2	Stefano Zobbi	3386098318	04/10/2021
P2	S-O	98	98	0.15	si	irriguo	stamattina	16.4	0		16.4			0.636	17.5	no	si	via armarolo	trestini marco	3356752790	04/10/2021
P3	S-O	16	15	1	no			16.4	1	3.6	13.8	1.854	17	1.914	16.2	no	si	via armarolo			04/10/2021
P4	S-O	19	18	1	si	irriguo	ieri mattina	15.2	1	3.3	12.9	0.165	19	0.482	16.2	si	2001 scollegato	via pilastrino n.8/B	Bonini Roberto	3496114553	05/10/2021
P5	S-O	7	7	1	si	irriguo	ieri	15.4	0	2.7	12.7	0.778	18.7	1.23	15.9	no	si	via pilastrino n.4	Martin Gianni	3355340760	04/10/2021
P6	S-O	8	7.2	1	si	irriguo	10-15 giorni	15.2	0.8	3	13	1.845	17.3	1.807	15.4	no	si	Via Ronchi Sup. n.18	Vanti Mauro_Tiziano	3396144457	07/10/2021
P7	S-O	7.23	6.38	1	si	irriguo	ieri	15.9	0.85	3.6	13.15	0.56	18.7	0.77	16.6	no	si	Via Ronchi Sup. n.20	Bellamio Giorgio	0516605447	07/10/2021
P8	S-O	16.5		0.8	si	irriguo	ieri	14.2	0	2.4	11.8	1.45	20.4	1.465	15.8	no	si	Via Ronchi Inf. n.46	Stanghellini Graziella	0516605457	05/10/2021
P9	S-O	9.5	8.25	0.8	no			18.5	1.25	5.45	14.3	2.75	17.5	2.53	15.1	no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	0516610466	04/10/2021
P10	S-O	8.7	7.9		si	irriguo		18.5	0.8	5.1	14.2	1.645	17.3	1.902	14.9	no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	0516610466	04/10/2021
P11	S-O	8.8	7.7	1	no			18.5	1.1	5.2	14.4	1.966	16	2.09	14.4	no	si	Via savena Sup. n.101	Federici Patrizia	0516610466	04/10/2021
P12	S-O	11.3	10.5	1	no			18.9	0.8	5.4	14.3	2.09	15.5	2.25	13.4	no					04/10/2021
P13	S-O	10.8	10.1	1	no			18.9	0.7	5.4	14.2	1.44	15.5	1.776	13.5	no					04/10/2021
P14	S-O	6.5	5.95	1	si	sommei irriguo	ieri sera	17	0.55	4.35	13.2	1.37	16.6	1.705	15.3	no	si	Via Ronchi Inf.	Manferrari	0516610453-33	08/10/2021
P15	S-O	8.1	8.1	1.5	si	irriguo	3-4 giorni fa	17.7	0	7.5	10.2	2.03	18.6	2.46	16.1	no	si	Via Ronchi Inf. n.2	Giuliana Galanti	3395684631	04/10/2021
P16	S-O	6.95	6.15	1.5	si	esterna irriguo		17.7	0.8	5.1	13.4	2.07	18.8	2.96	15.9	no	si	Via Ronchi Inf. n.2	Giuliana Galanti	3395684631	04/10/2021
P17	N-O	6.8	5.8	1	si	esterna irriguo	anni fa	12.3	1	3.1	10.2	4.92	19.2	7.38	16.3	no	si	Via Marconi n.45/B	Demurtas Ignazio	3772086169	04/10/2021
P18	N-O	5	5	1.2	si	esterna irriguo	oggi	13.2	0	2.6	10.6	2.76	19	3.03	16.8	no	si	Via Canaletto n.21	Maccaferri Patrizia	3452139357	04/10/2021
P19	N-O	7.85	6.75	1.2	no	irriguo	settimana scorsa	13.2	1.1	3.6	10.7	0.542	19.2	2.94	15.1	no	si	Via Canaletto n.21	Maccaferri Patrizia	3452139357	04/10/2021
P20	N-O	6	5.06	1	si	irriguo	3 giorni fa	12.8	0.94	2.7	11.04	1.4	19.1	1.44	16.2	no	si	Via Marconi n.6	Chiara Cavazza	3398105645	04/10/2021
P21	N-O	5.8	4.98	1.5	no	animali		13.8	0.82	2.5	12.12	0.447	19.3	0.637	17.2	no	si	Via Cantarana n.11	Rizzi Lanfranco	Barbara 338266	04/10/2021
P22	N-O	5.95	5.95	1.2	si	irriguo-animali-irriguo-animali-	2 settimane	13.8	0	2.8	11	3.04	21.5	3.08	17.4	no	si	Via Cantarana n.11	Rizzi Lanfranco	Barbara 338266	04/10/2021
P23	N-O	8.4	7.4	1	si	sommei esce dai rubinetti	oggi	14.6	1	4.5	11.1	3.98	18.7	4.88	15.4	no	si	Via Canaletto n.31	Rizzi Renato	0516605883	04/10/2021
P24	N-O	96		0.15	si	a 37m c irriguo		14.4			14.4			0.945	16.1	no	si	Via Canaletto n.31	Rizzi Renato	0516605883	04/10/2021
P25	N-O	6.65	6.37	1	no?	irriguo?		12.3	0.28	2.3	10.28	1.161	19.3	1.306	16.4	no					04/10/2021
P26	N-O	6.65	5.75	1	no	irriguo		13.4	0.9	3.75	10.55	7.81	18.2	8.02	16	no					04/10/2021
P27	N-O	6.6	5.8	1.7	si	sommei irriguo-animali	1 mese fa	12.2	0.8	2.3	10.7	1.129	17.3	1.069	15.4	no	si	Via Marconi n.45/B	matteo Maiani	3478810969	04/10/2021
P29	N-O	6.65	5.65	1.5	si	esterna irriguo	2 settimane	13	1	3.4	10.6	0.471	18.8	0.655	16.6	no	si	Via Fiumicello n.11	Malaguti Fernanda	3474425488	05/10/2021
P30	N-O	5.9	6.9	1.5	si	esterna irriguo	2 settimane	14.3	-1	2.55	10.75	0.82	19.9	1.636	16.3	no	si	Via Canaletto n.17	CONDOMINIO		05/10/2021
P31	N-O	4.95	4.42	1	si	esterna irriguo	3 giorni fa	13.2	0.53	3.5	10.23	0.926	18	0.976	17.4	no	si	Via savena Sup. n.1	Bacillieri Stefano	3289248692	05/10/2021
P32	N-O	6.3	6.3	3	si	esterna irriguo	3 giorni fa	14.9	0	4.9	10	0.829	17	1.042	15.9	no	si	Via savena Sup. n.3A	Bacillieri Rita	3331769212	05/10/2021
P33	N-O	9.9	9.15	1.5	si	esterna irriguo	5-6 giorni fa	15.5	0.75	5.05	11.2	1.496	14.9	2.42	14.3	no	si	Via savena Sup. n.13	Landi Giuliana	3331329544	05/10/2021
P34	N-O	107		0.07	si	esterna irriguo	ieri	12.2			12.2			0.93	17	no	si	Via Canaletto n.44	Fiorini valerio	3339470434	05/10/2021
P35	N-O	10.4	9.4	1.5	si	esterna irriguo	ieri	16.5	1	4.9	12.6	0.137	15.3	0.425	14.6	no	si	Via Savena Sup. n.17	Fabbris Fabio	Nadia 33582506	04/10/2021
P36	N-O	111		0.15	si	irriguo	settimana scorsa	16.5			16.5			0.773	20.3	no	si	Via Savena Sup. n.17	Fabbris Fabio	Nadia 33582506	04/10/2021

