

Studio idrogeochimico delle acque sotterranee delle sorgenti della Valle della Caffarella

Rapporto sulle attività svolte

Giugno 2023



Studio idrogeochimico delle acque sotterranee delle sorgenti della Valle della Caffarella

Rapporto sulle attività svolte

A cura di: *Stefano Ghergo*

Hanno partecipato alle attività di campionamento, analisi ed elaborazione dei dati:

S. Ghergo, D. Parrone, M. Melita, E. Preziosi, S. Amalfitano

Ringraziamo per la preziosa collaborazione il dott. Fabrizio Piccari del settore Tecnico Ambientale del Parco Regionale dell'Appia Antica, il guardiaparco dott. Giorgio Della Rosa e tutto il personale che ha reso possibile l'accesso ai siti di indagine.

Premessa

Il Parco Regionale dell'Appia Antica è soggetto promotore e segreteria tecnica del processo di Contratto di Fiume Almona e, come tale, ha ottenuto il finanziamento a sostegno al processo per la sottoscrizione dei contratti di fiume – Det. G08354 del 19/6/2019 - BURL 50 del 20/06/2019, concesso dalla Regione Lazio con Determinazione del 26/02/2020 n. G01989, CUP F85G19000140002.

Nell'ambito di tale Contratto ed in particolare di quanto previsto per la fase B – Analisi Conoscitiva Integrata, in data 15 novembre 2021, il Parco Regionale dell'Appia Antica e l'Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche firmano una Convenzione finalizzata all'esecuzione di uno studio idrogeochimico del sistema delle acque, con particolare riferimento alle acque sotterranee delle sorgenti della Valle della Caffarella.

Nei mesi di novembre – dicembre 2021, personale dell'IRSA e personale del Parco Regionale, tramite riunioni organizzative e sopralluoghi operativi, hanno concordato e definito le strategie di intervento e la localizzazione di massima dei punti d'acqua da includere nello studio.

La prima campagna di raccolta di campioni di acqua sotterranea si è svolta in due giornate: 18 e 27 gennaio 2022; la seconda campagna si è svolta fra il 4 ed il 5 ottobre 2022 ed alcuni ulteriori campionamenti su una rete ridotta di monitoraggio sono stati condotti il 22 maggio 2023.

Un primo *data report* relativo alle attività della prima campagna è stato inviato agli Uffici del Parco Regionale il 10 febbraio del 2022. Le prime risultanze analitiche e le relative elaborazioni dei dati raccolti, sono state presentate, in data 11 luglio 2022, nel corso dell'incontro pubblico "Verso il Contratto di Fiume Almona" presso la sede del Parco Regionale dell'Appia Antica

Il 20 dicembre 2022 l'Istituto di Ricerca sulle Acque, in seguito all'invito del Parco Regionale (prot. 0003568 del 5/12/22) ha confermato la propria adesione al Contratto di Fiume Almona.



Nelle pagine seguenti sono riportate la descrizione delle attività svolte nell'ambito delle campagne realizzate, i risultati analitici ottenuti e le loro elaborazioni.

1. Area di indagine

La Valle della Caffarella rappresenta la porzione più settentrionale del Parco Regionale dell'Appia Antica (Fig. 1) ed è attraversata dal Fiume Almone a cui si affiancano, sia in riva destra che sinistra, due marrane che raccolgono gli apporti delle numerose sorgenti presenti nei due fianchi della valle.

Il fondovalle è costituito dai depositi alluvionali dell'Almone che raggiungono uno spessore anche di qualche decina di metri, mentre lungo i fianchi affiorano i terreni vulcanici dell'apparato dei Colli Albani e, in maniera molto meno estesa, dei Monti Sabatini.

In figura 2 è riportata la geologia dell'area tratta dalla Carta Geologica 1:25.000 della Regione Lazio. Nella carta sono riportati, per riferimento, i punti d'acqua

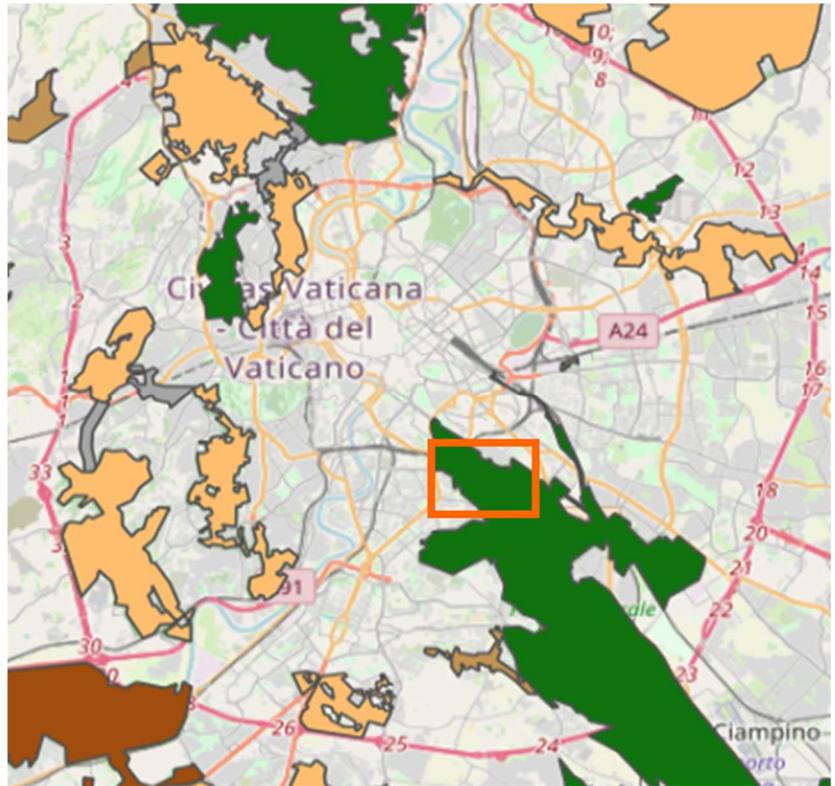


Figura 1. Il Parco Regionale dell'Appia Antica e l'area di indagine. Regione Lazio: Carta delle aree naturali protette ^[a]

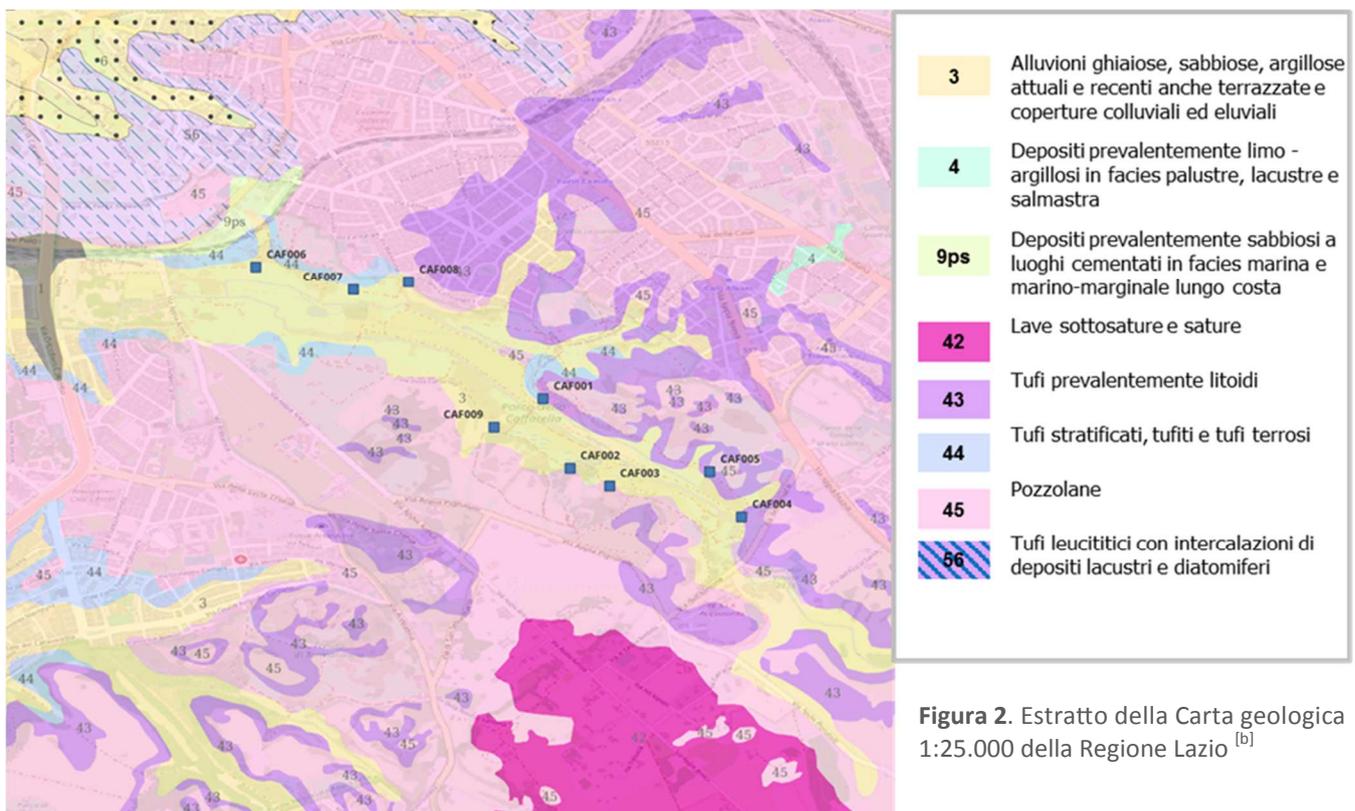


Figura 2. Estratto della Carta geologica 1:25.000 della Regione Lazio ^[b]

^[a] https://geoportale.regione.lazio.it/layers/geosdiownr:geonode:aree_naturali_protette1

^[b] https://geoportale.regione.lazio.it/layers/geosdiownr:geonode:carta_geologica_wgs84

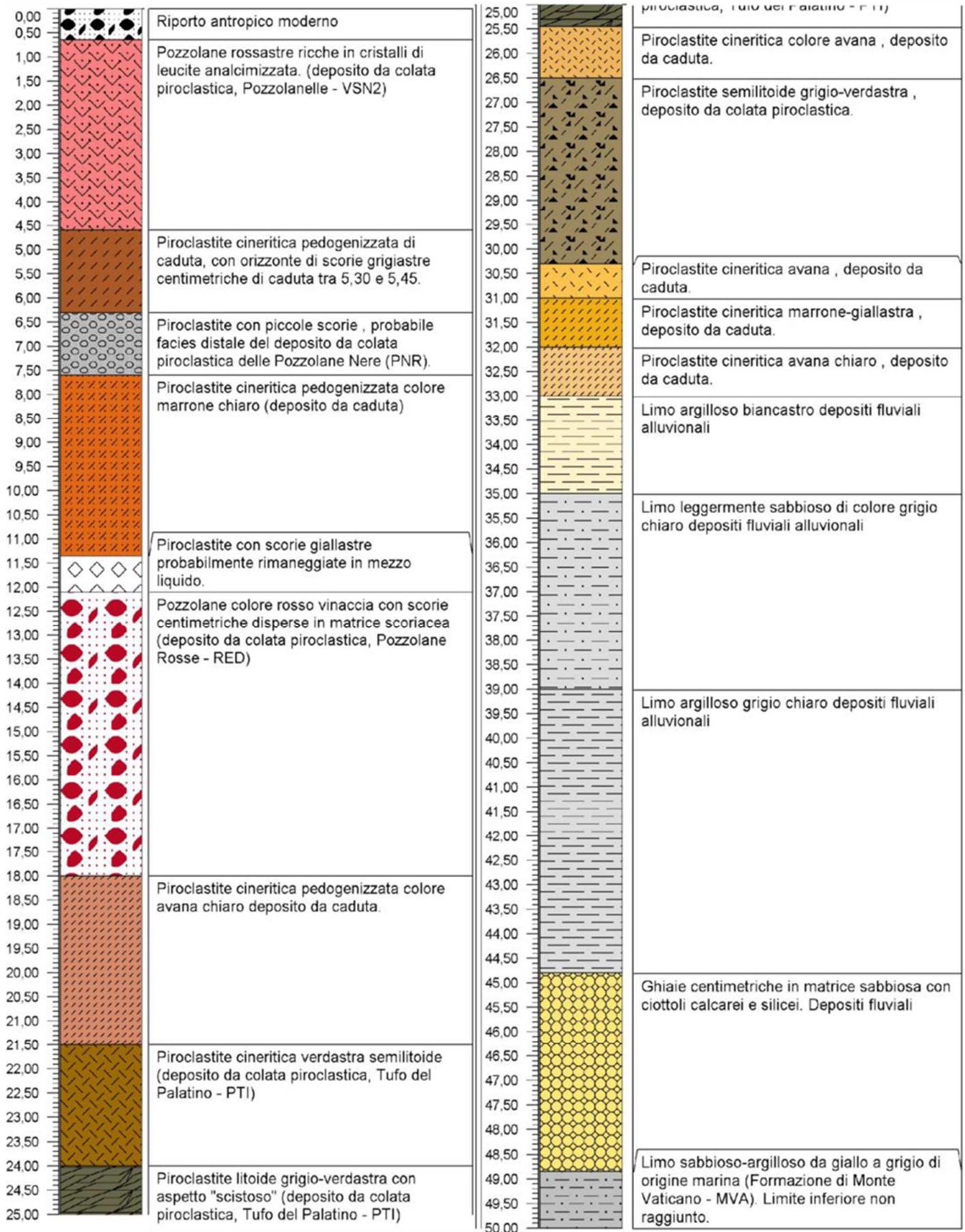


Figura 3. Log stratigrafico perforazione S1. Posizione: 12°31' 18.58"N, 41°52' 5.02"E. (Redattore Dott.Geol. Carlo Rosa)

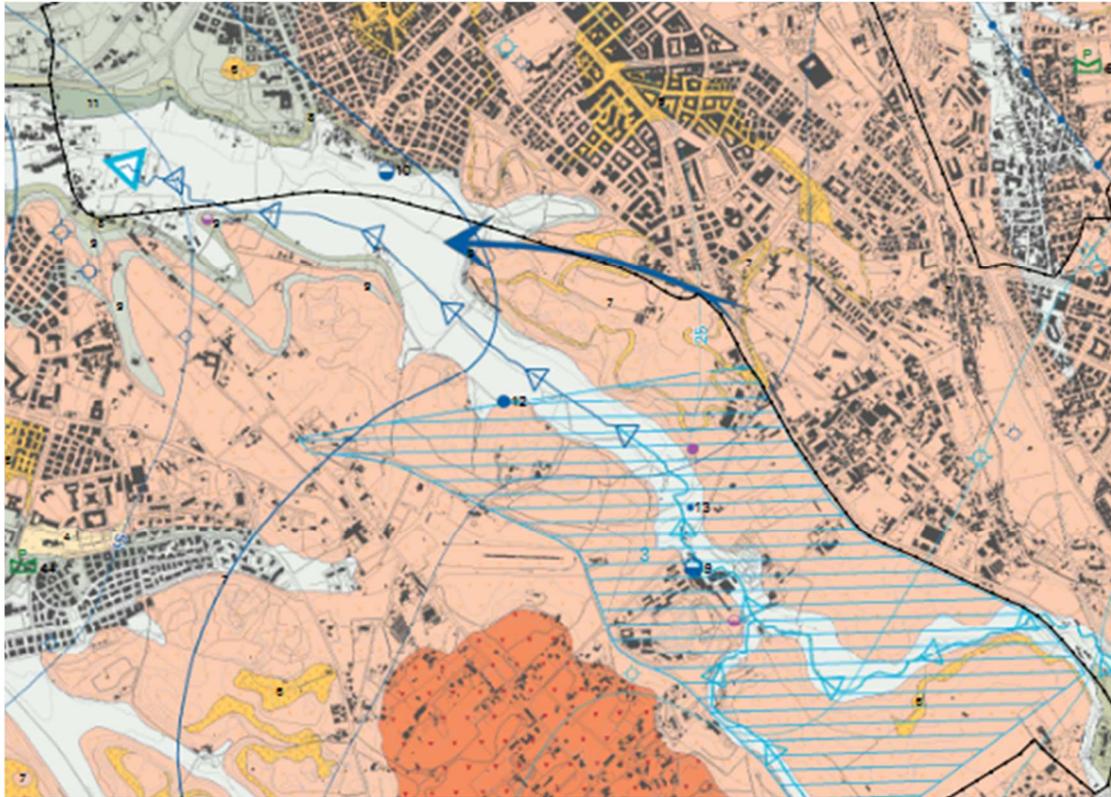


Figura 4. Estratto dalla Carta idrogeologica del territorio di Roma Capitale

campionati nel corso dell'indagine. Nella figura 3 (estratta da un rapporto della Fondazione Amici di Italia Fenice) è riportato un log stratigrafico di una perforazione, realizzata dalla Tecnogeo s.n.c. nei mesi di marzo e aprile 2023, sul fianco est della Valle della Caffarella a circa 500 m a nord del Casale della Vaccareccia. I dati mostrano uno spessore di circa 30 m di terreni vulcanici, partendo dalle Pozzolanelle della formazione di Villa Senni fino ad attraversare la Formazione di S. Cecilia, che poggiano su sedimenti fluviali al di sotto dei quali sono presenti, ad una profondità di circa 49 m, i limi sabbiosi della Formazione di Monte Vaticano.

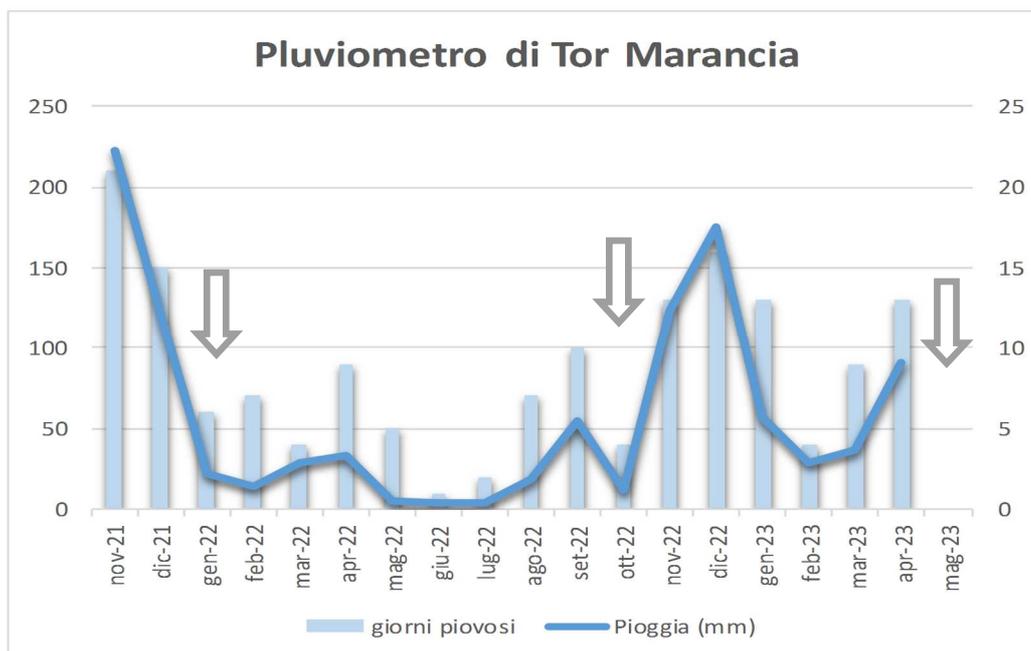


Figura 5. L'andamento delle precipitazioni registrate nel periodo di indagine dal pluviometro di Tor Marancia. Le frecce indicano le date dei campionamenti delle acque sotterranee.

Dal punto di vista idrogeologico, la maggior parte dei terreni vulcanici in affioramento possono essere considerati come molto permeabili (vedi carta idrogeologica di fig. 4, stralcio della Carta idrogeologica 1:20.000 del territorio di Roma Capitale ^[c]). Il fiume Almona è il recapito generale della falda contenuta in tali terreni, sia sotto forma di sorgente lineare, sia sotto forma di piccole sorgenti poste al contatto fra le vulcaniti e i terreni alluvionali a poca distanza dall'asta fluviale. Nel settore nord occidentale dell'area i terreni affioranti (Formazione di S. Cecilia e Vulcaniti Sabatine) sono caratterizzati da permeabilità inferiori. Da evidenziare inoltre la presenza, a circa un chilometro a sud dei punti CAF002 e CAF003, della parte terminale della colata lavica di Capo di Bove che costituisce una zona preferenziale per la circolazione della falda delle vulcaniti.

In figura 5 è riportato l'andamento delle precipitazioni registrate nel periodo di indagine dal pluviometro di Tor Marancia. I dati sono tratti dal portale *Open Data* della Regione Lazio (Dato Pluviometrico Giornaliero ^[d]). Con un totale di 492,8 mm di pioggia, l'anno 2022 può essere considerato come secco.

In figura 6 è riportato uno stralcio della "Carta dell'uso del suolo e delle fisionomie vegetazionali del territorio comunale" alla scala 1:20.000 ^[e].

Per quanto riguarda gli impatti antropici che insistono sull'area, le tipologie produttive presenti nell'area indagata sono quelle dell'allevamento ovino e bovino per la produzione di carne e latte, che spesso viene trasformato in formaggi direttamente in azienda e quella della produzione di ortaggi.

Il piano del Parco riporta la presenza di 9 aziende per l'allevamento di ovini o bovini per un totale di 614 ettari ed un totale di 15 aziende (circa 500 ha) per la produzione di cereali e ortaggi.

Fra gli impatti antropici non possiamo infine trascurare quelli legati alla fruizione del Parco da parte dei cittadini e quelli legati alla vicinanza dell'area di indagine con le zone ad alta densità abitativa dei quartieri limitrofi.

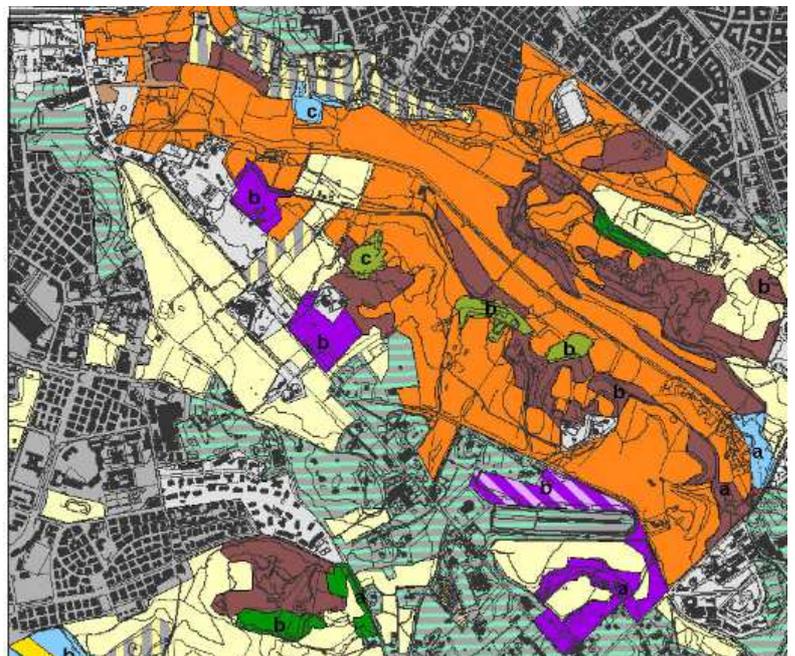


Figura 6. Carta dell'uso del suolo e delle fisionomie vegetazionali del territorio comunale (PRG di Roma Capitale). In arancione: pascoli e praterie; in giallo chiaro: seminativi non irrigui; bande verticali giallo-grigie: colture miste temporanee e permanenti; marrone: cespuglieti; viola: rimboschimenti; verde chiaro: querceti; celeste: boschi ripariali; bande orizzontali grigio-verdi: zone verdi artificiali

^[c] http://www.urbanistica.comune.roma.it/images/prg/ges-2020-G9_3_06.pdf

^[d] <https://dati.lazio.it/catalog/dataset/serie-storica-dato-pluviometrico>

^[e] http://www.urbanistica.comune.roma.it/images/uo_urban/prg_vigente/prg_g9_7_06.pdf

2. Metodologie di campionamento e analisi

Sulla base di quanto previsto dalla Convezione, a valle di riunioni operative e sopralluoghi, è stato individuato nel territorio della Valle della Caffarella un totale di nove sorgenti di cui tre localizzate al fianco sinistro del Fiume Almone, cinque che confluiscono nella cosiddetta Marrana destra e una direttamente in comunicazione con il lato destro del fiume.

A seguito delle risultanze della prima campagna, a causa delle cattive condizioni del sistema di captazione, uno dei punti d'acqua è stato escluso dalla rete di monitoraggio.

1.1 Raccolta dei campioni

Le modalità di campionamento delle acque sotterranee utilizzate nella campagna fanno riferimento al protocollo messo a punto dall'IRSA (Preziosi et al. ^[f]), adattato per le esigenze specifiche del presente studio e che può essere così schematizzato:

- Censimento del punto d'acqua e raccolta informazioni *in situ*;
- Misura in campo dei parametri chimico-fisici (pH, ORP, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, temperatura) tramite sonda multiparametrica *Aquaread AP-2000*;
- Prelievo delle aliquote destinate all'analisi della componente inorganica tramite contenitori in polietilene in precedenza condizionati con HNO₃. Al fine di garantire la stabilità e la inalterabilità degli analiti nell'intervallo di tempo che intercorre tra il prelievo e l'analisi, i campioni sono stati filtrati immediatamente dopo il prelievo con filtri in policarbonato da 0,4 µm precedentemente trattati con HNO₃
- Prelievo delle aliquote di campione *tal quale* per le analisi batteriologiche
- Acidificazione dell'aliquota destinata all'analisi dei metalli in tracce con HNO₃ a pH<2 immediatamente dopo la filtrazione in campo
- Analisi spettrofotometriche in campo per i parametri particolarmente sensibili agli effetti dell'ossigeno atmosferico: nitriti, solfuri (solamente prima campagna), ione ammonio.

1.2 Metodologie analitiche adottate

Cromatografia Ionica e Alcalimetria

Analisi effettuata mediante cromatografo ionico *Thermo Scientific Aquion* per la determinazione di Cloruri, Fluoruri, Bromuri, Nitrati, Nitriti, Solfati e Fosfati, e titolazione con HCl eseguita con titolatore automatico *TitraLab AT1000* della HACH per l'analisi dei bicarbonati totali (e carbonati, qualora presenti). Queste determinazioni, condotte sulle aliquote filtrate, sono state effettuate entro le 24 ore successive al campionamento, al fine di evitare variazioni significative degli analiti considerati.

Spettrofotometria UV-Vis *in situ*

L'analisi dei composti metastabili (NH₄⁺, NO₂⁻, S²⁻) è stata effettuata in campo, tramite spettrofotometro *HACH DR1900* su campioni filtrati a 0.4 µm.

^[f] Preziosi E., Ghergo S., Frollini E., Parrone D. (2017) – Buone pratiche per il campionamento delle acque sotterranee: proposta di un protocollo. *Notiziario dei metodi analitici IRSA-CNR*, vol. 1, maggio 2017, pp. 23-36

Determinazione spettrofotometrica dell'azoto ammoniacale con il metodo dell'indofenolo: Gli ioni di ammonio reagiscono (a pH di 12,6) con ioni ipoclorito (questi creati in ambiente alcalino per idrolisi di ioni dicloroisocianurico) e ioni salicilato in presenza di nitroprussiato sodico come catalizzatore, per ottenere il blu indofenolo, misurabile spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 690 nm. La colorazione visibile, in realtà, risulta verde poiché il complesso colorante blu è percepito in associazione con la colorazione gialla causata dall'eccesso di sodio nitroprussiato. Il campo di misura è compreso tra 0.02 e 2.5 mg/L di NH_4^+ .

Determinazione spettrofotometrica dei nitriti con il metodo della diazotazione: I nitriti reagiscono in soluzione acida con ammine aromatiche primarie formando sali di diazonio. Questi formano con complessi aromatici, contenenti un gruppo ammino o idrossilico, coloranti azoici intensamente colorati. La misura spettrofotometrica è effettuata alla lunghezza d'onda di 515 nm. L'intervallo di misura è compreso tra 0.05 e 2.00 mg/L di NO_2^- .

Determinazione spettrofotometrica dei solfuri con il metodo Dimetil-p-fenilendiammina: la dimetil-p-fenilendiammina forma con l'idrogeno solforato un componente intermedio che si trasforma in blu di "leuco". Questo viene poi ossidato con ioni ferrici in blu di metilene, misurabile spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 666 nm. Il campo di misura è compreso tra 0.1 e 2.0 mg/L di S^{2-} .

Spettroscopia di emissione atomica al plasma (ICP-OES)

Analisi effettuata mediante spettrometro di emissione ottica simultaneo con sorgente al plasma ad accoppiamento induttivo Agilent 5800, con lettura radiale per l'analisi dei componenti maggiori (sodio, potassio calcio, magnesio e silicio) e assiale per la determinazione degli elementi minori e in traccia (Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr totale, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sb, Sr, Tl, V, Zn). Le analisi, condotte sulle aliquote filtrate e stabilizzate con HNO_3 all'1%, sono state effettuate entro le 2 settimane successive al campionamento.

Caratterizzazione delle comunità microbiche mediante citometria a flusso

La concentrazione di cellule microbiche è stata determinata nei campioni di acqua il citometro a flusso Apogee A50-micro (Apogee Flow System, UK), nella stessa giornata del prelievo. Seguendo i protocolli più diffusi per la quantificazione dei microorganismi acquatici, i campioni sono stati fissati in formalina (conc. finale 2%) e marcati con SYBR Green I (1:10000, conc. finale; Molecular Probes). I segnali di *scatter* (*forward* e *side scatter*) e di fluorescenza verde sono stati utilizzati per l'identificazione e quantificazione di microrganismi in singola cellula e del particolato in sospensione. In base al segnale di fluorescenza è stato possibile identificare due sottogruppi cellulari caratterizzati da alto e basso contenuto di acidi nucleici, rispettivamente cellule HNA e LNA. Una soluzione di biglie fluorescenti da 0.97 μm di diametro a concentrazione nota (10 μL , $\sim 10^6$ biglie/mL; Polyscience) è stata utilizzata inizialmente per controllare e regolare le impostazioni strumentali. Per escludere il rumore sistemico è stata impostata una soglia di 10 unità di fluorescenza sul canale verde. L'acquisizione e l'elaborazione dei dati, in scala logaritmica, sono state effettuate con il programma Apogee Histogram 2.06 (Amalfitano et al. ^[6]).

Analisi degli indicatori di contaminazione fecale

Per la stima dell'abbondanza cellulare dei coliformi totali ed *Escherichia coli* è stato utilizzato il test Coli-

^[6] Amalfitano, S., Del Bon, A., Zoppini, A., Ghergo, S., Fazi, S., Parrone, D., ... & Preziosi, E. (2014). Groundwater geochemistry and microbial community structure in the aquifer transition from volcanic to alluvial areas. *Water Research*, 65, 384-394

lert®18, seguendo le procedure standard per l'analisi microbiologica delle acque. Un'aliquota di campione tal quale (100 mL) è stata raccolta in contenitore sterile e analizzata entro 6 ore dal prelievo. Il campione è stato incubato a 37°C, in presenza del substrato di crescita 4-metil-umbelliferil- B-D- glucuronide, in una piastra Quanti-Tray/2000 per 24 ore. I pozzetti positivi (gialli per i Coliformi totali e fluorescenti alla luce UV per *E. coli*) sono stati contati e riferiti alle tabelle Quanti-Tray 2000 fornite dal produttore per la stima del numero di cellule espresso come *Most Probable Number*/100 mL (MPN/100 mL).

Analisi delle proprietà funzionali microbiche

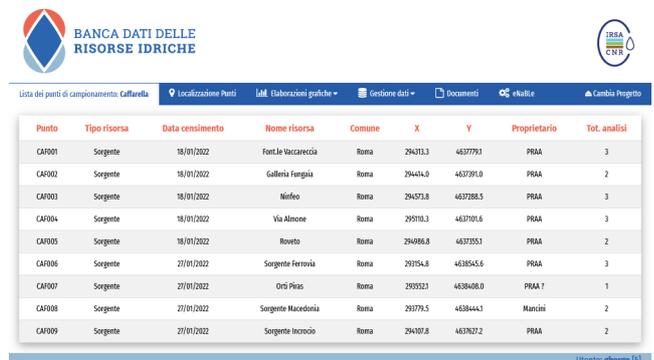
Per determinare le proprietà delle comunità microbiche residenti sono stati misurati il potenziale metabolico, la diversità funzionale e l'attività respiratoria.

Il potenziale metabolico microbico e la diversità funzionale microbica sono stati analizzati mediante il test BIOLOG™ EcoPlates. Questo saggio permette di rilevare il potenziale metabolico degradativo delle comunità microbiche nei confronti di substrati organici modello appartenenti a diverse classi chimiche e di diversa complessità strutturale. Le sostanze fornite sono marcate con il colorante tetrazolio. In presenza di attività degradativa, avviene la riduzione del tetrazolio in formazano. L'intensità di colore che si sviluppa nei pozzetti, proporzionale all'attività degradativa, è rilevata attraverso la misurazione dell'assorbanza a 590 nm dopo 24 ore di incubazione. Calcolando l'attività metabolica media svolta su ciascuno dei 31 composti organici forniti è possibile stimare il potenziale metabolico microbico espresso nel campione, il profilo metabolico e la diversità funzionale stimata tramite l'applicazione dell'indice di diversità S di Shannon-Wiener (Melita et al. 2019^[h])

L'attività respiratoria microbica è stata misurata mediante il test BIOLOG™ MT2 e fornisce indicazioni sulla attività di mineralizzazione della sostanza organica presente nel campione. L'attività delle comunità presenti nel campione naturale porta alla riduzione del colorante tetrazolio in formazano. L'intensità del colore sviluppato viene misurata mediante spettrofotometria (590nm) dopo 24h di incubazione (Melita et al.^[h]).

Banca dati georeferenziata delle risultanze analitiche

I dati relativi ai siti di campionamento e alle relative analisi sono stati organizzati in una banca dati georeferenziata accessibile via web specificatamente progettata per la gestione dei dati relativi alle acque sotterranee. Il sistema, con architettura *client/server*, è composto da una banca dati gestita attraverso un RDBMS (MariaDB^[i]) e procedure di gestione, ricerca ed elaborazione dei dati implementate utilizzando PHP^[j] come linguaggio di programmazione *server side*. L'accesso al sito è riservato ai soli utenti autorizzati.



Punto	Tipo risorsa	Data censimento	Nome risorsa	Comune	X	Y	Proprietario	Tot. analisi
CAF001	Sorgente	18/01/2022	Foss. Le Vaccareccia	Roma	294313.3	4637793.1	PRAA	3
CAF002	Sorgente	18/01/2022	Galleria Fungia	Roma	294414.9	4637991.0	PRAA	2
CAF003	Sorgente	18/01/2022	Nirfeo	Roma	294373.8	4637288.5	PRAA	3
CAF004	Sorgente	18/01/2022	Via Albone	Roma	295193.3	4637921.6	PRAA	3
CAF005	Sorgente	18/01/2022	Roveto	Roma	294866.8	4637551.1	PRAA	2
CAF006	Sorgente	27/01/2022	Sorgente Ferrovie	Roma	293354.8	4638545.6	PRAA	3
CAF007	Sorgente	27/01/2022	Orti Pias	Roma	293522.1	4638408.0	PRAA ?	1
CAF008	Sorgente	27/01/2022	Sorgente Macedonia	Roma	293779.5	4638444.1	Mancini	2
CAF009	Sorgente	27/01/2022	Sorgente Incrocio	Roma	294107.8	4637627.2	PRAA	2

Figura 7. Banca dati georeferenziata dei dati raccolti

^[h] Melita, M., Amalfitano, S., Preziosi, E., Ghergo, S., Frollini, E., Parrone, D., & Zoppini, A. (2019). Physiological profiling and functional diversity of groundwater microbial communities in a municipal solid waste landfill area. *Water*, 11(12), 2624

^[i] <https://mariadb.org/>

^[j] <https://www.php.net/>

3. Risultati ed elaborazioni

In figura 8 è riportata la localizzazione dei punti di campionamento ed il codice univoco assegnato per la memorizzazione nella banca dati. Tutti i punti di prelievo sono stati allestiti, in modo da facilitarne l'accesso, a cura del personale del Parco. In generale i punti di campionamento sono localizzati in corrispondenza di opere di captazione (gallerie drenanti, tubazioni infisse nel terreno, etc). La prima campagna e la terza sono state condotte in periodi di morbida della falda, mentre la seconda deve considerarsi come rappresentativa del periodo di magra.

Rispetto a quanto fatto nel corso della prima campagna (gennaio 2022), il punto CAF007 non è stato campionato a causa delle cattive condizioni dell'opera di captazione. La terza campagna (maggio 2023) è stata condotta su una rete di monitoraggio ridotta (CAF001, CAF003, CAF004 e CAF006) che, in quanto rappresentativa delle diverse situazioni riscontrate nell'area di studio, potrebbe costituire una rete permanente per misure periodiche di controllo.

3.1 Parametri chimico - fisici

In tabella 1 sono riportati in forma sintetica i dati relativi ai campionamenti condotti nelle tre campagne e i parametri chimico-fisici misurati nel corso degli stessi.



Figura 8. Localizzazione dei punti di campionamento (Immagine estratta dalla banca dati del progetto)

Tabella 1. Parametri chimico-fisici relativi ai campionamenti effettuati nelle 3 campagne (DO: ossigeno disciolto, ORP: potenziale ossido-riduttivo)

Punto	Camp.	Data camp.to	Tipologia	X ED50 33	Y ED50 33	Parametri chimico-fisici				
						Temp. (°C)	pH	Cond. El. (µS/cm)	DO (mg/L)	ORP (mV)
CAF001	1	18/01/2022	Sorgente	294313,3	4637779,1	17,1	6,81	1015	6,4	175
	2	04/10/2022				17.4	6.24	868	6.0	137
	3	22/05/2023				17.8	6.14	1100	8.0	260
CAF002	1	18/01/2022	Sorgente	294414,0	4637391,0	16,4	6,66	865	7,9	169
	2	04/10/2022				16.8	6.17	763	6.0	262
CAF003	1	18/01/2022	Sorgente	294573,8	4637288,5	16,5	6,98	532	9,3	165
	2	04/10/2022				17.5	6.72	782	8.0	188
	3	22/05/2023				17.5	6.31	944	8.7	259
CAF004	1	18/01/2022	Sorgente	295110,3	4637101,6	17,3	6,65	1019	6,9	178
	2	04/10/2022				17.3	6.12	902	5.3	151
	3	22/05/2023				17.6	6.00	1063	7.4	284
CAF005	1	18/01/2022	Sorgente	294986,8	4637355,1	15,1	7,20	1003	8,9	133
	2	05/10/2022				16.7	6.79	917	5.3	178
CAF006	1	27/01/2022	Sorgente	293154,8	4638545,6	17,0	7,42	945	5,2	140
	2	05/10/2022				17.9	7.30	943	7.9	139
	3	22/05/2023				17.9	6.87	1167	6.0	254
CAF007	1	27/01/2022	Sorgente	293552,1	4638408,0	13,1	7,66	1438	7,0	99
CAF008	1	27/01/2022	Sorgente	293779,5	4638444,1	16,7	7,52	1154	8,1	144
	2	05/10/2022				18.9	7.26	1026	7.1	154
CAF009	1	27/01/2022	Sorgente	294107,8	4637627,2	15,2	6,76	903	6,6	160
	2	04/10/2022				17.6	8.11	794	5.0	254
Minimo						13,1	6,00	532	5,0	99
Media						16,9	6,84	959	7,0	185
Mediana						17,3	6,79	944	7,0	169
Massimo						18,9	8,11	1438	9,3	284

Le acque campionate sono risultate tutte in facies ossidante con il potenziale redox superiore ai 120 mV e ossigeno disciolto superiore a 5,0 mg/L (vedi le statistiche sui parametri chimico-fisici nella parte inferiore di tabella 1), con pH mediamente variabile compreso fra 6,0 e 8,1 e una conducibilità elettrica caratterizzata da valori piuttosto variabili con un *range* compreso fra 532 µS/cm e 1438 µS/cm.

3.2 Componenti maggiori

In tabella 2 sono riportate le concentrazioni degli ioni maggiori. Per quanto riguarda la concentrazione dei fluoruri, per la quale il D.lgs. 152/06 (Tab. 3, allegata alla parte III) fissa un valore soglia di 1,5 mg/L e che

Tabella 2. Concentrazioni (mg/L) relativi agli ioni maggiori

Punto	Camp.	F	Cl	Br	NO ₃	PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca
CAF001	1	1,02	35,8	0,13	59,9	0,57	37,4	389,6	40,5	49,5	24,3	97,3
	2	1.35	42.3	0.17	77.4	0.52	43.4	383.0	37.1	46.6	22.8	88.2
	3	1,18	41,6	0,10	65,9	0,56	39,8	390,2	38,2	47,0	22,9	89,2
CAF002	1	1,13	28,6	0,10	37,1	0,81	28,0	379,5	43,5	59,5	18,6	73,0
	2	1.41	29.9	0.15	42.9	0.74	29.6	389.3	40.4	57.2	17.6	67.8
CAF003	1	0,98	20,0	0,08	22,5	0,69	21,6	424,1	43,0	61,7	18,9	74,6
	2	1.42	25.7	0.14	32.8	0.78	27.5	424.3	40.6	60.6	18.3	71.5
	3	1,23	28,6	0,09	27,9	0,81	27,9	429,8	40,9	61,4	18,6	73,1
CAF004	1	0,98	30,2	0,12	39,2	0,73	42,2	471,3	42,1	58,4	25,1	102,2
	2	1.12	31.2	0.13	45.4	0.58	44.6	475.7	40.1	57.5	24.0	96.6
	3	0,99	33,4	0,12	38,6	0,63	41,6	480,9	40,2	58,4	24,0	97,5
CAF005	1	1,19	30,0	0,14	52,3	0,77	47,9	437,9	41,3	56,4	25,2	98,6
	2	1.25	36.4	0.13	57.9	0.62	49.4	464.9	40.6	56.6	23.8	98.4
CAF006	1	0,71	43,1	0,08	83,4	0,63	58,3	450,5	44,9	30,1	25,3	126,9
	2	0.76	40.0	0.10	85.3	0.42	56.1	456.6	42.7	29.3	23.8	118.9
	3	0,68	44,0	0,10	77,0	0,52	51,0	454,3	42,9	30,5	24,1	121,0
CAF007	1	0,66	141,7	0,13	72,7	1,11	86,8	516,7	78,7	48,3	34,2	156,8
CAF008	1	1,07	72,2	0,08	96,8	0,85	53,9	421,9	46,7	43,5	29,1	126,1
	2	1.06	73.6	0.12	96.4	0.80	50.4	444.3	44.2	42.2	27.4	117.8
CAF009	1	1,23	32,6	0,09	48,7	0,90	34,3	402,4	43,0	56,6	21,0	82,0
	2	1.27	29.6	0.11	50.6	0.64	32.7	400.8	40.5	56.2	19.3	75.2

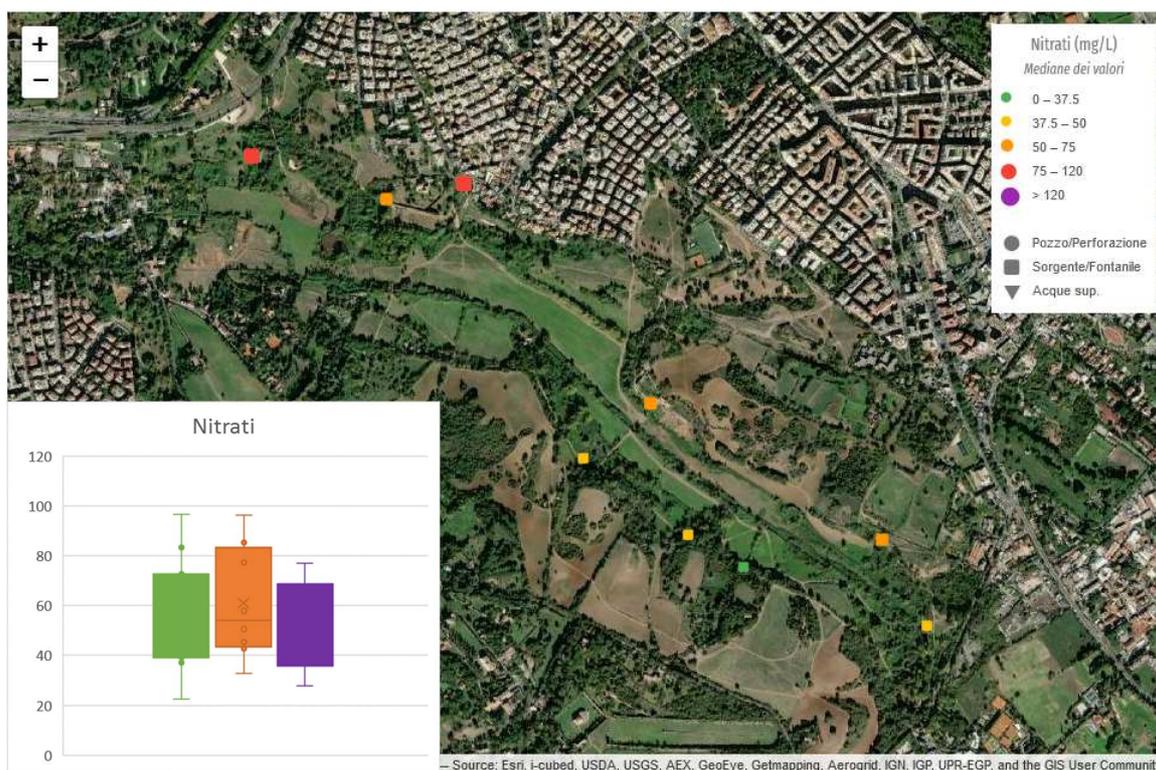


Figura 9. Mappa di distribuzione dei nitrati (mediane delle 3 campagne) e box plot relativi ai valori distinti per campagna (verde: prima campagna—9 campioni, arancio: seconda—8 campioni, viola: terza—4campioni)

molto frequentemente nell'ambito degli acquiferi vulcanici presenta valori eccedenti tali soglia, nessun campione analizzato presenta dei superamenti. Per contro, oltre il 50% dei campioni analizzati presenta una concentrazione di nitrati maggiore dello standard di qualità ai sensi della Direttiva Quadro e del DLgs 152/2006 (50 mg/L). In figura 9 viene riportata la mappa di distribuzione dei nitrati (mediane calcolate sulle 3 campagne) estratta dalla Banca Dati del Progetto. La mappa evidenzia come solo in un punto la mediana della concentrazione di NO_3 sia inferiore allo standard del 75% del valore soglia previsto dalla normativa (37,5 mg/L). I valori più elevati dell'area di studio si osservano nel settore Nord (CAF006 e CAF008, rispettivamente 83,4 e 96,6 mg/L) e in generale sul fianco destro della valle (CAF001: 65,9 mg/L e CAF005: 55,1 mg/L). A questo proposito si precisa che, seppure quasi tutti i punti di campionamento (ad esclusione del CAF005 e del CAF009) siano localizzati allo sbocco di una opera di captazione più o meno mantenuta, la possibilità di apporti diretti provenienti dal suolo vegetale in prossimità della sorgente non è escludibile. Se consideriamo l'andamento dei valori di nitrato nelle diverse stagioni, si possono osservare valori tendenzialmente maggiori nei campioni della seconda campagna (57,0 mg/L contro 61,1 mg/L della prima campagna). La terza campagna, se pur limitata solo ad alcuni punti, presenta valori di NO_3 paragonabili rispetto a quelli della prima campagna.

Le concentrazioni degli altri componenti maggiori non presentano *pattern* significativi. Sulla base di tali

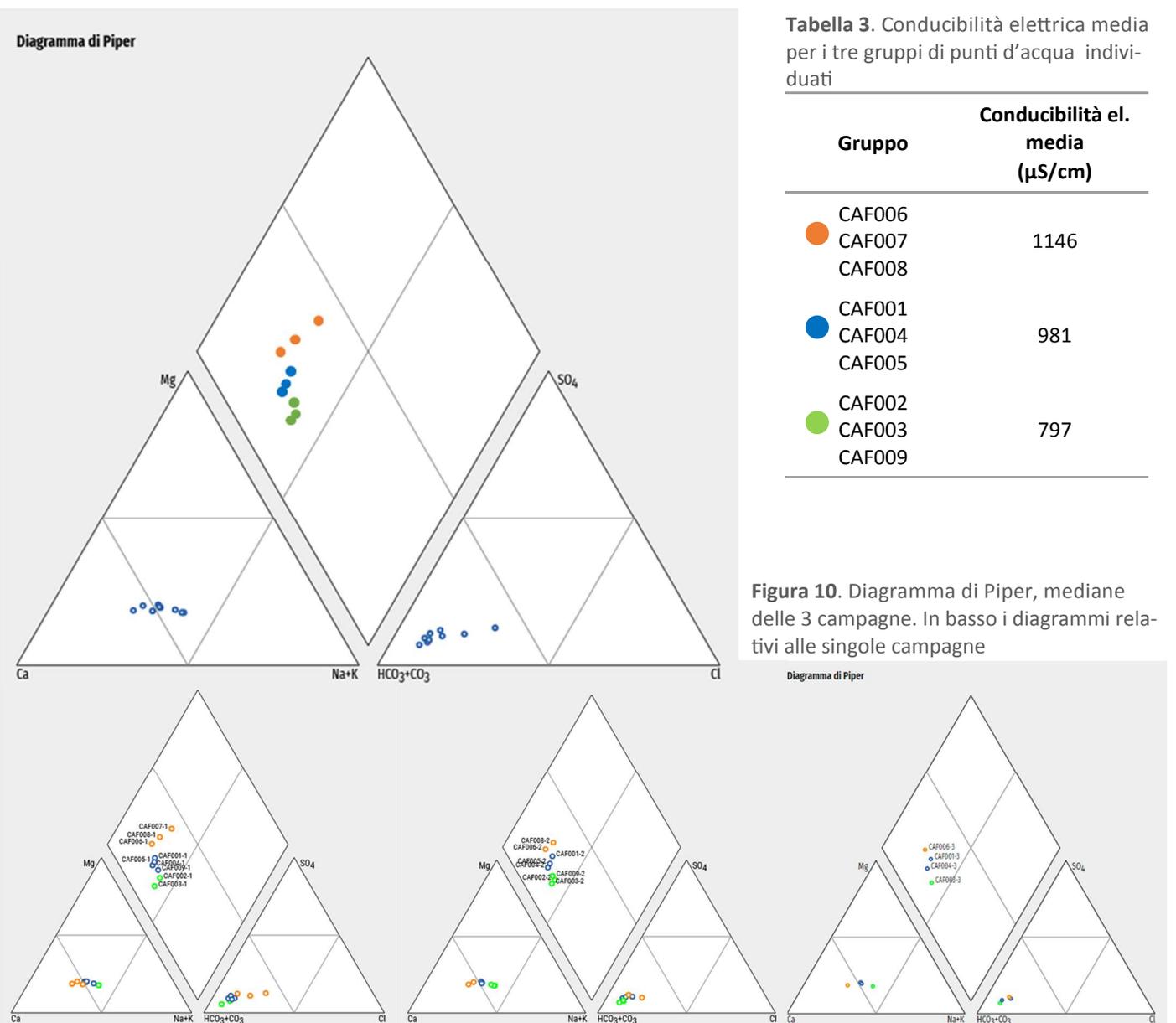




Figura 11. Localizzazione dei punti d’acqua classificati sulla base dei diagrammi idrochimici e della conducibilità elettrica

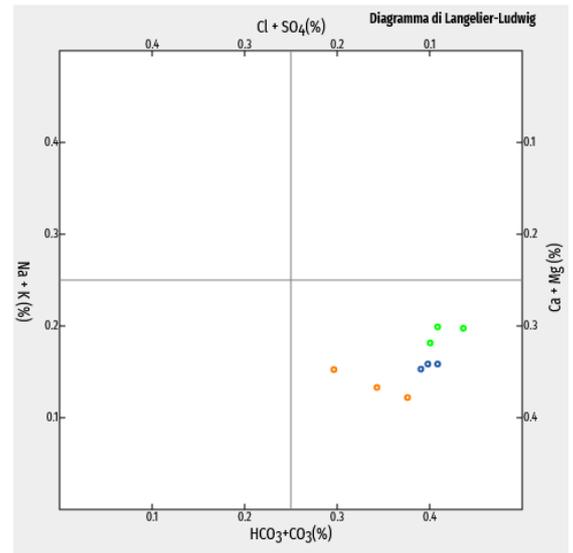


Figura 12. Diagramma di Langelier-Ludwig (Chebotarev). Prima campagna, gennaio 2022

valori sono stati costruiti i diagrammi di Piper (figura 10, mediana delle tre campagne e singole campagne) per le acque campionate. In tutti i diagrammi, tutti i campioni ricadono nel settore delle acque bicarbonato-alcalino-terrose, ma è evidente un *trend* verso termini più clorurati e più calcici (campioni rappresentati in arancione) a partire da termini più bicarbonato-alcalini (punti in verde). Questi ultimi (CAF002, CAF003, CAF009) sono costituiti dai campioni provenienti dalla zona centrale del fianco sinistro della valle dell’Almone (vedi figura 11), mentre i campioni in arancione (CAF006, CAF007, CAF008) sono quelli raccolti nel settore più settentrionale dell’area di indagine. I punti in blu (CAF001, CAF004, CAF005) presentano un chimismo intermedio fra i due gruppi precedentemente individuati e sono localizzati sul fianco destro della valle nel settore centro meridionale. E’ possibile pervenire agli stessi raggruppamenti anche attraverso l’esame del diagramma di Langelier-Ludwig riportato in figura 12 e relativo alla prima campagna.

I tre gruppi di punti d’acqua presentano valori distinti e caratteristici anche per la conducibilità elettrica (tabella 3) con i punti del settore nord (in arancione) che presentano i valori distintamente più elevati ri-

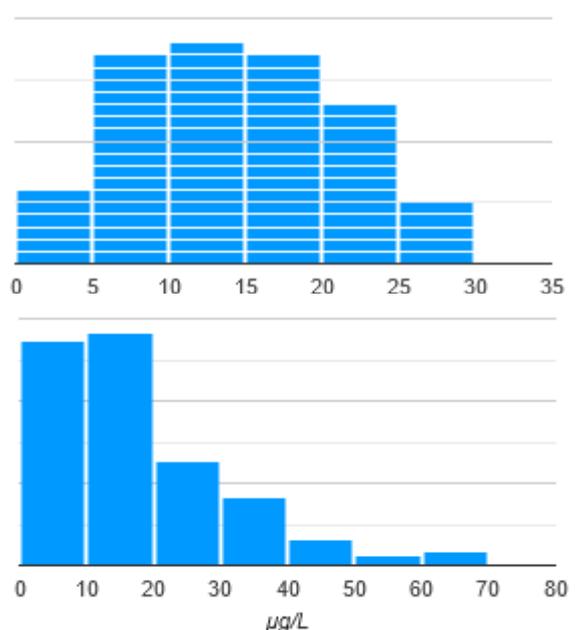
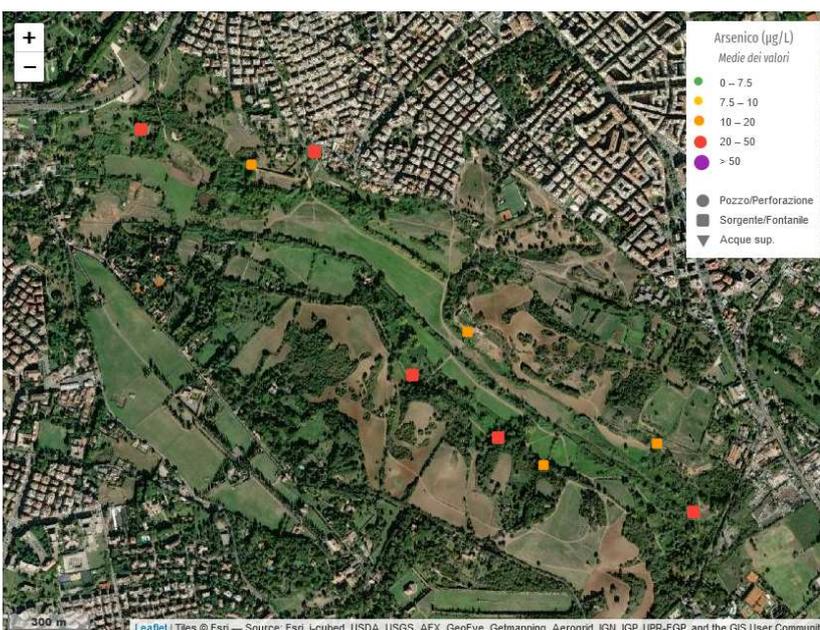


Figura 13. A sinistra: distribuzione spaziale delle concentrazioni di arsenico nell’area di indagine (media delle 3 campagne). A destra: istogrammi di distribuzione dell’arsenico nell’acquifero dei Colli Albani (76 analisi, in alto), e Monti Sabatini (163 analisi, in basso). La percentuale di concentrazioni nello stesso *range* di quello osservato per la Caffarella (18.3-28.4 µg/L) è rispettivamente pari al 46% e 25% dei relativi *dataset*. Dati estratti dalla banca dati dell’Istituto di Ricerca sulle Acque.

Tabella 4. Concentrazioni dei componenti minori ed in traccia

Campione	Si (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	B (µg/L)	Ba (µg/L)	Be (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Li (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Sb (µg/L)	Se (µg/L)	Sr (µg/L)	Tl (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
CAF001-1	33,6	5,8	16,2	<150	109,2	0,38	<1,0	<1,0	1,01	<2,0	9,1	18,4	0,54	<2,0	<2,5	<2,5	3,2	1496,5	<1,0	41,7	7,5
CAF002-1	39,2	5,6	17,4	<150	154,5	1,25	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	3,19	29,2	0,57	<2,0	<2,5	<2,5	4,1	1416,6	<1,0	40,4	8,4
CAF003-1	40,4	7,8	15,3	<150	163,0	1,54	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	3,48	28,1	0,41	<2,0	<2,5	<2,5	1,0	1390,4	<1,0	41,1	9,8
CAF004-1	35,0	6,4	21,6	<150	108,1	0,67	<1,0	<1,0	1,02	<2,0	5,06	18,3	0,41	<2,0	<2,5	<2,5	6,5	1612,8	<1,0	41,6	4,0
CAF005-1	33,8	18,4	15,8	<150	163,9	0,5	<1,0	<1,0	2,06	<2,0	7,95	19,5	1,61	<2,0	<2,5	<2,5	1,7	1568,2	<1,0	40,6	13,5
CAF006-1	24,3	1,0	18,7	<150	132,4	<0,1	<1,0	<1,0	2,07	<2,0	2,66	8,3	0,17	<2,0	<2,5	<2,5	2,0	975,77	<1,0	48,1	1,5
CAF007-1	25,4	26,8	15,9	<150	198,6	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	3,19	20,46	1,2	344,3	<2,0	<2,5	<2,5	3,5	1422,8	<1,0	41,4	12,9
CAF008-1	25,8	22,6	21,6	<150	115,7	<0,1	<1,0	<1,0	1,98	<2,0	9,3	9,6	4,36	<2,0	<2,5	<2,5	2,7	1212,9	<1,0	57,7	1,9
CAF009-1	37,2	19,2	20,0	<150	228,3	0,84	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	7,22	16,1	2,48	<2,0	<2,5	<2,5	5,0	1447,9	<1,0	42,1	3,9
CAF001-2	31,5	22,1	18,9	<150	106,8	0,4	<1,0	<1,0	1,1	<2,0	9,9	17,5	0,5	<2,0	<2,5	<2,5	5,3	1461,7	<2,5	42,1	<5,0
CAF002-2	37,6	23,8	23,3	<150	153,9	1,3	<1,0	<1,0	1,0	<2,0	4,4	27,2	0,8	<2,0	<2,5	<2,5	7,4	1390,8	<2,5	41,0	<5,0
CAF003-2	38,8	27,5	21,0	<150	165,5	1,6	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	6,1	26,5	1,0	<2,0	<2,5	<2,5	7,4	1405,3	<2,5	41,2	<5,0
CAF004-2	33,4	27,0	28,4	<150	108,8	0,7	<1,0	<1,0	1,3	5,7	7,2	17,6	0,9	<2,0	<2,5	<2,5	12,4	1605,5	<2,5	40,8	<5,0
CAF005-2	33,1	679,7	16,2	<150	195,8	0,5	<1,0	<1,0	1,7	5,6	131,5	18,3	15,8	<2,0	4,5	<2,5	5,6	1608,7	<2,5	43,5	<5,0
CAF006-2	22,9	27,4	22,4	<150	132,5	<0,1	<1,0	<1,0	2,1	2,0	5,4	8,5	0,4	<2,0	<2,5	<2,5	6,9	973,0	<2,5	48,5	<5,0
CAF008-2	23,9	49,1	24,7	<150	231,1	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	13,4	17,9	17,6	<2,0	<2,5	<2,5	9,2	1425,5	<2,5	43,7	<5,0
CAF009-2	36,3	33,3	24,1	<150	121,0	0,9	<1,0	<1,0	2,3	<2,0	19,6	9,6	3,3	<2,0	<2,5	<2,5	5,7	1239,3	<2,5	58,2	<5,0
CAF001-3	31,6	43,7	20,8	<150	109,9	<1,0	<1,0	<1,0	1,3	12,8	26,3	17,3	2,9	4,5	<2,5	<2,5	7,6	1468,5	<2,5	41,8	31,2
CAF003-3	38,5	34,3	21,3	<150	164,2	1,5	<1,0	<1,0	0,9	2,9	10,0	26,3	1,4	<2,0	<2,5	<2,5	7,5	1406,5	<2,5	41,0	13,5
CAF004-3	33,7	27,6	25,7	<150	109,9	<1,0	<1,0	<1,0	1,2	5,8	7,4	17,6	1,2	<2,0	<2,5	<2,5	11,6	1613,7	<2,5	41,5	10,8
CAF006-3	23,3	140,1	20,5	<150	141,8	<1,0	<1,0	<1,0	2,3	3,6	46,9	8,3	4,2	<2,0	2,9	<2,5	6,9	992,9	<2,5	48,3	12,2

Tabella 5. Statistiche dei parametri più significativi. Le eccedenze sono definite sulla base dei valori soglia (VS) previsti dal D.lgs. 152/06 – tab. 3 allegata alla III parte.

Parametro	Unità	n. valori	VS	Eccedenze		Min.	Media	Max	I quartile	Mediana	III quartile
				n.	(%)						
Conducibilità el.	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	21	-	-	-	532	959.5	1438	868	944	1026
Potenziale redox	(mV)	21	-	-	-	99	184.9	284	144	169	254
Fluoruri	(mg/L)	21	1.5	0	0	0.66	1.1	1.42	1	1.1	1.2
Nitrati	(mg/L)	21	50	12	57.1	22.5	57.7	96.8	39.2	52.3	77
Solfati	(mg/L)	21	250	0	0	21.6	43.1	86.8	32.7	42.2	50.4
Arsenico	($\mu\text{g}/\text{L}$)	21	10	21	100	15.3	20.5	28.4	17.4	20.8	22.4
Cromo tot.	($\mu\text{g}/\text{L}$)	21	50	0	0	<1,0	1,25	2,3	<1,0	1,1	1,98
Piombo	($\mu\text{g}/\text{L}$)	21	10	0	0	<2,5		4,5			
Antimonio	($\mu\text{g}/\text{L}$)	21	5	0	0	<2,5			Tutti i valori <2,5		
Vanadio	($\mu\text{g}/\text{L}$)	21	50(*)	2	9.5	40.4	44.1	58.2	41.1	41.7	43.7

spetto al gruppo dei punti d'acqua del fianco sinistro (in verde).

3.3 Elementi in traccia

Nella tabella 4 sono riportati i valori di concentrazione degli elementi in traccia relativi alle tre campagne, mentre in tabella 5 sono riportate le statistiche relative ad alcuni parametri significativi, con particolare riferimento a quelli previsti dalla normativa vigente sulle acque sotterranee (D.lgs. 152/06, valori soglia buono stato chimico delle acque sotterranee).



Figura 14. Distribuzione spaziale delle concentrazioni di vanadio nell'area di indagine (medie delle 3 campagne).

Tabella 6. Dati delle analisi microbiologiche delle 3 campagne

Punto	Camp.	Abbondanze microbiche Cells/mL	LNA %	HNA %	Potenziale metabolico OD _{590nm}	Respirazione microbica OD _{590nm}	Diversità funzionale S	Coli tot MPN/100mL	<i>E. Coli</i> MPN/100mL
CAF001	1	1,34E+04	59,1	40,9	0,066	0,0495	3.756	3,1	<1
	2	1,71E+05	52,1	47,9	0.045	0.0365	3.645	151,5	72,3
	3	2,11E+05	57,8	42,2	0,022	0.0242	3.413	547,5	241,5
CAF002	1	1,40E+04	54,8	45,2	0,008	0,0105	3.188	4,1	1
	2	9,18E+04	61,7	38,3	0.003	0.0045	3.025	37,9	3,1
CAF003	1	1,82E+04	58,7	41,3	0,018	0,0309	3.379	1	<1
	2	7,77E+04	57,9	42,1	0.055	0.0156	5.350	127,4	3,1
	3	1,85E+05	41,6	58,4	0,011	0.0258	3.563	> 2419.2	<1
CAF004	1	9,37E+03	58,4	41,6	0,084	0,0620	3.789	<1	<1
	2	5,09E+04	61,4	38,6	0.108	0.0689	3.884	29,5	< 1
	3	9,14E+04	57,9	42,1	0,044	0.0429	3.628	2	<1
CAF005	1	3,71E+04	69,7	30,3	0,077	0,0551	3.775	12,7	<1
	2	3,68E+05	52,8	47,2	0.070	0.0814	3.824	1119,9	290,9
CAF006	1	4,17E+04	65,6	34,4	0,086	0,1425	3.693	1	<1
	2	6,37E+04	51,7	48,3	0.117	0.1208	3.806	1986,3	1
	3	1,44E+05	49,2	50,8	0,066	0.0922	3.778	816,4	1
CAF007	1	2,81E+05	73,5	26,5	0,218	0,2201	3.819	13,5	2
CAF008	1	1,38E+05	59,8	40,2	0,171	0,1401	3.829	2419,6	920,8
	2	4,25E+05	40,7	59,3	0.121	0.0984	3.804	> 2419.6	> 2419.6
CAF009	1	6,84E+04	75,7	24,3	0,025	0,0261	3.519	53,8	<1
	2	2,63E+05	57,1	42,9	0.055	0.0186	4.494	1413,6	93,4

Come era probabile aspettarsi, tutti i campioni analizzati mostrano concentrazioni di arsenico superiori al VS (10 µg/L) previsto per questo parametro. Il *range* di valori osservato (15,3 ÷ 28,4 µg/L) è però ampiamente compatibile con le concentrazioni riscontrate negli acquiferi vulcanici del Lazio (vedi figura 12) e può, con tutta probabilità, essere ascritto a processi geogenici. L'origine geogenica, verosimilmente da associarsi alla sola interazione acqua - depositi vulcanici, è suggerita anche dai valori relativamente costanti ed elevati per altri parametri significativi degli acquiferi vulcanici, quali fosfato e potassio (vedi tabella 2), silicio e vanadio (entrambi in tabella 4).

Tutti gli altri valori di concentrazione per gli elementi in tracce normati sono risultati inferiori ai relativi VS con l'eccezione del selenio del CAF004 (seconda campagna 12,4 µg/L, terza 11,6 µg/L rispetto al VS di 10 µg/L) e del vanadio che presenta valori tutti molto vicini al valore soglia indicato (50 µg/L) ed in qualche caso maggiori (CAF008-1: 57,7 e CAF009-2: 58,2 µg/L, corrispondenti ai punti in arancione della mappa di fig. 14).

3.3 Parametri microbiologici

In tabella 6 sono riportati i dati delle analisi microbiologiche effettuate nelle 3 campagne. Le abbondanze microbiche, misurate tramite citometria a flusso, presentano valori mediamente elevati, con *pattern* poco definiti e variabili nel corso delle tre campagne (vedi figura 15). I valori più dispersi ed elevati sono stati osservati nel corso della seconda campagna (campionamento di magra, ottobre 2022).

Tutti i punti campionati, fatta eccezione per il CAF004 (sorgente di via dell'Almone), sono stati caratterizzati dalla presenza di *Escherichia coli* in almeno uno dei campioni raccolti. Questo microrganismo si presta

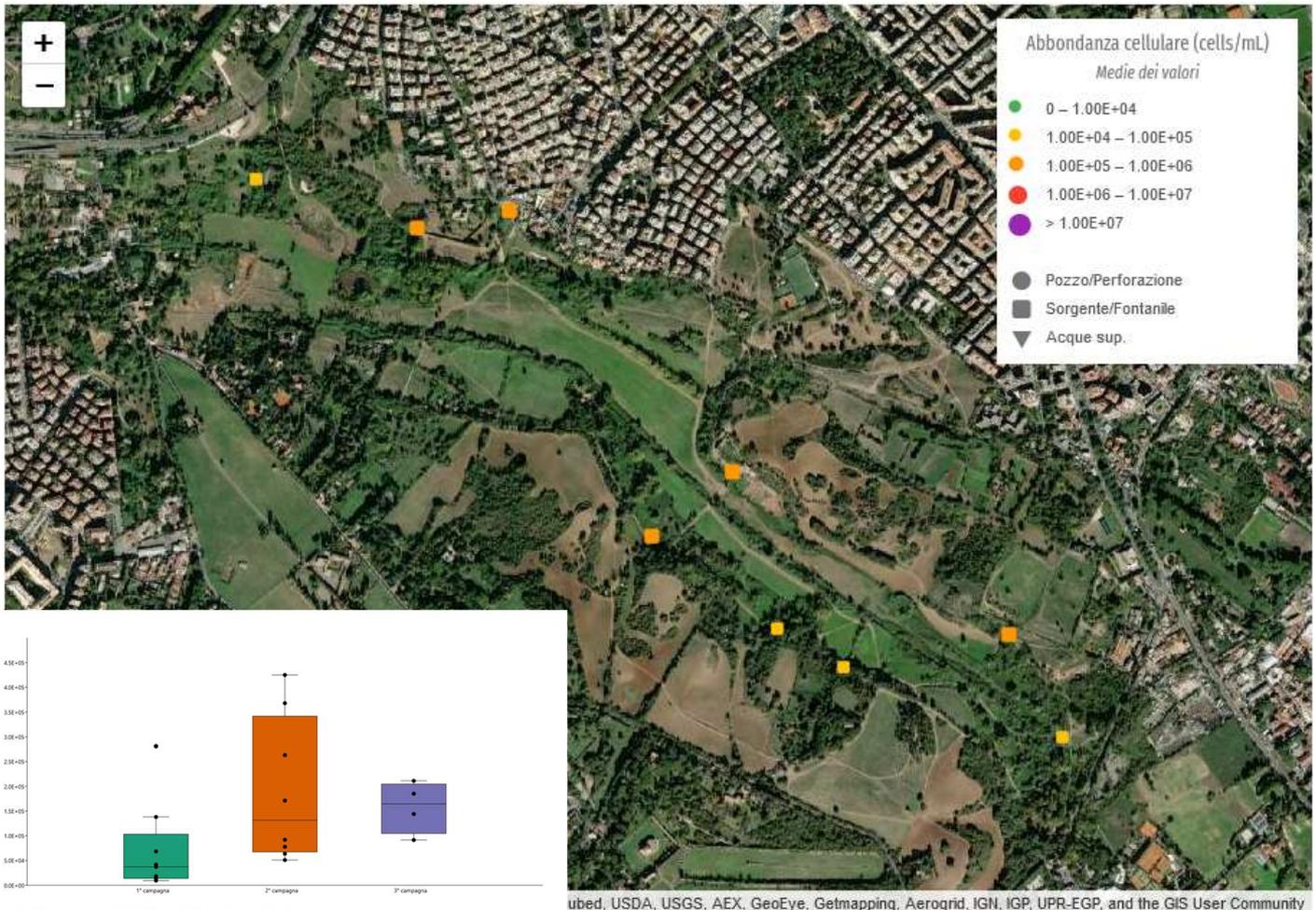


Figura 15. Distribuzione spaziale dei valori dell'abbondanza cellulare e *box plot* relativi ai valori distinti per campagna (verde: prima campagna, arancio: seconda, viola: terza)

bene ad essere utilizzato come indicatore specifico d'inquinamento fecale in quanto è presente esclusivamente nelle deiezioni animali e non si adatta bene alle varie condizioni dell'ambiente esterno. Ai fini della potabilità delle acque, *E. coli* deve essere assente dal campione di 100 mL. Nell'area di indagine sono stati riscontrati i seguenti valori elevati di *E. coli*: CAF001-2 (72,3 MPN/100mL) e CAF001-3 (241,5 MPN/100mL), CAF005-2 (290,9 MPN/100mL), CAF008-1 (920,8 MPN/100mL) e CAF008-2 (maggiore di 2419.6 MPN/100mL), CAF009-2 (93,4 MPN/100mL). Quasi tutti i punti interessati da queste concentrazioni elevate sono localizzati sul fianco destro della valle e, in prevalenza, campionati nel corso della seconda campagna.

I dati relativi alla respirazione microbica eterotrofa mettono in luce differenze non significative fra i dati delle differenti campagne (vedi figura 16) ma evidenziano differenze statisticamente significative fra i valori dei punti d'acqua localizzati sul fianco sinistro della valle (CAF002, CAF003 e CAF009) ed il resto del dataset. Osservazioni analoghe possono essere fatte a partire dai dati del potenziale metabolico (figura 17). I punti d'acqua del versante sinistro della valle si differenziano piuttosto nettamente rispetto ai punti del versante destro e quelli del settore settentrionale dell'area di indagine. La diversità funzionale S non fornisce invece indicazioni per ricostruire pattern significativi fra i vari punti campionati o fra le campagne di campionamento.

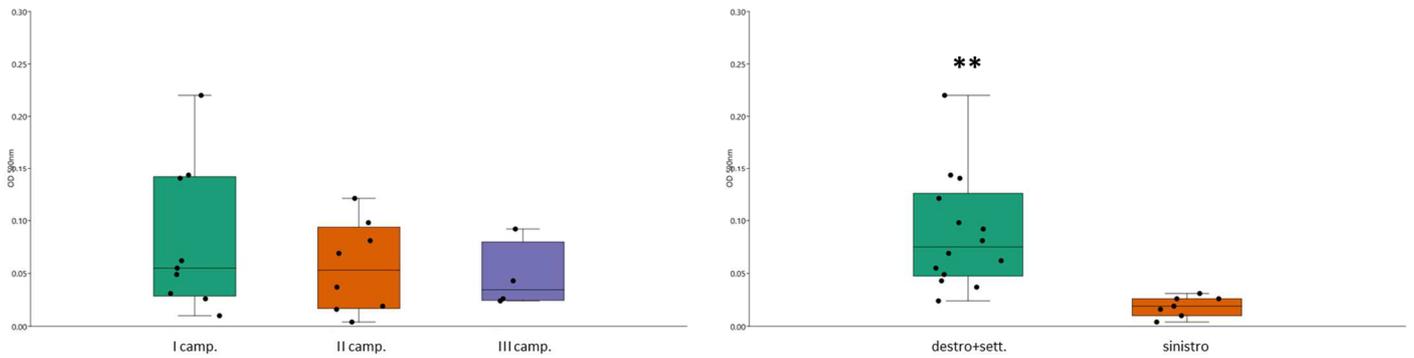


Figura 16. Box plot distinti per campagna (a sinistra) e per localizzazione dei punti campionati (a destra) relativi ai valori della respirazione microbica eterotrofa. Il fianco sinistro della valle comprende i punti CAF002, CAF003, CAF009.

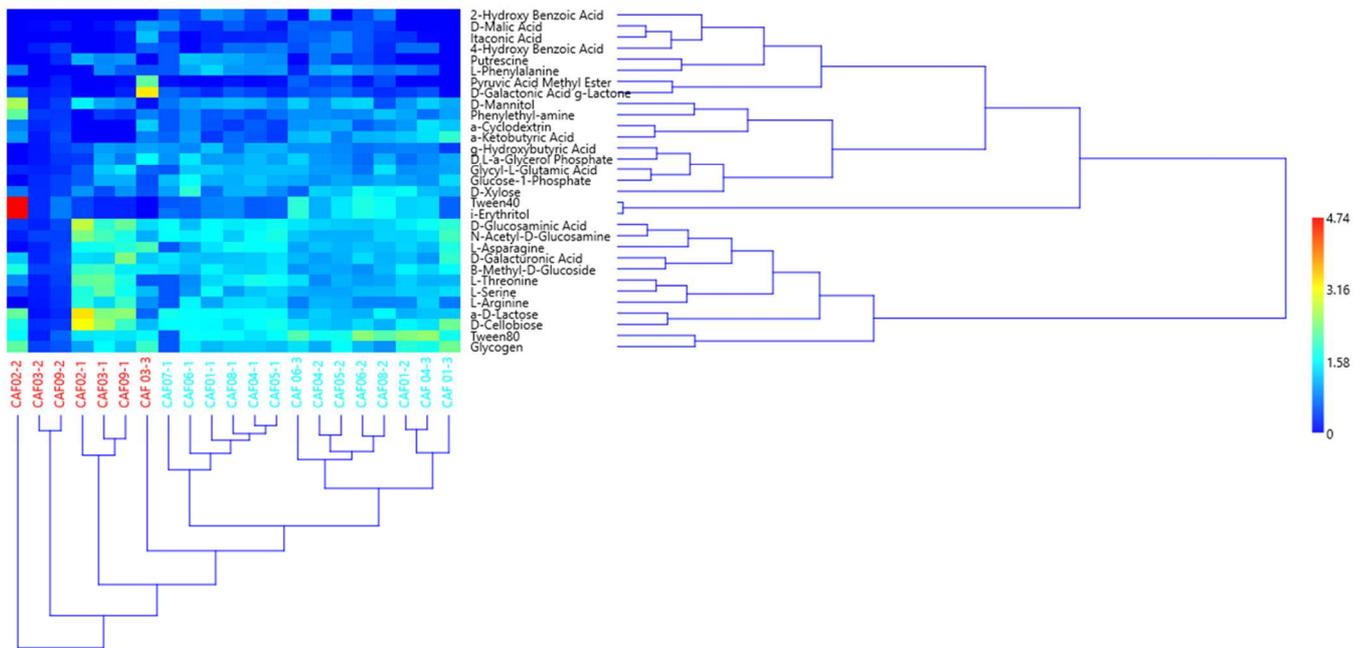
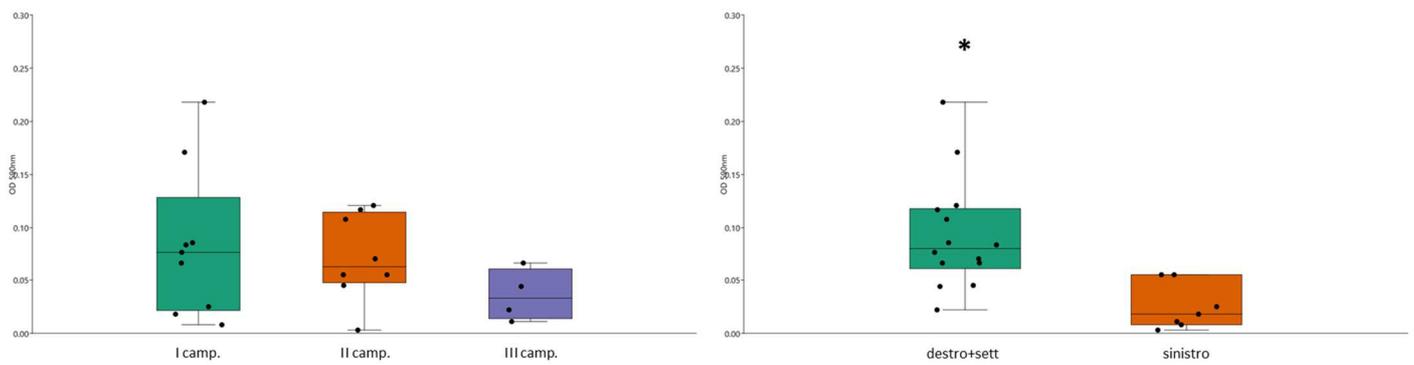


Figura 17. In alto: Box plot distinti per campagna (a sinistra) e per localizzazione dei punti campionati (a destra) relativi ai valori del potenziale metabolico microbico. Il fianco sinistro della valle comprende i punti CAF002, CAF003, CAF009. In basso: dendrogramma dell'utilizzo dei diversi terreni da parte delle comunità microbiche dei campioni d'acqua raccolti (in rosso quelli del fianco sinistro della valle)

4. Considerazioni sui risultati ottenuti

Lo studio ha riguardato 9 sorgenti localizzate nella Valle della Caffarella. Le sorgenti, poste al contatto fra i terreni vulcanici affioranti sui fianchi della e i terreni alluvionali di fondo valle, alimentano direttamente (CAF004) o tramite due marrane (CAF002, CAF003, CAF009 a sinistra, CAF005, CAF001, CAF006, CAF007, CAF008 a destra) il Fiume Almona. In molti casi il campionamento è avvenuto in condizioni non ottimali (in prossimità del suolo vegetale e/o di piccole zone di raccolta con abbondante vegetazione) ed è necessario considerare anche queste circostanze nel commentare i risultati analitici ottenuti.

I valori di conducibilità elettrica riscontrati e i grafici idrochimici, costruiti a partire dalle concentrazioni degli ioni maggiori delle acque sotterranee campionate, hanno messo in evidenza differenze significative fra il chimismo dei punti d'acqua localizzati sul fianco sinistro della valle (evidenziati in verde in figura 18) e quelli del settore settentrionale dell'area di studio (in arancione). I punti d'acqua del fianco destro della valle (in blu) presentano caratteristiche intermedie fra i due gruppi.

Anche i dati microbiologici confermano la classificazione evidenziata anche se le differenze fra le diverse campagne di raccolta dei campioni hanno presentato un segnale molto marcato.

Una possibile spiegazione delle differenze fra le acque del versante sinistro della valle e quelle della porzione settentrionale della zona di indagine si collega alle caratteristiche idrogeologiche dell'area (vedi figura 4 del capitolo 1. Area di indagine). Nel settore nord affiorano i terreni vulcanici caratterizzati da permeabilità (e potenzialità idrica) inferiore, mentre a sud dei punti del fianco sinistra è presente la parte terminale della colata di Capo di Bove, caratterizzata da permeabilità e potenzialità idrica molto elevate.

Anche la distribuzione dei nitrati (Figura 9 del capitolo 3. Risultati ed elaborazioni) evidenzia come i valori più elevati dell'area di studio si osservano nel settore Nord (CAF006 e CAF008), e in generale sul fianco destro della valle. I nitrati sono ottimi indicatori degli impatti antropici in quanto si arricchiscono nell'ambito sia delle attività agricole (dai fertilizzanti) sia in quelle zootecniche (carico di azoto nelle deiezioni). Se consideriamo l'andamento dei valori di nitrato nelle diverse stagioni, abbiamo osservato valori moderatamente maggiori nei campioni della seconda campagna, quella rappresentativa della situazione di magra della falda. Probabilmente le prime piogge, alla fine del periodo estivo, si sono caricate dei nitrati dei suoli arricchitisi nel periodo secco, contribuendo, attraverso l'infiltrazione diretta in falda, all'aumento osservato.

Possiamo ipotizzare che questo meccanismo di arricchimento sia anche alla base delle anomalie riscontrate

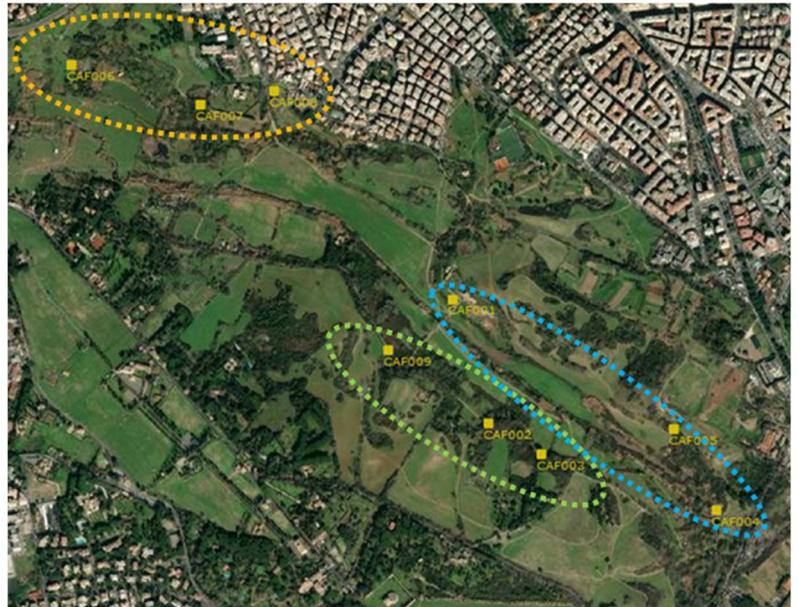


Figura 18. Localizzazione dei punti d'acqua classificati sulla base dei parametri idrochimici, della conducibilità elettrica e dei dati microbiologici

te nei valori dei parametri microbiologici dei campioni della seconda campagna. Da tenere comunque sotto controllo le concentrazioni di *Escherichia coli* che di sovente sono risultate superiori ai limiti imposti per la potabilità delle acque. L'origine di tali anomalie microbiologiche non può che essere legata ad apporti fecali locali diretti (allevamento di ovini e bovini) e/o, presumibilmente, a perdite del sistema fognario nei settori più prossimi alle aree abitate. Anche l'uso di letame come fertilizzante può aver contribuito in modo rilevante.

Con tutta probabilità non legati a fattori antropici ma essenzialmente geogenici sono i superamenti riscontrati per l'arsenico in quasi tutti i punti campionati e gli altri sporadici superamenti di elementi in traccia (alluminio, manganese, selenio) per CAF005, CAF007, CAF004.

Il quadro generale della qualità delle acque sotterranee che risulta dalle indagini condotte e delle condizioni al contorno dell'area di indagine può considerarsi soddisfacente pur tenendo conto delle non conformità sopra descritte. Sarebbe consigliabile un monitoraggio almeno semestrale su una rete rappresentativa di punti d'acqua. In tabella 7 si riporta una proposta in tal senso, che prende in considerazione sia la classificazione dei punti d'acqua individuata sulla base dei dati idrochimici e microbiologici sia la valutazione dei risultati ottenuti in termini di impatti antropici. La rappresentatività della rete proposta è stata favorevolmente verificata nel corso della terza campagna, condotta in un periodo di morbida sui punti d'acqua proposti, le cui risultanze analitiche sono risultate paragonabili a quelle della prima campagna, anch'essa condotta nella fase di morbida della falda.

Tabella 7. Proposta di rete di monitoraggio permanente

Punto	Denominazione	Latitudine	Longitudine	Rappresentatività
CAF001	Vaccareccia	41.863448	12.520935	Impatti antropici
CAF003	Ninfeo	41.859101	12.524242	Fianco sinistro
CAF004	Via dell'Almone	41.857558	12.530764	Fianco destro
CAF006	Ferrovia (Deroma)	41.870043	12.506722	Settore Nord