

# Studio idrogeochimico delle acque sotterranee delle risorgive della Valle della Caffarella

*Rapporto preliminare sulle attività svolte*



# Studio idrogeochimico delle acque sotterranee delle risorgive della Valle della Caffarella

## *Rapporto preliminare sulle attività svolte*

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

*S. Ghergo, D. Parrone, M. Melita, E. Preziosi, E. Frollini, S. Amalfitano, A. Zoppini*

*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.*

*Febbraio 2022*

## Premessa

Il Parco Regionale dell'Appia Antica è soggetto promotore e segreteria tecnica del processo di Contratto di Fiume Almone 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 risorgive 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 censire.

La prima campagna di raccolta di campioni di acqua sotterranea si è svolta in due giornate: 18 e 27 gennaio 2022.

Nelle pagine seguenti sono riportate in modo sintetico la descrizione delle attività svolte nell'ambito di questa prima campagna e i risultati analitici ottenuti.

## 1. Metodologie di campionamento ed 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 risorgenze di cui 3 localizzate al fianco sinistro del Fiume Almone, 5 che confluiscono nella cosiddetta Marrana destra e una direttamente in comunicazione con il lato destro del fiume. La selezione dei punti è stata effettuata tenendo conto soprattutto della loro accessibilità, presente e futura, e della loro rappresentatività in termini di copertura dell'area di indagine e della loro portata.

### 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. [1]*), adattato per le esigenze specifiche del presente studio e che possiamo così schematizzare:

- 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  $\text{HNO}_3$ . 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  $0,4 \mu\text{m}$  precedentemente trattati con  $\text{HNO}_3$ ;
- Prelievo delle aliquote di campione *tal quale* per le analisi batteriologiche
- Acidificazione dell'aliquota destinata all'analisi dei metalli in tracce con  $\text{HNO}_3$  a  $\text{pH} < 2$  immediatamente dopo la filtrazione in campo
- Analisi spettrofotometriche in campo per i parametri particolarmente sensibili agli effetti dell'ossigeno atmosferico: nitriti, solfuri, ione ammonio

### 1.2 Metodi analitici adottati

#### **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, se 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 ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ) è stata effettuata in campo, tramite spettrofotometro *HACH DR1900* su campioni filtrati a  $0,4 \mu\text{m}$ .

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  $\text{NH}_4^+$ .

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  $\text{NO}_2^-$ .

Determinazione spettrofotometrica dei solfuri con il metodo Dimetil-p-fenilendiammina: la dimetil-pfenilendiammina forma con 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  $\text{S}^{2-}$ .

### **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  $\text{HNO}_3$  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  $\mu\text{m}$  di diametro a concentrazione nota (10  $\mu\text{l}$ ,  $\sim 10^6$  biglie  $\text{ml}^{-1}$ ; 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. [2]).

## **Analisi degli indicatori di contaminazione fecale**

Per la stima dell'abbondanza cellulare dei coliformi totali ed *Escherichia coli* è stato utilizzato il test Colilert®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)

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. [3]).

## **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, [4]) e procedure di gestione, ricerca ed elaborazione dei dati implementate utilizzando PHP ([5]) come linguaggio di programmazione server side.

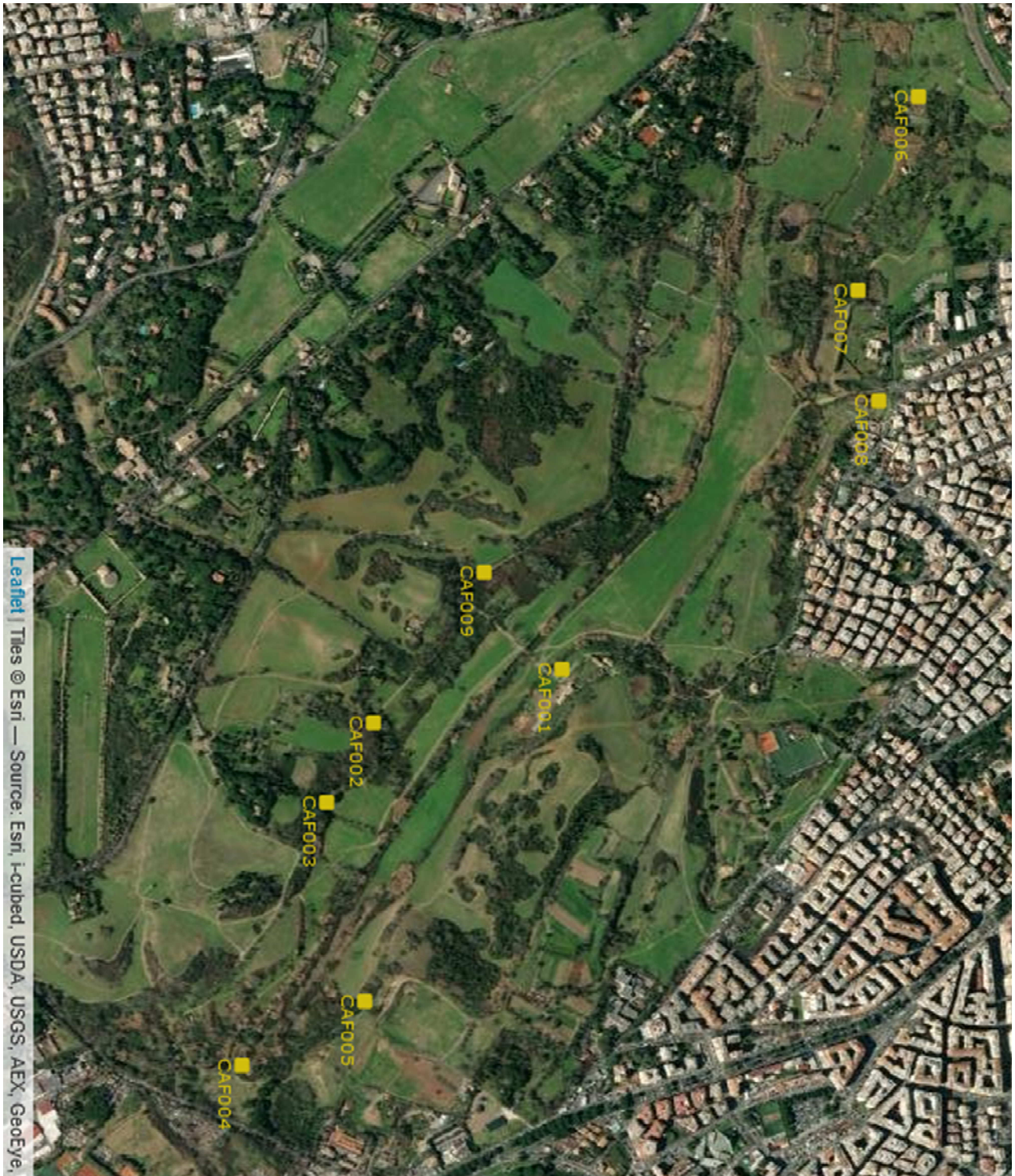
### 1.3 Riferimenti

1. 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
2. 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
3. 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
4. <https://mariadb.org/>
5. <https://www.php.net/>



## 2. Risultati

In figura 1 è riportata la localizzazione dei punti di campionamento ed il codice univoco assegnato per la memorizzazione nella banca dati.



**Figura 1.** Localizzazione dei punti di campionamento (Immagine estratta dalla banca dati del progetto)



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 in corrispondenza di opere di captazione (gallerie drenanti, tubazioni infisse nel terreno, etc).

In tabella 1 sono riportati in forma sintetica i dati relativi ai parametri chimico-fisici misurati nel corso dei campionamenti.

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

Codice Campione	Data camp.to	Tipologia	X ED50 33T	Y ED50 33T	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
CAF002-1	18/01/2022	Sorgente	294414,0	4637391,0	16,4	6,66	865	7,9	169
CAF003-1	18/01/2022	Sorgente	294573,8	4637288,5	16,5	6,98	532	9,3	165
CAF004-1	18/01/2022	Sorgente	295110,3	4637101,6	17,3	6,65	1019	6,9	178
CAF005-1	18/01/2022	Sorgente	294986,8	4637355,1	15,1	7,20	1003	8,9	133
CAF006-1	27/01/2022	Sorgente	293154,8	4638545,6	17,0	7,42	945	5,2	140
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
CAF009-1	27/01/2022	Sorgente	294107,8	4637627,2	15,2	6,76	903	6,6	160

Le acque campionate sono risultate tutte in facies ossidante, con pH da debolmente acido a debolmente alcalino e una conducibilità elettrica relativamente poco variabile, in cui si differenziano due campioni con valori di 532 µS/cm (CAF003 - Ninfeo) e 1438 µS/cm (CAF007 - Orti Piras).

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

Codice campione	F	Cl	Br	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	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
CAF002-1	1,13	28,6	0,10	37,1	0,81	28,0	379,5	43,5	59,5	18,6	73,0
CAF003-1	0,98	20,0	0,08	22,5	0,69	21,6	424,1	43,0	61,7	18,9	74,6
CAF004-1	0,98	30,2	0,12	39,2	0,73	42,2	471,3	42,1	58,4	25,1	102,2
CAF005-1	1,19	30,0	0,14	52,3	0,77	47,9	437,9	41,3	56,4	25,2	98,6
CAF006-1	0,71	43,1	0,08	83,4	0,63	58,3	450,5	44,9	30,1	25,3	126,9
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
CAF009-1	1,23	32,6	0,09	48,7	0,90	34,3	402,4	43,0	56,6	21,0	82,0

In tabella 2 sono riportate le concentrazioni degli ioni maggiori. Appare evidente l'anomalia del campione CAF007-1, che mostra concentrazioni più elevate rispetto agli altri punti d'acqua per quasi

tutti i costituenti maggiori, in particolare per cloruri, solfati e sodio. Per quanto riguarda la concentrazione dei fluoruri, per la quale il D.lgs. 152/06 (Tab. 2, All. 5 alla parte IV) fissa una CSC (concentrazione soglia di contaminazione) di 1,5 mg/L e che molto frequentemente nell'ambito degli acquiferi vulcanici presenta valori eccedenti tali soglia, nessun campione analizzato presenta dei superamenti. Per contro, il 60% dei campioni analizzati presenta una concentrazione di nitrati maggiore della CSC fissata dalla 30/2009 (50 mg/L). A questo proposito si precisa che, seppure quasi tutti i punti di campionamento (ad esclusione del CAF005) siano localizzati allo sbocco di una opera di captazione più o meno mantenuta, la possibilità di apporti provenienti dal suolo vegetale in prossimità della risorgiva non sono escludibili.

Sulla base delle concentrazioni degli ioni maggiori sono stati costruiti i diagrammi di Piper (fig.2) e Langelier-Ludwig (fig. 3) per cercare di classificare le acque campionate. In ambedue i diagrammi, tutte i campioni ricadono nel settore delle acque bicarbonato-alcino-terrose, ma è evidente un *trend* verso termini più clorurati e più calcici (campioni rappresentati in arancione) e termini più bicarbonato-alcini (punti in verde). Questi ultimi (CAF002, CAF003) sono costituiti dai campioni provenienti dalla zona centrale del fianco sinistro della valle dell'Almone, mentre i campioni in arancione (CAF006, CAF007, CAF008) sono quelli raccolti nel settore più settentrionale dell'area di indagine.

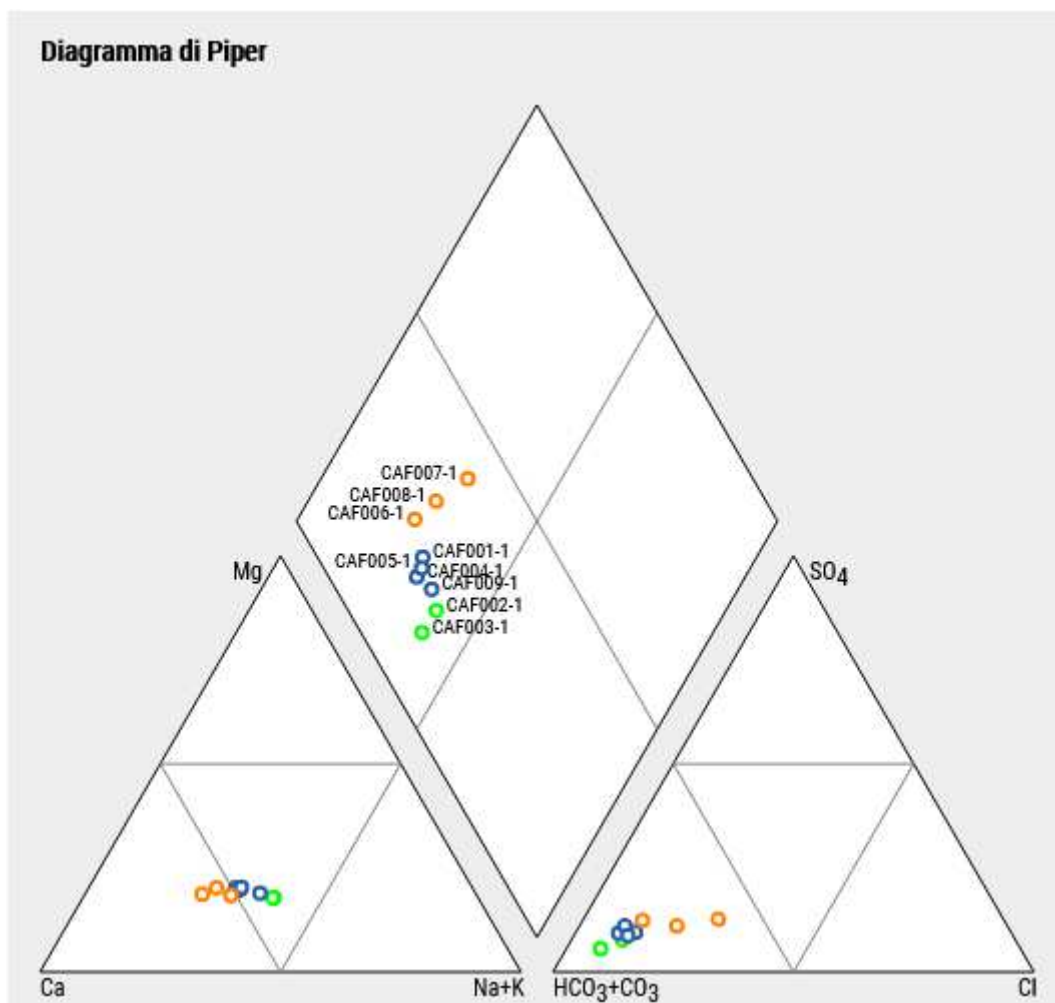
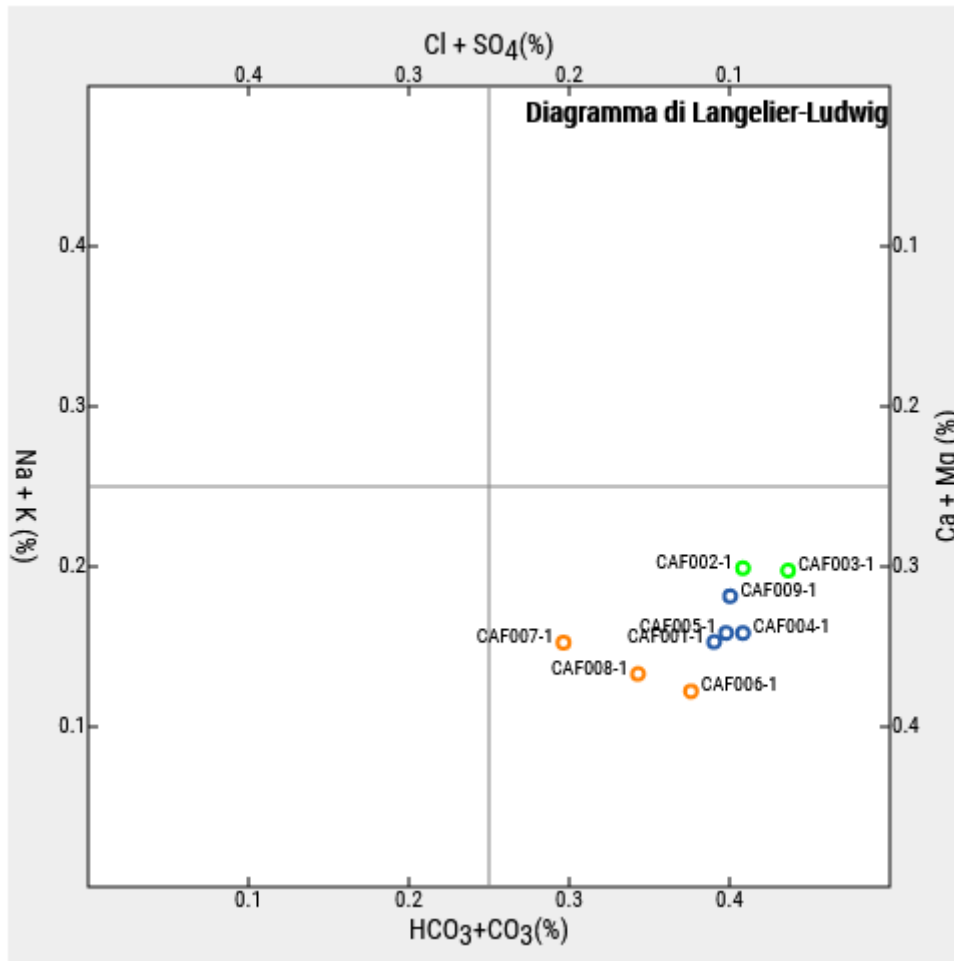


Figura 2. Diagramma di Piper (Immagine estratta dalla banca dati del progetto)



**Figura 3.** Diagramma di Langelier-Ludwig (Immagine estratta dalla banca dati del progetto)

Da notare che il campione raccolto in corrispondenza del punto CAF007 è quello che ha presentato il valore di conducibilità elettrica, e quindi di salinità, maggiore dell'intero *dataset*, mentre i punti in verde sono quelli caratterizzate dai valori minori di questo parametro.

Le analisi chimiche sono state validate attraverso il calcolo del bilancio ionico condotto sugli ioni maggiori, calcolato attraverso la seguente formula:

$$EN(\%) = \frac{\text{cationi} \left( \frac{\text{meq}}{\text{l}} \right) - \text{anioni} \left( \frac{\text{meq}}{\text{l}} \right)}{\text{cationi} \left( \frac{\text{meq}}{\text{l}} \right) + \text{anioni} \left( \frac{\text{meq}}{\text{l}} \right)} \times 100$$

In tabella 3 sono riportate le sommatorie degli equivalenti relativi agli anioni (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>) e cationi (Na, K, Mg, Ca) maggiori. A seconda dei diversi autori, viene considerato accettabile uno scostamento (EN%) inferiore al 5% o al 10%. Tutte le analisi della prima campagna ricadono ampiamente al di sotto di queste soglie.

**Tabella 3.** Bilancio ionico per la valutazione dell'elettroneutralità (EN%)

Codice Campione	$\Sigma$ Cationi	$\Sigma$ Anioni	EN %
CAF001-1	9,90	9,14	3,97
CAF002-1	8,59	8,21	2,27
CAF003-1	8,74	8,33	2,39
CAF004-1	10,50	10,09	2,01
CAF005-1	10,24	9,87	1,85
CAF006-1	11,15	11,16	-0,04
CAF007-1	15,32	15,45	-0,44
CAF008-1	11,85	11,64	0,88
CAF009-1	9,15	9,02	0,75

Nell'allegato 1 sono riportati i valori di concentrazione degli elementi in tracce. Tutti i valori di concentrazione per gli elementi normati sono risultati inferiori alle relative CSC con l'unica eccezione del manganese del CAF007 (344  $\mu\text{g/L}$ ) che oltre ad essere superiore al valore fissato dal D.lgs 152/2006 (50  $\mu\text{g/L}$ ) è lontanissimo dalla media di concentrazione riscontrata negli altri campioni (1,3  $\mu\text{g/L}$ ). Come era probabile aspettarsi, tutti i campioni analizzati mostrano concentrazioni di arsenico superiori alla CSC (10  $\mu\text{g/L}$ ) prevista per questo parametro. Il *range* di valori osservato (15÷21  $\mu\text{g/L}$ ) è però ampiamente compatibile con le concentrazioni riscontrate negli acquiferi vulcanici del Lazio e può, con tutta probabilità, essere ascritto a processi geogenici di arricchimento in falda. L'origine geogenica associata ad interazione acqua-roccia con depositi vulcanici è suggerita anche dai valori relativamente costanti ed elevati per altri parametri significativi, quali fosfato (Tab. 2), silicio e vanadio.

Nella tabella 4 sono riportati, per ciascuna metodica analitica, i principali dati di calibrazione e l'RSD% o deviazione standard relativa, che esprime la precisione del dato per ciascun analita quantificato (3 repliche per ogni campione). I valori calcolati sono risultati sempre largamente al di sotto del 10%.

In tabella 5 sono riportate le risultanze delle analisi microbiologiche. Tre campioni (CAF002, CAF007, CAF008) presentano contaminazione da *E. coli*. Una rapida analisi dei dati evidenzia la presenza di due gruppi statisticamente diversi (test ANOSIM): il primo (CAF001, 002, 003, 004, 009) caratterizzato da basse abbondanze e attività metaboliche, e il secondo gruppo (CAF005, 006, 007, 008) caratterizzato da comunità con una più elevata respirazione microbica e potenziale metabolico (test ANOVA). Le percentuali di cellule HNA e LNA, così come la diversità funzionale (indice di Shannon), non mostrano variazioni significative tra i due gruppi.

**Tabella 4.** Parametri di calibrazione e precisione delle analisi

Parametro	Metodica di analisi	Interpolazione	R <sup>2</sup>	RSD%
F	Cromatografia ionica	Quadratica	0,9994	2,18
Cl	Cromatografia ionica	Quadratica	0,9998	1,94
Br	Cromatografia ionica	Quadratica	0,9999	6,19
NO <sub>3</sub>	Cromatografia ionica	Quadratica	0,9999	1,79
PO <sub>4</sub>	Cromatografia ionica	Quadratica	0,9977	5,24
SO <sub>4</sub>	Cromatografia ionica	Quadratica	0,9999	1,73
HCO <sub>3</sub>	Titolazione potenziometrica	Lineare	0,9740	2,08
Na	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,49
K	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,73
Mg	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,46
Ca	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,44
Si	ICP-OES	Lineare	0,9998	0,47
Al	ICP-OES	Lineare	0,9999	3,26
As	ICP-OES	Lineare	0,9999	4,24
B	ICP-OES	Lineare	0,9998	-
Ba	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,18
Be	ICP-OES	Lineare	0,9999	1,01
Cd	ICP-OES	Lineare	0,9999	-
Co	ICP-OES	Lineare	0,9999	-
Cr	ICP-OES	Lineare	0,9999	5,49
Cu	ICP-OES	Lineare	0,9999	3,28
Fe	ICP-OES	Lineare	0,9999	2,84
Li	ICP-OES	Lineare	0,9997	0,23
Mn	ICP-OES	Lineare	0,9999	2,34
Ni	ICP-OES	Lineare	0,9999	-
Pb	ICP-OES	Lineare	0,9999	-
Sb	ICP-OES	Lineare	0,9993	-
Sr	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,28
Tl	ICP-OES	Lineare	0,9996	-
V	ICP-OES	Lineare	0,9999	0,44
Zn	ICP-OES	Lineare	0,9999	1,48



**Tabella 5.** Dati delle analisi microbiologiche della I campagna

	Abbondanze microbiche Cells/mL	LNA%	HNA%	Potenziale metabolico OD590nm	Respirazione microbica OD590nm	Diversità funzionale S	Coli tot MPN/100mL	E. Coli MPN/100mL
<b>CAF001</b>	1,34E+04	59,130	40,870	0,066	0,049	3,289	3,1	<1
<b>CAF002</b>	1,40E+04	54,810	45,190	0,008	0,010	2,873	4,1	1
<b>CAF003</b>	1,82E+04	58,740	41,260	0,018	0,031	3,013	1	<1
<b>CAF004</b>	9,37E+03	58,370	41,630	0,084	0,062	3,306	<1	<1
<b>CAF005</b>	3,71E+04	69,720	30,280	0,077	0,055	3,291	12,7	<1
<b>CAF006</b>	4,17E+04	65,570	34,430	0,086	0,143	3,258	1	<1
<b>CAF007</b>	2,81E+05	73,470	26,530	0,218	0,220	3,335	13,5	2
<b>CAF008</b>	1,38E+05	59,820	40,180	0,171	0,140	3,345	2419,6	920,8
<b>CAF009</b>	6,84E+04	75,670	24,330	0,025	0,026	3,088	53,8	<1

### 3. Considerazioni generali

Allo scopo di ottimizzare la seconda campagna, prevista per la prossima primavera, si evidenzia che il punto CAF007 ha mostrato segnali di alterazione sia della componente inorganica che dei parametri microbiologici, da mettere in relazione, probabilmente, con lo stato generale dell'area circostante il sito di campionamento e alle cattive condizioni dell'opera di captazione. Riteniamo quindi sia necessario organizzare un ulteriore sopralluogo in campo per programmare un miglioramento della zona di campionamento. Laddove non sia possibile intervenire efficientemente, si suggerisce di integrare il reticolo di campionamento con un nuovo sito, possibilmente localizzato fra i punti CAF001-CAF009 e la zona a nord (CAF008-CAF006).

	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)	S (µg/L)	Tl (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
<b>CAF001-1</b>	33,56	5,83	16,19	<150,0	109,23	0,38	<1,0	<1,0	1,01	<2,0	9,1	18,44	0,54	<2,0	<2,5	<1,0	1496,5	<1,0	41,72	7,45
<b>CAF002-1</b>	39,23	5,59	17,4	<150,0	154,47	1,25	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	3,19	29,18	0,57	<2,0	<2,5	<1,0	1416,55	<1,0	40,42	8,39
<b>CAF003-1</b>	40,38	7,81	15,32	<150,0	163,04	1,54	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	3,48	28,05	0,41	<2,0	<2,5	<1,0	1390,41	<1,0	41,13	9,8
<b>CAF004-1</b>	34,97	6,43	21,6	<150,0	108,05	0,67	<1,0	<1,0	1,02	<2,0	5,06	18,27	0,41	<2,0	<2,5	<1,0	1612,77	<1,0	41,58	4,04
<b>CAF005-1</b>	33,78	18,36	15,75	<150,0	163,91	0,5	<1,0	<1,0	2,06	<2,0	7,95	19,52	1,61	<2,0	<2,5	<1,0	1568,2	<1,0	40,58	13,45
<b>CAF006-1</b>	24,28	1,04	18,67	<150,0	132,39	<0,1	<1,0	<1,0	2,07	<2,0	2,66	8,29	0,17	<2,0	<2,5	<1,0	975,77	<1,0	48,08	1,47
<b>CAF007-1</b>	25,39	26,78	15,92	<150,0	198,56	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	3,19	20,46	1,18	344,3	<2,0	<2,5	<1,0	1422,78	<1,0	41,4	12,91
<b>CAF008-1</b>	25,84	22,59	21,59	<150,0	115,65	<0,1	<1,0	<1,0	1,98	<2,0	9,3	9,64	4,36	<2,0	<2,5	<1,0	1212,9	<1,0	57,69	1,91
<b>CAF009-1</b>	37,18	19,2	20,01	<150,0	228,27	0,84	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	7,22	16,1	2,48	<2,0	<2,5	<1,0	1447,86	<1,0	42,11	3,88

**Allegato 1.**  
Concentrazione degli  
elementi minori e in  
traccia.



Studio idrogeochimico delle acque sotterranee delle risorgive  
della Valle della Caffarella