



## **ALLEGATO VIII**

### **RISULTATI ANALISI IDROGEOCHIMICHE E VALUTAZIONI IDROGEOCHIMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE NELL'INTORNO DEL POZZO GG3**



Roma 23/04/2019

Prot. n.

Spett.le Prof. Salvo Grimaldi  
Dip. Scienze  
Università della Basilicata  
SEDE

**Oggetto: Risultati analisi idrogeochimiche**

In riferimento al preventivo del 23 novembre 2023 e alla consegna dei relativi campioni al nostro laboratorio avvenuta in data 10 aprile 2024, si inviano in Tabella 1 i risultati della determinazione degli elementi chimici **maggiori (sodio, potassio, calcio, magnesio, fluoro, cloro, nitriti, nitrati, fosfati e solfati)** effettuata mediante cromatografia ionica in fase liquida (Ion Chromatography System Dionex ICS-1100 e ICS-5000)

**Tabella 1 – Risultati elementi maggiori (mg/L)**

Sigla	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Br	F	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
PZ12	62,5	20,7	35,7	4,2	14,1	22,8	333	< 0,1	0,2	< 0,1	2,8
SG05	135,2	14,4	30,8	0,7	26,2	48,9	422	0,4	0,2	< 0,1	0,1
SG01	144,2	23,7	56,8	1,6	19,4	53,4	558	0,4	0,2	< 0,1	3,4
SG04	198,7	21,1	71,2	1,9	111,5	147,5	445	< 0,1	0,3	< 0,1	4,1
AST_P24	149,7	43,6	156,2	2,2	212,9	148,8	482	< 0,1	0,3	< 0,1	1,4
AST_P09	168,3	92,1	111,8	4,7	310,1	117,6	521	0,3	0,3	< 0,1	0,7

Il Responsabile del Laboratorio di Geochimica  
Prof. Marco Petitta

Il responsabile scientifico della strumentazione  
Prof. Maurizio Barbieri



# **Valutazioni idrogeochimiche delle acque sotterranee nell'intorno del pozzo GG3**

**Aprile 2024**

## Premessa

Per poter ottenere informazioni idrogeologiche dai dati chimici delle acque di falda è necessario ricostruire il “cammino” dell’evoluzione idrogeochimica, cioè la sequenza dei vari processi attraverso i quali l’acqua acquista la sua composizione chimica.

Quasi tutte le acque sotterranee si originano dalle precipitazioni o dalle acque di scioglimento nivale che si infiltrano, attraverso il suolo, negli acquiferi sottostanti. Quando l’infiltrazione avviene attraverso lo strato sottile e biologicamente attivo del suolo, le acque interagiscono con esso e modificano il proprio chimismo. Nelle aree di ricarica, la porzione del suolo subisce un netto impoverimento in sostanze minerali ad opera dell’acqua che defluisce nel sottosuolo. Durante il deflusso sotterraneo dalle aree di ricarica fino ai punti di recapito, il chimismo dell’acqua viene alterato dall’effetto di una moltitudine di processi geochimici.

Infatti le caratteristiche idrogeochimiche delle acque sotterranee dipendono solo in minima parte dalla composizione chimica delle acque di precipitazione. Esse risultano essere maggiormente influenzate dalle reazioni chimico-fisiche che avvengono tra acqua e matrice solida nel percorso, più o meno profondo, delle acque attraverso gli strati di terreno e roccia.

Durante il percorso delle acque sotterranee nella zona satura, si assiste generalmente ad un aumento dei solidi disciolti totali e della maggior parte degli ioni principali. In accordo con questa generalizzazione, indagini idrogeologiche condotte in diverse parti del mondo hanno evidenziato che le acque sotterranee che si rinvergono nelle aree di ricarica a bassa profondità sono caratterizzate da un minor contenuto in solidi disciolti rispetto ad acque dello stesso sistema idrogeologico presenti più in profondità, ma anche rispetto ad acque sotterranee presenti nelle zone più superficiali dell’acquifero nelle aree di recapito.

Conseguentemente, lo studio delle proprietà chimiche delle acque sotterranee è, in molti casi, un importante supporto per la comprensione delle dinamiche, dei percorsi e delle eventuali interazioni tra corpi idrici. Tale studio consente di caratterizzare la componente organica e inorganica trasportata dalle acque sotterranee, stabilirne la qualità e, al contempo, pianificare interventi volti al mantenimento di un buono stato di qualità e/o rendere razionale lo sfruttamento idrico in modo sostenibile ed ecologicamente compatibile. L’analisi dei dati chimici consente, quindi, di formulare alcune ipotesi idrogeologiche inerenti i possibili percorsi sotterranei seguiti ed i tempi di residenza relativi. Infatti, infiltrando zone diverse, più o meno profonde, della crosta terrestre l’acqua viene a contatto con rocce di natura differente, portando in soluzione e scambiando ioni di diversa natura e cambiando il suo connotato idrochimico. I sali più solubili tra quelli presenti nelle rocce sono  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$ . Congruamente, gli ioni principali più abbondanti presenti nelle acque sotterranee sono  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  anche se, a causa della composizione acida

delle precipitazioni e dell'effetto dell'acido carbonico sulla dissoluzione dei carbonati e dei silicati, sono spesso i seguenti:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$ .

Le acque sotterranee in insiemi stratificati o misti di sedimenti non consolidati o di rocce possono seguire diversi percorsi di evoluzione geochimica, a seconda di fattori come l'ordine di incontro dei minerali, i relativi tassi di dissoluzione minerale, la disponibilità e la solubilità dei minerali, la presenza di materia organica e di batteri, le condizioni di  $\text{CO}_2$  e la temperatura. L'idrochimica dei sistemi di deflusso sotterranei è sottoposta a cambiamenti progressivi e per lo più irreversibili su lunghi periodi del tempo geologico poiché le acque sotterranee attraversano continuamente i materiali geologici. I piccoli quantitativi di gesso e di altri minerali solubili che hanno una forte influenza sull'evoluzione chimica delle acque sotterranee di molti sistemi idrogeologici vengono gradualmente rimossi da questi sistemi. Il sodio, che viene scambiato con  $\text{Ca}^{++}$  nello sviluppo di acque sotterranee ricche in Na, viene rimosso dai siti di scambio dei minerali argillosi. I minerali silicatici come i feldspati e le miche vengono continuamente trasformati in minerali argillosi. Le caratteristiche dei profili di suolo nelle aree di ricarica, che controllano la composizione iniziale delle acque sotterranee al momento dell'infiltrazione, cambiano lentamente per via del dilavamento causato dai ripetuti eventi di infiltrazione.

## Punti d'acqua campionati

Nell'area intorno al pozzo GG3 (Fig. 1) sono stati campionati, tra fine febbraio e inizio marzo 2024,

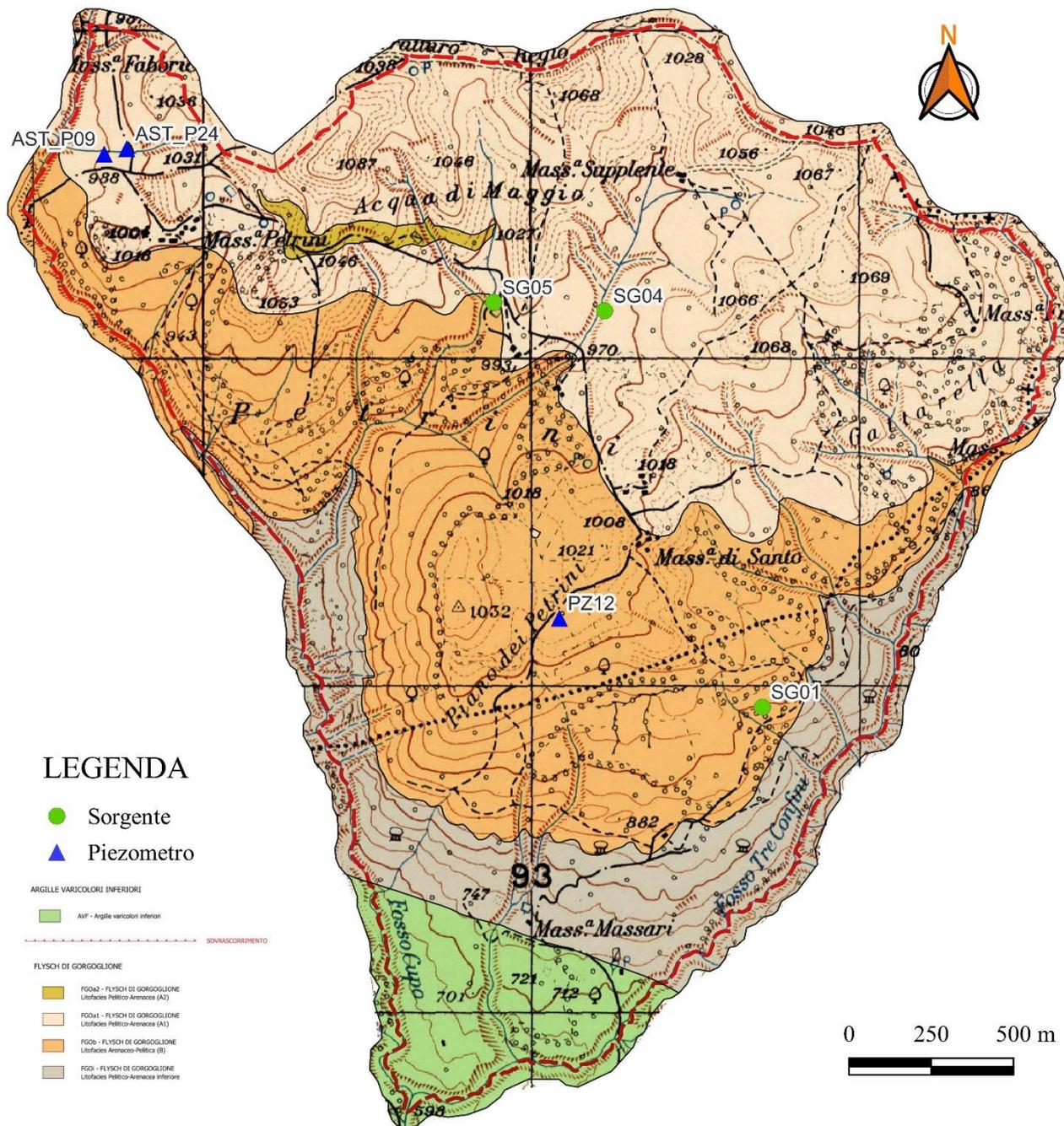


Figura 1: Ubicazione dei punti d'acqua campionati.

i seguenti punti d'acqua (Tab. 1):

CODICE CAMPIONE	TIPO	DATA CAMPIONAMENTO	LATITUDINE	LONGITUDINE	PH	Cond. (µS/cm)	T [°C]
AST_P24	PIEZOMETRO TUBO APERTO	27/02/2024	40.406609	16.080679	7.00	1493	13.2
AST_P09	PIEZOMETRO TUBO APERTO	27/02/2024	40.406480	16.079877	6.97	1714	16.3

PZ12	PIEZOMETRO TUBO APERTO	06/03/2024	40.393536	16.095973	7.86	264	14.05
SG01	SORGENTE	06/03/2024	40.391015	16.1032039	7.9	835	10.81
SG04	SORGENTE	06/03/2024	40.402003	16.0977327	6.94	1125	12.83
SG05	SORGENTE	06/03/2024	40.402269	16.0939651	7.18	365	8.68

Tabella 1: Elenco punti d'acqua (piezometri e sorgenti) campionati

I campioni provenienti dai piezometri sono stati campionati in modalità statica. Il piezometro PZ12, risultato sterile all'atto della realizzazione, conteneva un po' d'acqua sul fondo di dubbia provenienza (infiltrazione diretta di acqua piovana o acqua derivante dalle operazioni di realizzazione), è stato comunque campionato.

Per le sorgenti campionate, tutte a quote intorno a 900 m slm, non è stato possibile misurare la portata che in ogni caso risulta molto modesta (pochi l/min).

I campioni sono stati inviati per le analisi al laboratorio di geochimica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza".

La determinazione degli elementi chimici maggiori (sodio, potassio, calcio, magnesio, fluoro, cloro, nitriti, nitrati, bromuri, bicarbonati e solfati) è stata effettuata mediante cromatografia ionica in fase liquida (Ion Chromatography System Dionex ICS-1100 e ICS-5000). Si riportano i risultati (Tab. 2):

Sigla	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Br	F	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>PZ12</b>	62,5	20,7	35,7	4,2	14,1	22,8	333	< 0,1	0,2	< 0,1	2,8
<b>SG05</b>	135,2	14,4	30,8	0,7	26,2	48,9	422	0,4	0,2	< 0,1	0,1
<b>SG01</b>	144,2	23,7	56,8	1,6	19,4	53,4	558	0,4	0,2	< 0,1	3,4
<b>SG04</b>	198,7	21,1	71,2	1,9	111,5	147,5	445	< 0,1	0,3	< 0,1	4,1
<b>AST_P24</b>	149,7	43,6	156,2	2,2	212,9	148,8	482	< 0,1	0,3	< 0,1	1,4
<b>AST_P09</b>	168,3	92,1	111,8	4,7	310,1	117,6	521	0,3	0,3	< 0,1	0,7

Tabella 2: Risultati elementi maggiori (mg/l)

### Interpretazione dei dati geochimici

Sulla base delle analisi effettuate è stato possibile procedere alla classificazione ed al confronto delle acque campionate.

La formula ionica permette di classificare un'acqua (facies chimica) e si determina ordinando i principali anioni (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; SO<sub>4</sub><sup>-</sup>; Cl<sup>-</sup>) e cationi (Na<sup>+</sup>; Ca<sup>++</sup>; Mg<sup>++</sup>) per quantità in percentuali decrescenti da sinistra verso destra.

In Tabella 3 si riportano le formule ioniche delle acque campionate:

Punti campionati	Formula ionica
------------------	----------------

AST_P09	Ca-Mg-Na-Cl- HCO <sub>3</sub>
AST_P24	Ca-Na-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl
PZ12	Ca-Mg-Na- HCO <sub>3</sub>
SG01	Ca-Na- HCO <sub>3</sub>
SG04	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -Cl- SO <sub>4</sub>
SG05	Ca- HCO <sub>3</sub>

Tabella 3: Formule ioniche delle acque campionate

Dall'analisi della Tabella 4 si evince che tutte le acque campionate hanno una formula ionica diversa. Questa estrema variabilità è compatibile con una circolazione molto frazionata, per lo più superficiale, all'interno di materiali poco permeabili.

Nell'area la successione affiorante principale è il Flysch di Gorgoglione che è caratterizzata dall'alternanza di arenarie (talvolta conglomerati) e peliti.

Il dettaglio del rilevamento ha permesso di identificare due diverse facies all'interno del Flysch di Gorgoglione: Sono state, pertanto, individuate una litofacies A (pelitico-arenacea) ed una litofacies B (arenaceo pelitica).

La componente argillosa all'interno delle litofacies affioranti sembra essere la responsabile dell'estrema variabilità chimica delle acque, delle basse portate e dell'estremo frazionamento.

Per meglio analizzare i dati geochimici si utilizzano i diagrammi di comparazione, che oltre ad individuare la facies idrochimica, permettono un confronto tra le varie acque campionate. Tra i diagrammi di comparazione i più usati sono: il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller.

Il diagramma di Piper a diamante (Fig. 2) è costituito da un rombo al di sotto del quale ci sono due triangoli equilateri, uno per i cationi e l'altro per gli anioni. Nella losanga viene rappresentato il punto rappresentativo dell'intera analisi e permette di classificare l'acqua e di confrontare più acque tra loro.

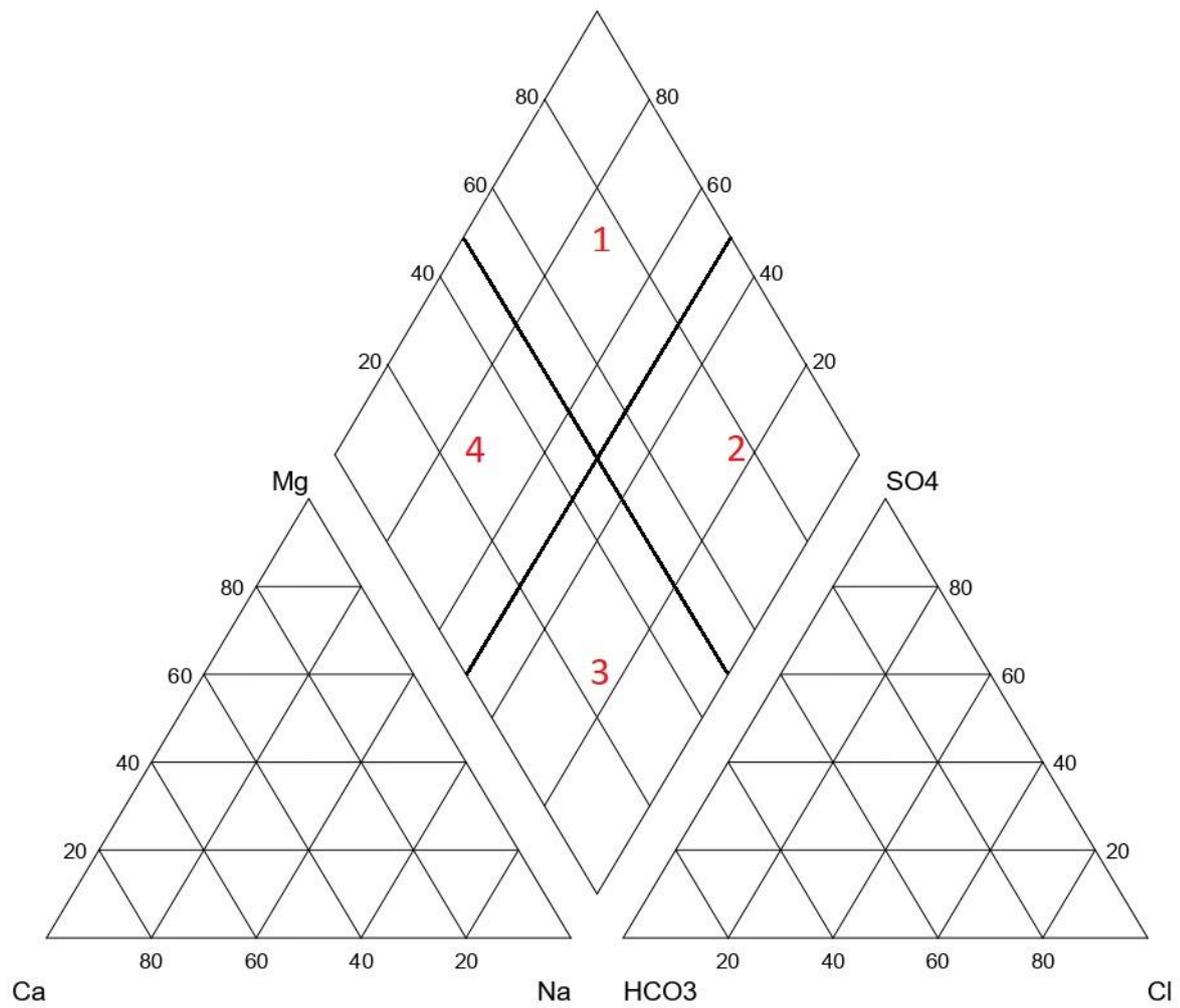


Figura 2: Diagramma di Piper. Tipi di acque: 1) solfato-clorurato-alcino-terrose (SCAT); 2) solfato-clorurate-alcaline (SCA); 3) bicarbonato-alcaline (BA); 4) bicarbonato-alcino-terrose (BAT).

Per le acque analizzate è stato costruito il diagramma di Piper (Fig. 3).

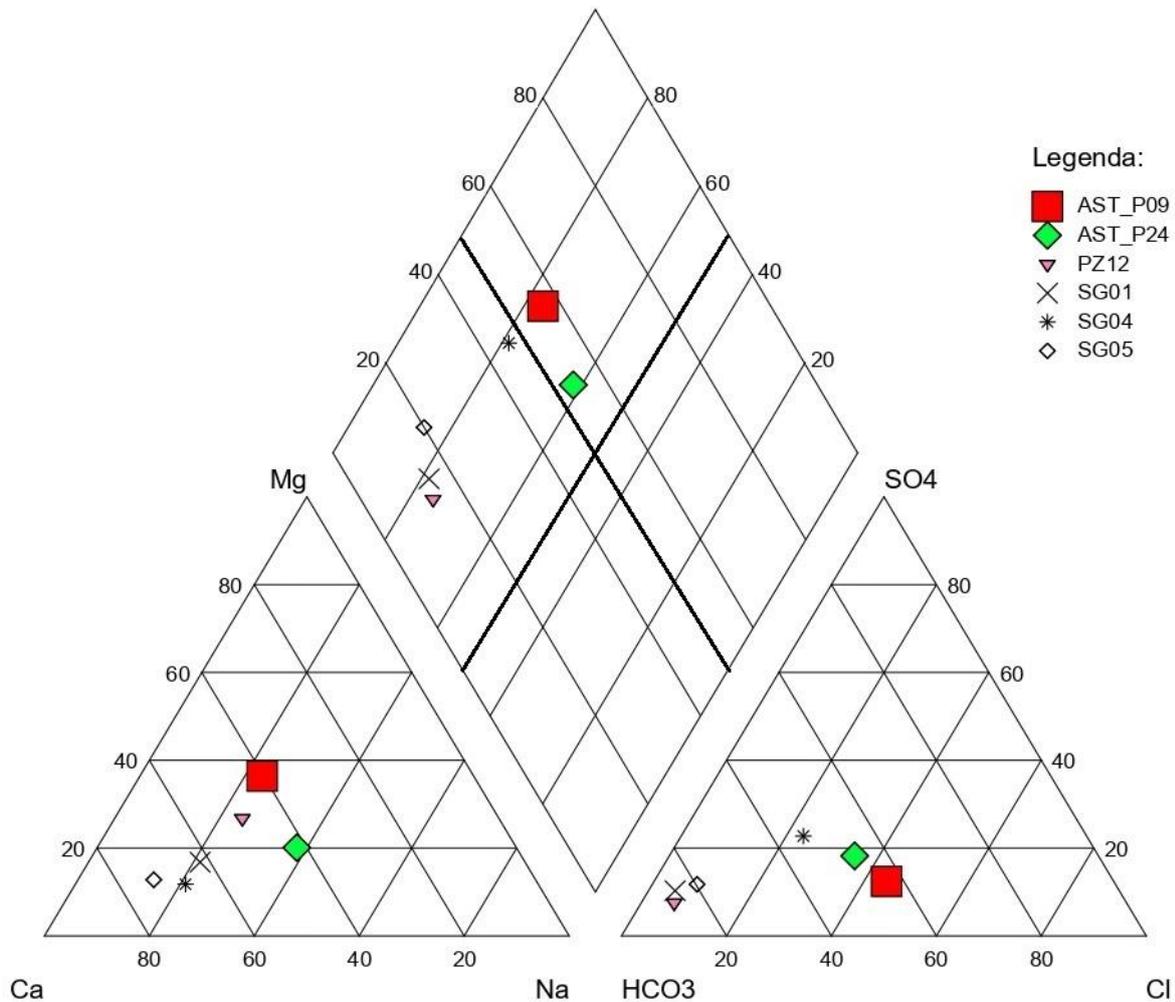


Figura 3: Diagramma di Piper delle acque analizzate. I punti a colore pieno sono relativi ai piezometri. La dimensione è rappresentativa della conducibilità.

Dall'esame del diagramma di Piper è possibile individuare due facies idrochimiche distinte: la SCAT, per i piezometri AST\_P09 e AST\_P24, e la BAT per gli altri punti.

Oltre al diagramma di Piper è stato costruito anche il diagramma di Schoeller (Fig. 4).

Il diagramma semilogaritmico di Schoeller è quello che meglio si presta a paragonare tra loro acque diverse. Esso è costituito da più ordinate lungo le quali vengono riportate, in scala logaritmica, le concentrazioni dei singoli elementi in meq/l. I punti vengono poi uniti da una spezzata. Il primo vantaggio è che vengono conservati i valori assoluti delle concentrazioni dei singoli ioni, ciò consente di distinguere acque a debole mineralizzazione da quelle più mineralizzate. La pendenza della spezzata, che unisce le concentrazioni degli ioni adiacenti, permette di correlare acque della stessa famiglia con tenori salini diversi, evidenziandone così il rapporto caratteristico. Mediante il diagramma di Schoeller è dunque possibile evidenziare sia anomalie del singolo punto di campionamento nei confronti dell'andamento tipico dell'area che la congruenza tra campioni dello stesso tipo chimico più o meno diluiti.

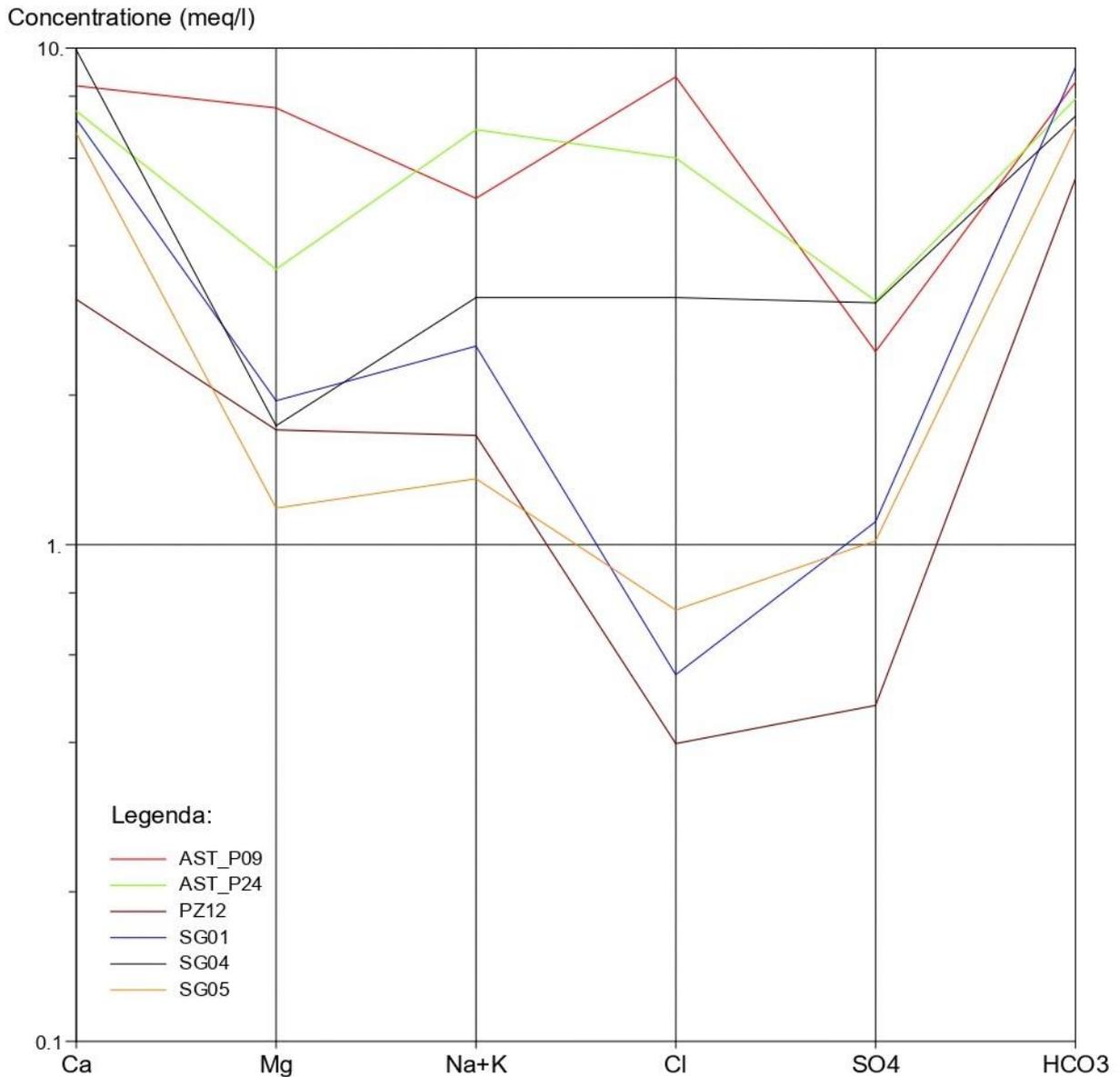


Figura 4: Diagramma di Schoeller delle acque campionate.

Dall'esame del diagramma di Schoeller possiamo individuare una certa somiglianza delle acque delle sorgenti SG01 e SG05. Tutte le altre hanno andamenti diversi tra loro. In particolare le acque dei piezometri risultano sia le meno mineralizzate (PZ12) che le più mineralizzate (AST\_P09 e AST\_P24) tra quelle analizzate.

Presentano inversione dei rapporti caratteristici:  $r_{Mg/(Na+K)}$  per PZ12 e AST\_P09;  $r_{(Na+K)/Cl}$  per AST\_P09;  $r_{Cl/SO4}$  per AST\_P09 e AST\_P024.

I rapporti caratteristici indicano una netta differenza delle acque dei piezometri da quelle delle sorgenti. Fatta eccezione per il piezometro PZ12 che ha una debole mineralizzazione e che probabilmente è da mettere in relazione a problemi costruttivi dello stesso.

Questa differenza è anche evidenziata dal diagramma di Piper che attribuisce la classificazione SCAT ai soli piezometri AST\_P09 e AST\_P24.

Il basso valore di salinità suggerisce una circolazione superficiale con modesti tempi di contatto acqua/roccia. Fanno eccezione i due piezometri AST\_P09 e AST\_P24, di facies diversa (SCAT), che mostrano valori di conducibilità più elevati e quindi, essendo ubicati all'interno delle medesime litologie della sorgente SG04, di un possibile aumento dei tempi di contatto acqua roccia. La loro vicinanza suggerisce la possibilità che possano interessare il medesimo acquifero anche se mostrano una inversione di alcuni rapporti caratteristici (Fig.4). Il dato dovrebbe essere interpretato anche alla luce della piezometria.

## **Conclusioni**

Tutte le acque campionate ed analizzate risultano appartenere alle facies (Fig. 3) bicarbonato-alcalino-terrose (BAT) e solfato-clorurato-alcalino-terrose (SCAT). Sulla base delle analisi effettuate è stato possibile supportare le ipotesi sui percorsi di circolazione idrica sotterranea ed i relativi tempi di interazione acqua-roccia.

Le acque dei campioni SG01, PZ12 e SG05 appartengono alle acque più schiettamente bicarbonato-alcalino-terrose (BAT) mentre le acque dei campioni AST\_P24, AST\_P09 appartengono alla facies delle acque solfato-clorurato-alcalino-terrose (SCAT).

Il campione relativo al piezometro PZ12, sia per la bassa salinità che per caratteristiche costruttive, è da ritenersi non rappresentativo delle acque sotterranee circolanti.

I piezometri AST\_P09 e AST\_P24 mostrano valori di salinità compatibili con tempi di residenza superiori a quelli delle sorgenti SG01 e SG05.

Il campione SG04 presenta una composizione intermedia tra queste due facies. Questa composizione intermedia è probabilmente da mettere in relazione alle condizioni di emergenza. La sorgente è ubicata in una zona interessata da una rottura di pendenza che permetterebbe la venuta a giorno di acque con circolazione più profonda rispetto alle altre sorgenti.

Tutte le acque presentano concentrazioni compatibili con una circolazione all'interno delle litologie che costituiscono il Flysch di Gorgoglione (alternanza di arenarie e di argille leggermente marnose - arenarie da fini a grossolane con intercalazioni di peliti).

Questa compatibilità di circolazione con la litologia non è identificativo di una circolazione unitaria. Le basse portate mostrate dalle sorgenti, la loro ubicazione, la bassa salinità e le anomalie riscontrate (vedi PZ12) indicano che la circolazione è molto frazionata, principalmente superficiale e di modesta entità. Il tutto è congruente con la natura geochimica e con la permeabilità dei termini affioranti nell'area.

## **Bibliografia**

Piper, A.M. (1944) A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25, 914-928.

Schoeller, H.: Utilite de la notion des exchanges de bases pour le comparison des eaux souterraines. Soc Geol Compt Rend Somm Bull **5**, 651–657 (1935)

Celico P. (1988) – Prospezioni idrogeologiche. Voll. I e II, Liguori editore, Napoli

Chiesa G. (2002) Idrogeochimica. Ed. Geo-Grapp - Segrate

Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604