

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA**

**FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA**

**DIRETTORE: Chiar.mo Prof. C. Perotti**

**IMPATTO DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE  
SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE:  
IL POLO UNICO DI MONTE TONDO (RA)**

**Relatore:**  
**Prof. Elisa Sacchi**

**Correlatore:**  
**Dott. Roberto Margutti**

**Tesi sperimentale di Laurea Specialistica  
in Scienze geologiche applicate  
di Massimiliano Borghi**

**Anno Accademico 2007/2008**

# INDICE

<b>CAPITOLO 1 – Introduzione e scopo del lavoro</b>	<b>1</b>
1.1 L’ambito territoriale del gesso e i suoi utilizzi	1
1.2 Problematiche di cava e scopo del lavoro	2
<b>CAPITOLO 2 – Inquadramento geologico-regionale dell’area di studio</b>	<b>5</b>
2.1 Evaporiti: mineralogia e ambienti deposizionali	5
2.2 I gessi in Italia	9
2.2.1 Gessi Permiani	10
2.2.2 Gessi Triassici	11
2.2.3 Gessi Messiniani	12
2.3 Aspetti geologico-strutturali della Vena del gesso	16
2.3.1 Aspetti tettonici della Vena del gesso	21
2.4 Geologia e tettonica della cava di Monte Tondo	26
2.4.1 Evidenze tettoniche della cava di Monte Tondo	30
2.5 Idrologia e Idrogeologia	32
<b>CAPITOLO 3 – Metodologia e scelta di campionamento</b>	<b>41</b>
3.1 Valutazione temporale dei campionamenti	41
3.2 Posizione geografica dei punti di prelievo e operazioni di terreno	43
3.3 Metodologia e approccio di campionamento	48
<b>CAPITOLO 4 – Analisi di laboratorio</b>	<b>52</b>
4.1 Analisi dell’alcalinità	52
4.2 Analisi con ICP - Inductively Coupled Plasma	54
4.3 Analisi con spettrofotometro	56
<b>CAPITOLO 5 – Risultati</b>	<b>61</b>
5.1 Confronto tra le due campagne	61
5.2 Definizione idrochimica delle acque	67
5.3 Idrocarburi	71
<b>CAPITOLO 6 – Interpretazione dati</b>	<b>76</b>
<b>CAPITOLO 7 – Conclusioni</b>	<b>86</b>

<b>APPENDICE</b>	<b>89</b>
<b>1</b> Parametri misurati sul campo e strumentazione utilizzata	89
<b>2</b> Schede tecniche dei punti di campionamento	93
<b>3</b> Alcalinità ed elaborazione matematica dei dati	105
<b>4</b> ICP: strumentazione e caratteristiche	110
<b>5</b> Teoria e metodo dell'analisi spettrofotometrica	112
<b>Bibliografia</b>	<b>114</b>

- Omissis -

## **CAPITOLO 1 – Introduzione e scopo del lavoro**

### **1.1 L'ambito territoriale del gesso e i suoi utilizzi**

La Vena del gesso romagnola è uno dei più importanti affioramenti di gesso in Italia e si sviluppa, con i suoi 17 km circa, parallelamente alla Via Emilia nella zona fra Imola e Faenza. È una delle più evidenti strutture geologiche della regione Emilia Romagna, a causa del forte contrasto che presenta una struttura alta e massiccia (composta da rocce piuttosto compatte, facenti parte della formazione Gessoso-solfifera) a contatto con una zona collinare di morfologia molto lineare e “morbida” (caratterizzata da argille e peliti tipiche della zona). Questa forte differenziazione litologica comporta una resistenza all'erosione meteorica molto differente che da origine, specialmente sui versanti esposti a sud-ovest, a pareti molto ripide alla base delle quali si accumulano per crollo blocchi di diverse dimensioni.

L'impatto visivo che propone quest'area è naturale conseguenza sia del carattere geologico, sia della particolare composizione chimico-mineralogica delle rocce, che permettono paesaggi suggestivi e differenziati. Nonostante l'intera formazione presenti come aspetto generale questo contrasto di forme, un'osservazione più accurata permette di individuare le caratteristiche peculiari che differenziano alcune aree da altre. L'intero settore Settentrionale per esempio, è attraversato quasi ortogonalmente dai fiumi appenninici che scendono verso la pianura padana e verso il Po, suddividendo l'intera struttura in diversi tronconi. Tra il torrente Sintra e il fiume Santerno si può osservare la zona più sfruttata a livello economico, dove si è sviluppato il polo estrattivo di Monte Tondo, attualmente la cava di gesso a cielo aperto più grande d'Italia, sia per produttività annua, che per sviluppo areale.

Attiva dal 1958 e tuttora operante, permette l'approvvigionamento di circa 20 cementerie distribuite in varie province italiane che necessitano di un fabbisogno di circa 160.000 ton/anno di gesso, quale additivo, nella produzione del clinker. La maggior parte dei quantitativi annui estratti (circa 200.000 ton/anno) sono invece estratte a fabbisogno interno della proprietà di cava; in questo caso il gesso viene trasferito nel vicino stabilimento Saint-Gobain PPC di Casola Valsenio, ove attraverso il processo di calcinazione viene trasformato in emidrato e inserito nel ciclo industriale per la produzione di intonaci, premiscelati e lastre di cartongesso, per il mercato dell'edilizia.

L'attività antropica ha provocato lungo la Vena del Gesso emiliano-romagnola intense trasformazioni rispetto al paesaggio originario, sia in superficie che in profondità. Il motivo di questo forte impatto antropico è in parte correlato ai molteplici utilizzi del gesso, che può essere sfruttato come pietra da taglio, come gesso cotto o crudo in polvere; inoltre, sulla base di talune caratteristiche di pregio, alcune cave hanno permesso l'estrazione di materiale ornamentale (balaustre, pavimenti, rivestimenti, basamenti ecc.) presente tuttora in alcuni palazzi e chiese della zona.

Attualmente il gesso viene utilizzato in ambito edilizio come materiale da costruzione (lastre di cartongesso, Scagliola, stucchi e simili ecc.). Negli ultimi decenni va anche evidenziato il suo impiego in agricoltura, sfruttando direttamente la polvere derivante dalla macinazione per la fabbricazione di fertilizzanti; l'elevata solubilità del gesso permette, infatti, il rilascio di calcio e zolfo che migliorano le caratteristiche di struttura e di fertilità naturale dei suoli, specie se acidi o basici.

## **1.2 Problematiche di cava e scopo del lavoro**

La caratteristica elevata solubilità del minerale ha anche influenzato, a grande scala, l'ambiente circostante la Vena del gesso, e ad una prima osservazione è evidente la mancanza di una rete idrografica superficiale ben sviluppata. Questo è anche dovuto al forte grado di fratturazione, imputabile alla tettonica compressiva, della formazione Gessoso-solfifera, che comporta una via preferenziale di infiltrazione delle acque superficiali con il risultato di un forte sviluppo di fenomeni carsici e cavità naturali sotterranee più o meno complesse.

Il termine "carsismo" deriva da "carso" (Karst) indicante la regione tra l'Italia e la Jugoslavia, Carso triestino, dove il fenomeno delle infiltrazioni delle acque meteoriche è tale da dare origine ad una rete di circolazione idrica sotterranea imponente con frequente presenza di doline ed inghiottitoi ("foibe"); la medesima situazione si presenta nella Vena del gesso dove, non ha caso, queste gallerie e di questi sistemi di circolazione ipogei hanno costituito l'oggetto di numerosi studi speleologici di grande importanza per la comunità e per le attività estrattive presenti sul posto. Inoltre, va sottolineata la particolare importanza storico-paleontologica di alcuni di questi sistemi di grotte e gallerie (es. Grotta del Re Tiberio, la Tanaccia di Brisighella e la Grotta dei Banditi) e il relativo interesse da parte degli organi competenti, che hanno protetto e tutelato questi "archivi" storici di grande pregio per gli studi di settore.

Nonostante le caratteristiche geologico-mineralogiche dell'area possano limitare fortemente la presenza di acque superficiali, non è corretto dire che tutto il settore emiliano romagnolo correlato con la Vena del gesso non sia ricco di acque. Al contrario, la possibilità delle stesse di infiltrarsi e di formare circuiti ipogei permette un'elevata interazione con le rocce presenti, risultando in una diffusa presenza di sorgenti di acque a chimismo anomalo (acque solforose, salsobromoiodiche, ferruginose, vulcanelli di fango di Bergullo) che sono state studiate e sfruttate a livello economico anche nel passato. A conferma di questo aspetto sono le numerose sorgenti termali e centri correlati presenti in zona ed anche dal più comune utilizzo di toponimi di alcuni paesi (Riolo Terme, Borgo Rivola, Castel San Pietro Terme, Casetta Gessi, Cà Sasso, Chiesa di Sasso Letroso, Sassatello ecc.).

In un ambito così articolato di differenti aspetti geologici, tecnici e culturali, l'insediamento produttivo e di estrazione del gesso è costantemente controllato e monitorato sia dagli organi regionali e provinciali preposti al controllo, sia dalla cittadinanza e dalle associazioni speleologiche e ambientaliste che giustamente richiedono attenzione e coerenza di lavoro da parte della Saint-Gobain PPC Italia (ex BPB), multinazionale francese leader in Italia nella produzione e vendita di cartongesso, proprietaria del polo produttivo. Le problematiche di estrazione sul fronte di cava, il forte impatto visuale legato alla configurazione ad anfiteatro, la richiesta di bonifica delle aree non più sfruttabili ed ormai dismesse, le considerazioni tecniche necessarie per affrontare gli scavi in sotterraneo con la conseguente interazione con i reticoli ipogei delle acque e delle gallerie carsiche presenti, il problema del trasporto del materiale fuori dalla cava e la logistica connessa, fanno di questa ristretta area, di alcuni chilometri quadrati, un'importante zona di studio e ricerca a livello multidisciplinare.

L'interesse tecnico legato all'interazione dell'attività di cava con le acque superficiali e sotterranee sarà lo scopo di questa tesi e si porrà particolare attenzione all'analisi idrochimica, osservando le fluttuazioni di queste caratteristiche al variare delle condizioni ambientali. L'interazione fra le acque meteoriche e quelle sotterranee, le capacità di diluizione delle stesse, la ricerca di eventuali circuiti ipogei e la possibile mescolanza di diverse tipologie di acque, lo studio di interazione fra i fluidi presenti e le rocce con particolare attenzione alle capacità di dissoluzione, saranno alcuni dei punti di approfondimento ricercati.

Infine, è evidente come la presenza di una attività estrattiva in sotterraneo potrebbe velocizzare i processi di infiltrazione e percolazione, portando ad un eventuale inquinamento di falde acquifere, poiché il possibile rilascio di sostanze pericolose (ad esempio nitrati ed idrocarburi) avviene ad una profondità dove non esiste un rallentamento o accumulo da parte del terreno superficiale.

L'analisi ad ampio raggio che si vuole eseguire è quindi finalizzata all'ottenimento di un utile mezzo di conoscenza per capire quanto l'attività di cava incide sull'ambiente circostante e soprattutto sull'idrologia e sull'idrogeologia di una zona fortemente sfruttata per la qualità delle sue acque e delle sorgenti.



- Omissis -

## **CAPITOLO 3**

### **Metodologia e scelta di campionamento**

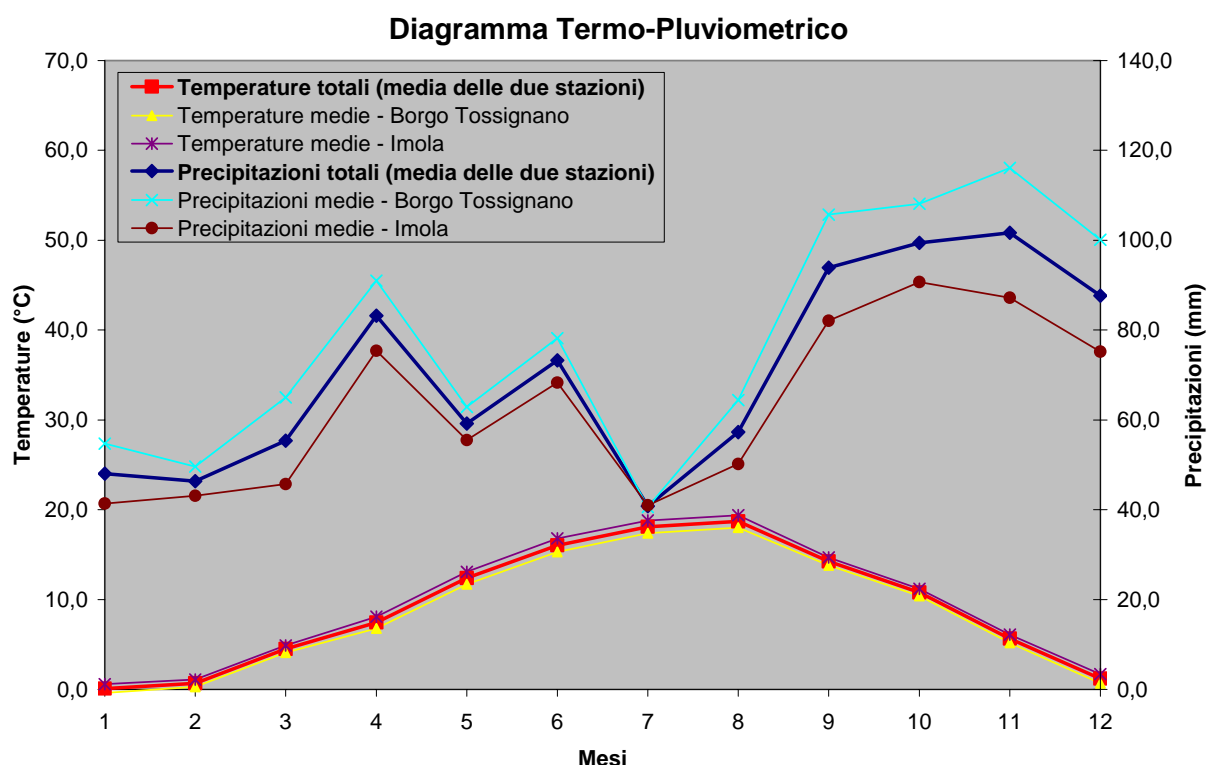
#### **3.1 Valutazione temporale dei campionamenti**

La complessità della zona di studio, sia per quanto riguarda la relazione tra acque superficiali e sotterranee sia per la presenza di reticoli ipogei, ha richiesto un'attenta analisi volta alla selezione non solo dei periodi migliori per effettuare il campionamento, ma anche dei punti di prelievo (le acque di cava e di galleria, quelle dei piezometri ed anche il Fiume Senio).

Considerando lo stretto rapporto che intercorre fra chimismo delle acque, precipitazioni e clima, si sono ricercati una serie di dati generali di riferimento per la definizione del regime pluviometrico e termico dell'area di studio.

La ricerca di dati rappresentativi dell'area, con una copertura storica almeno decennale, non ha permesso di utilizzare i dati misurati nella stazione di Monte Tondo in quanto riferiti alle sole precipitazioni, senza alcun rilevamento delle temperature medie mensili. Questo ha imposto l'utilizzo dei dati derivanti da due stazioni meteorologiche poste nella città di Imola (ad una quota leggermente inferiore rispetto all'area di cava) e nel comune di Borgo Tossignano (al contrario della precedente ad una quota maggiore del polo estrattivo), che sono state scelte per la vicinanza delle stesse alla cava e per la ridotta differenza altimetrica presente. I dati disponibili per queste stazioni sono le medie mensili, sia per le temperature che per le precipitazioni, ottenute su un intervallo di tempo quindicennale (1991-2005). Al fine di interpretare correttamente i dati precedenti e diminuire il più possibile errori legati alla distanza e alla quota media, si è deciso di mediare ulteriormente le misurazioni dei due centri e di utilizzare quindi i risultati in un diagramma termo-pluviometrico che potesse essere un "riferimento storico" per la climatologia dell'area di studio.

I dati meteorologici dell'ARPA Emilia Romagna e le loro rielaborazioni per questa specifica analisi, sono rappresentati in Fig. 3.1.1.



**Figura 3.1.1** – Il diagramma mostra i dati medi mensili, su intervallo quindicennale, delle due stazioni utilizzate., mentre le linee più spesse rappresentano un'ulteriore media fra i dati precedenti, allo scopo di evidenziare le ridotte differenze presenti fra le due stazioni meteorologiche utilizzate.

L'elaborazione dei dati precedenti, nonostante la differenza di quota che intercorre fra le due stazioni, mostra una generale mancanza di evidenti variazioni caratteristiche, e la media dei valori ottenuti per ognuno dei due parametri (temperature e precipitazioni) rappresenta con buona approssimazione le condizioni climatiche del polo estrattivo. Ben visibile nel grafico sono le condizioni di forte piovosità nel periodo invernale, con il mese di novembre caratteristico di questa situazione; vice versa, il mese di luglio, si differenzia per una condizione limite di deficit idrico, unica durante l'anno.

Considerati questi aspetti generali, si deve comunque porre attenzione al fatto che i dati precedenti, sono limitati ad un intervallo di tempo che si interrompe nel 2005, ed è quindi necessario completare l'inquadramento climatologico con ulteriori misure ottenute il più recentemente possibile. Si è quindi deciso di utilizzare i parametri climatici misurati nell'anno 2007 presso la stazione meteorologica di Imola, ubicata a circa 11 km di distanza dalla Cava di Monte Tondo (Fig. 3.1.2)

IMOLA	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
Temp. max. media (°C)	5.9	9.3	14.0	18.1	22.9	26.9	29.8	29.4	25.5	19.4	12.4	7.0	7.4	18.3	28.7	19.1	18.4
Temp. min. media (°C)	-0.7	1.3	4.5	7.8	11.8	15.6	17.5	17.5	14.6	10.0	4.8	0.0	0.2	8	16.9	9.8	8.7
Pioggie (mm)	51	46	53	72	64	57	42	66	67	77	96	62	159	189	165	240	753
Giorni di pioggia ( $\geq 1$ mm)	7	7	7	8	8	6	4	6	5	7	9	7	21	23	16	21	81

**Figura 3.1.2** — Tabella dati annuali (2007) della stazione meteorologica della città di Imola. In grassetto quelli complessivi stagionali ed annuali.

I dati più recenti, confermano quelli quindicennali ed evidenziano l'appartenenza dell'area ad un regime (denominato Sublitoraneo-Appenninico, fra i quattro regimi pluviometrici della penisola italiana) caratterizzato da piogge prevalentemente autunnali e primaverili, solitamente con massimi autunnali (ottobre-novembre) più accentuati di quelli primaverili (marzo-aprile) ed una riduzione della piovosità, ma senza vera e propria siccità, nella stagione estiva (luglio-agosto).

Tuttavia, i dati meteorologici della città di Imola e quelli quindicennali elaborati in precedenza, non rappresentano appieno il quadro climatico dell'area di studio (ubicata all'interno del settore collinare appenninico), poiché la quota sul livello del mare, la specifica posizione geografica, l'esposizione ai venti e la direzione degli stessi influiscono fortemente sul parametro delle precipitazioni. La scelta di campionare in due campagne stagionali è stata fatta per poter valutare l'influenza di questo parametro sul chimismo delle acque. I campionamenti sono dunque stati effettuati considerando le effettive precipitazioni avvenute in quei periodi, rispettivamente: uno nella stagione primaverile (regime di morbida con maggiori apporti in falda), avvenuto nei giorni del 22 maggio e 19-20 giugno, ed uno nella stagione estiva (regime di magra con ridotti apporti in falda) avvenuto il 2 e 3 settembre.

### 3.2 Posizione geografica dei punti di prelievo e operazioni di terreno

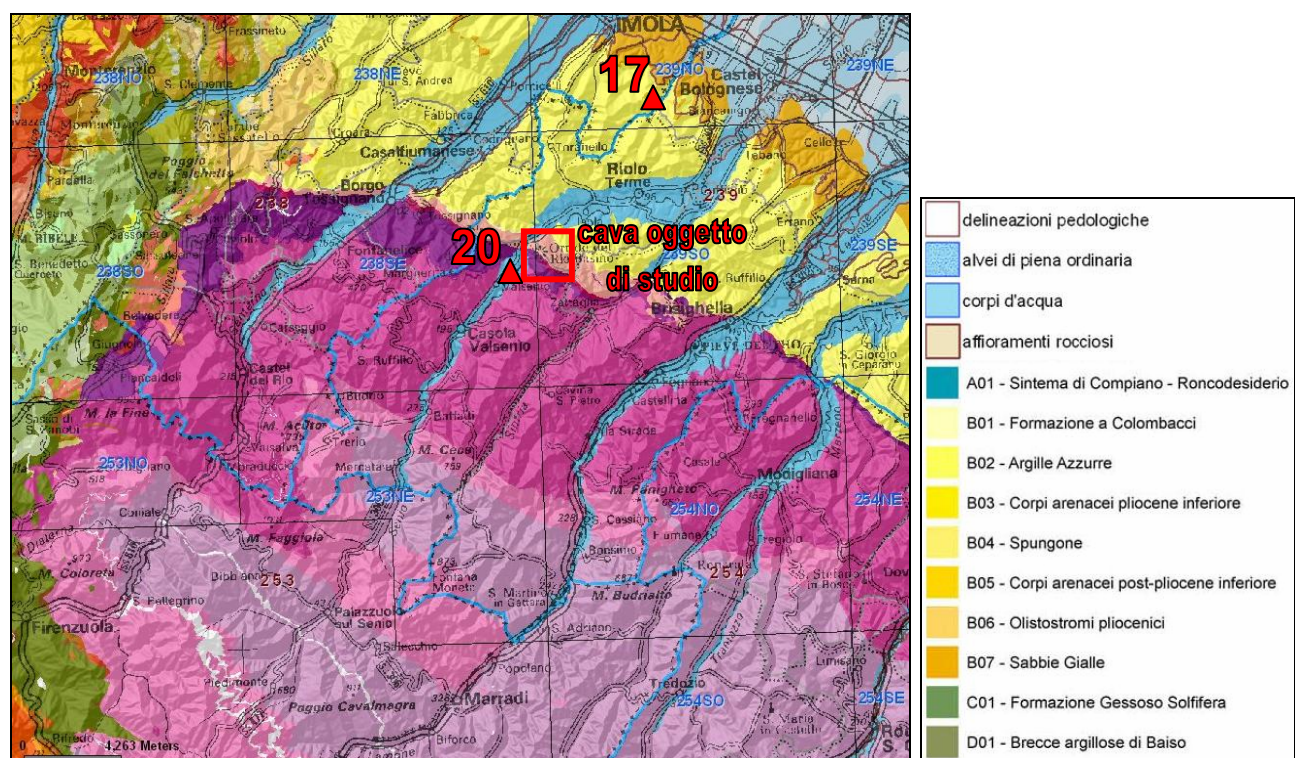
Come già evidenziato, l'area in oggetto ha richiesto l'individuazione di alcuni punti di campionamento fondamentali per una valutazione esaustiva delle acque di cava; tuttavia non ci si è limitati allo studio del solo polo estrattivo (piazzali, sorgenti sotterranee e superficiali, piezometri ecc.), ma si è cercato di “mappare” una zona più ampia, al fine di ottenere un inquadramento idrochimico più completo e esaustivo, in relazione alla complessità della geologia della zona.

I punti di campionamento effettuati sono elencati nella tabella sottostante, con le relative date di prelievo dei campioni nelle due stagioni.

NUM.	LUOGO E QUOTA	1° CAMP.	2° CAMP.
BM-1	Risorgiva Ca' boschetti _ //	22/05/2008	//
BM-2	Galleria (impianto primario) _ +100	22/05/2008	03/09/2008
BM-3	Piazzale _ +100	22/05/2008	03/09/2008
BM-4	Discenderia (davanti a riservetta) _ +140	22/05/2008	03/09/2008
BM-5	Ingresso gallerie _ +140	22/05/2008	03/09/2008
BM-6	Grotta Re Tiberio	22/05/2008	//
BM-7	Piazzale cava (bacino di raccolta acque) _ +217	22/05/2008	//
BM-8	PZ2 _ -15m	19/06/2008	02/09/2008
BM-9	PZ2 _ -85m	19/06/2008	02/09/2008
BM-10	PZ2 _ -135m	19/06/2008	02/09/2008
BM-11	SIA 1	19/06/2008	03/09/2008
BM-12	PZ1 _ Fondo	19/06/2008	02/09/2008
BM-13	Fiume a monte	20/06/2008	03/09/2008
BM-14	Fiume a valle confluenza	20/06/2008	03/09/2008
BM-15	Uscita galleria canale	20/06/2008	03/09/2008
BM-16	Borgo Rivola	20/06/2008	03/09/2008
BM-17	Bergullo	20/06/2008	02/09/2008
BM-18	Venuta d'acqua in galleria	19/06/2008	//
BM-19	Uscita galleria _ +100	//	03/09/2008
BM-20	Sorgente solforosa	//	03/09/2008

**Tabella 3.2.1** – Tabella con i punti di prelievo e la date relative ai due campionamenti.

In Fig. 3.2.2 e 3.2.3 sono rappresentate le ubicazioni dei punti di prelievo.



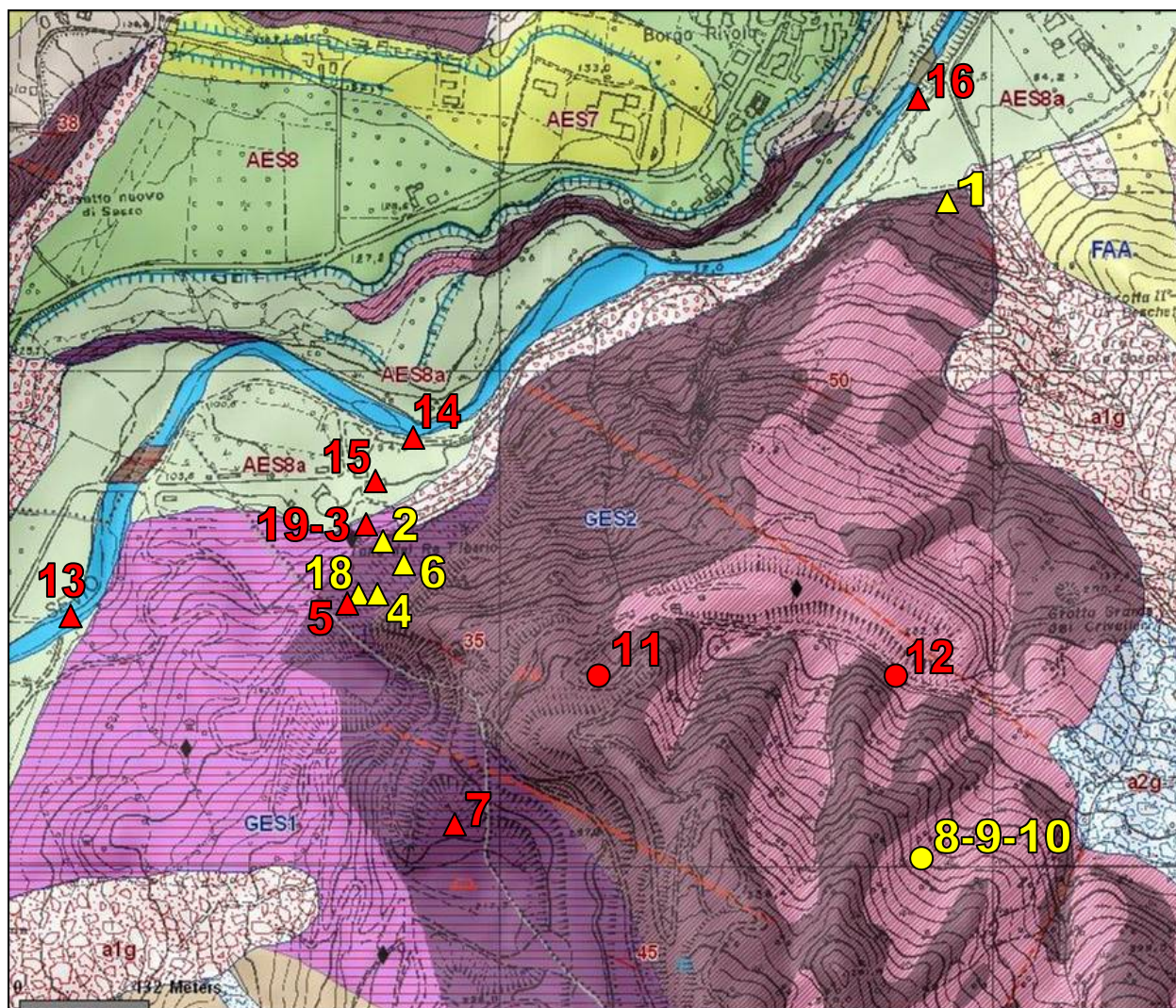


	M01 - Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola - Depositi di avampaese
	M02 - Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola - Formazione Marnoso Arenacea interna inferiore
	M03 - Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola - Formazione Marnoso Arenacea interna superiore
	M04 - Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola - Formazione Marnoso Arenacea esterna inferiore
	M05 - Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola - Formazione Marnoso Arenacea esterna superiore
	M06 - Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola - Depositi di chiusura bacino e Depositi anossici pre-evaporitici
	M07 - Successione di Salsomaggiore

## LEGENDA SIMBOLI

- |   |   |
|---|---|
|  - Campionamento acque superficiali      |  - Campionamento acque in sottterraneo   |
|  - Campionamento piezometro superficiale |  - Campionamento piezometro sottterraneo |

**Figura 3.2.2** – Carta geologica del settore settentrionale della Vena del gesso. Evidenziato con un quadrato rosso l'area di cava rappresentata nella figura successiva (Fig. 3.2.3).



## LEGENDA SIMBOLI

- |   |   |
|---|---|
|  - Campionamento acque superficiali      |  - Campionamento acque in sottterraneo   |
|  - Campionamento piezometro superficiale |  - Campionamento piezometro sottterraneo |

**Figura 3.2.3** – Carta geologica dell’area di cava. **Legenda:** *COPERTURE QUATERNARIE:* **AES7** – Subsintema di Villa Verucchio, **AES8** – Subsintema di Ravenna, **AES8a** – Unità di Modena, **a1g** – Deposito di frana attiva complessa, **a2g** – Deposito di frana quiescente complessa, **a6** – Detrito di falda (retino bianco a triangoli rossi), *UNITÀ GEOLOGICHE:* **FAA** – Argille azzurre, **GES1** - Formazione Gessoso-solfifera Membro di Monte la Pieve (in viola più scuro sono delimitati gli affioramenti rocciosi), **GES2** - Formazione Gessoso-solfifera Membro di Rio Sgarba (in marrone sono delimitati gli affioramenti rocciosi) (da [www.regione.emilia-romagna.it](http://www.regione.emilia-romagna.it), servizio di cartografia geologica interattiva).

## OPERAZIONI DI TERRENO

Al fine di ottenere dati idrochimici il più accurati possibili, sono stati misurati sul terreno alcuni dei parametri ritenuti fondamentali per la classificazione idrochimica delle acque, quali: pH, potenziale redox, temperatura e conducibilità.

La maggior parte dei punti ha premesso la misura di questi parametri tramite la medesima strumentazione (Multimetro portatile WTW mod. 340i), fatto salvo per i piezometri che, visto il ridotto diametro dei tubi e l’elevata profondità di campionamento, hanno reso necessario l’uso di una sonda multiparametrica. Caratterizzata da un cilindro metallico di adeguato spessore e peso (per evitare eventuali fenomeni di galleggiamento in acqua), questo strumento ha permesso di analizzare detti parametri lungo tutta la colonna d’acqua, ed inoltre ha consentito di selezionare, basandosi sulle evidenti variazioni dei parametri misurati, le profondità più idonee al prelievo dei campioni. Al fine di ottenere valori confrontabili con quelli degli altri campioni, tutti i parametri sono stati rimisurati con il multimetro portatile sui campioni estratti dai piezometri.

Oltre al rilevamento dei suddetti parametri, per tutti i campioni, sono state prelevate due aliquote: una tale e quale e l’altra filtrata ed acidificata. Queste procedure sono state eseguite (tramite una strumentazione portatile e con l’utilizzo di un filtro specifico, brevemente descritti in appendice) su tutti i campioni oggetto di analisi, fatto salvo per il campione 17 (Bergullo) che, per le peculiari caratteristiche legate all’elevata densità e all’alto contenuto d’argilla, non è stato possibile filtrare.

Nelle due tabelle sottostanti sono stati schematizzati, sulla base del periodo di campionamento, i valori misurati sul campo dei parametri descritti.

CAMPIONAMENTO PERIODO DI MORBIDA						
NUM.	LUOGO E QUOTA	DATA	PARAMETRI MISURATI SUL CAMPO			
			pH	Redox [mV]	T° [C]	Conducibilità [μS/cm]
<b>BM-1</b>	Risorgiva Ca' boschetti _ //	22/05/2008	7,27	434	14,6	2.240
<b>BM-2</b>	Galleria (impianto primario) _ +100	22/05/2008	7,94	419	12,6	2.710
<b>BM-3</b>	Piazzale _ +100	22/05/2008	8,03	406	12,4	2.710
<b>BM-4</b>	Discenderia	22/05/2008	7,94	394	12,7	2.440



	(davanti a riservetta) _ +140					
<b>BM-5</b>	Ingresso gallerie _ +140	22/05/2008	8,08	422	11,2	2.870
<b>BM-6</b>	Grotta Re Tiberio	22/05/2008	8,01	451	12,6	2.710
<b>BM-7</b>	Piazzale cava (bacino di raccolta acque) _ +217	22/05/2008	8,1*	404	22,6	2.360
<b>BM-8</b>	PZ2 _ -15m	19/06/2008	11,1	-73	12,6	3.260
<b>BM-9</b>	PZ2 _ -85m	19/06/2008	11,1	-255	13,7	5.670
<b>BM-10</b>	PZ2 _ -135m	19/06/2008	10,7	-215	14,7	31.100
<b>BM-11</b>	SIA 1	19/06/2008	7,92	161	15,6	2.480
<b>BM-12</b>	PZ1 _ Fondo	19/06/2008	11,4	-32	15,7	2.650
<b>BM-13</b>	Fiume a monte	20/06/2008	8,26	327	18,1	655
<b>BM-14</b>	Fiume a valle confluenza	20/06/2008	8,22	361	18,4	668
<b>BM-15</b>	Uscita galleria canale	20/06/2008	7,81	80	14,0	2.710
<b>BM-16</b>	Borgo Rivola	20/06/2008	8,28	293	18,8	669
<b>BM-17</b>	Bergullo	20/06/2008	7,92	-36	14,8	3.560
<b>BM-18</b>	Venuta d'acqua in galleria	19/06/2008	//	//	//	//
<b>BM-19</b>	Uscita galleria _ +100	//	//	//	//	//
<b>BM-20</b>	Sorgente solforosa	//	//	//	//	//

<b>CAMPIONAMENTO PERIODO DI MAGRA</b>						
<b>NUM.</b>	<b>LUOGO E QUOTA</b>	<b>DATA</b>	<b>PARAMETRI MISURATI SUL CAMPO</b>			
			<b>pH</b>	<b>Redox [mV]</b>	<b>T° [C]</b>	<b>Conducibilità [µS/cm]</b>
<b>BM-1</b>	Risorgiva Ca' boschetti _ //	//	//	//	//	//
<b>BM-2</b>	Galleria (impianto primario) _ +100	03/09/2008	8,1	459	12,6	2.690
<b>BM-3</b>	Piazzale _ +100	03/09/2008	8,08	379	13,2	2.760
<b>BM-4</b>	Discenderia (davanti a riservetta) _ +140	03/09/2008	7,76	419	12,4	2.670
<b>BM-5</b>	Ingresso gallerie _ +140	03/09/2008	8,18	445	14,0	3.370
<b>BM-6</b>	Grotta Re Tiberio	//	//	//	//	//
<b>BM-7</b>	Piazzale cava (bacino di raccolta acque) _ +217	//	//	//	//	//
<b>BM-8</b>	PZ2 _ -15m	02/09/2008	11,61	-46	13,5	3.390
<b>BM-9</b>	PZ2 _ -85m	02/09/2008	11,7	-88	14,0	6.580
<b>BM-10</b>	PZ2 _ -135m	02/09/2008	10,43	-125	14,5	37.500
<b>BM-11</b>	SIA 1	03/09/2008	6,96	131	16,4	2.590
<b>BM-12</b>	PZ1 _ Fondo	02/09/2008	12	-60	15,6	3.240
<b>BM-13</b>	Fiume a monte	03/09/2008	8,33	351	22,3	1.633
<b>BM-14</b>	Fiume a valle confluenza	03/09/2008	8,21	370	22,1	1.709
<b>BM-15</b>	Uscita galleria canale	03/09/2008	7,91	364	15,4	2.770
<b>BM-16</b>	Borgo Rivola	03/09/2008	8,07	368	22,3	1.916
<b>BM-17</b>	Bergullo	02/09/2008	8,18	-113	16,0	3.940
<b>BM-18</b>	Venuta d'acqua in galleria	//	//	//	//	//
<b>BM-19</b>	Uscita galleria _ +100	03/09/2008	8,16	428	12,8	2.770
<b>BM-20</b>	Sorgente solforosa	03/09/2008	9,06	-166	16,6	1.942

**Tabelle 3.2.4** – Tabelle riepilogative delle misure effettuate sul campo nei due regimi stagionali.



### **3.3 Metodologia e approccio di campionamento**

Il campionamento nei vari settori della cava, ha avuto come scopo il recupero di adeguate quantità di acqua che permettessero di eseguire le analisi di laboratorio su campioni il più possibile rappresentativi dell'area di prelievo.

Sulla base di queste premesse, la quantità di acqua prelevata da ogni punto è stata sufficiente a riempire due contenitori di plastica, (da 50 cl l'uno, sigillati con sottotappi e chiusi con tappi a vite) e un recipiente in vetro da un litro per l'analisi degli idrocarburi. Per determinare il contenuto degli inquinanti organici nell'acqua, è stato necessario utilizzare bottiglie di vetro scuro da 1 litro, con tappo a vite e sottotappo teflonato.

Individuando i punti di prelievo, sulle cartine geologiche di Fig. 3.2.2 e 3.2.3, è possibile effettuare una breve descrizione degli stessi, raggruppandoli per area di interesse e per metodologia utilizzata.

#### **CAMPIONAMENTO NELL'AREA DI CAVA**

Fanno parte di questo gruppo i campioni: BM1-2-3-4-5-6-7-15-18 e 19; questi punti sono situati all'interno del polo estrattivo (o nelle immediate vicinanze, per quanto riguarda il BM1) e sono di grande interesse per la definizione delle tipologie delle acque di cava.

Fra questi punti va sottolineata l'importanza del BM15, punto terminale di raccolta e scarico di tutte le acque provenienti sia dai piazzali che dalle gallerie della cava. Proprio per questo, la sua caratterizzazione idrochimica può chiarire le eventuali interazioni fra le acque circolanti, gessi e/o apporti antropici presenti in tutto il polo estrattivo.

Il prelievo dei campioni non ha comportato particolari problemi salvo per i campioni BM1 e BM6 che essendo rispettivamente situati in una piccola risorgiva ai limiti della Formazione Gessoso-solfifera (Ca' Boschetti) e all'interno di una grotta nel settore nord orientale della cava (Grotta del Re Tiberio), hanno necessitato di attrezzature speleologiche per il raggiungimento delle emergenze d'acqua. Proprio queste difficoltà di prelievo, unite ad una caratterizzazione idrochimica non particolarmente differente dagli altri punti d'acqua, hanno consigliato il campionamento nel solo regime di morbida, ritenendo sufficienti i dati ottenuti nei mesi di maggio.

È stato effettuato un unico campionamento anche per i punti BM7 e BM18, ma ha differenza dei precedenti, la motivazione è da ascrivere ad una semplice assenza di acqua riscontrata nel mese di settembre, a causa della natura delle emergenze stesse per la descrizione dettagliata della quale si rimanda alle schede riportate in appendice.

Al contrario dei precedenti, il campionamento BM19 è stato fatto nel solo regime di magra, in quanto, a conclusione delle analisi effettuate sui tutti gli altri campioni nel regime di morbida, si è reso necessario individuare un punto che potesse ulteriormente discriminare le acque provenienti dal piazzale di cava e che potesse dare ulteriori informazioni sull'eventuale inquinamento del frantoio posto al termine della galleria a quota +100.

#### CAMPIONAMENTI DEL TORRENTE SENIO

Il torrente Senio attraversa l'intero settore della Vena del gesso perpendicolarmente alle formazioni affioranti, ed è il corpo idrico che raccoglie la maggior parte delle acque superficiali di cava. Inoltre rappresenta anche l'area di recapito di eventuali reticoli ipogei (informazione riportata dal Dott. Margutti responsabile del settore geologico di cava).

Queste caratteristiche hanno richiesto un campionamento mirato che evidenziasse se le acque di corruzione del polo estrattivo potessero influenzare alcuni parametri idrochimici del torrente.

Considerando le caratteristiche planimetriche dell'area e valutando la posizione di BM15 (punto di raccolta delle acque di cava), si è deciso di campionare, a monte e a valle dello stesso, nominando i due nuovi punti rispettivamente BM13 e BM14. Il torrente, caratterizzato da portate ridotte e da un letto facilmente attraversabile, ha permesso il campionamento direttamente nella mezzaria del corso d'acqua. Per quanto riguarda BM14, si è osservata una distanza minima di mescolamento dal punto di confluenza di BM15.

L'ultimo punto di campionamento del torrente (BM16), posto a grande distanza dagli altri due e prelevato specificatamente a valle degli affioramenti superficiali della Gessoso-solfifera, è stato eseguito con lo scopo di ottenere il chimismo del Torrente all'uscita della formazione interessata dall'attività estrattiva.

#### CAMPIONAMENTI DEI PIEZOMETRI E SCELTA DELLA STRUMENTAZIONE

Nella fase di campionamento molta attenzione è stata dedicata al prelievo di campioni e la determinazione dei parametri principali nei piezometri posizionati nell'area di cava.

I tre piezometri, denominati PZ1, PZ2 e SIA1, hanno fornito cinque campioni d'acqua differenti, di cui: BM11 riguarda il prelievo d'acqua del piezometro SIA1 effettuato ad una profondità di -18 m; BM12 è stato campionato nel PZ1 ad una profondità di -149m e BM8-9-10 sono stati recuperati nel PZ2 a tre profondità differenti, rispettivamente -15, -85 e -135m.

La fase di prelievo, se confrontata con gli altri punti di campionamento, è stata più complessa, in quanto si sono dovuti prendere in considerazione la compresenza di diverse tipologie di acque a diverse profondità. Da cui la necessità di misurare alcuni parametri con una specifica strumentazione, la scelta delle profondità da campionare (in relazione alla possibile intercettazione di differenti circuiti sotterranei), ed il recupero del campione effettuato tramite strumentazione descritta in seguito. Questo ha comportato tempi piuttosto prolungati e una certa competenza tecnica.

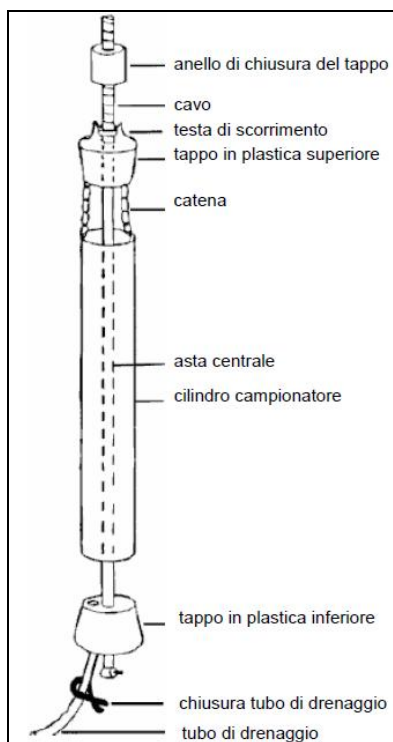
La strumentazione a disposizione sul mercato per i campionamenti nei piezometri è molto varia, e la scelta a favore di una tipologia o di un'altra è semplicemente dettata dalle dimensioni del tubo del piezometro, dalla necessità di campionare a profondità differenti senza mescolare le acque, e dalla necessità di preservare il campione da possibili contaminazioni dovute al materiale del campionatore stesso.

Per questo studio idrochimico, gli strumenti utilizzabili potevano essere di tre differenti tipologie: bailer monouso, elettropompa sommersa o bailer riutilizzabili in acciaio.

Le prime due tipologie sono state scartate per ragioni di praticità (risultava ad esempio difficile raggiungere tutti i punti di prelievo con un generatore di corrente per l'elettropompa); si è quindi deciso di adottare il bailer riutilizzabile in acciaio, in quanto ha offerto un giusto rapporto fra facilità d'utilizzo e sicurezza nella metodologia di prelievo.

Caratterizzato da un tubo di acciaio cavo all'interno, con un dispositivo di chiusura mediante rilascio di un piombo collegato con il cavo di recupero (per la misurazione della profondità nella campionatura in quota), questo bailer risulta di facile trasporto e con dimensioni ridotte, necessarie quando si deve operare in un ambiente come quello di cava.

Dal punto di vista tecnico, gli aspetti positivi sono numerosi come la possibilità di campionare a qualsiasi profondità, con ogni tipologia di acqua, con o senza materiale in sospensione, considerando inoltre che la chiusura ermetica (tramite anelli di teflon che vengono a contatto con la sezione mobile del tubo) non permette alcuna contaminazione nella fase di risalita.



**Figura 3.3.1** – A sinistra disegno schematico-descrittivo di un bailer riutilizzabile in acciaio, a destra la foto del medesimo strumento

### CAMPIONAMENTI ESTERNI ALL'AREA DI CAVA

Gli unici due campionamenti effettuati all'esterno dell'area di cava sono BM17 e BM20, rispettivamente effettuati su una piccola pozza di acqua e fango (appartenente ai fenomeni dei vulcanetti di fango) e su uno scarico di troppo pieno di una sorgente solforosa già captata per uso termale.

Il campione BM17 è stato prelevato in entrambe le stagioni, per ottenere un riferimento per questa tipologia di fluidi rinvenibili in tutto il settore nord appenninico (alcuni aspetti generali sono già stati descritti nel capitolo 2). Il prelievo è stato eseguito in un piccolo bacino d'accumulo geologicamente ubicato in prossimità del contatto tra le Argille azzurre e le Sabbie gialle (vedi Fig. 3.2.2). Nella fase di prelievo è stato possibile e la fase tecnica di prelievo ha permesso di misurare i parametri fondamentali, ma non filtrare sul luogo l'acqua.

Per quanto riguarda il punto BM20, il suo prelievo è stato eseguito nel solo regime di magra, recuperando l'acqua da un tubo di troppo pieno situato in una zona a sud della cava.

- Omissis -

## CAPITOLO 5

### Risultati

#### 5.1 Confronto tra le due campagne

Tutti i dati ottenuti nelle differenti fasi di campionamento e di laboratorio, sono stati raccolti in quattro tabelle (presenti alla fine del seguente capitolo), divise rispettivamente per periodo di campionamento e per unità di misura adottata (mg/l e meq/l, necessari per la fase di interpretazione dei dati), al solo scopo di ordinare correttamente le informazioni ottenute ed individuare rapidamente le differenze esistenti.

Dal punto di vista generale le acque studiate in questo ambito risultano con una mineralizzazione molto elevata sia per quelle del mese di giugno (periodo di morbida) che per quelle di settembre (periodo di magra). Considerata questa caratteristica va anche sottolineato che i valori ottenuti tra campioni di una singola campagna sono estremamente variabili; un esempio pratico può essere riferito ai valori misurati sia di  $\text{Na}^+$  che di  $\text{Cl}^-$  che oscillano (per entrambe le campagne), fra gli 1-2 mg/l fino a valori ben oltre i 10.000 mg/l. Questa grossa differenziazione è strettamente correlata all'evidente natura delle acque campionate, dove la differente origine e la variabilità stagionale hanno influenzato notevolmente le caratteristiche idrochimiche delle acque. Questa generale mancanza di uniformità nelle letture ha contribuito negativamente sulla valutazione finale dei bilanci ionici effettuati a conclusione delle analisi. Le prove di laboratorio realizzate con questa tipologia di acque hanno richiesto elevate diluizioni che permettessero alle strumentazioni utilizzate (ICP, spettrofotometro e analisi dell'alcalinità) di effettuare letture entro il range di massimo consentito, questo a discapito di un'elevata precisione del metodo. Questo è evidenziato dalla valutazione finale dell'errore analitico tramite bilancio ionico, dove, a causa di questa problematica, si è dovuto aumentare l'errore massimo dal 5% (valore standard di riferimento) ad un più consona 10%. D'altra parte, la presenza di un errore analitico sempre positivo fa propendere per un errore sistematico che, nonostante le ripetizioni delle analisi anche con altri strumenti di misura, non ha potuto essere completamente eliminato.

#### CAMPIONAMENTO PERIODO DI MORBIDA – GIUGNO

I valori in meq/l osservati in questa campagna presentano generalmente una quantità di cationi superiore a quella degli anioni, con conseguente errore sistematico del bilancio ionico che si attesta attorno al 10 %; una possibile motivazione di questo errore può essere attribuita ad una sottostima della concentrazione dell'acido titolante usato per la determinazione dell'alcalinità.

Tra i cationi risultano dominanti gli ioni  $\text{Ca}^{+}$ , con concentrazioni che, salvo qualche eccezione relativa alle acque superficiali (concentrazioni al di sotto dei 5 meq/l), si mantengono costantemente attorno ai 30-40 meq/l. Questa differenza così netta è presumibilmente associata alla natura geologica del territorio, dove la ovvia presenza del minerale di gesso permette un arricchimento di ione calcio a conseguenza di differenti processi idrochimici descritti specificatamente nel capitolo 2 (2.5 Idrologia e idrogeologia). Le restanti valutazioni da fare sui cationi sono principalmente incentrate sui campioni BM8-9-10, che sono riferiti ai tre campioni di acqua del piezometro PZ2, che confermano la presenza di acque molto mineralizzate con variazioni evidenti al variare della profondità nel piezometro: questo aspetto risulta dalle concentrazioni dello ione sodio, con valori che arrivano ad oltre 400 meq/l (valori ragguardevoli in sodio sono anche stati riscontrati nel campione BM17 Bergullo, che essendo stato prelevato in un piccolo bacino di fango, conferma ulteriormente la natura delle acque salate di questi fenomeni).

Per quanto riguarda gli anioni, alcuni dati rispecchiano le medesime caratteristiche dei cationi; evidente è una mineralizzazione in solfati che si attesta attorno ai 30-40 meq/l (come per il calcio, la presenza del gesso è di fondamentale importanza per le reazioni che aumentano la mineralizzazione in solfati), mantenendosi generalmente in quantità superiori agli altri anioni presenti. A conferma della possibile presenza di acque connate intercettate in alcuni settori della cava, gli stessi campioni (BM8-9-10 e BM17) che presentavano concentrazioni di sodio elevate mostrano le medesime caratteristiche per il cloro.

#### CAMPIONAMENTO PERIODO DI MAGRA – SETTEMBRE

A differenza della campagna di rilevamento precedente, queste acque risultano essere più mineralizzate e con errori del bilancio ionico tendenzialmente più ridotti ma globalmente standardizzati attorno al 8-9%. Come per i campioni di giugno, anche in questo caso la quantità di cationi è superiore a quella degli anioni, salvo casi particolari come per i campioni BM10 e BM20 (quest'ultimo campionato solo il mese di settembre).

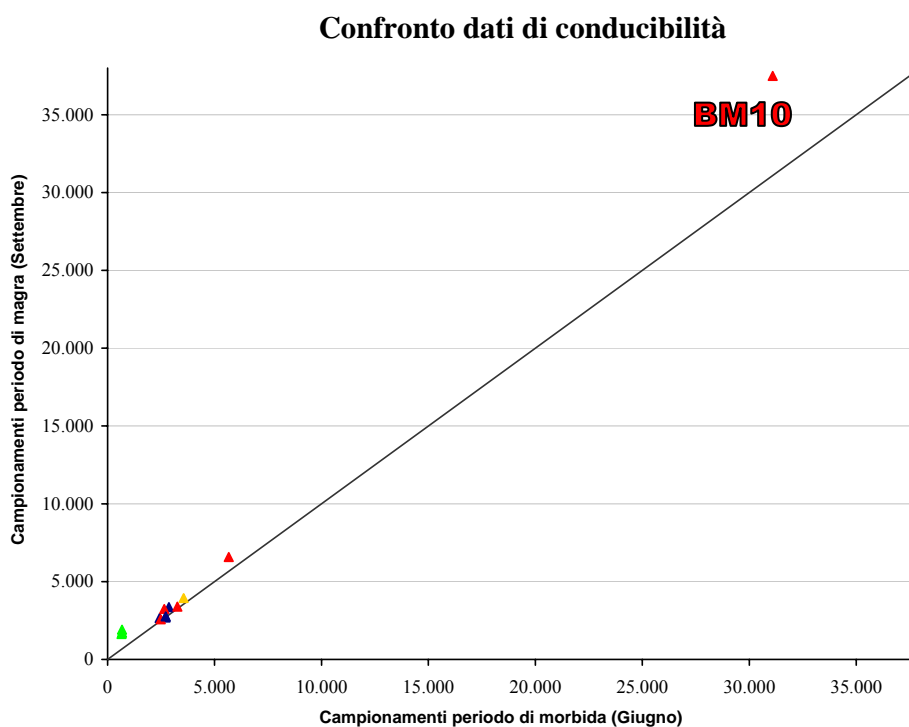
La composizione chimica riprende in linea di massima le medesime caratteristiche riscontrate per i dati di giugno: concentrazioni elevate di calcio, sodio oltre i 10-15 meq/l solo per i campioni del piezometro PZ2 e Bergullo oltre ad un generale aumento delle concentrazioni di tutti i cationi misurati rispetto alla campagna primaverile. Analogamente per gli anioni, la mineralizzazione a solfati risulta dominante rispetto alle altre e concentrazioni elevate di cloro sono presenti solo in alcuni campioni, ad elevato tenore in sodio.

A differenza dei cationi, la variazione stagionale in questo caso sembra essere meno evidente, e nel caso particolare dei nitrati, la maggior parte dei campioni osservati sembra registrare una generale diminuzione delle concentrazioni, questo in controtendenza al trend stagionale di riferimento.

Di seguito sono confrontati alcuni parametri di riferimento come conducibilità, pH ed Eh, mettendo in relazione sulle ascisse e sulle ordinate le due misure effettuate nelle campagne di rilevamento.

### CONDUCIBILITÀ ELETTRICA

Il grafico di Fig. 5.1.1 mostra tutti i dati di conducibilità misurati durante le operazioni di campionamento. La retta presente nel grafico, mostra un'ipotetica proporzionalità 1:1 fra le misurazioni effettuate nelle due stagioni e a seconda del posizionamento dei punti si potrà quindi definire l'incidenza della variazione stagionale (quanto più i punti saranno vicini alla retta tanto più la variazione stagionale sarà nulla e viceversa).



#### LEGENDA COLORI

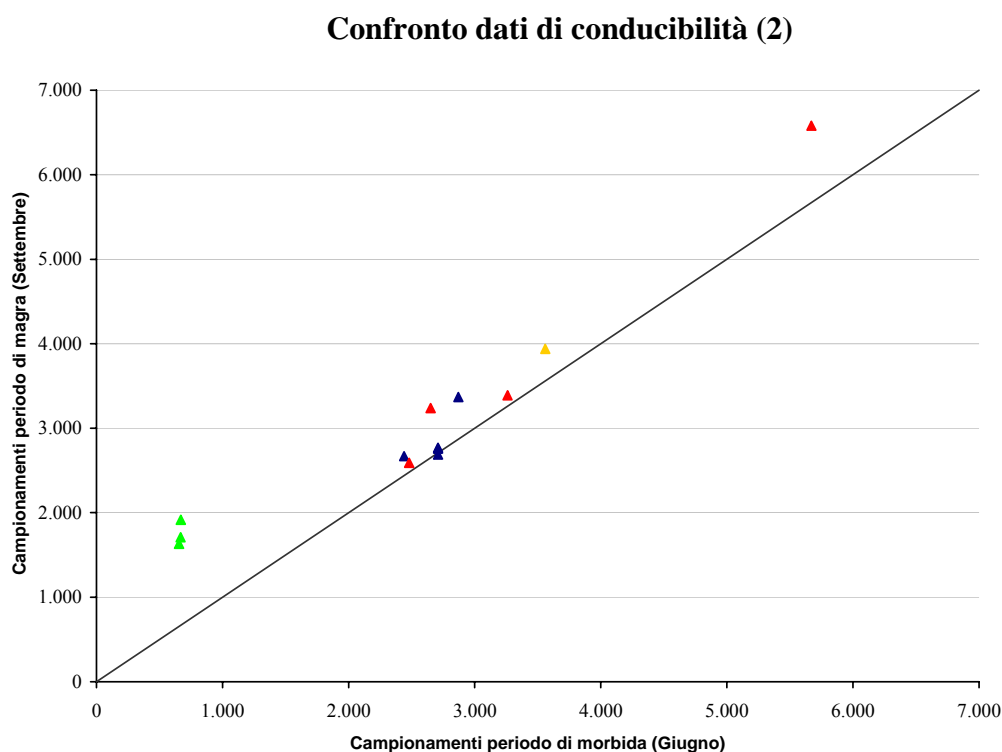
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campione BM17)

**Figura 5.1.1** – Confronto tra le misurazioni della conducibilità [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ].



Appare evidente una generale proporzionalità fra i dati di giugno e quelli di settembre anche se la scala dei valori utilizzati non permette una adeguata visualizzazione dei valori inferiori a 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Infatti il campione BM10 presenta valori di conducibilità di molto superiori al resto dei dati ( $>35.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), ed è anche quello che, a differenza degli altri, ha mostrato la più evidente variazione di conducibilità nelle due stagioni. Una possibile ragione di questa differenza vista la profondità del campione BM10, può essere la risalita di acque profonde (il valore più alto di conducibilità è riferito al periodo di magra, in accordo con la probabile risalita di acque salate profonde dovuta alla diminuzione del carico idraulico delle acque sovrastanti) che hanno raggiunto la quota di prelievo nel piezometro (-135 m).

In Fig. 5.1.2 è mostrato un grafico ottenuto ampliando la scala dei valori di conducibilità fino a 7.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

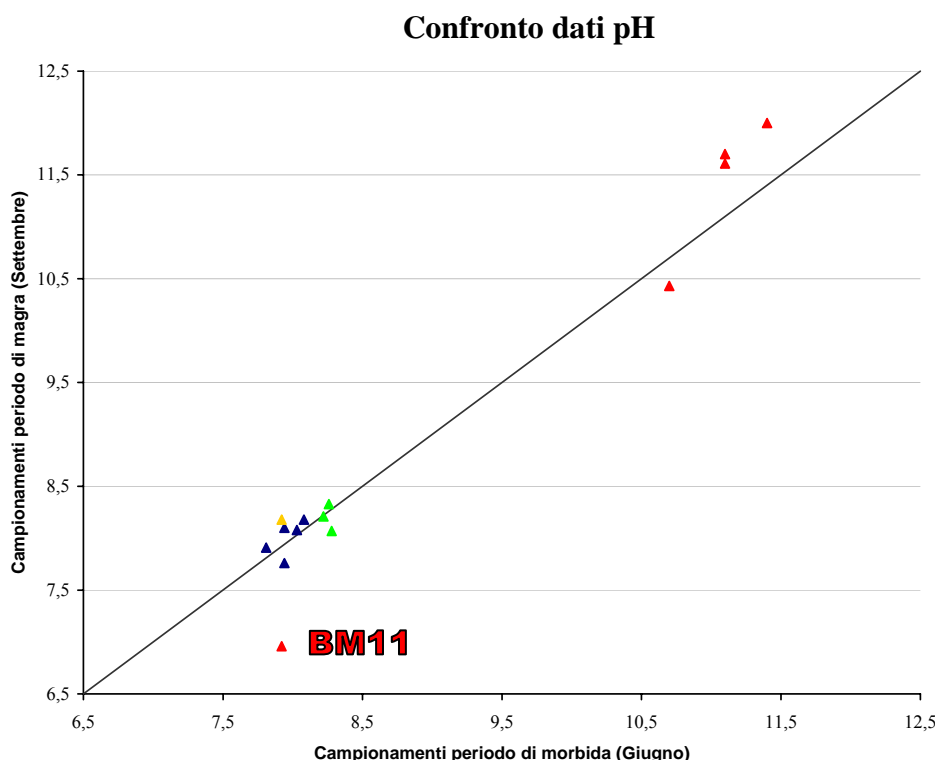


**Figura 5.1.2** – Confronto tra le misurazioni della conducibilità nel fino a 7.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Anche in questo caso si evidenzia un globale aumento della conducibilità nelle campagna di settembre, in particolar modo per le acque superficiali (simboli verdi), che presentano valori fra essi coincidenti e con influenze stagionali ben marcate (conducibilità quasi raddoppiata da giugno a settembre).

pH

Il confronto fra i dati del pH è stato effettuato con le stesse modalità di quello per la conducibilità (Fig. 5.1.3).



#### LEGENDA COLORI

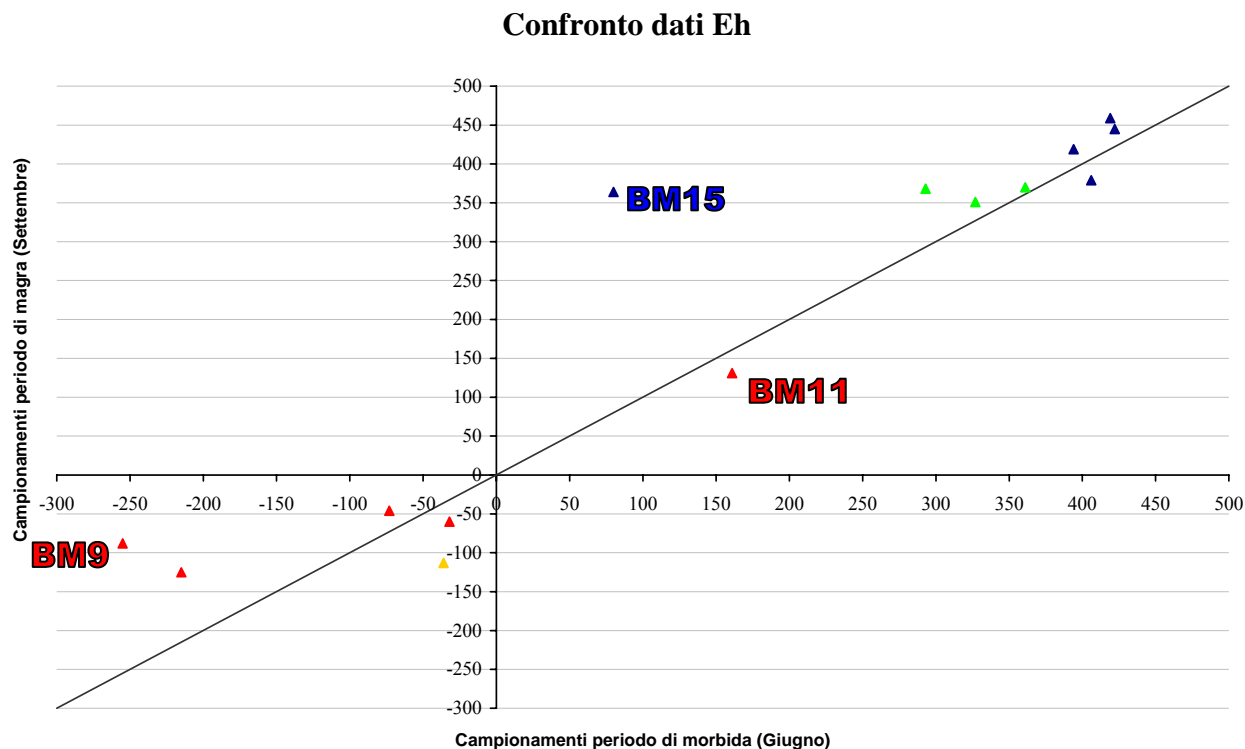
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (C campione BM17)

**Figura 5.1.3** – Confronto tra i valori del pH.

I valori nel grafico mostrano due gruppi di dati ben distinti: i campioni con pH fino a 8,5 (campioni di cava, acque superficiali, BM17 e il solo BM11 rappresentativo del piezometro SIA1) e quelli superiori a 10 che raggruppano i campioni prelevati nei piezometri. Le variazioni stagionali non influiscono in maniera determinante sul dato del pH e i valori registrati presentano oscillazioni molto ridotte fra giugno e settembre; l'unico punto a risentire maggiormente di questa variazione sembra essere il BM11 (piezometro SIA1) che si discosta maggiormente dalla retta di riferimento. E' interessante notare come le acque superficiali, solitamente caratterizzate da pH neutro o debolmente acido, mostrino un pH tendente invece al basico.

## POTENZIALE REDOX

Il parametro dell'Eh discrimina gli ambienti riducenti (valori negativi), tipici di acque profonde, da quelli ossidanti (valori positivi) prerogativa invece di acque superficiali. Sulla base di queste premesse, il grafico in Fig. 5.1.3 mostra le variazioni stagionali di questo parametro.



### LEGENDA COLORI

- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campione BM17)

**Figura 5.1.3** – Confronto tra le misurazioni dell'Eh [mV].

Il grafico mostra la netta differenza fra le acque superficiali e quelle sotterranee, le prime con valori abbondantemente sopra i 250 mV, (salvo la misurazione di giugno del campione BM15) mentre le seconde sono inferiori a -50 mV (BM11 invece è l'unico con Eh ossidante). I valori più alti riscontrati nel grafico confermano la buona qualità dei campioni di cava, che con valori oltre i 400 mV, definiscono acque ben ossigenate e con una completa mineralizzazione della materia organica (se presente). Nella descrizione dei dati presenti, BM11 rappresenta un caso particolare in quanto, nonostante sia un campione prelevato nel piezometro SIA1 ad una profondità di -18 da p.c., presenta valori ancora ossidanti, confermando la presenza di acque ricaricate in ambiente superficiale appartenenti ad una probabile falda sospesa, posta alla sommità della cava e separata dai flussi sotterranei profondi.

Per quanto riguarda le variazioni stagionali, solo due campioni hanno coppie di valori estremamente differenti e sono BM15 e BM9; entrambi risentono di un notevole aumento dell'Eh nella campagna di rilevamento di settembre che comporta il superamento dei 350 mV per il primo e l'innalzamento fino a -88 mV per il secondo. Essendo due campioni di origine molto diversa, le motivazioni alla base di queste forti oscillazioni sono differenti. Infatti, per BM9 la profondità di campionamento e la commistione con acque più ossigenate può essere una giustificazione valida, mentre per BM15, punto di raccolta di tutte le acque superficiali e di cava si tratta verosimilmente di una diversa caratterizzazione delle stesse: a giugno sarebbe dominante l'apporto di acque riducenti provenienti dalla cava, mentre a settembre ci sarebbe un maggior contributo di acque superficiali.

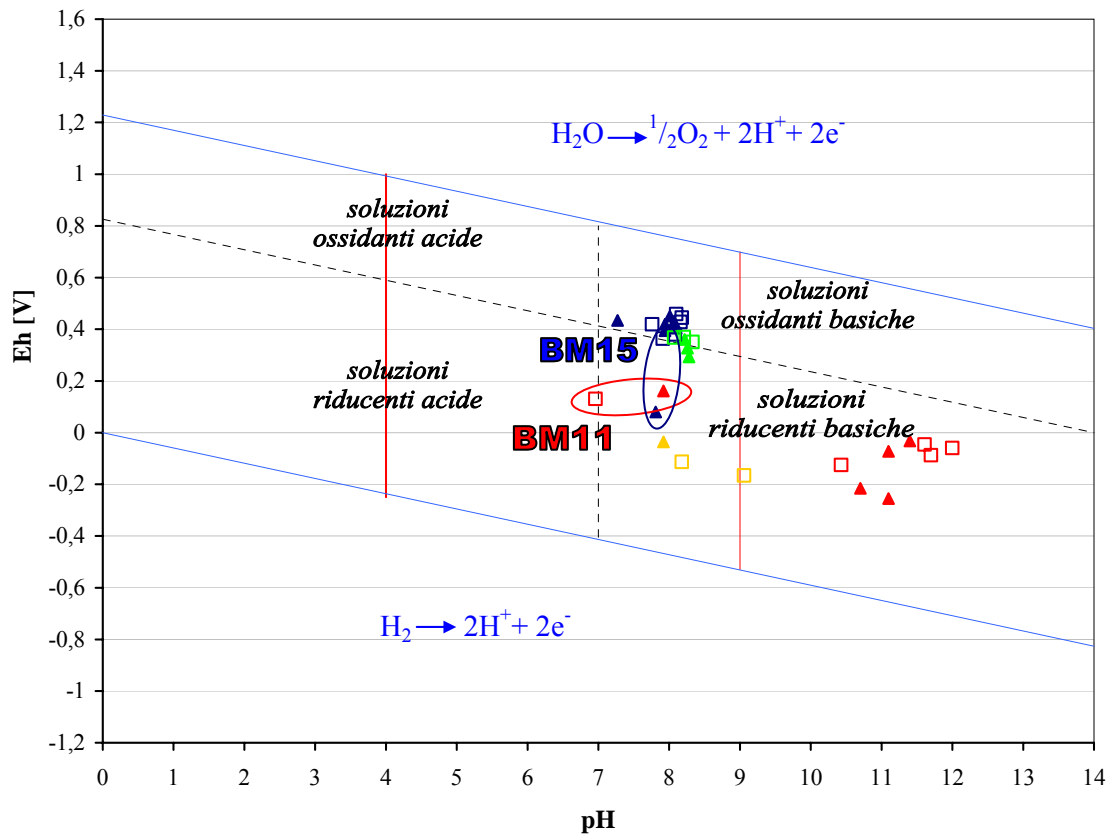
## **5.2 Definizione idrochimica delle acque**

### **DIAGRAMMA Eh-pH**

I campioni analizzati e inseriti nel diagramma sottostante (Fig. 5.2.1), si riferiscono ad entrambe le campagne di rilevamento. Ne consegue, che per mostrare le variazioni stagionali in questi parametri, sono stati utilizzati simboli grafici differenti, pieni per il campionamento di giugno e vuoti per quello di settembre, e colori diversi in funzione della tipologia dei campioni.

Le acque si dispongono in tre differenti gruppi separati abbastanza distintamente e solo alcuni campioni presentano nette variazioni fra i due campionamenti. Le acque di cava e le superficiali si trovano nel campo soluzioni ossidanti basiche (al limite con quelle riducenti), confermando ambienti di prelievo ossigenati e senza evidenti cambiamenti stagionali. Risulta di nuovo particolare la connotazione delle acque superficiali a causa del loro elevato pH. L'unico prelievo di questo gruppo, con caratteristiche a sé stanti, è BM15, che dal campionamento in fase di morbida a quello di magra ha registrato un forte aumento di Eh che lo ha spostato da condizioni riducenti a ossidanti. Come già evidenziato questo campione appartiene ad un rigagnolo, dove le condizioni possono mutare in funzione del bilancio tra gli apporti superficiali e quelli di cava.

## Confronto analisi: Eh-pH



### LEGENDA SIMBOLI

- ▲ - Periodo di Morbida – Giugno
- - Periodo di magra – Settembre
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campioni BM17 e BM 20)

**Figura 5.2.1** – Confronto fra i campioni di giugno e settembre nel diagramma Eh-pH

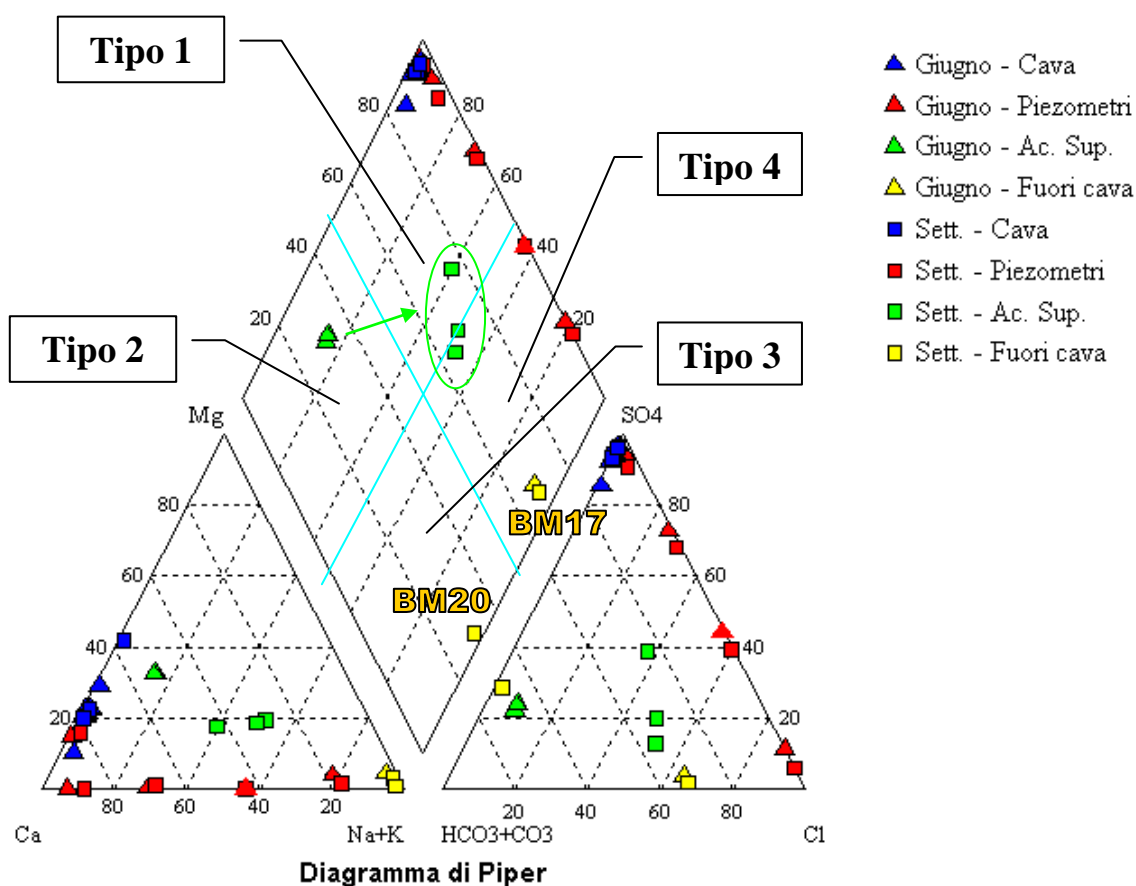
Il secondo gruppo di dati si trova nel campo delle soluzioni riducenti basiche e tutti i campioni appartenenti ai piezometri (tranne BM11 descritto successivamente) hanno subito variazioni dei parametri più o meno evidenti ma mai risolutive per un mutamento significativo dell'idrofacies generale. Il pH fortemente basico di questi campioni li colloca al di fuori del campo di variabilità caratteristica delle acque naturali. Solo il campione BM11 si discosta in maniera molto netta da questo gruppo, presentando pH molti inferiori già nel campionamenti di giugno e subendo un'ulteriore modificazione in quello di settembre, che lo porta a ridosso delle soluzioni riducenti acide.

Il terzo gruppo di dati è riferito ai campioni prelevati all'esterno dell'area di cava, che presentano caratteristiche di soluzioni riducenti basiche ma all'interno del campo caratteristico delle acque naturali.

## DIAGRAMMA DI PIPER

Il diagramma classificativo di Piper è costituito da due diagrammi triangolari che riportano in valore percentuale cationi e anioni, ed un poligono centrale, interpolando le informazioni, individua quattro diverse tipologie di acque (*Piper, 1944*).

Anche in questo grafico (Fig. 5.2.2) sono stati utilizzati simboli diversi per le due campagne e colori diversi per le tipologie di campioni.



**Figura 5.2.2** – Diagramma di classificazione delle acque. Separate dalle linee color ciano, le quattro tipologie di acque segnalate con i numeri seguenti: **1** – Acque Solfato-clorurate Calcio-magnesiache; **2** – Acque Bicarbonato Calcio-magnesiache; **3** – Acque Bicarbonato Sodiche; **4** – Solfato-clorurato Sodiche

Come atteso, tutti i campioni di cava (sia per il prelievo di giugno che per quello di settembre), si posizionano nel campo delle acque solfato-clorurate calcio-magnesiache, poiché chiaramente risentono maggiormente dell'interazione con i gessi presenti.

Al contrario le acque superficiali mostrano una spiccata evoluzione tra giugno e settembre: infatti, nel periodo di morbida risultano acque bicarbonato calcio-magnesiache, mentre nel periodo di magra possono essere classificate, almeno per due di esse, al limite fra le solfato-clorurate calcio-magnesiache e le solfato clorurato sodiche. Questo comportamento suggerisce che le acque superficiali possano essere alimentate da circuiti idrici sotterranei.

I pochi prelievi fatti all'esterno dell'area di cava ci mostrano tipologie di campioni differenti dai precedenti, ed in particolar modo il BM17 per entrambe le campagne di rilevamento, mostra una caratterizzazione idrochimica di tipo solfato-clorurato-sodica con una forte componente percentuale di sodio e potassio negli anioni, mentre BM20 (sorgente solforosa), per la natura stessa del campione, è l'unico a classificarsi come acqua bicarbonato sodica.

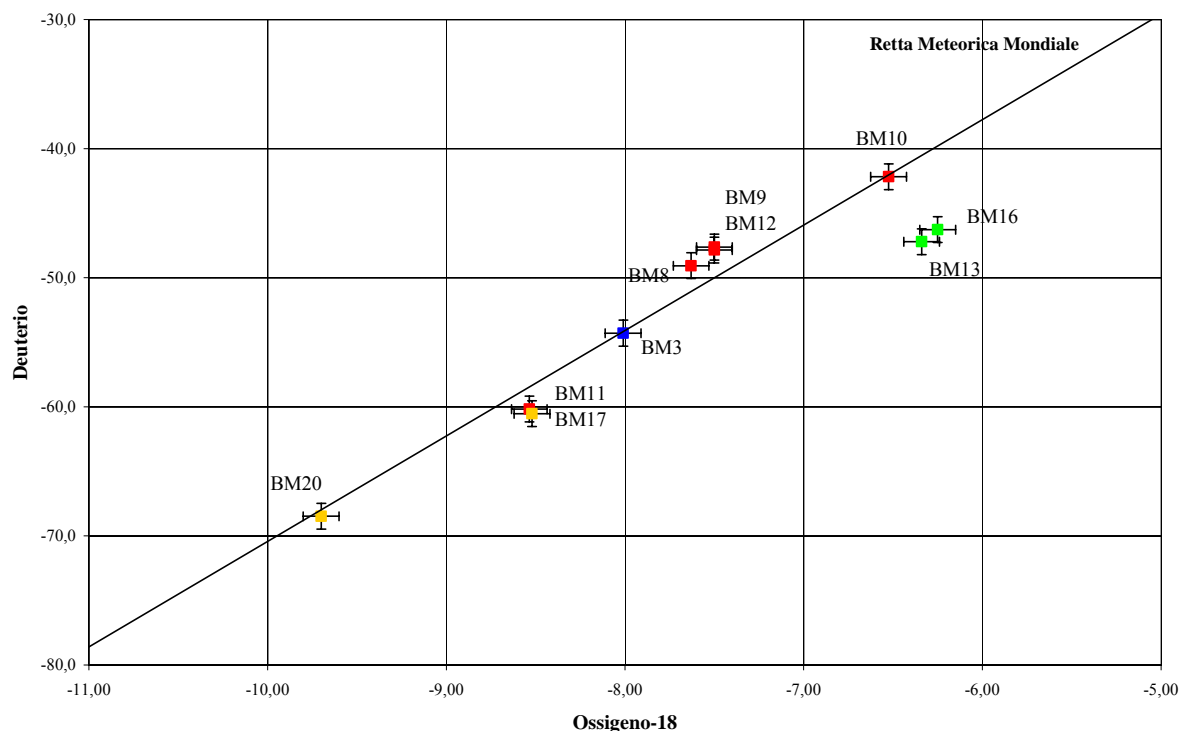
Infine, le acque dei piezometri si collocano per tre di essi nella tipologia 1 (BM8, BM11 e BM12), mentre per i prelievi più profondi del PZ2 (BM9 e BM10), l'aumento di Na e K comporta una classificazione di tipo 4, con assenza totale di carbonati e bicarbonati per tutti e cinque i campioni.

## ANALISI DEGLI ISOTOPI

Per la rappresentazione de dati isotopici è stato utilizzato il *Diagramma di Craig* che mette in relazione la composizione in deuterio e in  $^{18}\text{O}$ .

In termini teorici, *Craig* aveva scoperto che tutti i campioni di acque meteoriche (acque piovane ed acque dolci superficiali), si dispongono su una retta (la Retta Meteorica Mondiale) e il posizionamento delle stesse, all'interno del grafico, permette di fare considerazioni sull'origine delle acque individuandone la ricarica o l'eventuale evaporazione.

L'analisi isotopica è stata effettuata solo sui campioni più rappresentativi, scelti tra quelli del periodo di magra: uno nell'area di cava (BM3 relativo al piazzale a quota +100), la totalità di quelli dei piezometri (da BM8 a BM12), due delle acque superficiali (BM13 posizionato a monte della cava e BM16 posto a valle nelle immediate vicinanze dell'abitato di Borgo Rivola) e i due prelievi all'esterno dell'area di cava (BM17 vulcano di fango di Bergullo e BM20 sorgente solforosa).



**Figura 5.2.3** – Diagramma di Craig con evidenziata la retta delle acque meteoriche mondiali. I campioni studiati sono rappresentati con due linee a croce che rappresentano le barre di errore del deuterio e dell' $^{18}\text{O}$ .

I dati sono prossimi alla retta meteorica mondiale e sia per i campioni esterni all'area di cava, che per quelli dei piezometri, lo scostamento dalla linea può essere imputabile ad una variabilità naturale. Al contrario i campioni delle acque superficiali, visto il chiaro distacco mostrato, hanno probabilmente un'origine locale ma modificata da un processo evaporativo.

I risultati isotopici dei campioni, seppur in prossimità della retta meteorica mondiale, risultano molto differenziati, ad indicare la probabile differente origine di alcune di queste acque. In particolare tra i campioni appartenenti ai piezometri, si distingue nuovamente il campione BM11 (SIA1), che mostra una composizione isotopica indistinguibile da quella di BM17 (Bergullo).

### 5.3 Idrocarburi

Tra le valutazioni da effettuare sui campioni, la determinazione degli idrocarburi risulta di grande importanza, in quanto può evidenziare eventuali fenomeni di inquinamento legati al normale ciclo produttivo di cava oppure individuare un'origine naturale per gli stessi.

Le variazioni nelle concentrazioni totali, sia sui singoli campioni che nell'ambito stagionale, saranno il principale mezzo di conoscenza per chiarire queste differenze.

Le analisi sui campioni sono state effettuate da uno studio esterno e i risultati ottenuti sono presenti nella tabella 5.3.1.



NUM.	LUOGO E QUOTA	1° CAMP. GIUGNO [µg/l]	2° CAMP. SETTEMBRE [µg/l]
<b>BM-1</b>	Risorgiva Ca' boschetti _ //	n.d.	//
<b>BM-2</b>	Galleria (impianto primario) _ +100	< 10	< 24
<b>BM-3</b>	Piazzale _ +100	< 10	< 24
<b>BM-4</b>	Discenderia (davanti a riservetta) _ +140	< 10	< 24
<b>BM-5</b>	Ingresso gallerie _ +140	< 10	< 24
<b>BM-6</b>	Grotta Re Tiberio	< 10	//
<b>BM-7</b>	Piazzale cava (bacino di raccolta acque) _ +217	< 10	//
<b>BM-8</b>	PZ2 _ -15m	127	40,3
<b>BM-9</b>	PZ2 _ -85m	524	< 24
<b>BM-10</b>	PZ2 _ -135m	957	264
<b>BM-11</b>	SIA 1	< 20	< 24
<b>BM-12</b>	PZ1 _ Fondo	524	< 24
<b>BM-13</b>	Fiume a monte	516	< 24
<b>BM-14</b>	Fiume a valle confluenza	603	< 24
<b>BM-15</b>	Uscita galleria canale	814	< 24
<b>BM-16</b>	Borgo Rivola	< 20	< 24
<b>BM-17</b>	Bergullo	1444	742
<b>BM-18</b>	Venuta d'acqua in galleria	n.d.	//
<b>BM-19</b>	Uscita galleria _ +100	//	< 24
<b>BM-20</b>	Sorgente solforosa	//	n.d.

**Tabella 5.3.1** – Misure sulle concentrazioni degli idrocarburi effettuate su entrambe le campagne di rilevamento

I valori ottenuti sono globalmente molto inferiori (solo un valore supera 1ppm) agli standard di inquinamento considerati per legge. Inoltre, è possibile dividere tutti i campioni in due gruppi rispettivamente quello dei prelievi fatti in cava e la totalità di piezometri ed acque superficiali.

I due gruppi individuati si distinguono per la netta differenziazione nelle concentrazioni riscontrate soprattutto nel periodo di giugno, dove i prelievi di cava si attestano al di sotto dei 10µg/l, mentre i piezometri e le acque superficiali sono costantemente al di sopra dei 100µg/l. Alcuni campioni differiscono dal contesto generale: il piezometro BM11 mostra concentrazioni molto al di sotto della media; BM16, nell'ambito delle acque superficiali, si distacca nettamente dagli altri due dati, e BM15, al contrario dei precedenti, è l'unico prelievo di cava a mostrare concentrazioni anomale molto superiori alle altre, risentendo probabilmente dell'apporto di due tipologie di acque.

Nel campionamento di settembre la netta discordanza di dati non è presente e salvo casi unici come BM17, che ha idrocarburi completamente di origine naturale, le concentrazioni si sono globalmente inferiori, soprattutto quelle dei piezometri e delle acque superficiali.

Nel complesso sembra quindi confermata l'assenza di un apporto di idrocarburi proveniente dal ciclo produttivo di cava, mentre sembra più plausibile che le concentrazioni riscontrate siano relative ad una qualche origine organica presente nel settore della Vena del gesso. Questa considerazione è avvalorata dal fatto che la ridotta circolazione di acque nel periodo di magra non ha comportato aumenti nelle concentrazioni (dovute alla mancata diluizione), ma al contrario ha determinato netti decrementi, probabilmente a causa di una minore interazione con litologie argillose ricche in materia organica.

# TABELLE RIEPILOGATIVE GIUGNO

## CAMPIONAMENTO PERIODO DI MORBIDA

NUM.	LUOGO E QUOTA	DATA	pH	T° [C]	Conducibilità [µS/cm]	Redox [mV]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Ca <sup>+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	(OH) <sup>-</sup> [mg/l]	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	Sr [mg/l]	Oli minerali [µg/l]
BM-1	Risorgiva Ca' boschetti //	22/05/2008	7.27	14.6	2.240	434	40.4	558.0	20.7	12.5	210.0	0.0	0.0	1.050	9.5	27.46	9.8	0
BM-2	Galleria (imp. primario) +100	22/05/2008	7.94	12.6	2.710	419	117.0	695.0	9.8	3.4	120.0	0.0	0.0	1.600	2.4	20.37	14.4	<10
BM-3	Piazzale_ +100	22/05/2008	8.03	12.4	2.710	406	121.0	671.0	11.8	3.1	119.0	0.0	0.0	1.700	2.8	20.37	14.4	<10
BM-4	Discenderia_ +140	22/05/2008	7.94	12.7	2.440	394	117.0	658.0	10.6	3.9	117.0	0.0	0.0	1.600	2.4	19.49	14.3	<10
BM-5	Ingresso gallerie_ +140	22/05/2008	8.08	11.2	2.870	422	171.0	669.0	10.1	8.1	79.4	0.0	0.0	1.850	1.5	18.16	12	<10
BM-6	Grotta Re Tiberio_ //	22/05/2008	8.01	12.6	2.710	451	108.0	691.0	14.8	0.5	111.0	0.0	0.0	1.550	4.0	22.1	13.6	<10
BM-7	Piazzale cava_ +217	22/05/2008	8.1	22.6	2.360	404	133.0	744.0	6.6	7.0	176.0	0.0	0.0	1.700	2.1	24.36	14.3	<10
BM-8	P22_ -15m.	19/06/2008	11.1	12.6	3.260	-73	1.6	600.0	276.0	12.5	0.0	18.0	10.8	1.100	290.0	1.77	11.8	127
BM-9	P22_ -85m.	19/06/2008	11.1	13.7	5.670	-255	0.8	645.0	943.0	14.0	0.0	20.0	12.0	1.200	1.100.0	0.44	13.8	524
BM-10	P22_ -135m.	19/06/2008	10.7	14.7	31.100	-215	257.0	1.870.0	9.370.0	49.4	0.0	12.0	21.6	2.400	14.000.0	0.89	29.2	957
BM-11	SIA 1	19/06/2008	7.92	15.6	2.480	161	73.2	679.0	5.1	4.0	63.7	0.0	0.0	1.600	8.0	15.06	12.8	<20
BM-12	P21_ Fondo	19/06/2008	11.4	15.7	2.650	-32	0.1	634.0	45.8	19.7	0.0	41.0	19.2	1.150	29.5	3.99	9.6	524
BM-13	Fiume a monte	20/06/2008	8.26	18.1	655	327	31.2	82.4	25.6	3.1	277.0	0.0	0.0	70	20.9	3.54	1	516
BM-14	Fiume a valle confluenza	20/06/2008	8.22	18.4	668	361	31.9	84.1	25.4	3.2	267.0	0.0	0.0	75	20.4	3.10	1.05	603
BM-15	Uscita galleria canale	20/06/2008	7.81	14.0	2.710	80	111.0	682.0	17.2	2.2	132.0	0.0	0.0	1.550	3.2	12.40	13.7	814
BM-16	Borgo Rivola	20/06/2008	8.28	18.8	669	293	31.5	84.7	25.3	3.4	271.0	0.0	0.0	75	20.5	3.10	1.07	<20
BM-17	Bergullo	20/06/2008	7.92	14.8	3.560	-36	33.9	35.4	1.301.0	34.1	1.018.0	0.0	0.0	90	1.210.0	1.77	0.4	1.444
BM-18	Venuta d'acqua in galleria	19/06/2008	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	720.0	20.3	3.2	127.0	0.0	0.0	1.700	3.2	10.63	14.5	0
BM-19	Uscita galleria_ +100	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-20	Sorgente solforosa	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//

## CAMPIONAMENTO PERIODO DI MORBIDA

NUM.	LUOGO E QUOTA	DATA	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	(OH) <sup>-</sup> [mg/l]	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	Sr [mg/l]	Si [mg/l]	Sommatoria cationi	Sommatoria anioni	Errore %
BM-1	Risorgiva Ca' boschetti //	22/05/2008	3.32	27.85	0.90	0.32	3.44	0.00	0.00	21.86	0.27	0.44	0.112	3.38	32.39	26.01	10.9
BM-2	Galleria (imp. primario) +100	22/05/2008	9.63	34.68	0.43	0.09	1.97	0.00	0.00	33.31	0.07	0.33	0.164	3.16	44.82	35.67	11.4
BM-3	Piazzale _ +100	22/05/2008	9.96	33.48	0.51	0.08	1.95	0.00	0.00	35.39	0.08	0.33	0.164	3.16	44.03	37.75	7.7
BM-4	Discenderia_ +140	22/05/2008	9.63	32.84	0.46	0.10	1.92	0.00	0.00	33.31	0.07	0.31	0.163	3.13	43.02	35.61	9.4
BM-5	Ingresso gallerie_ +140	22/05/2008	14.07	33.38	0.44	0.21	1.30	0.00	0.00	38.52	0.04	0.29	0.137	1.85	48.10	40.15	9.0
BM-6	Grotta Re Tiberio_ //	22/05/2008	8.89	34.48	0.64	0.01	1.82	0.00	0.00	32.27	0.11	0.04	0.155	3.55	44.03	34.24	12.5
BM-7	Piazzale cava_ +217	22/05/2008	10.94	37.13	0.29	0.18	2.89	0.00	0.00	35.39	0.06	0.39	0.163	0.08	48.54	38.73	11.2
BM-8	P22_ -15m.	19/06/2008	0.13	29.94	12.01	0.32	0.00	1.06	0.36	22.90	8.18	0.03	0.135	0.12	42.40	32.53	13.2
BM-9	P22_ -85m.	19/06/2008	0.07	32.19	41.02	0.36	0.00	1.18	0.40	24.98	31.03	0.01	0.157	0.16	73.63	57.59	12.2
BM-10	P22_ -135m.	19/06/2008	21.15	93.32	407.57	1.26	0.00	0.71	0.72	49.97	394.89	0.01	0.333	0.82	523.30	446.29	7.9
BM-11	SIA 1	19/06/2008	6.02	33.88	0.22	0.10	1.04	0.00	0.00	33.31	0.23	0.24	0.146	4.38	40.23	34.82	7.2
BM-12	P21_ Fondo	19/06/2008	0.01	31.64	1.99	0.50	0.00	2.41	0.64	23.94	0.83	0.06	0.110	0.35	34.14	27.89	10.1
BM-13	Fiume a monte	20/06/2008	2.57	4.11	1.11	0.08	4.54	0.00	0.00	1.46	0.59	0.06	0.011	1.20	7.87	6.64	8.5
BM-14	Fiume a valle confluenza	20/06/2008	2.62	4.20	1.10	0.08	4.38	0.00	0.00	1.56	0.58	0.05	0.012	1.18	8.01	6.56	9.9
BM-15	Uscita galleria canale	20/06/2008	9.13	34.03	0.75	0.06	2.16	0.00	0.00	32.27	0.09	0.20	0.156	3.81	43.97	34.72	11.8
BM-16	Borgo Rivola	20/06/2008	2.59	4.23	1.10	0.09	4.44	0.00	0.00	1.56	0.58	0.05	0.012	1.17	8.01	6.63	9.4
BM-17	Bergullo	20/06/2008	2.79	1.77	56.59	0.87	16.69	0.00	0.00	1.87	34.13	0.03	0.005	1.19	62.02	52.72	8.1
BM-18	Venuta d'acqua in galleria	19/06/2008	9.46	35.93	0.88	0.08	2.08	0.00	0.00	35.39	0.09	0.17	0.165	3.87	46.36	37.74	10.3
BM-19	Uscita galleria_ +100	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-20	Sorgente solforosa	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//

# TABELLE RIEPILOGATIVE SETTEMBRE

## CAMPIONAMENTO PERIODO DI MAGRA

NUM.	LUOGO E QUOTA	DATA	pH	T° [C]	Conducibilità [µS/cm]	Redox [mV]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	(OH) <sup>-</sup> [mg/l]	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	Sr [mg/l]	Oli minerali [µg/l]
BM-1	Risorgiva Ca' boschetti _//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-2	Galleria (imp. primario) +100	03/09/2008	8,1	12,6	2.690	459	103,0	652,0	15,2	1,7	133,8	0,0	0,0	1.650	3,0	10,2	13,5	<24
BM-3	Piazzale _+100	03/09/2008	8,08	13,2	2.760	379	120,0	661,0	19,3	1,6	126,4	0,0	0,0	1.700	3,5	15,5	13,5	<24
BM-4	Discenderia _+140	03/09/2008	7,76	12,4	2.670	419	105,0	683,0	13,6	3,3	137,5	0,0	0,0	1.600	2,9	10,2	13,9	<24
BM-5	Ingresso gallerie _+140	03/09/2008	8,18	14,0	3.370	445	285,0	635,0	17,4	10,4	105,1	0,0	0,0	2.150	1,9	34,1	13,0	<24
BM-6	Grotta Re Tiberio _//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-7	Piazzale cava. +217	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-8	PZ2 _-15m.	02/09/2008	11,6	13,5	3.390	-46	6,2	575,0	293,0	11,6	0,0	18,0	13,8	1.100	362,0	0,9	12,8	40,3
BM-9	PZ2 _-85m.	02/09/2008	11,7	14,0	6.580	-88	0,2	681,0	995,0	16,5	0,0	20,0	17,1	1.250	1.410,0	0,4	13,7	<24
BM-10	PZ2 _-135m.	02/09/2008	10,4	14,5	37.500	-125	107,0	1.740,0	9.790,0	51,3	0,0	12,0	18,3	1.500	17.500,0	0,9	26,3	264
BM-11	SIA 1	03/09/2008	6,96	16,4	2.590	131	82,0	697,0	28,5	2,1	64,9	0,0	0,0	1.600	2,1	7,5	13,3	<24
BM-12	PZ1 _ Fondo	02/09/2008	12	15,6	3.240	-60	0,6	675,0	84,7	30,0	0,0	41,0	28,2	1.150	52,0	3,5	11,5	<24
BM-13	Fiume a monte	03/09/2008	8,33	22,3	1.633	351	43,3	105,0	215,0	6,1	310,8	0,0	0,0	90	272,0	2,7	2,3	<24
BM-14	Fiume a valle confluenza	03/09/2008	8,21	22,1	1.709	370	43,2	120,0	213,0	5,9	293,7	0,0	0,0	150	270,0	2,7	2,5	<24
BM-15	Uscita galleria canale	03/09/2008	7,91	15,4	2.770	364	121,0	668,0	20,9	4,9	133,3	0,0	0,0	1.600	3,8	11,5	13,4	<24
BM-16	Borgo Rivola	03/09/2008	8,07	22,3	1.916	368	47,2	190,0	196,0	5,7	276,3	0,0	0,0	350	248,0	2,7	3,6	<24
BM-17	Bergullo	02/09/2008	8,18	16,0	3.940	-113	24,0	23,4	1.361,0	33,2	1.122,0	0,0	0,0	54	1.390,0	2,7	0,4	742
BM-18	Venuta d'acqua in galleria	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-19	Uscita galleria _+100	03/09/2008	8,16	12,8	2.770	428	121,0	657,0	20,2	2,8	127,6	0,0	0,0	1.650	3,6	14,6	13,4	<24
BM-20	Sorgente solforosa	03/09/2008	9,06	16,6	1.942	-166	2,3	9,9	508,0	10,5	527,0	0,0	290,4	365	22,0	1,3	0,3	-

## CAMPIONAMENTO PERIODO DI MAGRA

NUM.	LUOGO E QUOTA	DATA	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	(OH) <sup>-</sup> [mg/l]	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	Sr [mg/l]	Si [mg/l]	Sommatoria cationi	Sommatoria anioni	Errore %
BM-1	Risorgiva Ca' boschetti _//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-2	Galleria (imp. primario) +100	03/09/2008	8,48	32,54	0,66	0,04	2,19	0,00	0,00	34,35	0,08	0,16	0,154	0,61	41,72	36,79	6,3
BM-3	Piazzale _+100	03/09/2008	9,87	32,99	0,84	0,04	2,07	0,00	0,00	35,39	0,10	0,25	0,154	0,57	43,74	37,81	7,3
BM-4	Discenderia _+140	03/09/2008	8,64	34,08	0,59	0,08	2,25	0,00	0,00	33,31	0,08	0,16	0,159	1,17	43,40	35,81	9,6
BM-5	Ingresso gallerie _+140	03/09/2008	23,45	31,69	0,76	0,27	1,72	0,00	0,00	44,76	0,05	0,55	0,148	3,70	56,16	47,09	8,8
BM-6	Grotta Re Tiberio _//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-7	Piazzale cava. +217	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-8	PZ2 _-15m.	02/09/2008	0,51	28,69	12,74	0,30	0,00	1,06	0,46	22,90	10,21	0,01	0,146	8,26	42,25	34,84	9,9
BM-9	PZ2 _-85m.	02/09/2008	0,02	33,98	43,28	0,42	0,00	1,18	0,57	26,02	39,77	0,01	0,156	11,75	77,70	67,55	7,0
BM-10	PZ2 _-135m.	02/09/2008	8,80	86,83	425,84	1,31	0,00	0,71	0,61	31,23	493,61	0,01	0,300	36,53	522,78	526,17	-0,3
BM-11	SIA 1	03/09/2008	6,75	34,78	1,24	0,05	1,06	0,00	0,00	33,31	0,06	0,12	0,152	0,75	42,82	34,56	10,7
BM-12	PZ1 _ Fondo	02/09/2008	0,05	33,68	3,68	0,77	0,00	2,41	0,94	23,94	1,47	0,06	0,131	10,88	38,18	28,82	14,0
BM-13	Fiume a monte	03/09/2008	3,56	5,24	9,35	0,16	5,10	0,00	0,00	1,87	7,67	0,04	0,026	2,17	18,31	14,68	11,0
BM-14	Fiume a valle confluenza	03/09/2008	3,55	5,99	9,26	0,15	4,81	0,00	0,00	3,12	7,62	0,04	0,029	2,10	18,96	15,60	9,7
BM-15	Uscita galleria canale	03/09/2008	9,96	33,33	0,91	0,13	2,19	0,00	0,00	33,31	0,11	0,19	0,153	1,74	44,33	35,79	10,7
BM-16	Borgo Rivola	03/09/2008	3,88	9,48	8,53	0,15	4,53	0,00	0,00	7,29	7,00	0,04	0,041	2,03	22,04	18,85	7,8
BM-17	Bergullo	02/09/2008	1,97	1,17	59,20	0,85	18,39	0,00	0,00	1,12	39,21	0,04	0,005	59,10	63,19	58,77	3,6
BM-18	Venuta d'acqua in galleria	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
BM-19	Uscita galleria _+100	03/09/2008	9,96	32,79	0,88	0,07	2,09	0,00	0,00	34,35	0,10	0,24	0,153	1,00	43,69	36,78	8,6
BM-20	Sorgente solforosa	03/09/2008	0,19	0,49	22,10	0,27	8,64	0,00	9,68	7,60	0,62	0,02	0,003	3,74	23,05	26,56	-7,1

## CAPITOLO 6

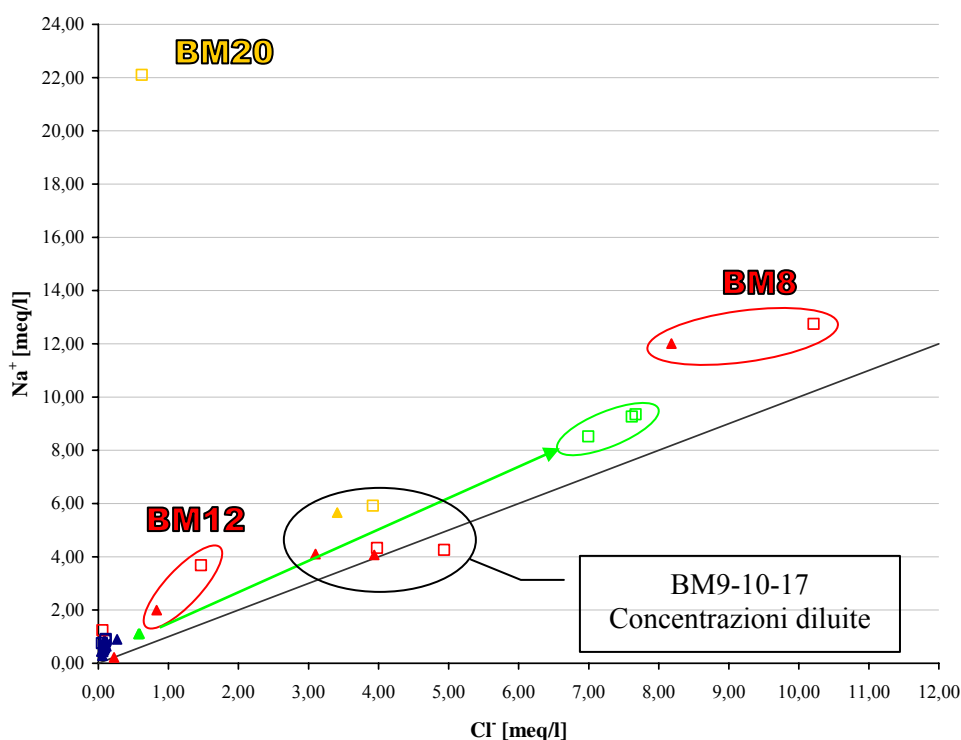
### Interpretazione dati

Una volta classificate le acque dal punto di vista dell'idrofacies e con la classificazione idrochimica di Piper, è necessario spiegare quali meccanismi sono all'origine della composizione chimica ed isotopica delle soluzioni. A tal fine sono stati elaborati alcuni grafici che mettano in evidenza le caratteristiche tipiche di alcuni gruppi di acque. Questi grafici sono: sodio-cloro, calcio-cloro, calcio-solfati e calcio-stronzio, oltre ad una più elaborata interpretazione dei dati isotopici e degli indici di saturazione.

#### RAPPORTO CLORO-SODIO

In molti ambienti, il sodio ma soprattutto il cloro sono elementi conservativi, cioè indicatori del grado di avanzamento dell'interazione acqua roccia. In particolare i rapporti tra i due possono contribuire ad individuare l'origine di questi ioni disciolti. I risultati sono riportati in Fig. 6.1.

#### Confronto analisi: Cloro-Sodio



#### LEGENDA SIMBOLI

- ▲ - Periodo di Morbida – Giugno
- - Periodo di magra – Settembre
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campioni BM17 e BM 20)

**Figura 6.1** – Analisi Na-Cl [meq/l]

Il grafico mostra i dati sia di giugno che di settembre (i campioni BM9-17 e BM10, avendo entrambe le concentrazioni troppo elevate sono state rispettivamente divise dieci volte per i primi due e cento volte per BM10). Sul grafico è tracciata la retta di rapporto 1:1, indicativa della dissoluzione di NaCl.

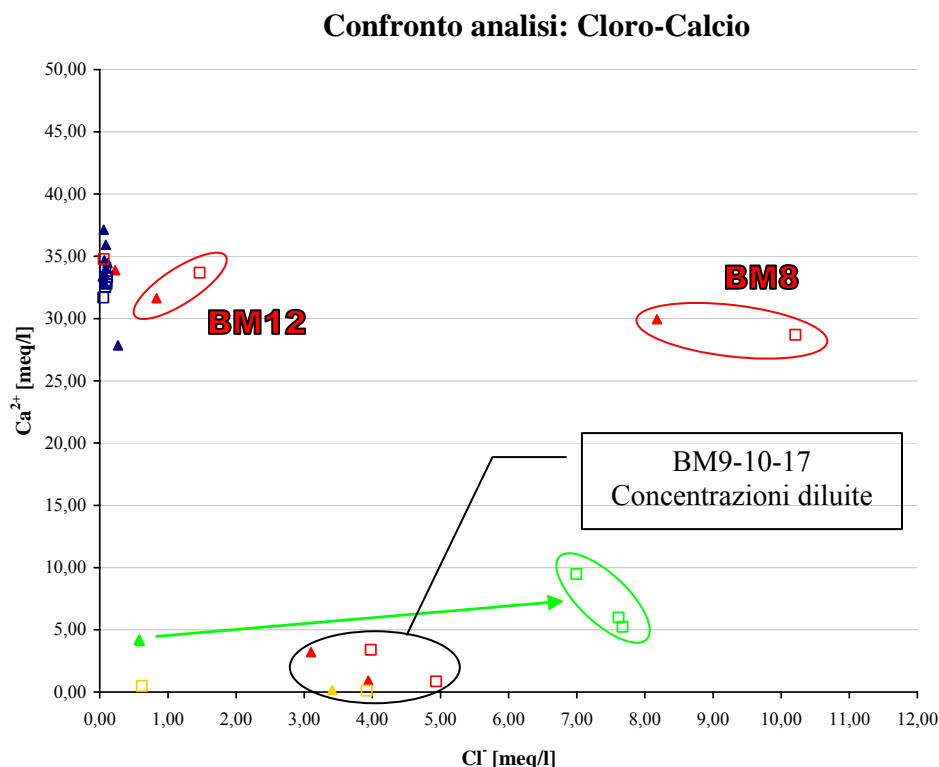
I dati mostrano generalmente un eccesso in Na, che esclude una provenienza di questo ione dalla sola dissoluzione di halite o da acqua marina intrappolata in inclusioni fluide. Le acque di cava mostrano concentrazioni stabilmente al di sotto dei 1-2 meq/l sia per giugno che per settembre; i campioni dei piezometri sono invece molto più elevati, in particolare BM8, il più superficiale dei tre campionamenti del PZ2. Infine BM20 (campionamento delle acque solforose solamente di settembre) mostra un rapporto Na/Cl molto elevato e lontano da quello mostrato dagli altri campioni. Questo comportamento è ovviamente correlato alla natura molto particolare delle acque termali della zona, e contribuisce ulteriormente ad identificare questo campione come una tipologia a sé stante.

Osservando la variazione stagionale è possibile affermare che quasi tutti i campioni subiscono un generale aumento di concentrazione sia di sodio che di cloro, motivato da una diminuzione delle acque circolanti nel periodo di magra. Questa condizione è però globalmente molto più evidente per tutti i campioni delle acque superficiali che, con valori nella stagione di morbida già molto superiori a quelli caratteristici delle acque superficiali, subiscono nel mese di settembre un netto aumento, conservando peraltro il rapporto Na/Cl generale. Questo aumento di concentrazioni è probabilmente dettato dalle caratteristiche idrauliche del torrente Senio, che risente notevolmente dei mancati apporti pluviometrici con conseguente aumento del contributo relativo alle acque di cava

Un rapporto Na/Cl elevato è stato individuato anche da altri autori nelle acque del settore appenninico (Toscani et al., 2001); in particolare per le acque bicarbonato-sodiche (simili a BM20) l'elevato tenore in Na è attribuito a processi di scambio ionico con la componente argillosa in presenza di calcite.

## RAPPORTO CLORO-CALCIO

I rapporti esistenti tra gli ioni calcio e cloro sono mostrati in Fig. 6.2



### LEGENDA SIMBOLI

- ▲ - Periodo di Morbida – Giugno
- - Periodo di magra – Settembre
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campioni BM17 e BM 20)

**Figura 6.2** – Analisi Cl-Ca [meq/l]

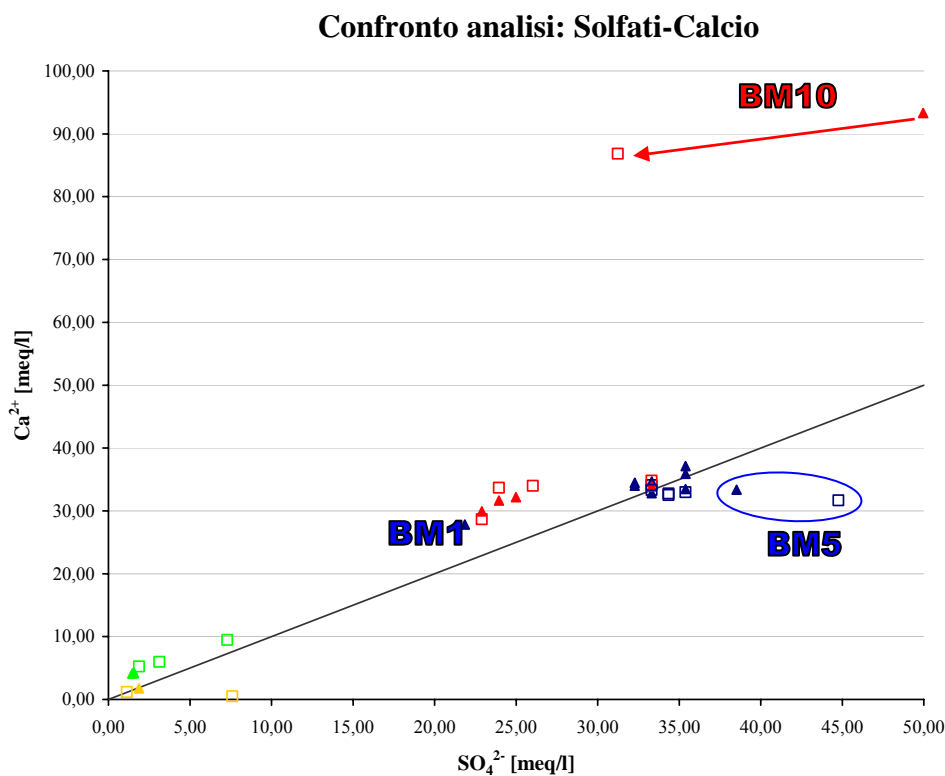
In questo caso non si osserva una proporzionalità fra gli ioni: tuttavia si distinguono bene le diverse tipologie di acque. Le acque di cava e alcuni prelievi dei piezometri (come nel caso precedente solo tre campioni hanno subito una diluizione delle concentrazioni per poter rientrare nel grafico e sono BM9-10 e 17, con i medesimi valori utilizzati nel diagramma Cl-Na) mostrano tenori di calcio al di sopra dei 25 meq/l di la quasi assenza di ione cloro, mentre le acque superficiali hanno comportamento opposto.

Alcune caratteristiche generali descritte precedentemente sono sostanzialmente invariate in questa rappresentazione in quanto, anche in questo caso, i campioni dei piezometri sono distinti da quelli di cava con mineralizzazioni superiori alla media, mentre il BM20 che presentava alte concentrazioni in sodio, in questo caso si presenta con una quasi totale assenza di mineralizzazione, dovuta alla quasi totale assenza di calcio e cloro nelle acque di tipo solforoso.

Le variazioni stagionali sono di nuovo molto differenti: i campioni BM8 e 12 subiscono maggiormente l'aumento di anioni e cationi nel periodo di magra, probabilmente per l'influenza di flussi sotterranei diversi (entrambi mostrano un aumento di cloro ma si comportano in maniera opposta con il calcio). mentre si osserva il medesimo forte arricchimento in cloro per le acque superficiali che al contempo si diversificano leggermente.

## RAPPORTO SOLFATI-CALCIO

Considerando l'ambiente in cui si sono svolti i campionamenti, che è caratterizzato dalla abbondante presenza di gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), il rapporto calcio-solfati dovrebbe essere caratteristico della dissoluzione di questo minerale, evidenziato in Fig. 6.3 da una retta a pendenza 1.



### LEGENDA SIMBOLI

- ▲ - Periodo di Morbida – Giugno
- - Periodo di magra – Settembre
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campioni BM17 e BM 20)

**Figura 6.3** – Analisi Solfati-Ca [meq/l]

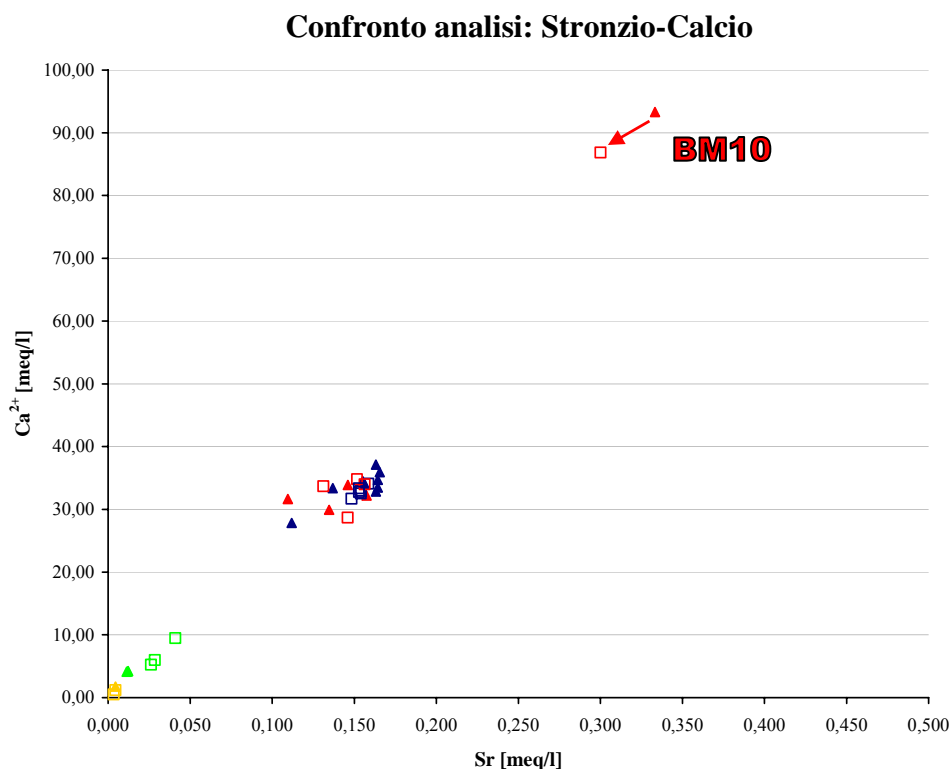


Il grafico evidenzia una disposizione abbastanza netta dei campioni a seconda della loro natura: acque di cava, piezometri acque superficiali e campionamenti fuori dall'area di studio sono ben differenziati a seconda delle loro mineralizzazioni. In particolare, la quasi assenza di calcio e solfati è caratteristica delle acque del torrente Senio le quali, probabilmente, durante il loro percorso interagiscono in maniera meno evidente con la Vena del gesso, mentre le acque della sorgente solforosa e quelle di Bergullo confermano l'assenza di interazione con i gessi della zona. Discorso contrario va fatto per le acque di cava che, a differenza dei campioni precedenti, mostrano una mineralizzazione evidente con una chiara proporzionalità fra i due ioni, oltre ad una ridotta oscillazione stagionale. Per due campioni di acque la situazione è differente: BM5 si diversifica dal resto per le concentrazioni superiori e una variazione stagionale ben chiara, dovuta probabilmente alla circolazione di una minor quantità d'acqua all'interno dei sotterranei di cava, mentre BM1, con il solo campionamento di giugno, mostra concentrazioni globalmente inferiori alla media probabilmente dovute alla posizione geografica del punto stesso (campionamento ai limiti dell'area di cava).

Per quanto riguarda i piezometri quasi tutti i campioni si mantengono sui 25-30 meq/l, con un'assenza di diversificazione stagionale e una leggera predominanza di ione calcio. Solo il campione BM10, prelevato ad una profondità di -135 m, evidenzia una mineralizzazione elevata e una forte discordanza fra le due misurazioni, che mostra inoltre una diminuzione delle concentrazioni da giugno a settembre: questo è un aspetto in controtendenza rispetto al resto delle analisi effettuate. Questo comportamento può essere dettato da una diversa stratificazione delle acque nel piezometro o ad una maggior componente di acqua profonda. Bisogna peraltro ricordare che, nonostante le precauzioni prese durante il campionamento, questa soluzione è in forte disequilibrio con le condizioni alla superficie come evidenziato dal marcato degasamento e conseguente precipitazione di calcite durante la fase di estrazione.

## RAPPORTO CALCIO-STRONZIO

Il grafico del rapporto tra questi due elementi è rappresentato in Fig. 6.4.



### LEGENDA SIMBOLI

- ▲ - Periodo di Morbida – Giugno
- - Periodo di magra – Settembre
- - Area di cava (Campioni da BM1 a BM7, BM15, BM 18 e BM19)
- - Piezometri (Campioni da BM8 a BM12)
- - Acque superficiali (Campioni BM13, BM14 e BM16)
- - Esterni all'area di cava (Campioni BM17 e BM 20)

**Figura 6.4** – Analisi Sr-Ca [meq/l]

Appare evidente una netta correlazione tra questi due elementi, dettata al loro comportamento geochimico affine.

A differenza delle analisi precedenti, le acque di cava e dei piezometri non risultano nettamente distinte, ma mantenendo la correlazione generale fra i due elementi, e si dispongono in un unico gruppo senza evidenti variazioni, tranne per BM10 che mostra un rapporto Ca/Sr più elevato. L'individuazione delle diverse tipologie di acque si mostra anche in quelle superficiali e per le esterne all'area di cava, che con le più basse concentrazioni rilevate, si separano dal resto dei campioni conservando caratteristiche uniche.

## INDICI DI SATURAZIONE

Gli indici di saturazione rispetto alle diverse fasi minerali sono stati calcolati tramite il programma Phreeqc esclusivamente per i campioni della campagna autunnale. I principali indici sono riportati in Tab. 6.5.

NUM.	LUOGO E QUOTA	S.I. CALCITE	S.I. DOLOMITE	S.I. GESSO
<b>BM-1</b>	Risorgiva Ca' boschetti _ //	//	//	//
<b>BM-2</b>	Galleria (impianto primario) _ +100	0,99	1,37	0,03
<b>BM-3</b>	Piazzale _ +100	0,96	1,37	0,03
<b>BM-4</b>	Discenderia (davanti a riservetta) _ +140	0,7	0,77	0,03
<b>BM-5</b>	Ingresso gallerie _ +140	0,92	1,69	0,04
<b>BM-6</b>	Grotta Re Tiberio	//	//	//
<b>BM-7</b>	Piazzale cava (bacino di raccolta acque) _ +217	//	//	//
<b>BM-8</b>	PZ2 _ -15m	1,51	1,23	-0,14
<b>BM-9</b>	PZ2 _ -85m	1,59	-0,07	-0,13
<b>BM-10</b>	PZ2 _ -135m	1,52	2,09	-0,14
<b>BM-11</b>	SIA 1	-0,34	-1,38	0,03
<b>BM-12</b>	PZ1 _ Fondo	1,85	0,74	-0,06
<b>BM-13</b>	Fiume a monte	1,18	2,31	-1,66
<b>BM-14</b>	Fiume a valle confluenza	1,09	2,05	-1,4
<b>BM-15</b>	Uscita galleria canale	0,87	1,21	0,01
<b>BM-16</b>	Borgo Rivola	1,07	1,86	-0,91
<b>BM-17</b>	Bergullo	0,71	1,67	-2,74
<b>BM-18</b>	Venuta d'acqua in galleria	//	//	//
<b>BM-19</b>	Uscita galleria _ +100	1,03	1,52	0,02
<b>BM-20</b>	Sorgente solforosa	1,4	2,47	-2,38

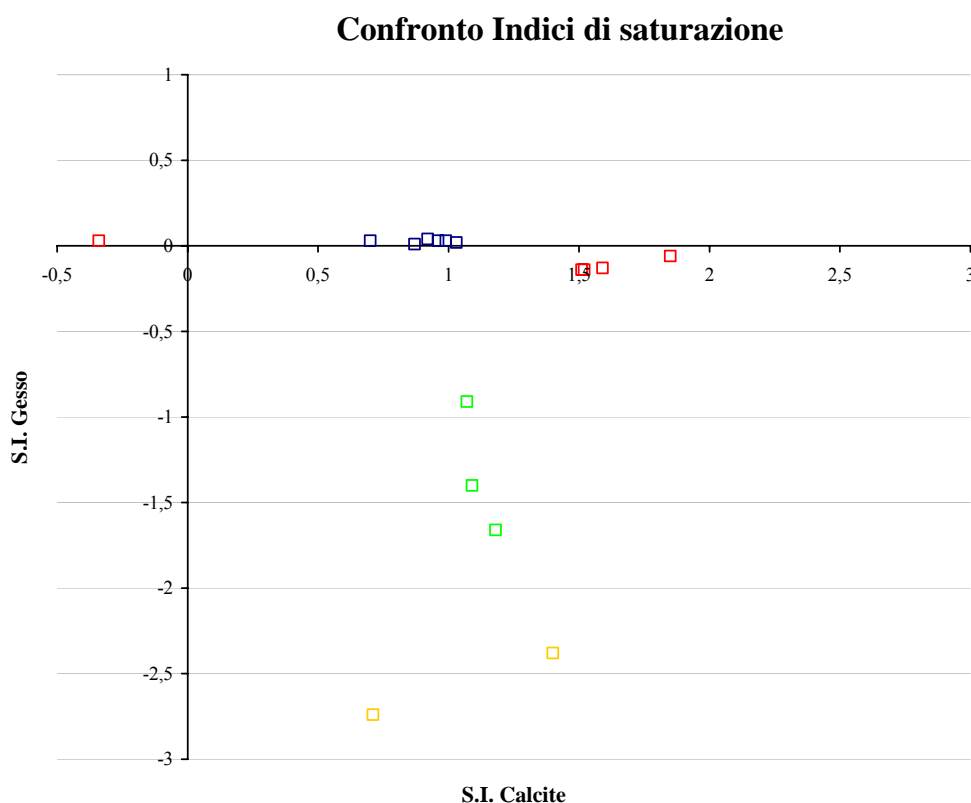
**Tabella 6.5** – Indici di saturazione dei campioni prelevati nel periodo di magra (settembre).

Ad una prima analisi si può osservare che per quanto riguarda la calcite, quasi tutti i campioni (ad eccezione del BM11), presentano valori molto elevati: questa condizione potrebbe essere influenzata da un probabile errore analitico nella misura dell'alcalinità, che si è ripetuto su tutti i campioni in esame. In linea con i dati precedenti, le acque superficiali risultano tutte prossime a saturazione, nonostante questo attributo sia, in condizioni normali, decisamente insolito.

Lo stesso vale anche per gli indici di saturazione della dolomite, che, seppur con valori più elevati, presentano le medesime caratteristiche precedenti, con soli due campioni in controtendenza, rispettivamente BM9 e BM11, in cui il primo arriva a saturazione mentre il secondo è marcatamente sottosaturo.

Proprio questa condizione di sottosaturazione sia in calcite che in dolomite relativa al piezometro SIA1 (BM11), permette di valutare l'assenza di interazione fra queste acque e i carbonati, i quali sono probabilmente assenti nel settore più elevato della cava, suggerendo quindi un'origine separata dal resto delle acque sotterranee.

Nell'analisi dell'indice di saturazione dei gessi, si è voluto utilizzare un grafico che mettesse in relazione i valori del gesso con quelli della calcite, mostrando la netta differenziazione che si presenta fra acque di origine differente.

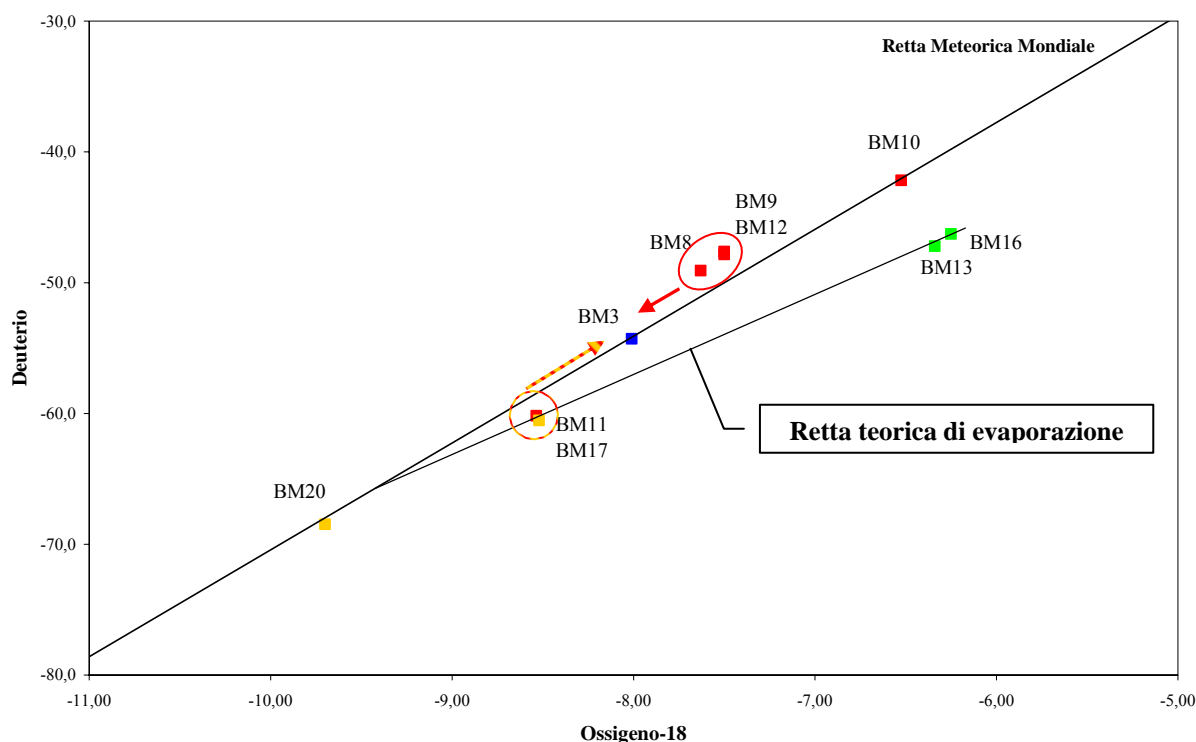


**Figura 6.6** – Grafico di confronto fra S.I di gesso e calcite.

Il grafico 6.6. mostra una netta separazione fra le acque che hanno avuto un evidente interazione con i gessi del polo estrattivo e quelle che, invece, non hanno risentito di questa condizione. I prelievi in cava e quelli dei piezometri sono globalmente saturi in gesso con variazioni quasi nulle, mentre le acque superficiali e quelle esterne all'area di studio presentano caratteristiche di sottosaturazione. Questa netta diversificazione è probabilmente più marcata dai ridotti apporti meteorici del periodo di magra, che permette alle acque circolanti in cava di raggiungere la rapida saturazione per mancanza di apporti idrici esterni sottosaturi e, al tempo stesso, porta volumi inferiori di acqua ai corpi idrici superficiali, che si mantengono sottosaturi in gesso, ma sovrasaturi in calcite.

## COMPOSIZIONE ISOTOPICA

Alla luce dell'interpretazione dei dati idrochimici è possibile reinterpretare la composizione isotopica delle acque tramite il diagramma di Craig cercando di evidenziare i circuiti idrici e le loro eventuali connessioni.



**Figura 6.7** – Diagramma di Craig con evidenziata la retta delle acque meteoriche mondiali. La retta teorica ricerca invece possibili origini evaporitiche.

Come detto precedentemente le acque presentano caratteristiche singolari e difficilmente si riesce a trovare un'origine comune per tutte. Il grafico mostra alcuni casi particolari come BM20 e BM10 che, essendo posti quasi agli estremi della RMM, hanno certamente peculiarità uniche e il loro punto di prelievo (sorgente solforosa e quota -135 m del piezometro PZ2) ne assicura una classificazione idrochimica esclusiva.

I due campionamenti delle acque superficiali, posti in posizione separata alla retta meteorica, sembrano originarsi da un eventuale fenomeno di evaporazione: la linea teorica costruita nel diagramma sembra confermare questa ipotesi, individuando come possibili acque di partenza BM11 e BM17.

Queste due acque risentono in maniera evidente dell'apporto delle precipitazioni esterne: BM17 presenta un importante apporto di acque superficiali (il punto di raccolta del fango è direttamente a contatto con l'esterno e presumibilmente le acque meteoriche incidono notevolmente sulla composizione isotopica), mentre BM11 deve questa caratterizzazione idrochimica alla possibile infiltrazione delle acque meteoriche nella parte più elevata della cava (il piezometro in oggetto è il più alto in quota e le ridotte coperture permettono il probabile riempimento di una falda sospesa). La loro composizione isotopica sarebbe dunque quella corrispondente alle precipitazioni dell'area in esame.

I campioni dei piezometri (PZ2 a -15 m e -85 m, oltre al piezometro PZ1) sono riuniti assieme, definendo quindi un'origine comune per tutti e tre i prelievi e confermando la stretta correlazione che intercorre fra le acque profonde inserite in un particolare settore di cava.

Proprio la differenziazione fra i piezometri e il gruppo precedente (BM11 e BM17), può evidenziare fenomeni di mescolamento (rappresentati nel grafico dalle due frecce centrali) che generano acque a caratteristiche intermedie, ben rappresentate dall'unico campione di cava (BM3). È, quindi, ragionevole considerare che le acque circolanti nei settori superficiali del polo estrattivo derivino da un parziale mescolamento tra due tipologie di acque differenti, altrimenti non connesse tra loro, con aree di alimentazione diverse. Le differenze nella composizione isotopica confermano dunque la presenza non solo di acque chimicamente diverse, ma appartenenti a circuiti idrici differenti.

## CAPITOLO 7

### Conclusioni

Il polo unico estrattivo di Monte Tondo si posiziona all'interno della Vena del gesso romagnola e sia le dimensioni che i volumi cavati ne fanno uno dei centri più importanti d'Europa.

Questo studio è volto alla caratterizzazione idrochimica ed isotopica di campioni di acque e sorgenti appartenenti al settore di cava e dei dintorni, per approfondire le eventuali influenze dei processi estrattivi. Sono state condotte due campagne di prelievo, una in periodo di magra ed una in periodo di morbida, ed i campioni sono stati sottoposti alla determinazione dei parametri fondamentali delle acque, all'analisi dei costituenti maggiori e di alcuni elementi in traccia, ed a determinazioni isotopiche. Inoltre sono state effettuate, in un laboratorio esterno, alcune determinazioni del contenuto in idrocarburi.

Le analisi di terreno indicano la presenza di diverse tipologie di acque, con nette differenze sia in termini di conducibilità elettrica che di pH. L'utilizzo dei diagrammi Eh-pH e Piper confermano l'esistenza di vari gruppi di acque. Le acque superficiali, i piezometri, i prelievi esterni all'area di cava si sono ben differenziati sia per la classificazione idrochimica che per lo studio isotopico. In particolare le acque circolanti in ambiente di cava ed il piezometro più in quota derivano la loro composizione chimica interamente dalla dissoluzione dei gessi; i piezometri più profondi intercettano invece acque a connotazione clorurato-sodica ed elevata salinità, alle quali sono associati idrocarburi. Queste sono verosimilmente legate alla presenza di una struttura tettonica che permette la risalita di fluidi profondi. Le acque superficiali rappresentano l'area di recapito di queste due tipologie di acque e soprattutto in periodo di magra indicano un forte contributo del polo clorurato. Infine la sorgente solforosa, campionata all'esterno dell'area di cava mostra connotazioni tipologiche ancora diverse, classificandosi come bicarbonato-sodica. Le analisi isotopiche della molecola dell'acqua confermano questa netta differenziazione tipologica che corrisponde dunque anche ad origini e circolazioni idriche distinte; in questo caso il campione BM3 (rappresentativo delle acque di cava), risulta da un mescolamento parziale delle due tipologie dominanti nel settore.

Dal punto di vista dell'interazione fra i processi di cava e la qualità delle acque si deve sottolineare che non sembrano esserci evidenze dirette di inquinamenti. Per quanto riguarda gli idrocarburi, i risultati indicano una grande variabilità delle concentrazioni durante le due stagioni, ma nonostante questo, nessuna di esse risulta superiore ad 1 mg/l, fatto salvo per BM17, il vulcanello di fango di Bergullo, che, vista la sua origine, mostra un contenuto in idrocarburi molto elevato ma naturale.

La netta differenza riscontrata fra i valori di giugno è rappresentativa della condizione generale, dove le acque di cava hanno sostanzialmente concentrazioni nulle, mentre i valori maggiori si riscontrano nelle acque superficiali e nei piezometri indicando un'origine naturale per gli idrocarburi presenti.

Le concentrazioni di nitrati presentano valori molto variabili tra le due campagne di misura e si dividono in due gruppi a seconda dell'origine delle acque; nonostante questa prerogativa, nessuna delle concentrazioni riscontrate, sia di giugno che di settembre, supera il limite dei 50 mg/l imposto per legge. I nitrati sono composti conservativi in ambiente ossidante, ed è lecito ipotizzare che parte di questi possa essere correlata all'utilizzo degli esplosivi di cava, principalmente composti da nitrato d'ammonio. Si dovrebbe allora osservare una netta differenziazione delle concentrazioni fra i campioni di cava e i rimanenti; i risultati ottenuti nella campagna di giugno confermerebbero questa condizione, con valori inferiori ai 5 mg/l per i piezometri e le acque superficiali, mentre per i restanti prelievi in cava, l'intervallo di misura si attesta fra i 10 e i 30 mg/l. L'unico piezometro che sembra presentare caratteristiche uniche nel suo genere è BM11, che con un valore di circa 15 mg/l si discosta nettamente dalla media generale: questa peculiarità può essere correlata alla ridotta profondità di prelievo delle acque e alla mancanza di una copertura vegetale idonea a rallentare la percolazione delle acque superficiali già ricche in nitrati (il medesimo campione mostrava caratteristiche simili alle acque di cava anche nell'analisi isotopica e per le concentrazioni di elementi maggiori come cloro, calcio e sodio). Tuttavia, il campione di Ca' Boschetti, sorgente naturale non influenzata dall'attività estrattiva, mostra la concentrazione di nitrati più elevata. Queste considerazioni non permettono dunque di attribuire con certezza l'origine naturale o antropica dei nitrati nelle acque: a tal fine sarebbe necessario intraprendere una indagine isotopica.

Infine, interpretando i dati idrochimici, è possibile ottenere valutazioni quantitative della capacità di scioglimento dei gessi da parte delle acque circolanti. Considerando che tutti i campioni che sono venuti a contatto con questo minerale presentavano caratteristiche di saturazione, si è ricercato un campione che potesse essere considerata come il limite massimo di "prelievo" di gesso: la scelta è ricaduta su BM5, che mostra il tenore più elevato in solfati.

Il campione in oggetto, prelevato nell'ingresso delle gallerie a quota +140, attraversa gran parte dei tunnel sotterranei di cava e il suo percorso determina un'interazione con le rocce superiore a qualsiasi altra tipologia di acque. Sulla base di queste caratteristiche e in relazione alle concentrazioni effettivamente misurate nel mese di settembre, si è calcolato un apporto massimo di gesso di 3 g/l, ovvero 3 Kg/mc.



Questa stima permetterebbe, conoscendo il valore medio delle precipitazioni annuali cadute in cava e la superficie media dell'area estrattiva, di valutare in linea di massima l'impatto dell'attività estrattiva in termini di dissoluzione dell'ammasso roccioso.

- Omissis -