

Progetto Sebino:
l'obiettivo primario
della neonata associazione
è l'esplorazione e lo studio
idrogeologico e speleologico
del sistema carsico.



Max Pozzo
Fabio Gatti, Maurizio Greppi
Associazione Progetto Sebino

STUDIO IDROGEOLOGICO DEL BACINO OCCIDENTALE DEL SEBINO

Test con traccianti fluorescenti e connessioni con le risorgenze di Tavernola Bergamasca

Il 10 ottobre 2007, a seguito della scoperta (nel maggio 2006) di un vasto complesso carsico (Abisso Bueno Fonteno) con accesso nella valle di Fonteno (BG) si costituisce un'associazione di promozione sociale senza scopo di lucro, denominata Progetto Sebino: l'obiettivo primario della neonata associazione è l'esplorazione e lo studio idrogeologico e speleologico del sistema carsico.

Tale realtà si determina grazie all'unione di forze di 4 gruppi speleologici locali: il G.S. Valle Imagna Cai-Ssi, (promotore de progetto), il G.S. Montorfano Cai Coccaglio, lo Speleo Valtrompia e lo Speleo Cai Lovere.

L'aspetto più significativo della scoperta del complesso carsico è rappresentato da vie d'acqua inter-

ne che si configurano come veri e propri fiumi sotterranei. Il regime di ciascuno di questi corsi d'acqua è considerabile come perenne, vista la costante presenza di scorrimento e con portate significative.

Non meno importante per il prosieguo delle ricerche, è la presenza dal punto di vista strutturale dell'area, di una piega sinclinale a grande scala (chilometrica) che si estende dal Lago di Iseo a quello di Endine, con all'interno pieghe minori. Le pieghe sinclinali hanno un ruolo fondamentale per il convoglio delle acque nel sottosuolo e per la circolazione idrica delle stesse. Nel caso del Sebino Occidentale, l'asse di tale sinclinale è rivolta da una parte (NW-SE) verso Tavernola Bergamasca, e dall'altra (E-W) verso Grone (Val Cavallina).

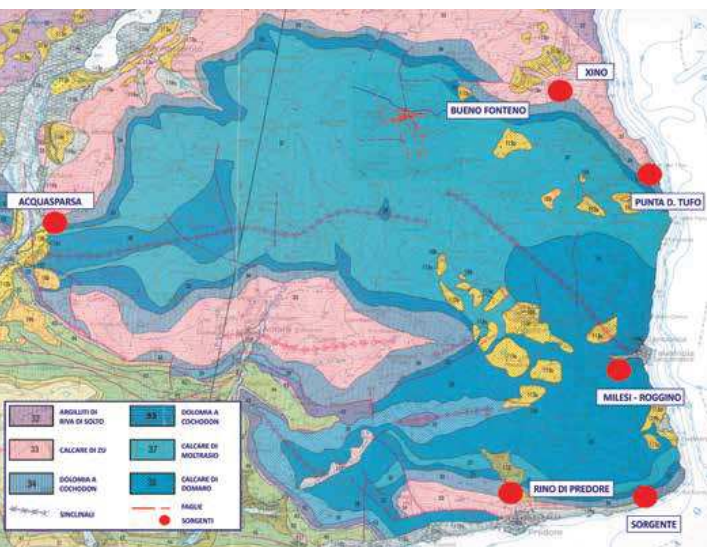
Con l'intenzione di affrontare l'argomento da un punto di vista più multidisciplinare possibile, accanto alle "normali" azioni di rilevamento sotterraneo e catalogazione delle nuove aree scoperte, si decide di attuare una ricerca più avanzata che possa portare alla interpretazione della circolazione

sotterranea dell'area del Sebino occidentale.

Viene quindi individuata l'area (Figura 2) entro la quale cercare le principali sorgenti a carattere carsico che possano avere collegamenti con il complesso carsico denominato "Bueno Fonteno". L'area è molto estesa e comprende di fat-

*In fotografia:
Abisso Bueno Fonteno
Salone Portorotondo*





In alto: raffigurazione in 3D della topografia dell'Abisso Bueno Fonteno. Grafica: archivio Progetto Sebino

Sotto: Carta geologica della Provincia di Bergamo alla scala 1:50.000, Foglio 3 (2000) - Grafica: archivio Progetto Sebino

to tutto il massiccio montuoso che fa da spartiacque tra il lago d'Iseo e il lago di Endine. La prima discriminante applicata è la quota delle sorgenti le quali devono essere inferiori a 320 mslm (quota di massimo dislivello dei sifoni dell'abisso); altre discriminanti riguardano invece la struttura profonda dello spartiacque individuata attraverso sezioni geologiche appositamente elaborate. Le principali ipotetiche risorgenze vengono individuate principalmente sul versante del Lago d'Iseo e si trovano ad una quota sotto il livello dei 320 mslm.

Le probabilità di sviluppi molto importanti dell'estensione del bacino idrogeologico sono sufficienti a prendere in considerazione anche la nota risorgenza carsica denominata Acqua Sparsa ubicata nel Comune Grone (con portate superiori ai 2000 l/s in caso di precipitazioni), e che si trova una trentina di metri sopra il livello dei sifoni. Il medesimo ragionamento è valso anche per la risorgenza del Rino di Predore: in tale ottica si è scelto di monitorare anche il torrente Guerna, nella valle di Adrara San Martino e San rocco, oltre alle risorgenze di Tavernola Bergamasca (Milesi e Roggino) e Parzanica (Punta del Tufo).

Questa fase dell'attività di ricerca rientra nello svolgimento di un progetto a caratura regionale, ("Osservatorio delle aree carsiche lombarde") promosso da Regione Lombardia e coordinato dalla Federazione Speleologica Lombarda rappresentata dalla dott.ssa Paola Tognini.

In tale contesto viene predisposto il progetto pilota "Studio idrogeologico dell'area del Sebino occidentale" che viene sviluppato in autonomia dall'associazione Pro-

getto Sebino, con assistenza in campo idrogeologico da parte del dott. Sandro Uggeri.

L'obiettivo principale del progetto pilota, grazie alla partecipazione all'osservatorio lombardo, permette a Progetto Sebino di concretizzare gli studi previsti, coinvolgendo tra l'altro numerosi enti operanti sul territorio. Nel complesso il progetto ha previsto:

1. analisi delle acque interne di Buono Fonteno: campionamenti di acqua in punti rappresentativi della grotta per sottoporre ad analisi chimica e microbiologica le acque del complesso;

2. analisi preliminare delle sorgenti potenzialmente interessate dal complesso carsico: approfondimento, in seguito agli studi preliminari sulla potenziale estensione del bacino idrogeologico, delle indagini sulle sorgenti carsiche presenti nell'area di interesse, individuando nove potenziali recapiti;

3. tracciamento delle acque di Buono Fonteno attraverso tracciante chimico incolore;

4. osservazione e analisi delle sorgenti monitorate con prelievo bisettimanale dei captori e analisi chimica contestuale dei più importanti parametri chimici;

5. tracciamenti interni con tracciante visivo per confermare le precedenti ipotesi circa la circolazione interna delle acque di Buono

Fonteno.

La scelta dell'area da sottoporre ad indagine approfondita si è basata precedentemente sull'analisi della bibliografia relativa ai fenomeni carsici conosciuti e successivamente sull'osservazione in campo dei seguenti elementi:

- 1) formazioni geologiche tipiche per lo sviluppo di sistemi carsici;
- 2) morfologia superficiale con presenza di fenomeni epicarsici particolari;
- 3) limitata presenza di corsi d'acqua superficiali permanenti;
- 4) presenza di sorgenti alla base del massiccio con notevoli variazioni della portata;
- 5) assenza di studi scientifici sull'idrologia ipogea.

Sorgenti osservate

Le sorgenti individuate e considerate come potenziali recapiti delle acque di Buono Fonteno sono risultate essere già utilizzate a scopo idropotabile. Per questa ragione l'ottenimento dei permessi necessari all'immissione dei traccianti ha dovuto seguire una notevole serie di procedure autorizzative che hanno coinvolto numerosi enti territoriali (ASL, ARPA, Comuni, Provincia, Enti gestori delle acque-Uniacque, Forze dell'ordine).

Sorgente	Latitudine	Longitudine
Captazione Predore	45° 41' 1.4073" N	10° 01' 9.3167" E
Torrente Rino Predore	45° 40' 59.9781" N	10° 01' 9.4499" E
Torrente Rino Tavernola	45° 42' 35.2860" N	10° 02' 21.8644" E
Captazione sorgente Milesi	45° 42' 31.6504" N	10° 02' 24.2271" E
Captazione sorgente Roggino	45° 42' 22.0709" N	10° 02' 35.7106" E
Captazione sorgente del Tufo	45° 44' 31.4026" N	10° 02' 56.8108" E
Captazione Acquasparza	45° 43' 53.6160" N	9° 54' 49.4028" E
Torrente Acquasparza	45° 43' 54.6027" N	9° 54' 47.6148" E
Torrente Guerna	45° 41' 44.9525" N	9° 57' 5.3120" E

	Temperatura		Ph		Conducibilità	
	Media [°C]	DEV sT	Media	DEV sT	Media [mScm-1]	DEV sT
Captazione acquedotto	11,81	0,30	7,10	0,14	505,31	109,46
Fiume Rino di Predore	11,17	1,08	7,97	0,36	454,97	56,58
Fiume Rino di Tavernola	7,19	3,73	8,00	0,56	404,44	50,93
Sorgente Milesi	10,68	0,30	7,24	0,13	469,52	66,57
Sorgente Roggino	10,23	0,15	7,25	0,22	445,46	55,15
Punta del Tufo	10,61	0,42	7,83	0,22	409,67	52,11
Acquedotto Acqua Sparsa	10,57	0,20	7,41	0,23	338,93	47,69
Torrente Acqua Sparsa	10,47	0,22	7,62	0,35	336,49	46,77
Fiume Guerna	9,23	2,85	8,04	0,32	402,15	40,77

*In tabella:
localizzazione
dei punti
in cui sono
stati inseriti
i captori.*

Come si osserva nella tabella si è optato per controllare anche alcuni torrenti, nei casi di assenza nel bacino di sorgenti sufficientemente stabili e continue da poter essere sottoposte a osservazione sistematica.

Per ogni ambito monitorato è stata prodotta una scheda descrittiva relativa alle principali caratteristiche ambientali.

Di seguito lo spettro dei principali parametri chimici e fisici delle acque rilevati durante il monitoraggio con i relativi grafici

(a titolo di esempio i dati si riferiscono alla Sorgente Milesi di Tavernola Bergamasca, captata ad uso idropotabile e gestita da Uniacque SpA).

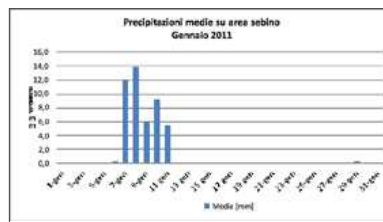
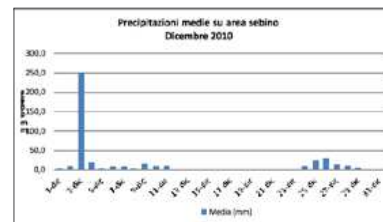
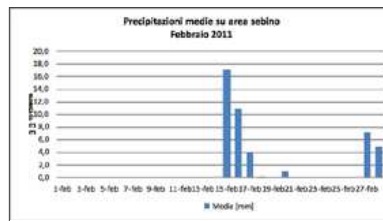
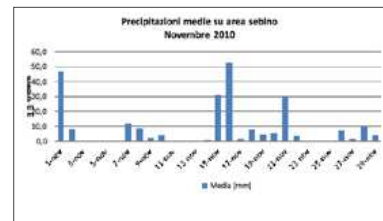
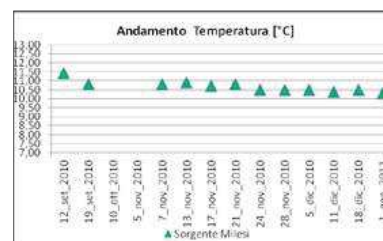
Dati Meteorologici

In generale è considerato opportuno monitorare le precipitazioni meteoriche durante i test con traccianti al fine di interpretarne correttamente i risultati.

Di seguito si presentano i grafici descrittivi delle precipitazioni misurate nell'area del Sebino Occidentale, durante il periodo in cui si sono svolti i traccianti.

Gli eventi meteorici registrati dalle stazioni dell'area del Sebino Occidentale mostrano dei picchi di precipitazioni che non sembrano coincidere con gli esiti del tracciamento, infatti, non si sono osservate positività entro brevi periodi trascorsi dopo fenomeni piovosi.

Infatti, le prime positività si sono rilevate presso la sorgente Milesi il 5 dicembre laddove un evento di particolare intensità è stato registrato in data 3 dicembre. Tuttavia, le positività più evidenti e maggiormente affidabili si sono osservate delle date del 1 gennaio e del 6 gennaio, periodo antecedente al quale non si sono registrate precipitazioni di particolare rilevanza.



Va però considerato che i dati delle precipitazioni sono relativi alle stazioni meteorologiche di Costa Volpino e di Ranzanico, non propriamente vicini al bacino montano di assorbimento.

Non è possibile dunque, allo stato attuale, mettere in relazione gli eventi meteorici con i recapiti delle sorgenti collegate a Buono Fonteno. Si prospetta quindi la necessità di maggiori approfondimenti in ambito meteorologico al fine di reperire dati specifici dell'area ipotetica di assorbimento del complesso carsico, ad esempio allestendo centraline di rilevamento meteorologico nelle valli di Fonteno, Vigolo e Tavernola.

Analisi e discussione dei dati

Si presentano in questo paragrafo i dati descrittivi sintetici delle acque osservate nel corso dei traccianti.

Come si evince dallo spettro dei dati raccolti, tutte le sorgenti appaiono tra loro differenti secondo tutti i parametri misurati. Tale variabilità è largamente attesa dato che i percorsi sotterranei delle acque sono tra loro diversi e quindi le stesse avranno caratteristiche a loro volta diverse.

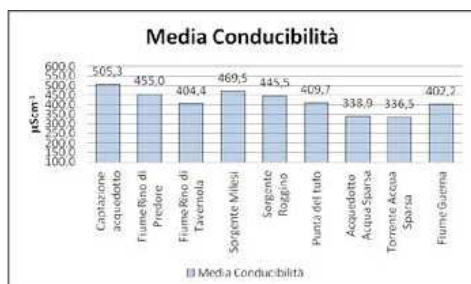
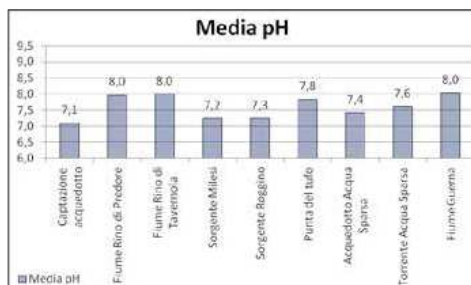
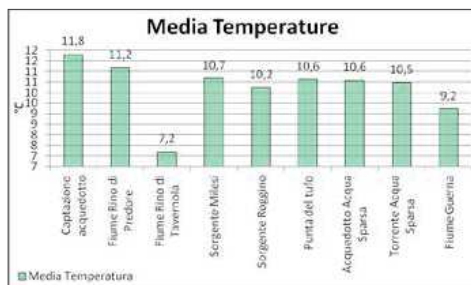
Lo studio idrogeologico delle acque sotterranee adotta anche approcci analitici chimici per stabilire se le variazioni dei parametri misurati possono essere significative (nel senso statistico del termine) nel confronto per stabilire se le acque possono o meno appartenere ai medesimi sistemi idrogeologici.

Dai test statistici è stato possibile trarre le seguenti considerazioni:

1. Le sorgenti sul versante del lago di Endine appaiono tra

*Nelle tabelle:
Dati meteorologici
area Sebino.*

*Nelle tabelle in alto:
captazione Sorgente
Milesi.*



Confronto delle temperature medie, pH rilevato e conducibilità delle sorgenti e corsi d'acqua indagati durante i tracciamenti.

di loro omogenee (Acq. Acquasparsa, Torrente Acquasparsa, fiume Guerna) e non contraddicono la rispettiva appartenenza ad un complesso idrogeologico comune.

2. La Captazione acquedotto Predore e il Rino di Predore non sono diversi significativamente, ciò potrebbe indicare non diversità delle acque. Analogamente, la captazione dell'Acquasparsa e il relativo torrente non sono diversi tra di loro. Tale condizione conferma la precedente nell'indicare che il test applicato consente di accomunare acque effettivamente appartenenti a sistemi idrogeologici comuni (la captazione di Predore e il Rino sono infatti molto probabilmente afferenti allo stesso sistema idrogeologico).

3. La sorgente Milesi e il Rino di Tavernola presentano differenze significative e il confronto è in contrasto con gli esiti del tracciamento, che ha invece accomunato le acque del Rino di Tavernola con la sorgente Milesi. Analogamente la captazione dell'acquedotto di Predore appare diversa dal Rino di Tavernola. Questi esiti contrastano con quelli dei tracciamenti che tendono ad accomunare queste sorgenti, è però vero che, come si vedrà, sono stati considerati positivi solamente la sorgente Milesi e il Rino di Tavernola.

4. Il Rino di Predore non indica significatività in nessuno dei confronti svolti, per tale ragione i confronti con questa stazione non vengono considerati attendibili.

L'operazione di tracciamento delle acque

L'immissione del tracciante è stata effettuata all'interno del sistema carsico di Buono Fonteno (ingresso principale situato nella Valle di Fonteno, quota 770 mslm), attraverso i principali corsi d'acqua sotterranei presenti dentro la grotta, aventi portata complessiva stimata in 500 l/s. Il tracciante è stato premiscelato in acqua, trasportato ed immesso nei corsi d'acqua da parte di tecnici specializzati nelle attività del sottosuolo, appartenenti a Progetto Sebino. L'immissione è stata effettuata in data 13/14 novembre 2010.

Per l'esecuzione del test si è reso necessario selezionare una sostanza con comportamento il più possibile prossimo a quello del tracciante ideale, avente le seguenti caratteristiche:

- 1) Essere solubile in acqua.
- 2) La soluzione tracciante deve avere un comportamento analogo a quello dell'acqua, ovvero non deve stratificare in acquifero e non deve avere significativi



fenomeni di ritenzione o ritardo.

3) Deve essere atossico alle concentrazioni d'uso.

4) La sostanza deve essere normalmente assente o presente in bassissime concentrazioni entro il sistema acquifero tracciato, in modo tale che il suo reperimento sia di per sé indice di positività.

5) Le tecniche analitiche per la determinazione del tracciante devono essere affidabili e possibilmente poco costose, in modo tale da permettere un'alta frequenza di campionamento. Considerati i punti sopra espressi, è stato escluso l'utilizzo di traccianti radioattivi per evidenti problemi di comuni-

cazione dei risultati, e quelli chimici, per la necessità di utilizzo di quantitativi troppo grandi. Ci si è quindi orientati verso i traccianti fluorescenti. Per quanto attiene i fluorescenti è stato scelto il Tinopal CBS-X, già utilizzato in passato per analoghe prove in acquiferi carsici. Il Tinopal CBS-X è un tracciante ottico, particolarmente adatto all'esecuzione di prove in acquiferi carsici.

Tutti gli studi in materia ne attestano la compatibilità tossicologica ed ecologica alle concentrazioni d'uso. Considerando la distanza tra il punto di immissione ed i potenziali recapiti (9-7 km) si sono utilizzati 10 kg. di Tinopal CBS-X.

Abisso Buono Fonteno:
immissione tracciante

Il controllo dei recapiti è stato effettuato mediante posizionamento di fluorocaptori in cotone non trattato ad uso chirurgico, sostituiti con frequenza bisettimanale per un periodo di due mesi ed analizzati in seguito in laboratorio.

Le attività di immissione e di controllo delle sorgenti sono state organizzate secondo una rigida struttura procedurale in modo da controllare le informazioni raccolte. Per quanto riguarda le operazioni di "tracciamento interno" (utili ad accertare il collegamento di corsi d'acqua all'interno della grotta e quindi a definire in maniera ottimale i punti d'immissione del Tinopal) è stato invece utilizzato un altro tracciante, la fluoresceina sodica. Quest'ultimo è letteralmente in grado di "colorare" le acque facendole diventare verdi fosforescenti (anche a occhio nudo). Il vantaggio nell'utilizzo di una sostanza visibile a occhio nudo riguarda di fatto la non necessità di utilizzo di fluorocaptori. Ciò si traduce in uno snellimento nei costi (analisi di laboratorio per spettro fluorescenza)

e negli aspetti logistici (installazione e periodica sostituzione dei captori). D'altro canto, le caratteristiche di questo tracciante, colorante anche a basse concentrazioni d'uso, ne limitavano la possibilità di utilizzo ai soli "tracciamenti interni", vista la consapevolezza che i recapiti di acque monitorati erano in molti casi captati ad uso idropotabile e/o sfocianti su torrenti che a loro volta si immettevano sul Lago d'Iseo. Il rischio concreto era dunque quello di un procurato allarme per le popolazioni servite da questi acquedotti o il cui paese era attraversato da un corso d'acqua potenzialmente interessato dal transito della sostanza.

Inoltre un altro limite era dettato dall'impossibilità di effettuare analisi di tipo quantitativo (si veda paragrafo seguente), visto che l'unico riscontro possibile era di tipo visivo. Quindi la fluoresceina è stata utilizzata solo in piccolissimi quantitativi all'interno del complesso carsico. Evidentemente anche questo tracciante risulta essere assolutamente privo di rischi sotto il profilo tossicologico ed ecologico.

Ubicazione dei recapiti ipotizzati e loro distanza rispettivamente dall'abisso Bueno Fonteno. (Base Ortofoto Google Heart - grafica Progetto Sebino)



Risultati e conclusioni

Le operazioni di immissione sono state effettuate da tecnici che non hanno poi partecipato alla fase di raccolta e sostituzione dei captori al fine di evitare la contaminazione incrociata.

Per controllare i presunti recapiti è stata scelta la tecnica dei fluorocaptori, dispositivi in grado di trattenere l'eventuale tracciante disciolto nelle acque, favorendone l'accumulo. Dopo ogni sostituzione sono stati conservati in apposito contenitore asciutto ed infine analizzati in spettro fluorescenza. Questo tipo di dispositivi, per le modalità analitiche adottabili, consente esclusivamente analisi semiquantitative, in genere espresse secondo la seguente scala: 0 sicuramente assente, 1 dubbio, 2 positivo, 3 molto positivo.

I risultati delle analisi dei captori sono riassunti nella seguente tabella:

Data	T.Guerna	T.Acqua Sparsa	Ac.A. Sparsa	P.Tufo	S.Roggino	S.Milesi	T.Tavernola	T.Rino	Acq.Rino P.
13/11/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/11/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/11/10	0	1	0	0	0	0	0	0	0
24/11/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28/11/10	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5/12/10	0	1	1	0	0	2	1	0	1
11/12/10	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18/12/10	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1/1/11	0	0	1	0	0	2	2	0	1
6/2/11						2	0		
20/2/11						1	0		
26/2/11						1	0		

Date	Giorni dall'immissione	Velocità (m/day)	Velocità (m/s)
28/11/10 – 5/12/10	15-22	366-250	$4.2-2.9 \cdot 10^{-3}$
14/12/10 – 6/2/11	35-84	157-65	$1.8 \cdot 10^{-3}-7.6 \cdot 10^{-4}$

Sorgente Milesi

Date	Giorni dall'immissione	Velocità (m/day)	Velocità (m/s)
28/11/10 – 5/12/10 (dubbio)	15-22	366-250	$4.2-2.9 \cdot 10^{-3}$
18/12/10 – 1/1/11	39-48	141-114	$1.6-1.3 \cdot 10^{-3}$

Torrente Rino Tavernola

L'esito (0-1-2-3) è da riferirsi all'intervallo di tempo in cui il captore è rimasto in immersione, ovvero tra la data della misura precedente e quella della data di raccolta del campione: ad esempio, l'esito 2 di S. Milesi 1/1/11 è riferito all'intervallo tempo 18/12/2010 – 1/1/2011.

Considerando che il contesto in cui è stato eseguito il test è caratterizzato dalla presenza di scarichi di reflui fognari, che posso-

no influenzare gli esiti del test con Tinopal CBS-X, si consideri positivo solo il livello 2. Conseguentemente il test è da considerarsi positivo solo per la Sorgente Milesi ed il T. Tavernola.

La tabella seguente riassume i dati di velocità ricavabili dal test, espressi in termini di m/giorno e m/s, considerando una distanza lineare di 5.5 km, di certo inferiore alla distanza reale.



*A sinistra: tracciamenti interni con fluoresceina sodica
A destra: Pozzo degli Orsetti durante il tracciamento*

Le velocità individuate, indicano delle velocità piuttosto elevate, indice di una circolazione idrica prevalentemente in dreni preferenziali, ovvero in gallerie carsiche, e non in sistemi di fratture. Ne consegue che il tratto di acquifero compreso tra i punti di immissione ed i recapiti è altrettanto carsificato del tratto a monte, ovvero del sistema di Bueno Fonteno.

In coerenza con le premesse si deve considerare come certamente positivo l'esito delle sorgenti suddette; tuttavia i risultati dubbi registrati presso l'acquedotto del Rino di Predore e presso l'acquedotto dell'Acquasparsa devono almeno suggerire la necessità di ulteriori approfondimenti dato che essi sono sostanzialmente sincroni con il dato della Milesi.

Analogamente si rileva come la prima positività della sorgente Milesi sia simultanea con entrambe i siti dell'Acquasparsa (Torrente e captazione).

Infine appare verosimile escludere le sorgenti del Roggino e di Punta del Tufo dal circuito idrogeologico dell'Abisso Bueno Fonteno, è possibile a questo punto ipotizzare comunque l'esistenza di altri complessi in grado di alimentare queste sorgenti (complessi, che pur di dimensioni inferiori, non sono ancora stati trovati). Verosimilmente non tutte le acque del sistema a cui appartiene Bueno Fonteno fuoriescono dalle sorgenti risultate "sicuramente positive", date le portate insufficienti rispetto all'estensione complessiva del bacino. E' dunque probabile che le acque di Bueno Fonteno possano avere altri recapiti non ancora scoperti (probabilmente sorgenti sub lacuali in corrispondenza della sinclinale di Tavernola).

Il test condotto ha avuto un esito molto positivo per la verifica dell'ampiezza del bacino idrogeologico di riferimento (realmente nell'ordine dei 100 km²).

Le non positività (Sorgente Roggino e Punta del Tufo e sorgente dell'Acquasparsa) confermano indirettamente la presenza di altri complessi carsici ancora da scoprire, di dimensioni significative considerata la portata di queste ultime. Appare tuttavia ancora percorribile l'ipotesi che possa esistere un'influenza da parte di Bueno Fonteno sulle acque della sorgente Acquasparsa di Grone (BG), in tal senso sarà opportuno svolgere ulteriori prove, in condizioni idrologiche differenti al fine di verificare con certezza la separazione tra Bueno Fonteno e il bacino del lago di Endine.

