

Tettonica attiva ed acque minerali ricche di anidride carbonica a Peio (Trento) ed aree limitrofe

ANDREA FUGANTI, GIULIO MORTEANI,
FRANCO DEFRANCESCO, CHRISTINE PREINFALK

ABSTRACT - FUGANTI A., MORTEANI G., DEFRANCESCO F., PREINFALK C., 1998 - Tettonica attiva ed acque minerali ricche di anidride carbonica a Peio (Trento) ed aree limitrofe. [Active tectonics and carbon dioxide rich mineral waters at Peio (Trento) and adjoining areas]. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, vol. 73, pp. 135-166.

The studied waters are found in a complicated sequence of micaschists, phyllites, marbles and intrusive rocks belonging to the geological units of the Tonale-Ultimo and Campo Crystalline (Austroalpine nappes). The waters of Peio, Rabbi, Santa Apollonia and Santa Caterina Valfurva are natural sparkling mineral waters. The waters of Bresimo, Rumo and Überwasser are low in TDS and in CO₂, but rich in iron. The warm mineral waters of Bormio are rich in radon and of karstic origin. The whole study area is characterized by earthquakes due to still active tectonic movements. Isotopic data and geology suggest that the CO₂ is produced by the dissolution of marbles by deep vadose waters. N-S and NW-SE trending faults, acting as tectonic tension planes, are channels for the CO₂. On its way to the surface the CO₂ enters in the aquifers producing the natural sparkling mineral waters. The isotopic signature of the mineral waters is typical for high altitude young water.

PAROLE CHIAVE: *tettonica attiva, anidride carbonica, acque minerali effervescenti naturali, radon, terremoti, isotopi, Peio, Rabbi, Santa Apollonia, Santa Caterina Valfurva, Bresimo, Rumo, Überwasser, Bormio, Italia.*

KEY WORDS: *active tectonics, carbon dioxide, natural sparkling mineral water, radon, earthquakes, isotopes, Peio, Rabbi, Santa Apollonia, Santa Caterina Valfurva, Bresimo, Rumo, Überwasser, Bormio, Italy.*

Andrea Fuganti, Franco Defrancesco - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali, Università degli Studi di Trento, Via Mesiano 77, I-38050 Trento.

Giulio Morteani, Christine Preinfalk - Lehrstuhl für Angewandte Mineralogie und Geochemie, Technische Universität München, Lichtenbergstr. 4, D-85747 Garching.

1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo del lavoro è conoscere e discutere le origini della mineralizzazione, della anidride carbonica e del radon contenuti nelle acque della zona compresa fra Dimaro, Merano, Bormio e Passo del Tonale. A tale riguardo sono presentati dati dettagliati sulle acque minerali effervescenti naturali di Peio e Rabbi, ponendoli a confronto con le circostanti acque di Santa Apollonia, Santa Caterina Valfurva, Bresimo, Rumo, Überwasser e Bormio. Lo studio è parte di un programma degli autori in cor-

so da anni diretto a spiegare l'origine delle acque effervescenti naturali in differenti ambienti geologici, anche al fine di migliorare i metodi di prospezione.

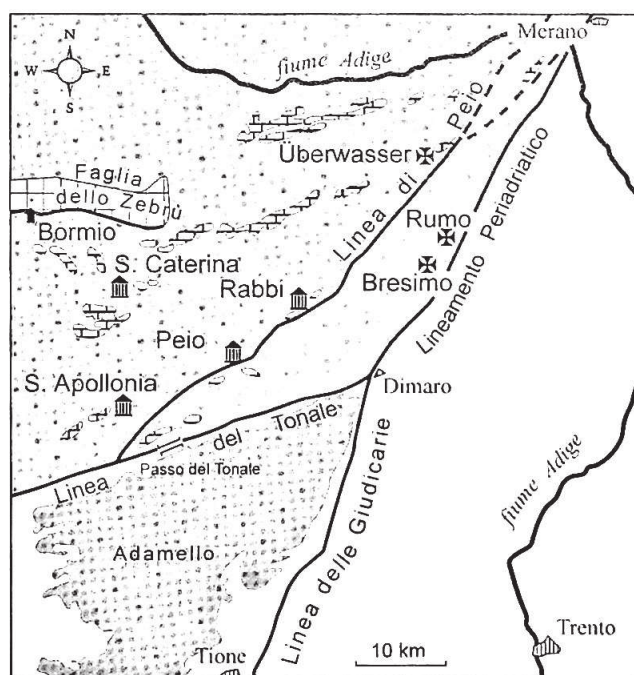
Le comparazioni sono attuate sulla base della situazione litologica, della tettonica passata ed attiva, delle caratteristiche chimiche ed isotopiche delle acque. I confronti geochimici sono eseguiti mediante diagrammi con scale lineari o bilogaritmiche dove viene riportato il rapporto del contenuto dello stesso elemento nelle acque confrontate.

La definizione di acqua minerale qui adottata è secondo la Direttiva 80/777/CEE formulata dal CONSIGLIO DELLE COMUNITÀ EUROPEE (1980).

Il presente testo è una versione ampliata di una nota presentata dagli autori al Convegno sulle acque effervescenti naturali di Peio e Rabbi tenuto a Peio Terme ed alle Terme di Rabbi i giorni 22 e 23 giugno 1996.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO

La Fig. 1 è lo schizzo geologico dell'area di studio. Si distinguono l'Austroalpino e le Alpi Meridionali con il plutone dell'Adamello. Le due unità sono separate dal lineamento Periadriatico e dalla linea del Tonale. Sono ubicate anche le sorgenti di acque minerali studiate.



Unità austroalpine

- Cristallino di Campo
- Unità Tonale - Ultimo
- Marmi
- Dolomie mesozoiche

Unità sudalpine

- non differenziate
- intrusione dell'Adamello
- Sorgenti ricche di ferro
- Sorgenti ricche di CO₂
- Sorgenti calde con radon

Fig. 1 - Schizzo geologico con le località in cui si trovano le acque minerali studiate.

Fig. 1 - Geological sketch map showing the location of the studied mineral waters.

2.1. Austroalpino

L'Austroalpino è una unità geologica costituita da falde vergenti a nord; litologicamente è formato da un basamento cristallino premesozoico, da coperture sedimentarie mesozoiche a nord di Bormio e da intrusioni paleozoiche, tardo mesozoiche e terziarie.

Nel cristallino si distingue l'Unità Tonale-Ultimo ed il Cristallino di Campo. L'Unità Tonale-Ultimo affiora in continuità fra il Passo del Tonale e Merano. Il Cristallino di Campo affiora ad ovest della linea di Peio fino a Bormio. I micascisti sono prevalenti a ridosso della linea di Peio, mentre verso Santa Caterina essi sono sovrastati da filladi, con rocce magmatiche in filoni e modeste intrusioni. Ovunque sono presenti lenti di marmi; a nord di Bormio vi sono dolomie triassiche in falda a contatto con micascisti. Nell'Austroalpino sono ubicate le acque effervescenti naturali studiate.

2.2. Alpi Meridionali

Le Alpi Meridionali, formate dalle unità sudalpine, sono costituite dal basamento cristallino paleozoico e dalle coperture sedimentarie tardo paleozoiche, mesozoiche e terziarie, nonché dalla intrusione terziaria dell'Adamello. Le Alpi Meridionali sono caratterizzate da pieghe e sovrascorimenti vergenti a S ed a SE. Mancano in questa unità geologica acque effervescenti naturali (Fig. 1).

3. LE GRANDI LINEE TETTONICHE

Nella zona vi sono apparenti relazioni fra le acque studiate ed alcune grandi linee tettoniche.

3.1. Il lineamento Periadriatico

Esso è stato generato dalla collisione fra Africa ed Europa che ha avuto luogo attorno al passaggio Eocene-Oligocene. La linea Periadriatica ha due tratti con direzione circa E-W, separati da un andamento circa NNE-SSW fra Dimaro e Merano. La linea Periadriatica prende il nome di linea del Tonale, presso l'omonimo passo, mentre fra Dimaro e Merano coincide con la linea delle Giudicarie. Il lineamento Periadriatico risulta nettamente posteriore alla formazione dell'edificio a falde da esso tagliato lungo tutta l'estensione dell'Austroalpino ed alle pieghe delle Alpi Meridionali (Figg. 1, 6).

3.2. La linea di Peio

La linea di Peio è una faglia, pure considerata regionale, che si stacca dalla linea del Tonale con andamento NNE-SSW andando verso Merano. Come già evidenziato da ANDREATTA (1948) lungo la linea di Peio vi sono, a livello regionale, acque minerali effervescenti naturali. In dettaglio solo la sorgente di Rabbi Terme è in coincidenza con la linea mentre le altre acque effervescenti sgorgano alla distanza di qualche chilometro ed oltre.

Le osservazioni di campagna eseguite sulle rocce coinvolte dai movimenti lungo la linea di Peio confermano quanto scritto da ANDREATTA (1948; 1954) e WERLING (1992). La linea di Peio non è un piano di faglia ben definito ma una fascia di ampiezza variabile da circa 100 m a 700 m. In particolare WERLING (1992) distingue una fascia di milonite che interessa più le rocce del Cristallino di Campo da una più recente fascia di cataclasite che interessa più le rocce dell'Unità Tonale-Ultimo. La linea di Peio sembra essere una faglia normale a bassa inclinazione che riflette l'estensione delle Alpi secondo E-W successiva all'accorciamento ed al metamorfismo eo-alpino.

Generalmente le rocce poste ai due lati della linea di Peio hanno piani di scistosità principale paralleli ai piani di movimento della linea stessa. Le rocce della fascia di faglia ben si differenziano dalle rocce non coinvolte dal movimento; esse sono macroscopicamente prive di scistosità regolare, talora di aspetto nodulare, spesso con patine nerastre, rossastre e giallastre. Le deformazioni che hanno generato miloniti e cataclasiti sono chiaramente posteriori all'atto metamorfico principale. Nei micascisti si nota che le pieghe e gli arricciamenti paracrystallini sono intersecati da fessurazioni posteriori. Queste fessurazioni sono in prevalenza normali alla scistosità ed agli assi delle pieghe sinmetamorfiche (Fig. 2), in posizione di tensione rispetto



Fig. 2 - Micascisti con piani di fessurazione subverticali.
Fig. 2 - Micaschists with subvertical joints.

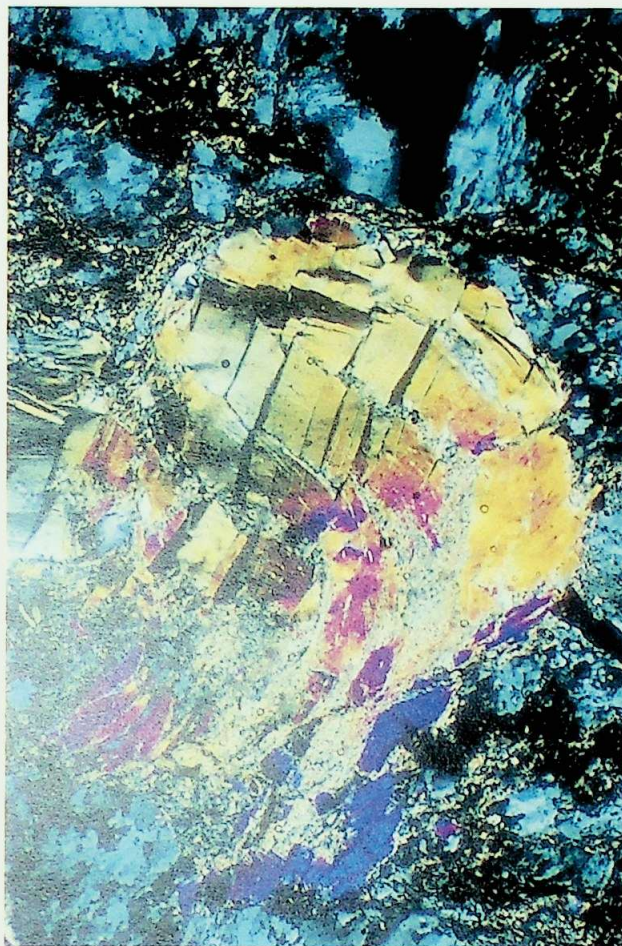


Fig. 3 - Miloniti della linea di Peio. Microfoto mostrante una mica chiara intensamente piegata e deformata. Polarizzatori incrociati. Larghezza del preparato: 1 mm.

Fig. 3 - Mylonite from the Peio line. Microphotograph showing a strongly deformed white mica. Crossed Nicols. Width of preparation: 1 mm.

alla direzione del maggior trasporto tettonico (piano *ac* secondo SANDER, 1948; 1950). Sono anche presenti fessurazioni subverticali parallele all'asse delle pieghe (piano *bc*), nonché piani obliqui rispetto al piano *ac*, ma con angoli non superiori a 40° circa, come tipica posizione di rottura per taglio.

Lo studio al microscopio mostra che alla o alle grandi deformazioni che hanno frantumato quarzo, feldspati, miche, etc. è seguita la circolazione di fluidi idrotermali che hanno permeato anche la massa ed i piani di fessurazione delle rocce non milonitizzate e cataclasate depositando quarzo, pirite e calcite. La Fig. 3 mostra una esempio di mica chiara intensamente piegata e deformata per taglio. La Fig. 4 mostra una massa di fondo quarzosa attraversata da filoncelli ricchi in pirite (orizzontali) posteriori ai filoncelli di calcite (verticali).

Tali riempimenti idrotermali sono visibili anche a livello mesoscopico sui piani di fratturazione delle rocce metamorfiche pure se lontane dalla linea



Fig. 4 - Milonite della linea di Peio. Massa di fondo quarzosa con filoncelli idrotermali di calcite (verticali) tagliati dai filoncelli di pirite (orizzontali). Polarizzatori paralleli. Larghezza del preparato: 2 mm.

Fig. 4 - Mylonite from the Peio matrix line. Quartz with hydrothermal calcite veins (vertical) cut by horizontal pyrite veins. Parallel Nicols. Width of preparation: 2 mm.

di Peio a dimostrare che tali circolazioni sono un motivo generale in una ampia fascia lungo le grandi linee tettoniche.

I movimenti principali che hanno portato a questa situazione sono attribuiti al Cretaceo con coinvolgimenti deformativi anche successivi, fino all'Oligo-Miocene, al cui intervallo appartengono filoni di porfiriti e di altre rocce (MARTIN & PROSSER, 1991).

3.3. La Linea delle Giudicarie ed il Sistema Giudicariense

La situazione è ben descritta da CASTELLARIN *et alii* (1988) e da CASTELLARIN (1994). La linea delle Giudicarie è suddivisa in un tratto "sud" (a meridione di Dimaro) corrispondente alla linea delle Giudicarie s.s. e in un tratto "nord" (a settentrione di Dimaro) coincidente con il lineamento Peri-

adriatico (Fig. 1). Secondo i detti Autori le deformazioni che hanno generato la linea delle Giudicarie sono terziarie e comprese in un intervallo di tempo fra 28 e 8 m.a. La linea delle Giudicarie ha determinato un notevole affondamento del blocco orientale ed una trascorrenza destra di entità controversa ma comunque dell'ordine di molti chilometri.

Non lontano dal lineamento Periadriatico (linea delle Giudicarie nord) vi sono le acque ferrugineose di Bresimo e Rumo, sgorganti da micascisti.

3.4. La faglia dello Zebrù

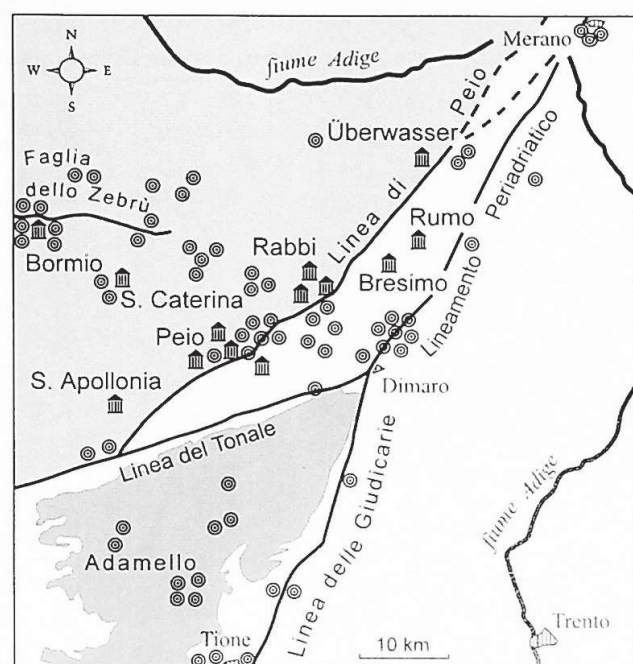
La situazione è descritta da BONSIGNORE *et alii* (1969) e controllata dagli autori. Siamo sempre nelle falde dell'Austroalpino ed in particolare nel sistema Ortles-Quattervals. La faglia dello Zebrù è diretta da NNW-SSE presso Livigno a circa E-W presso Bormio ed oltre. Essa mette a contatto il Cristallino dell'Ortles (BONSIGNORE *et alii*, 1969) o di Campo con il sedimentario di Ortles-Quattervals costituito da circa 2000 m di dolomie mesozoiche (Fig. 1). Dalle dolomie, affioranti a nord della faglia, sgorgano le acque carsiche calde in località Bagni di Bormio sul versante sinistro della valle scavata dal fiume Adda.

4. SISMICITÀ E TETTONICA ATTIVA

I terremoti sono la testimonianza di una deformazione tettonica in corso. Per controllare la relazione fra la presenza di acque minerali, faglie e terremoti sono stati ubicati in Fig. 5, su una carta geologica semplificata, gli epicentri dei terremoti avvenuti fra il 1887 ed il 1993, secondo i dati forniti dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento in data 6/11/1995.

La sismicità si esplica con terremoti di intensità inferiore al VI grado della scala MCS e con magnitudine inferiore a 3,3 della scala Richter. L'ultimo terremoto è avvenuto il 14 novembre 1996 con epicentro a Rabbi; esso fu del IV grado della scala MCS. Dalla Fig. 5 si vede che le frequenze maggiori sono ad occidente della linea delle Giudicarie e del lineamento Periadriatico con massimi a Dimaro, Peio e Rabbi. Molto marcata è anche la concentrazione a Bormio, che si trova vicino alla faglia dello Zebrù.

La Fig. 6 mostra il lineamento Periadriatico, la linea del Tonale e la linea delle Giudicarie come pure le zone con sollevamento e subsidenza e le direzioni degli stress suborizzontali attivi negli



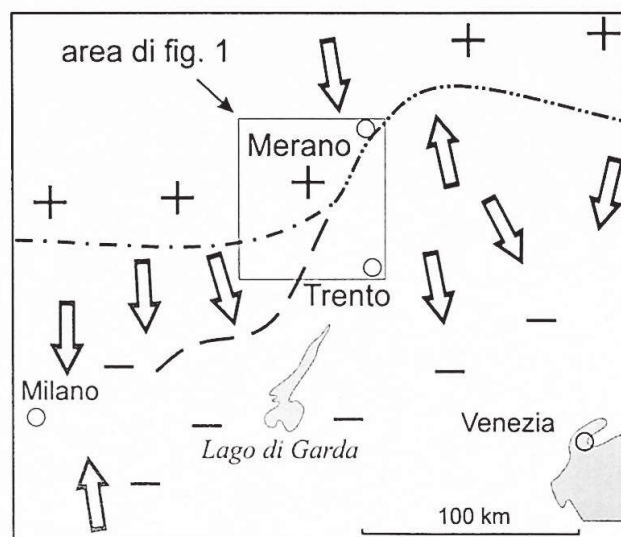
- Cristallino di Campo
- Unità Tonale - Ultimo
- Alpi Meridionali con intrusione dell'Adamello
- Epicentri
- Sorgenti acque minerali

Fig. 5 - Ubicazione degli epicentri dei terremoti fra il 1887 ed il 1993. Dati forniti dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento.

Fig. 5 - Location of the epicentres of the earthquakes between 1887 and 1993. Data from the Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento.

ultimi 10 M.A. (OGNIBEN, 1985). L'area di studio si trova al limite meridionale dell'unità Austroalpina dove si passa da una area di sollevamento a nord ad una di subsidenza al sud (OGNIBEN, 1985). Vi è una direzione media di trasporto tettonico circa NNW-SSE a cui corrispondono piani di tensione compresi fra N-S e NW-SE; su queste direzioni sono state a tal proposito ritrovate in campagna evidenti emissioni di anidride carbonica sgorgante con acqua da fratture subverticali.

Circa l'argomento vi sono anche altri autori. La tettonica medio pleistocenica-olocenica è rappresentata secondo ZANFERRARI *et alii* (1982) da faglie subverticali con componenti trascorrenti; le rispettive direzioni vanno da NW-SE a WNW-ESE nella zona Garda-Adige. Esse vengono generalmente attribuite ad una spinta diretta NW-SE da PANIZZA *et alii* (1981). Questa direzione di trasporto



- Linea del Tonale
- Lineamento Periadriatico
- Linea delle Giudicarie
- Vergenze di stress tangenziale
- Zone di sollevamento
- Zone di subsidenza

Fig. 6 - Schema qualitativo del campo di deformazione attivo dal Tortoniano superiore in poi (OGNIBEN, 1985).

Fig. 6 - Sketch map of the deformation pattern active from the Upper Tortonian until now (OGNIBEN, 1985).

tettonico è anche quella attuale, testimoniata dall'analisi dei terremoti della zona dell'Alto Garda e del Bresciano (SLEIKO, 1989). SLEIKO (1989) trova anche compressioni minori dirette NNE-SSW e circa E-W. Una compressione circa N-S nell'area giudicariense di età pleistocenico-olocenica è riportata da CASTELLARIN (1994).

Il problema della direzione degli assi delle pieghe alpine, e di conseguenza delle direzioni di trasporto tettonico ad essi normali, era già stato evidenziato da FUGANTI & MORTEANI (1965) per l'area della Paganella, posta fra Trento e Dimaro. FUGANTI & MORTEANI (1965) hanno trovato che le direzioni più frequenti degli assi di piegamento sono NE-SW ed E-W. Esistono però anche assi di piegamento secondo E-W e N-S come tipico esempio di tettonica $B \perp B'$ secondo SANDER (1948). FUGANTI & MORTEANI (1965) spiegano la presenza

di due assi di piegamento come conseguenza di una direzione di trasporto tettonico N-S che, per le anisotropie date dalle direzioni dei bacini sedimentari diretti NE-SW, ha generato due direzioni di piegamento: E-W e NE-SW. Con questa anisotropia potrebbe essere spiegata la presenza di apparenti compressioni N-S e NW-SE nella stessa area.

5. METODI D'ANALISI

Le rocce sono state analizzate con il metodo XRF. Per avere un campione rappresentativo il materiale è stato macinato in un mulino ad agata fino ad ottenere una polvere omogenea da cui è stato ottenuto per successivi quartamenti il campione rappresentativo di 10 grammi da sottoporre all'analisi chimica. L'aliquota di 10 grammi è stata prima seccata a 100 °C per 12 ore e poi mescolata con 7,5 grammi di tetraborato di litio per ottenere a 1120 °C in 12 minuti un fuso omogeneo. Per controllare una eventuale perdita di alcali, come p.es. sodio durante la fusione, due campioni rappresentativi sono stati anche analizzati, dopo polverizzazione spinta e bricchettatura, con aggiunta di resina come legante. L'analisi chimica è stata fatta con una fluorescenza a dispersione di lunghezza d'onda completamente automatica del tipo SRS 304 della Siemens usando un tubo di rodio con correzione computerizzata con programmi specifici della Siemens. La determinazione del LOI (Loss of Ignition, cioè perdita al fuoco) è stata fatta su un'aliquota di 1 grammo riscaldando il campione per 120 minuti a 1100 °C. Alcune analisi delle rocce sono state eseguite usando anche le strumentazioni DCP ed ICP-MS dal laboratorio X-RAL (SGS).

Le analisi delle acque sono state eseguite secondo le metodologie prescritte dal Decreto Legislativo 25 gennaio 1992, n. 105 e seguenti aggiornamenti del Ministero della Sanità.

6. LE ACQUE MINERALI

Per ogni singola area, dopo un inquadramento geologico, sono forniti i risultati delle analisi fisico-chimiche delle acque, concludendo con un confronto fra le stesse.

6.1. Peio

Dallo schizzo geologico di Fig. 7 risulta che vi sono le rocce della Unità Tonale-Ultimo e del Cristallino di Campo; la scistosità mostra una generale direzione da E-W a ENE-WSW con immersioni a meridione; le inclinazioni sono comprese fra 20° e 70° con valori più frequenti sui 30°.

Vi sono anche pieghe minori pre e para cristalline con direzione da E-W a NE-SW. Le rocce sono interessate da faglie e da piani di fessurazione in prevalenza subverticali e normali alla direzione della scistosità. Queste rotture hanno estensioni variabili da pochi decimetri quadrati a centinaia di metri quadrati, sono molto fitte e suddividono la roccia in corpi rocciosi parallelepipedi delimitati alla base ed al tetto dalla scistosità. Lungo molte fratture vi sono striature suborizzontali ed oblique a dimostrazione dei movimenti lungo i piani di discontinuità in tempi posteriori alla loro formazione. La deformazione postcristallina è evidente anche a livello microscopico come appare nella Fig. 8 che mostra granati intensamente fratturati.

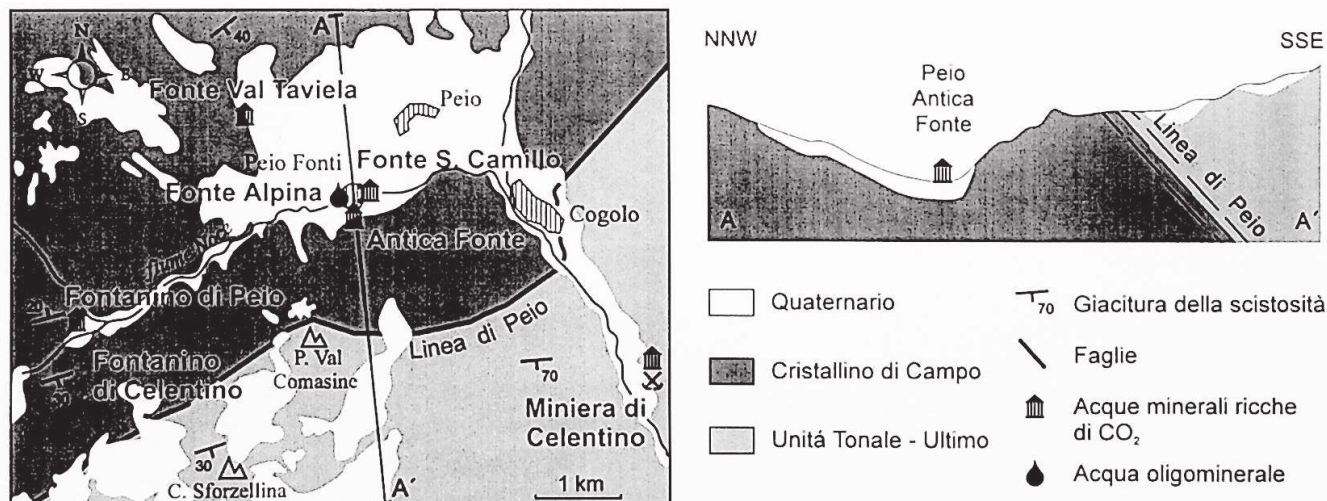


Fig. 7 - Schizzo geologico dell'area di Peio con le località delle varie acque minerali.

Fig. 7 - Geological sketch map of the Peio area showing the location of the studied mineral water occurrences.

Tab. 1 - Analisi di micascisti dell'area di Peio. LOI = Perdita al fuoco. nd = non determinato.
 Tab. 1 - Analyses of micascists of the Peio area. LOI = Loss of ignition. nd = not determined.

	Antica Fonte	Fontanino di Peio	Fontanino di Peio	Fontanino Celentino	Galleria Enel Val Taviela	Miniera di Celentino
<i>Elementi maggiori in [%]</i>						
SiO ₂	65,10	61,04	70,60	73,40	63,90	68,10
TiO ₂	0,75	0,78	0,62	0,56	0,83	0,63
Al ₂ O ₃	15,30	16,41	12,77	11,98	17,86	13,10
Fe ₂ O ₃	5,48	6,98	3,30	2,72	7,60	5,99
MnO	0,08	0,07	0,06	0,03	0,26	0,08
MgO	2,59	2,61	1,46	1,52	1,69	2,37
CaO	1,75	2,12	1,12	0,47	0,39	2,54
Na ₂ O	3,09	3,13	4,54	2,60	0,63	2,63
K ₂ O	2,89	3,16	1,20	2,27	3,94	1,62
P ₂ O ₅	0,17	0,17	0,16	0,14	0,16	0,18
LOI	1,90	2,30	3,90	3,30	2,20	1,15
Totale	99,10	98,77	99,73	98,99	99,59	98,38
<i>Elementi minori in [ppm]</i>						
As	6	20	9	<5	105	<1
Ba	786	653	226	479	619	305
Cl	14	<4	<4	<4	<4	nd
Co	12	<8	19	<8	24	13
Cr	89	95	86	78	92	64
Cs	<2	<2	<2	<2	<2	5
Cu	17	35	69	39	25	34
F	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	nd
Ga	17	21	13	15	18	nd
Nb	3	13	5	9	7	11
Ni	43	21	45	11	46	27
Pb	17	18	17	27	85	20
Rb	117	150	54	89	170	57
S	<20	800	500	1200	1300	nd
Sn	<10	<10	<10	<10	15	nd
Sr	208	253	204	167	36	nd
Ta	5	<2	<2	<2	3	<2
Th	6	9	13	21	19	8
U	<1	<1	<1	<1	1	3
V	95	128	75	123	93	88
Y	24	29	22	14	35	26
Zn	81	80	98	51	167	94
Zr	160	196	237	206	279	174
La	14	<10	13	<10	26	37
Ce	77	44	74	<40	97	70
Nd	42	<30	58	<30	67	31
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	5,53
Eu	nd	nd	nd	nd	nd	1,42
Tb	nd	nd	nd	nd	nd	0,6
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	2,13
Lu	nd	nd	nd	nd	nd	0,3

La Tab. 1 mostra le analisi chimiche di 6 micascisti provenienti dalla zona della Antica Fonte e San Camillo (Peio), dal Fontanino di Peio, dal Fontanino Celentino e dalla galleria dell'ENEL in Val Taviela (Fig. 7). La composizione chimica è tipica per micascisti derivati da rocce sedimentarie.

Circa 5 km a SE di Peio Fonti vi è la miniera abbandonata di pirite di Celentino. La composizione chimica di un campione di micascisto preso presso la miniera è pure in Tab. 1, mentre quelle di due campioni di pirite e uno di marmo presi nelle discariche sono riportate nella Tab. 2.

Le acque minerali più note ed usate sono in località Peio Fonti. La Fig. 9 mostra l'abitato di Peio Fonti visto da Nord. Sono indicate la Antica Fonte, la Fonte San Camillo, la Fonte Alpina come pure i micascisti del Cristallino di Campo la cui scistosità è disposta a reggipoggio, il corso del torrente Noce ed il conoide di detrito che scende dal Palon Val Comasine. È ubicato anche il nuovo stabilimento termale. Nuove acque minerali sono state ritrovate mediante perforazioni da A. Fuganti nel 1996 fra l'Hotel Europa e la Fonte San Camillo.

L'analisi dell'acqua del torrente Noce ha lo scopo di dare la composizione media delle acque superficiali dell'area di Peio (Tab. 3). L'acqua fu prelevata fra il gennaio ed il maggio 1995 al ponte sul Noce che collega l'edificio delle nuove Terme con la finitima Fonte Alpina. L'intervallo di tempo delle analisi va dall'inverno al disgelo primaverile. Si nota dalla Tab. 3 che l'acqua del torrente Noce è più ricca di ioni in inverno che durante lo scioglimento della neve quanto aumenta la portata e vi è la diluizione dell'apporto ionico.

6.1.1. Sorgente Antica Fonte

La sorgente Antica Fonte sgorga effervescente naturale dal detrito alla quota di 1370 m s.l.m. a Peio Fonti. La sua portata è variabile da 10 a 30 litri al minuto secondo le passate misure dell'ente di controllo sanitario. Il sistema di captazione ora in atto non permette una misura della portata; è accettabile una portata più frequente di 20 l/min.

La Tab. 4 riporta le analisi eseguite fra l'autunno 1979 e l'estate 1995. In Tab. 5 sono date le



Fig. 8 - Microfoto dei micascisti della galleria ENEL in Val Taviela. In una massa di fondo orientata spiccano grossi cristalli di granato (scuro) intensamente fratturati. Polarizzatori paralleli, 45x.

Fig. 8 - Microphotograph of the micaschists from the ENEL tunnel of Val Taviela. Within the oriented matrix there are strongly fractured garnet crystals (dark gray). Parallel Nicols, 45x.

Tab. 2

	Marmo	Pirite 1	Pirite 2
<i>Elementi maggiori in [%]</i>			
SiO ₂	1,41	1,88	0,56
TiO ₂	0,01	0,02	0,01
Al ₂ O ₃	0,21	0,16	0,04
Fe ₂ O ₃	1,28	65,90	73,40
MnO	0,15	1,84	2,70
MgO	1,19	5,96	6,87
CaO	52,40	9,97	4,39
Na ₂ O	0,02	0,03	0,04
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	<0,01	0,02	<0,01
LOI	42,1	14,6	12,5
Totale	98,79	100,39	100,53
<i>Elementi minori in [ppm]</i>			
Ag	<0,2	2,8	3,1
As	<1	1	1
Au	<2	4	96
B	<10	<10	<10
Ba	227	92	66
Be	<1	<1	<1
Br	1,3	1,6	2,0
Cd	<1	23	29
Co	1,2	1,6	2,8
Cr	4	25	11
Cs	<0,5	<0,5	<0,5
Cu	6,9	13,7	34,0
Ge	<10	<10	<10
Hf	0,2	<0,2	<0,2
Ir	<5	<5	<5
Mo	<2	<2	<2
Nb	<10	<10	<10
Ni	2	17	10
Pb	42	17	32
Rb	<10	<10	<10
Sb	0,3	0,1	<0,1
Sc	0,41	0,26	0,19
Se	<1	<1	<1
Sr	228	72	32
Ta	<0,5	<0,5	<0,5
Th	0,2	0,4	<0,2
U	0,2	0,4	0,1
V	3	37	37
W	<1	<1	<1
Y	<10	23	24
Zn	61,7	29,1	37,1
Zr	13	16	<10
La	1,3	1,5	0,5
Ce	2	4	<1
Nd	<3	4	<3
Sm	0,27	1,38	0,62
Eu	0,23	0,81	0,33
Tb	<0,1	<0,1	<0,1
Yb	0,09	0,15	0,13
Lu	0,01	<0,01	0,01

Tab. 3

	5/1/95	24/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95
C.E.S. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	111	126	120	109	112	110	94
Li	nd	nd	nd	0,02	0,05	0,04	0,08
Na	1,7	1,6	2,0	1,4	1,0	1,8	0,7
Mg	15,0	4,5	4,4	4,8	4,5	4,4	3,9
Ca	14,1	15,2	16,2	17,6	16,0	14,8	11,4
Fe tot	nd	nd	nd	nd	0,1	0,1	0,2
SiO ₂	nd	6,4	nd	6,7	6,4	5,6	4,3

Tab. 4

	24/5/79	20/9/84	15/9/87	5/9/88	7/11/89	20/8/92	19/8/94	20/12/94	22/2/95	6/6/95	17/8/95
Portata [l/m]	25	nd	10	nd	nd	nd	nd	30	nd	nd	nd
T [$^{\circ}\text{C}$]	7,5	7,6	7,5	8,7	7,5	9,9	9,7	8,0	7,2	7,4	7,5
pH	5,6	5,4	5,6	5,7	5,7	5,7	5,3	5,6	5,5	5,7	5,6
C.E.S. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	632	640	740	733	647	672	683	673	628	609	690
CO ₂ libera	864	1745	739	638	706	720	1571	1777	1936	1421	1940
Residuo	426	492	473	460	474	482	486	485	470	404	495
Dur. [$^{\circ}\text{F}$]	nd	30,0	31,0	32,0	29,7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Li	0,15	0,21	0,22	0,21	0,21	0,20	0,25	0,19	0,18	0,15	0,14
Na	31,0	33,8	36,0	32,5	35,0	35,0	35,9	37,0	37,6	30,3	35,7
K	8,4	8,2	8,0	6,2	7,8	8,5	10,5	7,2	7,2	6,9	7,5
Mg	24,5	31,9	31,1	31,6	28,2	23,0	25,9	25,7	30,0	24,0	25,0
Ca	15,5	67,7	72,9	76,2	72,5	63,0	84,8	85,5	76,0	58,0	72,5
Fe tot.	26,1	27,5	25,5	30,0	25,6	25,8	27,2	24,9	24,1	23,0	26,7
Al	0,04	0,03	0,03	0,02	0,07	nd	nd	0,04	0,03	0,04	<0,01
Ba	nd	nd	nd	nd	nd	0,16	0,21	0,21	0,20	0,15	0,22
As	nd	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	0,004	0,004	0,050	0,004	<0,001	nd	nd	<0,001	0,008	<0,001	<0,001
Mn	0,92	0,89	1,07	0,81	0,94	0,91	0,99	0,92	0,91	0,71	0,85
Ni	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sr	0,22	0,31	0,25	0,24	0,24	0,30	<0,2	0,29	0,24	0,21	0,24
Zn	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	0,15	0,17	0,26	0,27	0,25	0,34	0,34	0,30	0,23	0,21	0,33
Cl	6,1	6,2	5,3	4,8	5,6	6,2	6,4	5,0	6,2	6,0	6,5
B	nd	nd	nd	nd	0,37	0,14	nd	nd	nd	nd	nd
HCO ₃	445	573	488	488	470	471	470	535	525	409	506
SO ₄	9,3	12,0	9,3	9,4	9,4	11,5	12,7	10,7	13,4	14,8	13,4
SiO ₂	37,8	35,5	43,2	41,5	36,8	41,4	42,0	44,3	41,9	37,8	46,1

Tab. 2 - Analisi del marmo e di due campioni di pirite dalla miniera di Celentino. LOI= Perdita al fuoco.

Tab. 3 - Analisi delle acque del torrente Noce fra il gennaio ed il maggio 1995. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 4 - Analisi dell'acqua minerale della sorgente Antica Fonte di Peio fra il 1979 ed il 1995. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 2 - Analyses of a marble and two pyrite samples from the Celentino mine. LOI = Loss of ignition.

Tab. 3 - Analyses of the water of the Noce river between January and May 1995. Data in mg/l. nd = not determined.

Tab. 4 - Analyses of the mineral water of the Peio Antica Fonte between 1979 and 1995. Data in mg/l. nd = not determined.

Tab. 5 - Analisi dell'acqua minerale della sorgente Antica Fonte di Peio nei primi 6 mesi del 1995. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 5 - Analyses of the mineral water of the Antica Fonte Peio sampled during the first half of 1995. Data in mg/l. nd = not determined.

	5/1/95	24/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95	6/6/95	28/6/95	3/7/95
T [°C]	6,8	6,8	7,5	7,7	6,0	8,1	8,5	nd	nd	nd
pH	5,40	5,60	5,59	5,61	5,3	5,5	5,57	5,4	5,59	5,53
C.E.S.										
[μS/cm]	625	635	650	610	430	400	440	560	643	653
CO ₂ libera	2411	2319	2389	2342	2369	2294	2323	2080	1597	2467
Residuo	467	490	525	453	475	465	472	417	495	477
Li	0,25	0,25	0,42	0,4	0,28	0,32	0,31	0,31	0,25	0,25
Na	50	23,8	41,0	24	34,6	33,6	15,5	30	17,4	16,8
K	8,7	10,4	7,6	7,5	7,6	8,0	7,0	2,6	9,3	9,3
Mg	29,8	30,8	32,5	30	23,7	27,1	29	25,3	26,46	26,7
Ca	74,3	73,0	89,9	76	73,5	75,5	60,4	56	7,7	20,3
Fe	6,7	27,0	25,4	17,39	27,2	26,4	29,88	24,2	35,9	30,1
Cl	3,4	3,76	6,6	6,4	6,13	5,4	6,2	6,2	nd	7,1
HCO ₃	431	497	42,47	393	435	403	407,5	423	465	344
SO ₄	nd	8,1	10,3	6,3	8,9	5,2	9,8	7,7	nd	10,3
SiO ₂	31,2	38,5	32,33	34,5	29,3	34	27,8	29,6	34,1	32,7



Fig. 9 - Panoramica di Peio Fonti con segnate le sorgenti Antica Fonte, San Camillo, Fonte Alpina ed il nuovo stabilimento termale. Nuove acque minerali effervescenti sono state ritrovate nel 1996 a sinistra dell'Hotel Europa.

Fig. 9 - The village of Peio Fonti with the springs Antica Fonte, San Camillo, Fonte Alpina and the building of the new spa. New naturally sparkling mineral water has been found on the left of the Hotel Europa in 1996.

Tab. 6 - Analisi dell'acqua minerale della sorgente San Camillo a Peio Fonti fra gennaio e luglio 1995. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 6 - Analyses of the mineral water of the San Camillo spring at Peio Fonti inbetween January and July 1995. Data in mg/l. nd = not determined.

	5/1/95	24/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95	6/6/95	28/6/95	3/7/95
T [°C]	6,8	6,8	7,5	7,7	6,0	8,1	8,5	nd	nd	nd
pH	5,4	5,6	5,6	5,6	5,3	5,5	5,6	5,4	5,6	5,5
C.E.S. [µS/cm]	625	635	650	610	430	400	560	643	653	1963
CO ₂ libera	2411	2319	2389	2342	2369	2294	2323	2080	nd	2496
Residuo	467	490	525	453	475	465	472	417	495	477
Li	0,25	0,25	0,42	0,40	0,28	0,32	0,31	0,31	0,25	0,25
Na	50,0	23,8	41,0	24,0	34,6	33,6	15,5	30,0	17,4	16,8
K	8,7	10,4	7,6	7,5	7,6	8,0	7,0	2,6	9,3	9,3
Mg	29,8	30,8	32,5	30,0	23,7	27,1	29,0	25,3	26,4	26,7
Ca	74,3	73,0	89,9	76,0	73,5	75,5	60,4	56,0	7,7	20,3
Fe tot	6,7	27,0	25,4	17,4	27,2	26,4	29,9	24,2	35,9	30,1
Cl	3,4	3,7	6,6	6,4	6,1	5,4	6,2	6,2	nd	7,1
HCO ₃	431	497	424	393	435	403	407	423	465	344
SO ₄	9,0	8,1	10,3	6,3	8,9	5,2	9,8	7,7	nd	10,3
SiO ₂	31,2	38,5	32,3	34,5	29,3	34	27,8	29,6	34,1	32,7

analisi dei primi 7 mesi del 1995 che furono fatte per controllare variazioni in portata e composizione chimica fra l'inverno e l'estate. Non si notano influenze stagionale sul chimismo.

6.1.2. Sorgente San Camillo

La Fonte San Camillo è ubicata poco ad oriente della Antica Fonte (Figg. 7, 9). Essa sgorgava naturalmente dal detrito; ora è captata e convogliata al bar di servizio dei campi da tennis. La portata misurata nell'estate-autunno 1995 fu di circa 1,5 litri al minuto. La Tab. 6 riporta alcuni suoi dati. Dalla Fig. 10 si vede che l'acqua è molto simile a quella della Antica Fonte anche se l'acqua della Antica Fonte è leggermente più mineralizzata di quella della sorgente San Camillo. La Antica Fonte e la Fonte San Camillo sono quindi molto probabilmente le emergenze naturali di una stessa falda.

6.1.3. Sorgente Fonte Alpina

L'acqua oligominerale non effervescente Fonte Alpina è captata nel detrito; è distante poche

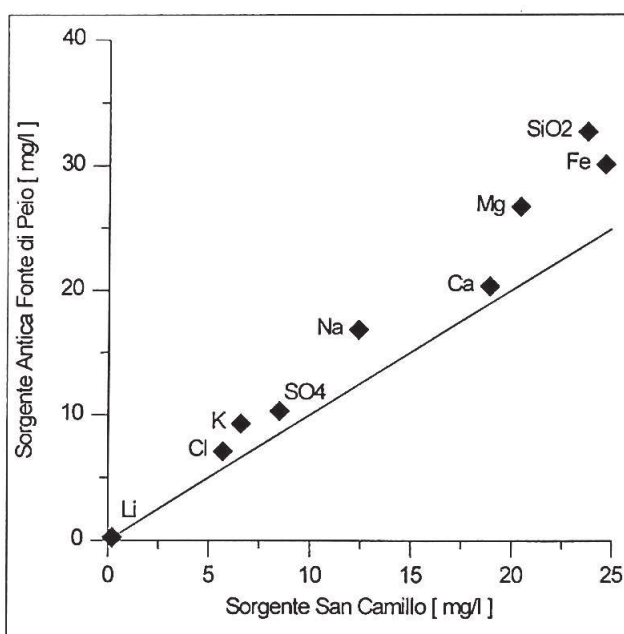


Fig. 10 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente San Camillo rispetto a quella della sorgente Antica Fonte.

Fig. 10 - Diagram showing the element contents in the water of the San Camillo spring plotted versus that of the Antica Fonte spring.

decine di metri dall'acqua minerale effervescente naturale della sorgente Antica Fonte (Figg. 7, 9). Ha una portata che varia da 25 a 42 litri al secondo. Questa acqua rifornisce lo stabilimento di imbottigliamento di Cogolo dove viene prodotta l'acqua minerale naturale Peio-Fonte Alpina e l'acquedotto comunale. La Tab. 7 riporta l'analisi chimica della sorgente Fonte Alpina, della sorgente Antica Fonte di Peio e della Antica Fonte di Rabbi. Risulta che la Fonte Alpina ha una conducibilità circa sei volte minore della Antica Fonte di Peio; il suo contenuto di CO_2 è almeno 300 volte minore della Antica Fonte di Peio. Ciò è dovuto al fatto che la Fonte Alpina ha un contenuto ionico molto minore della Antica Fonte di Peio. Infatti alla differente presenza degli ioni tradizionali (Ca, Mg, Na, K, Cl) si accompagna anche una differente presenza di elementi traccia, come litio, ferro, bario, cesio, rame, manganese, rubidio, scandio, stronzio, zinco, fluoro, cloro, boro, bromo, iodio.

La Fig. 11 mostra i rapporti di alcuni elementi contenuti nelle acque della Antica Fonte e nella Fonte Alpina.

La spiegazione della differenza fra le due fonti, pur così vicine, è dovuta al fatto che dalla Fonte Alpina emerge l'acqua superficiale drenata e captata da una piccola galleria nel conoide di detrito che scende dal Palù di Val Comasine (Fig. 9). La Antica Fonte è invece acqua con un circuito più profondo che viene alimentata anche dalla anidride carbonica che risale dal basso.

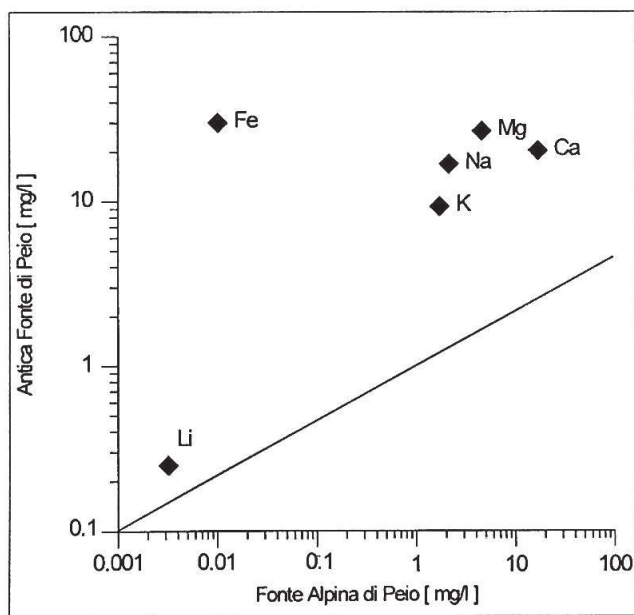


Fig. 11 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nelle acque della Fonte Alpina di Peio rispetto alla sorgente Antica Fonte di Peio.

Fig. 11 - Diagram showing the element contents in the water of the spring of Fonte Alpina at Peio plotted versus that of the Antica Fonte spring at Peio.

Tab. 7 - Analisi delle acque minerali delle sorgenti Fonte Alpina di Peio, Antica Fonte di Peio ed Antica Fonte di Rabbi. Dati in ppb.

Tab. 7 - Analyses of the mineral water of the springs of Fonte Alpina at Peio, Antica Fonte at Peio and Antica Fonte at Rabbi. Data in ppb.

	F. Alpina Peio	Antica F. Peio	Antica F. Rabbi
C.E.S. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	128	680	2400
CO_2 libera [mg/l]	18000	1600000	1600000
Dur. [$^\circ\text{F}$]	6,3	30,5	46,1
Li	3,21	221,15	2100,56
Na	2100,1	37000,3	505000,4
K	1700,4	8000,3	36000,2
Mg	4500,3	29000,2	40300,2
Ca	16500,3	72000,4	123000,2
Fe tot	10,1	25700,1	25000,2
Al	0,3	34,1	22,0
As	0,1	5,5	2,0
Ba	5	295	190
Be	<0,1	0,6	7,2
Cd	<0,1	<0,1	0,1
Co	<0,1	1,2	0,4
Cr	<0,1	0,2	0,3
Cs	0,2	3,0	74,0
Cu	0,5	7,7	0,5
Ge	<0,2	<0,2	2,8
Mn	<0,1	0,9	310,0
Mo	0,5	<0,1	0,3
Ni	0,5	1,9	0,9
Pb	0,1	1,1	0,8
Rb	2,9	21,5	238,0
Sc	0,4	3,5	4,4
Sn	<0,2	1,5	<0,2
Sr	80	370	1620
U	0,3	0,2	0,6
V	<0,6	<0,6	0,6
W	<0,2	0,2	<0,2
Y	<0,1	4,3	1,6
Zn	10	25	2
Zr	<0,5	<0,5	<0,5
La	0,2	1,9	<0,2
Ce	<0,1	2,7	0,2
Pr	<0,1	0,4	<0,1
Nd	<0,1	1,0	<0,1
Sm	<0,1	0,4	<0,1
Gd	<0,1	0,5	<0,1
Dy	<0,1	0,4	<0,1
Er	<0,1	0,2	<0,1
Yb	<0,1	0,2	<0,1
F	<0,1	200	150
Cl	<1	5000	200000
B	5	225	17300
Br	<10	122	928
I	0,9	4,7	75,0

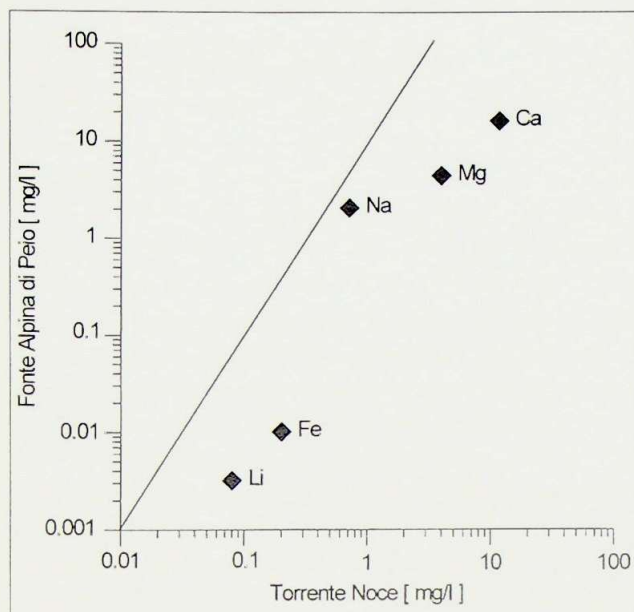


Fig. 12 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nelle acque della Fonte Alpina di Peio rispetto al torrente Noce.
 Fig. 12 - Diagram showing the element contents in the water of the spring of Fonte Alpina at Peio plotted versus that of the Noce river.



Fig. 13 - Galleria di Val Taviela. Concrezioni di ossidi ed idrossidi di ferro generati dall'acqua minerale effervescente naturale.

Fig. 13 - Val Taviela gallery. Fe oxides and hydroxides concretions deposited from the naturally sparkling mineral water.

La Fig. 12 mostra in un diagramma il rapporto degli elementi nell'acqua del torrente Noce ed in quella della sorgente Fonte Alpina di Peio. Si vede chiaramente che l'acqua del torrente Noce è più mineralizzata dell'acqua della sorgente Fonte Alpina di Peio.

6.1.4. Sorgente di Val Taviela

La sorgente di Val Taviela si trova circa 2 km a NW di Peio Fonti (Fig. 7). A circa quota 1750 m s.l.m. vi è una galleria lunga 158 m circa che con direzione ESE-WNW collega l'esterno con la condotta che porta l'acqua dal serbatoio artificiale di Pian Palù alla centrale idroelettrica di Pont, presso Cogolo. La detta galleria (finestra) è scavata in micascisti con giacitura della scistosità avente direzione fra NE-SW ed E-W ed immersione a meridione con inclinazione sui 20°-30°. La Tab. 1 riporta l'analisi chimica di un campione di questa roccia. Vi sono evidenti ondulazioni della scistosità con pieghe sincristalline dirette circa NE-SW. I micascisti appaiono interessati da prevalenti fratture subverticali dirette da NE-SW a NW-SE. Da alcune fratture, dirette circa N-S, sgorga acqua effervescente naturale con bolle di gas ben visibili macroscopicamente. A partire dalla progressiva 37 m fino a fondo galleria vi sono evidenti concrezioni di ossidi ed idrossidi di ferro generate dalle acque che escono dalle fratturazioni della volta e dei fianchi della galleria (Fig. 13).

La Tab. 8 riporta alcune caratteristiche delle acque presenti nella galleria.

Le acque hanno fra loro composizione molto simile, con eccezione per il CO₂. La variazione in

Tab. 8 - Analisi dell'acqua della galleria in Val Taviela (Peio). Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 8 - Analyses of the water from the gallery of Val Taviela (Peio). Data in mg/l. nd = not determined.

	Imbocco 9/8/95	m 45 9/8/95	m 70 9/8/95
Portata [l/m]	36	nd	nd
pH	5,8	5,0	4,9
C.E.S. [μS/cm]	232	207	207
CO ₂ libera	204	445	2345
Residuo	nd	133	245
Li	0,12	0,07	0,08
Na	1,0	1,1	0,5
K	2,6	2,7	2,0
Mg	12,4	13,0	7,7
Ca	16,3	15,2	8,4
Fe tot	11,7	nd	nd
Cl	0,4	0,6	0,7
HCO ₃	72	nd	nd
SO ₄	57,0	32,2	36,5
SiO ₂	12,0	17,4	6,9

CO₂ è probabilmente dovuta alle difficoltà di raccolta dell'acqua ed alla conseguente perdita di gas. La portata complessiva dell'acqua effervescente naturale allo sbocco della galleria era al 9/8/1995 di 36 litri al minuto. L'alto contenuto di ferro nell'acqua è dimostrato dalla deposizione di fanghi rossi all'uscita della galleria (Fig. 14).

In Val Taviela vicino alla galleria vi sono anche numerose acque surgive senza ferro e senza anidride carbonica. Esse sgorgano di norma alla base di depositi morenici o detritici e rappresentano acque molto superficiali.

Fig. 14 - Galleria di Val Taviela. Fanghi rossi depositi dalle acque effervescenti naturali.

Fig. 14 - Val Taviela gallery. Red muds deposited from the naturally sparkling mineral water.



6.1.5. Sorgenti Fontanino di Peio e Fontanino di Celentino

Risalendo da Peio Fonti il corso del Noce si giunge a Pian Palù dove vi sono due modeste emergenze di acqua minerale effervescente naturale poste sul fondovalle. Una è sul versante sinistro (Fontanino di Peio) a quota 1670 m s.l.m.; l'altra è posta sul versante destro (Fontanino di Celentino) a quota 1680 m s.l.m. Il Fontanino di Peio sgorga alla base di una parete di micascisti; il Fontanino di Celentino sgorga dal detrito caduto dalla parete di micascisti. La Tab. 1 riporta le analisi chimiche di due campioni di micascisti. Le portate variano al Fontanino di Peio da 1 a 1,5 litri al minuto ed al Fontanino di Celentino da 1 a 0,2 litri al minuto. La stagione invernale ha le minori portate condizionate anche dal ghiaccio che circonda le emergenze stesse da cui l'acqua esce con temperature sui 6 °C.

Le Tabb. 9 e 10 riportano le analisi chimiche dei Fontanini di Peio e di Celentino. Nella Tab. 10 sono dati anche i risultati dell'analisi chimica dell'acqua di scolo della miniera di Celentino.

Le due acque del Fontanino di Peio e del Fontanino di Celentino sono simili (Fig. 15).

Appare pure che l'acqua dell'Antica Fonte e l'acqua del Fontanino di Peio sono relativamente simili (Fig. 16).

Tab. 9 - Analisi dell'acqua del Fontanino di Peio nei primi sei mesi del 1995. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 9 - Analyses of the water of the spring Fontanino at Peio sampled during the first half of 1995. Data in mg/l. nd = not determined.

	5/1/95	24/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95	3/6/95
Portata [l/m]	nd	1,8	1,2	1,1	1,2	1,3	1,6	1,8
T [°C]	4,6	5,8	5,6	4,7	4,8	5,8	6,5	6,0
pH	5,6	5,4	5,7	5,7	5,6	5,8	5,4	5,5
C.E.S. [µS/cm]	625	660	646	638	490	445	300	546
CO ₂ libera [mg/l]	2136	2279	2313	nd	2296	2257	2339	2443
Residuo	445	466	515	467	464	443	408	413
Li	0,25	0,24	0,35	0,40	0,30	0,26	0,33	0,32
Na	49,1	31,1	54,5	36,2	44,2	30,4	13,2	15,4
K	6,5	6,4	4,1	4,7	4,7	4,9	4,1	3,7
Mg	26,4	27,2	29,5	28,2	23,2	23,7	22,0	21,1
Ca	79,0	82,8	94,6	88,0	71,1	83,0	56,9	56,4
Fe tot	26,1	28,1	28,7	21,5	28,6	27,3	25,3	26,4
Cu	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cl	2,44	3,12	5,78	5,40	5,13	4,24	4,40	4,50
HCO ₃	431	306	310	394	363	323	340	280
SO ₄	11,2	11,1	12,3	10,8	11,7	11,5	11,3	10,8
SiO ₂	20,5	27,1	22,2	24,6	20,5	22,2	17,0	22,9

6.1.6. Acqua di scolo della miniera di Celentino

Questa miniera abbandonata è sul versante sinistro della Val di Peio, costituito da micascisti con marmi ed ortogneiss dell'Unità Tonale-Ultimo. Essa è visibile lungo la strada che collega Celentino a Celledizzo (Fig. 7).

L'imbocco della galleria inferiore è a quota 1230 m s.l.m. L'attività mineraria si esplicò appena

dopo la seconda guerra mondiale alla ricerca di magnetite, minerale coltivato per secoli sul versante opposto della valle (destro) presso il paese di Comasine.

La ricerca evidenziò però pirite prevalente per cui le ricerche furono abbandonate. Le discariche mostrano abbondanti frammenti di roccia scavata fra cui pirite massiccia e marmo bianco presente come lenti entro i micascisti. Le Tabb. 1 e 2 riportano

Tab. 10 - Analisi dell'acqua del Fontanino di Celentino in comune di Peio nei primi sei mesi del 1995. Le due ultime colonne danno i risultati dell'acqua di scolo della miniera di Celentino. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 10 - Analyses of the water of the Fontanino di Celentino (Peio) sampled during the first half of 1995. The last two columns give the results of the analyses of the water from the Celentino mine. Data in mg/l. nd = not determined.

	Fontanino di Celentino							Miniera di Celentino	
	5/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95	3/6/95	5/10/95	17/11/95
Portata [l/m]	nd	0,1	nd	nd	nd	0,3	nd	90,0	90,0
T [°C]	1,5	1,9	1,4	nd	1,5	2,8	3,5	nd	nd
pH	6,8	6,1	6,2	5,8	5,7	5,9	5,9	6,5	6,2
C.E.S. [μS/cm]	1211	1245	1080	770	783	680	1114	1692	1740
CO ₂ libera	2069	2133	1502	2083	1592	2447	2469	1353	nd
Residuo	981	1006	894	732	835	931	911	nd	1819
Li	0,48	0,67	0,79	0,61	0,62	0,57	0,79	0,88	0,81
Na	89,9	133,2	90,8	63,7	76,3	34,2	36,9	55,8	20,1
K	10,3	6,9	8,0	7,8	9,4	7,9	7,1	7,0	5,4
Mg	65,5	56,5	60,7	41,0	52,6	53,7	52,7	52,0	48,0
Ca	189,0	192,0	158,0	93,2	187,0	132,0	129,0	334,0	319,0
Fe tot	8,6	20,6	15,6	12,5	18,2	20,6	7,3	9,5	16,2
Cl	6,2	9,7	9,3	7,0	8,1	9,4	9,8	33,0	32,0
HCO ₃	1756	915	819	579	738	784	639	920	822
SO ₄	16,0	17,8	15,4	18,1	15,4	16,0	12,8	556,0	675,0
SiO ₂	23,5	30,5	29,5	20,8	26,4	23,6	26,9	55,6	43,9

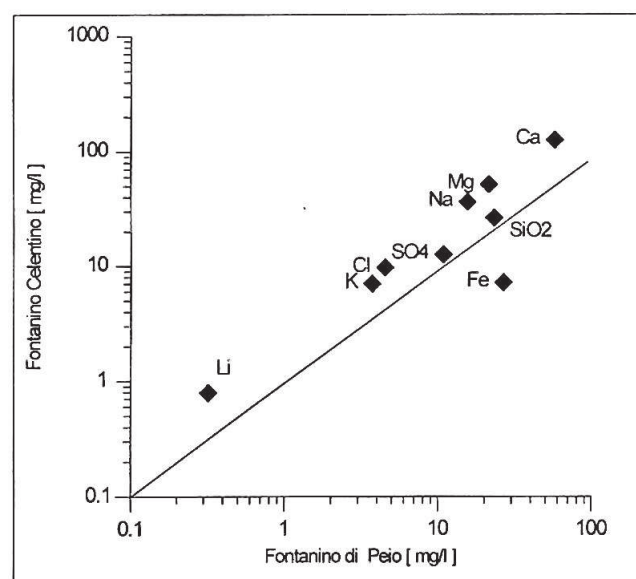


Fig. 15 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua del Fontanino di Peio rispetto a quella del Fontanino di Celentino.

Fig. 15 - Diagram showing the element contents in the water of the Fontanino di Peio spring plotted versus that of the Fontanino di Celentino spring.

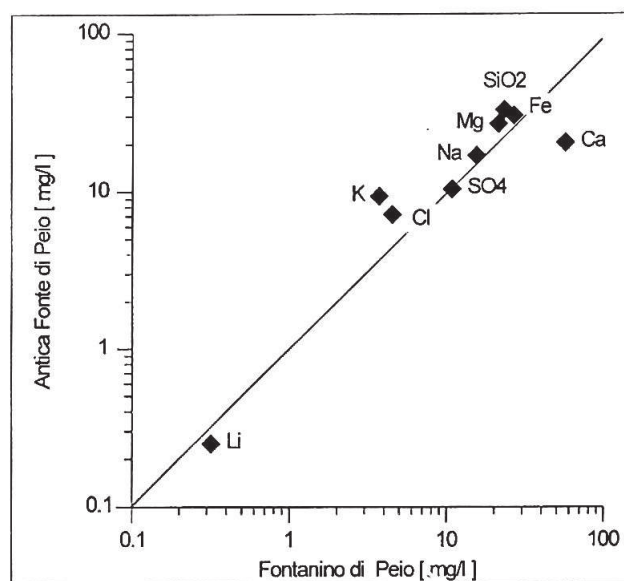


Fig. 16 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente Fontanino di Peio rispetto a quella della sorgente Antica Fonte di Peio.

Fig. 16 - Diagram showing the element contents in the water of the Fontanino di Peio spring versus that of the Antica Fonte di Peio spring.

le analisi chimiche del micascisto, del marmo e di due campioni di pirite.

L'imbocco della galleria è crollato e da tale detrito esce acqua minerale effervescente naturale ad una temperatura costante di circa 15°C. Gli affioramenti rocciosi sono nella zona limitati per l'abbondante detrito. Le acque di scolo della miniera hanno una portata di circa 1,5 litri al secondo e depositano un sedimento rossastro (fanghi rossi) e travertino. La Tab. 10 riporta l'analisi chimica dell'acqua del Fontanino di Celentino, come anche la composizione chimica dell'acqua di scolo della miniera di Celentino. Un confronto fra le acque di scolo della miniera di Celentino, situata in micascisti e marmi con pirite, e le acque del Fontanino di Celentino che si trova in soli micascisti, mostra chiaramente l'influenza dei marmi e della pirite sulla composizione chimica delle acque (Fig. 17).

6.1.7. I pozzi esplorativi

Nei mesi di maggio e giugno 1996 è stata condotta a Peio una campagna di ricerca con pozzi esplorativi per trovare altra acqua minerale effervescente naturale da utilizzare nel nuovo stabilimento termale, in quanto quella della Antica Fonte non è sufficiente.

La prospezione è stata guidata dal concetto che dal basso, lungo le faglie e le fratture, risalgono l'anidride carbonica ed il radon; questi due gas si mescolano all'acqua che scende nei detriti e nelle fratture della roccia sotto i detriti, dando luogo alla

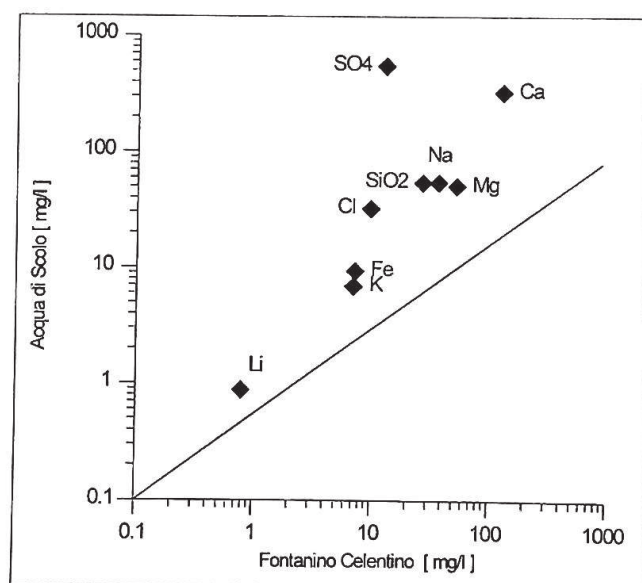


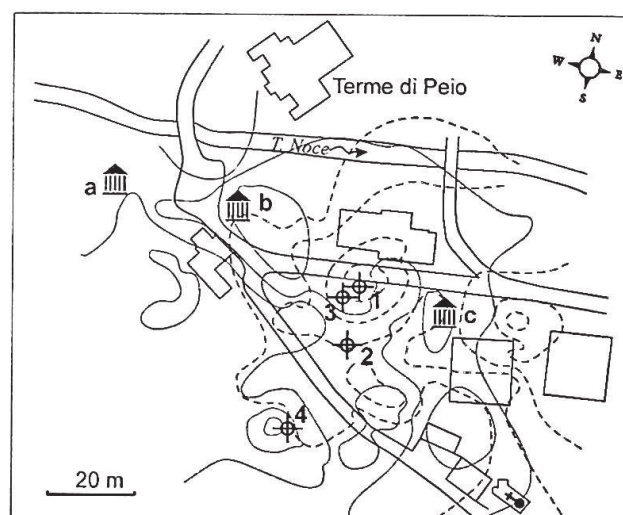
Fig. 17 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua di scolo della miniera di Celentino rispetto all'acqua della sorgente Fontanino di Celentino.

Fig. 17 - Diagram showing the element contents of the water from the Celentino mine plotted versus that of the Fontanino di Celentino spring.

formazione di acqua effervescente naturale. Per provare questa ipotesi sono stati misurati contemporaneamente nel suolo ambedue i gas; ciò per capire ed attenuare le anomalie prodotte dalla anidride carbonica proveniente dalla decomposizione di resti organici e dal radon generato da concentrazioni di uranio nelle rocce vicine alla superficie.

La Fig. 18 riporta, oltre alle ubicazioni dei sondaggi e le esistenti sorgenti di acqua minerale, le linee di iso-emissione dei gas anidride carbonica (CO₂) e di radon (Rn). Si vede che la ubicazione dei 4 sondaggi esplorativi è in corrispondenza dei punti di massima emissione dei gas: in particolare i sondaggi S1, S2 e S3 sono posti in corrispondenza di aree con forte emissione di anidride carbonica, mentre il sondaggio S4 è stato posizionato in corrispondenza dell'area di massima emissione di radon.

Per la natura dei terreni si è deciso di adottare il metodo di perforazione con martello a fondo foro con circolazione ad aria facendo avanzare contemporaneamente sia il martello come la camicia



- Linee di iso - emissione radon
- Linee di iso - emissione anidride carbonica (CO₂)
- a Sorgente Fonte Alpina senza CO₂
- b Sorgente Antica Fonte con CO₂
- c Sorgente S. Camillo con CO₂
- 4 Pozzi esplorativi

Fig. 18 - Peio Fonti. Area delle indagini geochimiche e dei pozzi esplorativi che hanno portato al ritrovamento in profondità di acqua minerale effervescente naturale. I quattro sondaggi esplorativi sono stati eseguiti nelle aree di massima emissione di CO₂ e di radon.

Fig. 18 - Peio Fonti. Area of the geochemical and drilling survey in which naturally sparkling mineral water has been found. The four explorative wells have been located in the maximum CO₂ and radon emission anomalies.

Tab. 11 - Analisi delle acque dei quattro pozzi esplorativi eseguiti a Peio Fonti nel 1996. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 11 - Analyses of water from the four exploratory wells drilled at Peio Fonti in 1996. Data in mg/l. nd = not determined.

Pozzo	S1	S2	S3	S4
	30/5/96	03/6/96	03/6/96	28/6/96
pH	5,4	5,9	5,8	6,8
C.E.S. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1190	1445	244	602
CO ₂ libera	1660	2612	257	2050
Li	1,44	nd	nd	nd
Na	102,0	nd	7,8	51,2
K	15,8	13,4	2,1	nd
Mg	64,3	71,3	8,8	21,0
Ca	154,3	119,7	24,9	73,0
Fe tot.	26,0	5,2	1,5	9,9
Si	21,9	14,2	3,2	nd

di rivestimento provvisoria del foro. In tal modo, oltre alle informazioni di carattere stratigrafico, si sono anche potute accertare le caratteristiche dell'acqua presente alle diverse profondità e nelle diverse falde incontrate. Qui di seguito vengono descritti i singoli pozzi esplorativi. La composizione chimica dell'acqua dei 4 pozzi è data in Tab. 11.

6.1.7.1. Pozzo Esplorativo S1

La stratigrafia è caratterizzata dalla presenza di orizzonti limosi (10-12 m, 20-28,5 m, 29,5-40 m) che isolano livelli detritici grossolani acquiferi; il limo talora si presenta frammisto a ghiaia e sabbia. La roccia è stata incontrata alla profondità di 40 m dal piano campagna. La serie rappresenta una tipica sequenza deposizionale peri-glaciale, con sedimentazione limosa interrotta dallo sporadico arrivo di piene torrentizie che depositarono le ghiaie e le sabbie. La prima falda effervescente poggia sul livello limoso presente sui 10-12 m. Si tratta di un acquifero poco mineralizzato ma ricco in ferro. Nei livelli ghiaiosi sottostanti, ed anche in corrispondenza del passaggio fra terreni sciolti e rocce del substrato, sono state incontrate falde idriche sempre più ricche in ioni e di CO₂. I filtri sono ubicati fra 6-9, 15-18, 27-30 e 39-42 m, in modo da interessare tutte le falde. Al termine della perforazione il livello statico dell'acqua si è attestato attorno ai 2,1 m dal piano campagna.

6.1.7.2. Pozzo Esplorativo S2

Anche in questo sondaggio sono state incontrate varie falde distinte di acqua effervescente. La

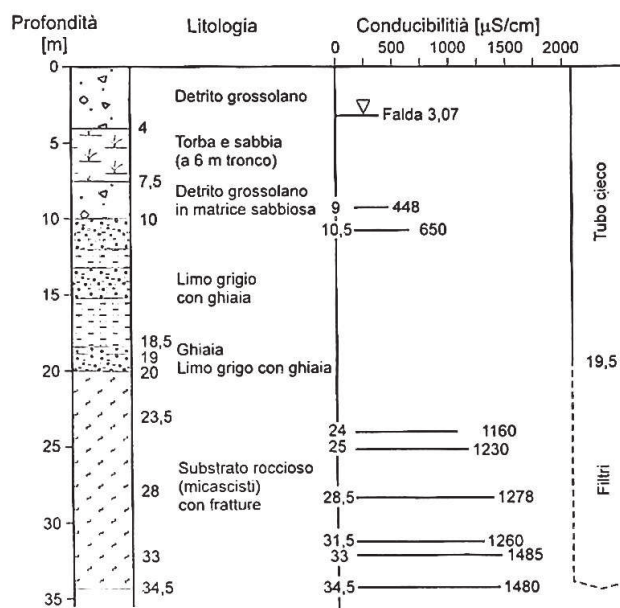


Fig. 19 - Peio Fonti. Schema della perforazione S2 eseguita nel maggio 1996. Acque effervescenti sono fra 4 e 10 m e da 18,5 a 34,5 m. I filtri sono stati posti solo in corrispondenza dei micascisti fratturati.

Fig. 19 - Peio Fonti. Hydrogeological setting of the well S2. Sparkling mineral waters are found between 4 and 10 m and between 18,5 and 34,5 m. The filters have been located in the fractured micascists.

prima era caratterizzata, durante la perforazione, da un colore rossastro; essa è sostenuta dal livello limoso presente a 10-12 m. La seconda è presente al passaggio fra terreno sciolto e micascisti. La terza falda è localizzata nelle fratture della roccia stessa alle profondità di 23,5, 28 e 33 m. I filtri sono stati collocati fra 19,5 e 34,5 m, in modo da captare solamente la falda più profonda. Il livello statico dell'acqua è posto a 3 m dal piano campagna (Fig. 19).

6.1.7.3. Pozzo Esplorativo S3

Questo sondaggio è stato perforato nelle immediate vicinanze del sondaggio S1. La profondità di perforazione è stata scelta in modo di raggiungere solamente l'acqua della prima falda. Il sondaggio è stato pertanto arrestato a 10,2 m di profondità, appena incontrato l'orizzonte limoso che sostiene tale falda e che la isola dalle sottostanti. Il livello dell'acqua si è stabilizzato, al termine della perforazione, a 2,48 m dal piano campagna.

6.1.7.4. Pozzo Esplorativo S4

Questo sondaggio è posto al limite fra il detrito e le strapiombanti pareti rocciose retrostanti. Questa circostanza spiega perché il substrato

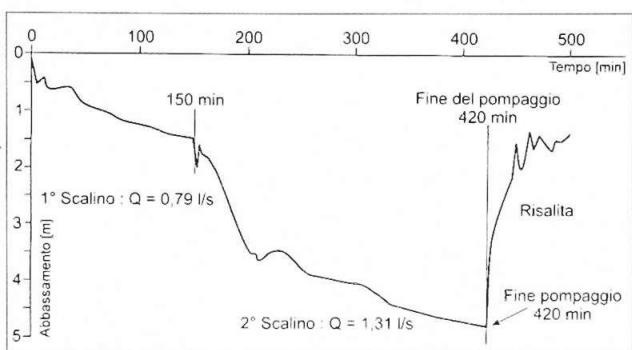


Fig. 20 - Peio Fonti. Prova di pompaggio a scalini nel sondaggio S1.

Fig. 20 - Peio Fonti. Multiple step pumping test on the S1 well.

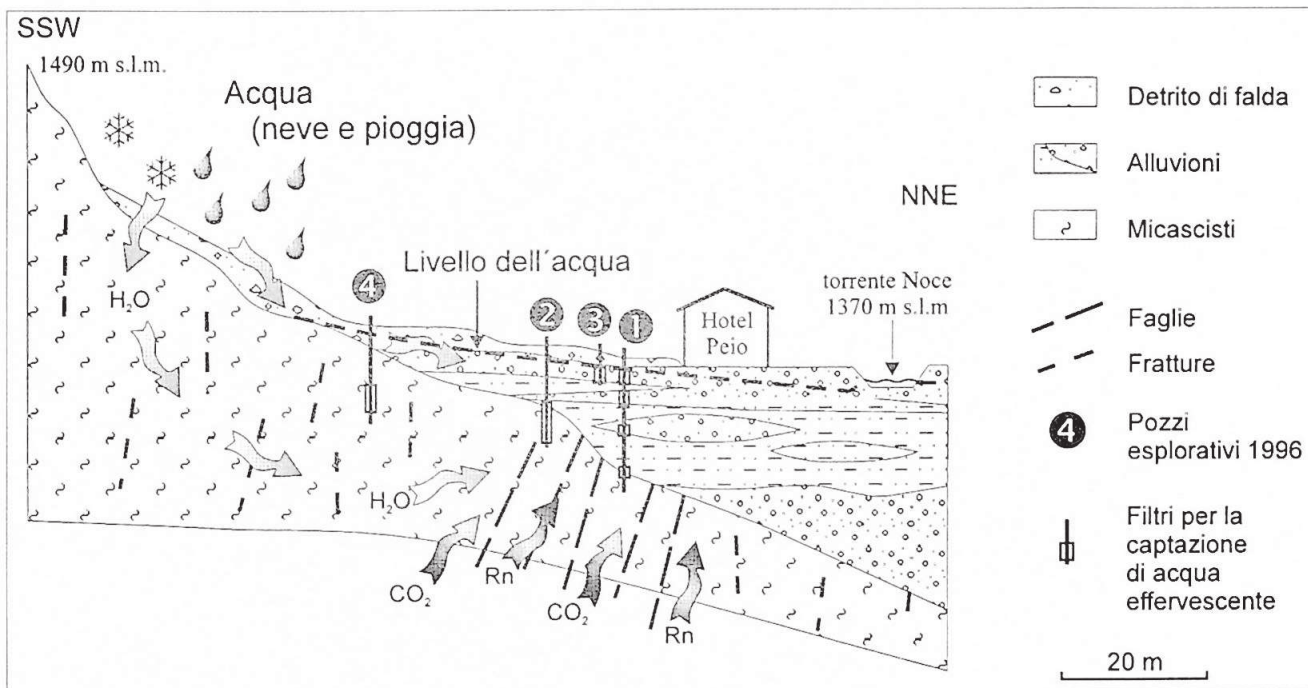
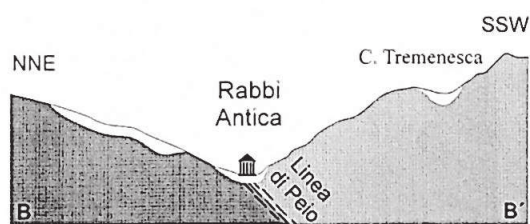
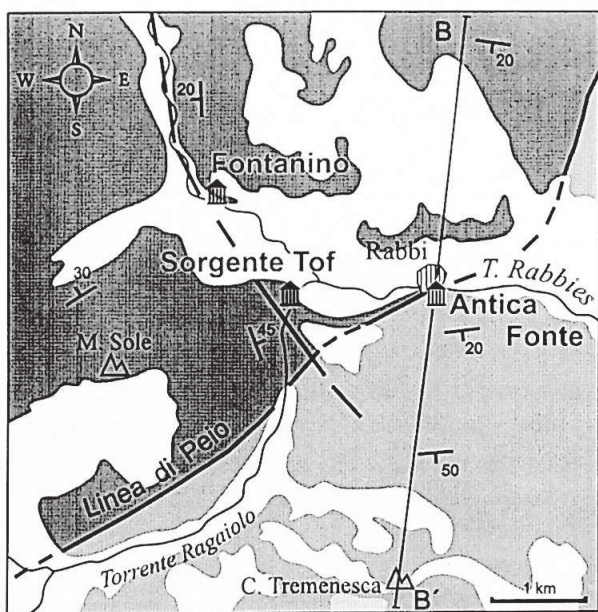


Fig. 21 - Sezione idrogeologica trasversale alla valle includente le quattro perforazioni che hanno trovato nuova acqua minerale effervescente naturale a Peio Fonti.

Fig. 21 - Hydrogeological section through the valley at Peio Fonti showing the four exploratory wells.



- Quaternario
- Cristallino di Campo
- Unità Tonale - Ultimo
- 70 Giacitura della scistosità
- Faglie
- Acque minerali ricche di CO₂

Fig. 22 - Schizzo geologico dell'area di Rabbi con localizzazione delle sorgenti con acqua minerale effervescente naturale Antica Fonte, Sorgente Tof e Fontanino.

Fig. 22 - Geological sketch map of the Rabbi area showing the position of the natural sparkling mineral waters of the springs Antica Fonte, Sorgente Tof and Fontanino.

roccioso sia stato incontrato già alla profondità di soli 8 m. La perforazione è stata sospesa a 34,5 m di profondità.

Le misurazioni eseguite hanno permesso di riconoscere che fino a 19,5 m di profondità è presente una falda di acqua poco mineralizzata ma effervescente; oltre a tale profondità le fratture della roccia contengono acqua sempre più mineralizzata e più effervescente. Il tetto della falda si è stabilizzato alla profondità di 5,85 m. I filtri sono stati posti solo dove la roccia è produttiva (Fig. 21).

6.1.7.5. Prove di pompaggio e nuove risorse

Nei sondaggi sono state fatte prove di pompaggio a scalini onde controllare la portata ottimale. La Fig. 20 riporta la prova eseguita nel pozzo esplorativo 1, da cui risulta che la portata ottimale è di circa 1,3 l/s.

L'acqua ritrovata nei quattro sondaggi ha un contenuto di anidride carbonica fra 1000 e 2600 mg/l ed assicura un rifornimento di almeno 240 litri al minuto, circa 10 volte in più rispetto alla precedente disponibilità fornita dalla Antica Fonte.

6.1.7.6. Modello di circolazione

La Fig. 21 mostra un modello della genesi dell'acqua minerale effervescente naturale. L'acqua di scioglimento della neve e di pioggia penetra nelle faglie e nelle fratture della roccia la cui scistosità è a reggipoggio. I piani di discontinuità sono prevalentemente subverticali con direzione fra NNW-SSE e NW-SE. Dal basso risalgono anidride carbonica e radon che si mescolano con le acque che scendono, generando così una miscela che circola sia nelle fratture della roccia che nei livelli detritici ghiaiosi e sabbiosi.

6.2. Rabbi

Rabbi si trova a NE di Peio sulla omonima linea tettonica (Fig. 1). La Fig. 22 è un schizzo geologico con un profilo N-S dell'area di Rabbi. Le rocce predominanti sono micascisti la cui scistosità è fra E e NE-SW con immersioni a meridione. Con direzione circa N-S è la scistosità fra le sorgenti Tof e Fontanino di Rabbi, probabilmente per la presenza di una faglia suggerita anche dalla deviazione da E-W verso N della valle del T. Rabies. Presso la Antica Fonte di Rabbi si trova una metapegmatite milonitizzata con ben visibili cristalli di feldspato, quarzo, muscovite e tormalina. La metapegmatite ha uno spessore di circa 50 m, essendo poi ricoperta da detrito e da micascisti. Le altre due sor-

Tab. 12 - Analisi delle rocce dell'area di Rabbi. LOI= Perdita al fuoco.

Tab. 12 - Whole rock analyses of the metapegmatite and micascists of the Rabbi area. LOI= Loss of ignition.

	Metapegmatite Antica F.	Micascisto Antica F.	Micascisto Antica F.	Micascisto Fontanino di Rabbi
<i>Elementi maggiori in [%]</i>				
SiO ₂	85,00	70,69	63,33	47,30
TiO ₂	0,04	0,19	0,85	1,51
Al ₂ O ₃	8,9	16,3	18,9	16,9
Fe ₂ O ₃	0,40	1,10	7,34	12,05
MnO	0,01	0,01	0,08	0,17
MgO	0,06	0,35	1,88	8,55
CaO	0,93	1,81	0,23	9,88
Na ₂ O	2,91	7,26	0,89	2,90
K ₂ O	0,75	0,57	3,62	0,60
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,10	0,17
LOI	0,6	0,8	3,1	1,3
Totale	99,57	99,12	100,32	101,33
<i>Elementi minori in [ppm]</i>				
As	<5	<5	<5	<5
Ba	151	173	577	88
Cl	<4	<4	<4	<4
Co	<8	<8	14	29
Cr	29	29	114	244
Cs	7	<2	<2	<2
Cu	43	29	28	12
F	<4000	<4000	<4000	<4000
Ga	10	15	27	17
Nb	<4	<4	16	8
Ni	19	17	41	73
Pb	15	4	<10	13
Rb	21	19	185	23
S	<20	<20	300	<20
Sn	16	<10	<10	<10
Sr	287	479	105	230
Ta	3	9	<2	<2
Th	<4	4	18	<4
U	<1	<1	<1	<1
V	3	17	112	217
Y	10	<4	33	27
Zn	<6	12	123	93
Zr	<4	45	167	116
La	<10	<10	<10	<10
Ce	<40	56	95	<40
Nd	46	<30	<30	<30

genti di acqua effervescente naturale di Rabbi (Tof e Fontanino di Rabbi) emergono dai micascisti.

La Tab. 12 riporta le analisi chimiche di quattro campioni di roccia presi presso la Antica Fonte (metapegmatite e micascisti) e presso la sorgente Fontanino di Rabbi (micascisti). La metapegmatite ha un netto maggior contenuto di silice ed un minor contenuto di alluminio, differenziandosi bene dai tre campioni di micascisto che sono fra di loro simili.

Per avere la composizione chimica delle acque superficiali della zona di Rabbi è stata analizzata l'acqua del torrente Rabies. La Tab. 13 riporta le

Tab. 13 - Analisi nei primi sei mesi del 1995 dell'acqua del torrente Rabbies che passa a fianco della Antica Fonte di Rabbi. Dati in mg/l. nd = non determinato.

Tab. 13 - Analyses of the water of the Rabbies river, sampled during the first half of 1995 near the spring of Antica Fonte at Rabbi. Data in mg/l. nd = not determined.

	5/1/95	24/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95	3/6/95
C.E.S. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	119	163	134	115	118,7	114	71	73,7
Li	nd	0,06	nd	0,03	0,07	0,09	0,08	0,03
Na	nd	9,0	5,9	6,1	2,9	5,0	0,8	0,7
Mg	5,4	5,5	5,4	6,0	5,0	5,0	3,1	2,8
Ca	13,5	13,5	15,3	18,2	14,7	12,8	7,2	6,8
Fe tot	nd	nd	nd	nd	0,1	0,1	0,1	0,2
SiO ₂	nd	nd	nd	5,9	5,3	5,0	3,0	3,4

analisi dell'acqua del torrente Rabbies raccolta a fianco della Antica Fonte lambita dallo stesso torrente. Le analisi sono fatte fra il gennaio ed il giugno 1995, intervallo di tempo che comprende l'inverno e la primavera con lo scioglimento delle nevi.

Si nota che in inverno l'acqua del torrente ha maggior conducibilità e maggior abbondanza di ioni, con diluizione in maggio e giugno per lo scioglimento delle nevi che genera una maggior portata nel torrente stesso. La Fig. 23 mostra che i valori ritrovati per il torrente Rabbies corrispondono a quanto riscontrato, con coeve analisi, nel torrente Noce a Peio.

6.2.1. Sorgente Antica Fonte di Rabbi

La sorgente Antica Fonte di Rabbi è situata nel paese di Rabbi nella parte più stretta della valle dove l'acqua effervescente naturale è raccolta da una vasca sul fondo dell'edificio termale. La sorgente si trova in corrispondenza della linea di Peio. Visto l'alto contenuto di ferro (25 mg/l) questo precipita al contatto con l'ossigeno dell'aria come idrossido con una intensa colorazione rossa che si vede chiaramente all'uscita del tubo di scarico delle acque minerali nel torrente Rabbies (Fig. 24). La portata è di circa 120 litri al minuto, la temperatura è attorno a 8 °C. Il sistema di captazione non permette la misura della portata che secondo testimonianze locali varia, condizionata da intense piogge.

Analisi chimiche dell'acqua della Antica Fonte di Rabbi sono riportate nelle Tabb. 7, 14 e 15. La Tab. 14 riporta 10 analisi eseguite fra il 1978 ed il 1995; la Tab. 15 riporta 8 analisi eseguite nelle primi sei mesi del 1995 per correlare gli eventi stagionali. L'acqua ha una composizione relativamente costante in tutte le stagioni; è nettamente minerale (residuo fisso a 180 °C sui 1800 mg/l) e ricca in sodio ed in boro. Poco a valle della Antica Fonte, sempre sul versante destro, vi sono emergenze diffuse di acqua minerale che depositano travertino.

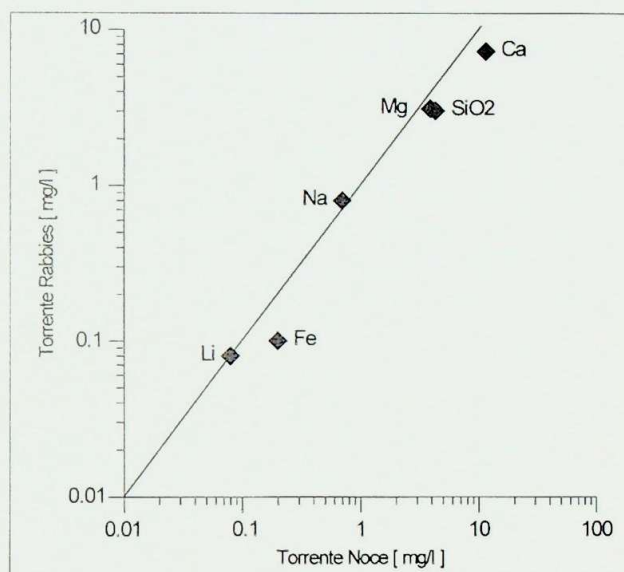


Fig. 23 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nelle acque del torrente Noce rispetto a quella del torrente Rabbies.

Fig. 23 - Diagram giving the element contents in the water of the Noce river plotted versus that of the Rabbies river.



Fig. 24 - Fanghi rossi depositi dalle acque della Antica Fonte di Rabbi. Sulla destra il torrente Rabbies.

Fig. 24 - Red mud deposited from sparkling mineral water of the Antica Fonte spring at Rabbi. On the right side the Rabbies river.

Tab. 14 - Analisi delle acque della Antica Fonte di Rabbi dal 1978 al 1995. Dal 1993 il boro (B*) è espresso come H_3BO_3 . Dati in mg/l. nd= non determinato.

Tab. 14 - Analyses of the water of the Antica Fonte spring at Rabbi from 1978 to 1995. From 1993 the boron content (B*) is given as H_3BO_3 . Data in mg/l. nd= not determined.

	1/6/78	6/9/79	13/12/88	17/10/89	16/10/90	5/8/91	11/8/92	24/3/93	24/5/94	16/5/95
Portata [l/m]	nd	nd	nd	nd	120,3	nd	nd	nd	119,8	nd
T [°C]	8,1	9,5	8,3	8,7	8,8	8,6	8,7	7,5	8,2	8,5
pH	6,2	6,0	5,6	5,8	5,9	6,1	6,1	6,0	6,0	5,9
C.E.S. [μS/cm]	1670	2400	2190	2380	2510	2570	2420	2530	2425	2455
CO ₂ libera	1235	nd	1258	1036	1032	991	870	2045	1619	1496
Residuo	1792	1740	1672	1773	1808	1931	1830	1885	1790	1800
Dur. [°F]	nd	nd	nd	nd	44,2	49,1	nd	nd	nd	nd
Li	2,11	1,91	1,95	2,05	2,13	2,05	1,93	1,87	1,89	2,08
Na	405,0	500,0	420,2	475,4	450,5	510,2	484,1	506,8	509,8	505,7
K	35,1	34,2	29,4	32,7	28,6	26,5	24,8	35,9	24,9	25,6
Mg	43,0	31,0	34,0	41,8	40,1	44,7	29,0	44,0	46,7	42,0
Ca	97	nd	91	110	110	123	100	120	128	127
Fe tot.	25	23	21	21	23	23	22	23	22	26
Al	0,13	0,05	0,02	0,10	nd	nd	nd	0,09	0,02	0,06
As	0,05	nd	nd	0,01	<0,001	0,002	nd	nd	<0,001	0,002
Ba	nd	nd	nd	nd	nd	0,32	0,33	0,34	0,45	0,45
Mn	0,35	0,26	0,23	0,18	0,18	0,57	0,33	0,32	0,41	0,37
Sr	1,70	0,23	0,75	0,98	0,70	1,37	1,35	1,00	1,35	1,50
F	0,52	0,46	nd	0,36	0,66	0,47	0,59	0,58	0,55	0,68
Cl	216,9	430,6	180,6	182,3	208,2	232,4	204,2	220,1	248,5	245,8
Br	nd	nd	nd	nd	1,1	1,2	0,9	1,1	1,1	1,1
B *	nd	nd	nd	nd	18,41	16,01	17,68	86,04*	93,81*	88,42*
I	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	nd	0,04	0,02	0,02
HCO ₃	1555	nd	1506	1496	1458	1678	1513	1678	1671	1708
SO ₄	9,3	4,2	8,5	8,0	6,6	6,8	6,7	5,0	7,5	7,8
SiO ₂	31,1	35,8	33,0	40,0	27,2	30,3	36,1	29,8	31,4	33,5
Radon	nd	nd	nd	nd	41,5	26,9	nd	nd	nd	nd

Tab. 15 - Analisi dell'acqua della Antica Fonte di Rabbi nei primi sei mesi del 1995. Dati in mg/l. nd= non determinato.

Tab. 15 - Analyses of the water of the Antica Fonte spring at Rabbi sampled during the first half of 1995. Data in mg/l. nd= not determined.

	5/1/95	24/1/95	14/2/95	7/3/95	28/3/95	18/4/95	9/5/95	3/6/95
T [°C]	7,9	8,6	8,6	7,8	8,6	8,5	8,7	9,6
pH	5,8	5,8	6,1	6,1	5,9	5,8	6,0	6,1
C.E.S. [μS/cm]	2200	2240	2170	2020	1150	1280	1100	1963
CO ₂ libera	2747	2428	1969	2587	2569	2598	2609	2496
Residuo	1877	1906	1954	1883	1877	1872	1952	1951
Li	2,54	2,32	2,14	3,45	2,51	2,66	2,73	3,08
Na	495,9	427,3	418,1	403,0	452,0	440,2	510,4	481,6
K	39,4	42,1	20,9	50,8	32,0	35,3	30,4	30,8
Mg	52,0	56,5	41,5	56,8	39,3	48,5	55,4	52,2
Ca	134	120	102	121	47	110	122	121
Fe tot	33,0	26,7	26,7	21,3	28,1	28,6	31,6	30,8
Cl	125,0	167,1	148,9	271,3	227,4	214,8	249,7	292,9
HCO ₃	1630	1668	1724	1508	1576	1562	1647	1510
SO ₄	nd	8,6	7,0	7,2	13,7	6,3	7,3	5,9
SiO ₂	27,2	33,8	21,9	31,8	24,6	29,5	25,3	30,7

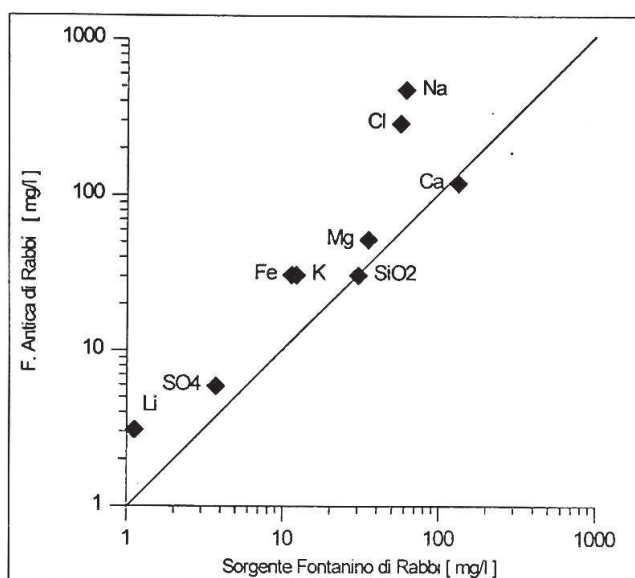


Fig. 25 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della Antica Fonte di Rabbi rispetto a quella della sorgente Fontanino di Rabbi.

Fig. 25 - Diagram giving the element contents in the water of the Antica Fonte spring at Rabbi plotted versus that of the Fontanino spring at Rabbi.

Tab. 16 - Analisi delle acque del Fontanino di Rabbi e di Rabbi Tof. Dati in mg/l. nd= non determinato.

Tab. 16 - Analyses of the waters of Fontanino spring at Rabbi and of the Rabbi Tof spring. Data in mg/l. nd= not determined.

	Fontanino di Rabbi 5/9/78	Fontanino di Rabbi 16/5/95	Fontanino di Rabbi 3/6/95	Rabbi Tof 5/9/78	Rabbi Tof 24/8/95
Portata [l/m]	2,0	nd	nd	35,1	1,9
T [°C]	7,1	nd	nd	9,0	8,9
pH	5,7	6,2	6,0	5,9	6,0
C.E.S. [µS/cm]	1800	960	1348	1110	1807
CO ₂ libera	nd	nd	2347	415	1260
Residuo	1410	697	1176	788	nd
Li	1,21	1,12	1,58	0,57	1,02
Na	300,1	60,3	nd	116,8	90,7
K	20,3	12,1	12,7	12,3	15,1
Mg	38,0	34,7	39,6	57,0	72,0
Ca	190,0	131,0	140,0	75,0	87,4
Fe tot	20,3	11,3	12,8	2,7	nd
As	<0,05	nd	nd	<0,05	nd
Cu	0,006	nd	nd	0,004	nd
Mn	0,86	nd	nd	0,27	nd
Sr	1,65	nd	nd	0,90	nd
Zn	0,01	nd	nd	0,08	nd
F	0,21	nd	nd	0,34	nd
Cl	51,0	55,5	58,2	43,0	63,0
HCO ₃	1472	nd	953	926	nd
SO ₄	2,3	3,7	3,9	113,0	66,0
SiO ₂	43,5	30,0	36,7	14,1	14,2

6.2.2. Sorgente Fontanino di Rabbi

L'acqua della sorgente Fontanino di Rabbi affiora dal detrito di micascisti presso il corso del torrente Rabbi circa 2 km a NW dalla linea di Peio (Fig. 22). La scistosità dei micascisti è diretta circa N-S con immersioni ad ovest con 20° circa. Le fessurazioni sono prevalentemente secondo N-S ed E-W. L'acqua è minerale effervescente naturale ed è raccolta in una modesta fontana attorno alla quale l'acqua deposita vistose patine di fanghi rossi ricchi di ferro. La Tab. 16 riporta le analisi chimiche e le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua del Fontanino di Rabbi. La portata è modesta e variabile, come appare dalla Tab. 16; essa è influenzata dalla piovosità, dal gelo e dal disgelo a confermare che il suo percorso è poco profondo. Dalla Fig. 25 si nota però che la composizione chimica della acqua del Fontanino di Rabbi è abbastanza simile a quella della Antica Fonte di Rabbi.

6.2.3. Sorgente Tof

La sorgente Tof è situata a quota 1300 m s.l.m. all'incrocio morfologico fra la valle di Rabbi, diretta E-W, e la valle del torrente Ragaiolo, diretta N-S, circa 1 km a NW dalla linea di Peio (Fig. 22). Emerge dal detrito di micascisti depositando fanghi rossi e vistoso travertino e da ciò il nome di Tof come in dialetto è chiamato il tufo che corrisponde al travertino. La sorgente è poco conosciuta, non essendo stata interessata da lavori di captazione degni di tale nome. Da una analisi del 1978 e da una del 1995 l'acqua è minerale effervescente naturale (Tab. 16). Il confronto fra le due analisi mostra differenze nel contenuto di anidride carbonica, ma ciò è attribuibile ad una assenza di opere di captazione razionali. La Fig. 26 mostra che la sorgente Antica Fonte e la sorgente Rabbi Tof hanno simili contenuti di calcio e magnesio, differenziandosi per gli altri ioni.

6.3. Santa Apollonia

Santa Apollonia è una località non lontana da Ponte di Legno (Brescia) lungo la strada che porta al passo Gavia e poi a S. Caterina Valfurva (Bormio). La linea di Peio passa alcuni chilometri a SE rispetto alla emergenza di acqua effervescente naturale (Fig. 1). Le rocce affioranti sui versanti sono micascisti con scistosità diretta secondo ENE-WSW nella quale vi sono pieghe sincristalline con la stessa direzione. Presenti lenti di marmi.

Le acque effervescenti emergono da due canne poste sul fondo di un vecchio gazebo in legno,

depositando fanghi rossi; una è perenne che chiamiamo Apollonia 1, l'altra è periodica che chiamiamo Apollonia 2. È da ritenere che esse sono l'emergenza superficiale di una falda sotterranea posta nelle alluvioni che riempiono il fondovalle e le sottostanti rocce fratturate. La situazione è promettente per incrementare le portate volendo sviluppare una attività termale; sono a tal proposito da eseguire alcuni pozzi esplorativi come fatto con successo a Peio Fonti nel 1996.

La Tab. 17 riporta le analisi chimiche come pure i parametri fisico chimici delle acque di Santa Apollonia e della sorgente di Santa Caterina Valfurva.

Tab. 17- Analisi delle acque minerali di Santa Apollonia 1 e 2 presso Ponte di Legno e di Santa Caterina Valfurva presso Bormio. Dati in mg/l. nd= non determinato.

Tab. 17- Analyses of the mineral water spring of Santa Apollonia 1 and 2, near Ponte di Legno, and of that of the Santa Caterina Valfurva spring, near Bormio. Data in mg/l. nd= not determined.

	S. Apollonia 1 17/11/95	S. Apollonia 1 5/10/95	S. Apollonia 2 17/11/95	S. Caterina 17/11/95
Portata [l/m]	2,9	0,3	0,9	nd
T [°C]	8,0	nd	8,3	5,0
pH	6,3	6,2	6,2	6,2
C.E.S. [μS/cm]	702	720	1270	213
CO ₂ libera [mg/l]	642	593	1536	nd
Residuo [mg/l]	483	500	1045	154
Li	0,32	0,32	0,74	0,13
Na	19,2	59,1	47,3	1,9
K	4,1	5,7	8,7	3,8
Mg	22,7	30,3	39,0	10,5
Ca	60,0	66,3	150,0	31,4
Fe tot	12,1	11,8	39,5	2,0
Cl	4,8	4,7	10,7	2,5
HCO ₃	288	448	867	124
SO ₄	38,8	35,2	55,7	24,2
SiO ₂	13,8	17,3	23,1	3,1

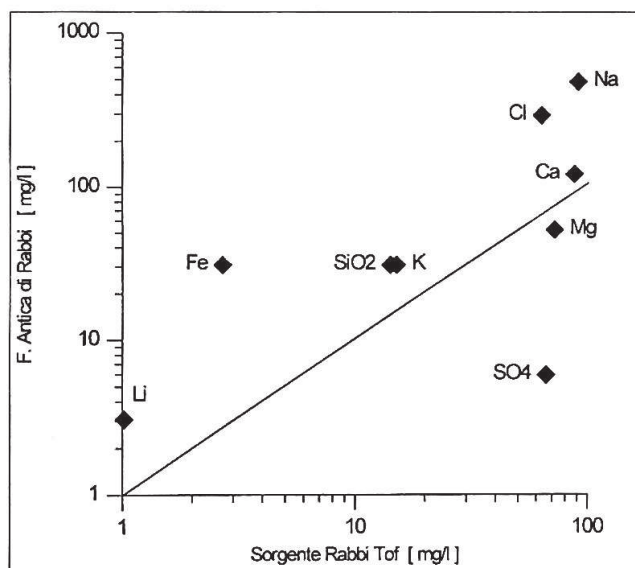


Fig. 26 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della Antica Fonte di Rabbi rispetto a quella della sorgente Tof.

Fig. 26 - Diagram showing the element contents in the water of the Antica Fonte spring at Rabbi plotted versus that of the Tof spring.

La Fig. 27 mostra il rapporto degli elementi fra le acque delle Fonti Apollonia 1 e 2. Si noti che la fonte Apollonia 2 è leggermente più mineralizzata.

6.4. Santa Caterina Valfurva

L'acqua minerale effervescente naturale si trova nel paese di Santa Caterina Valfurva, a quota 1750 m s.l.m.; essa è descritta da BONSIGNORE *et alii* (1969). Le rocce circostanti l'emergenza sono filladi e lenti di marmo del Cristallino di Campo. L'acquifero, che un tempo emergeva naturalmente,

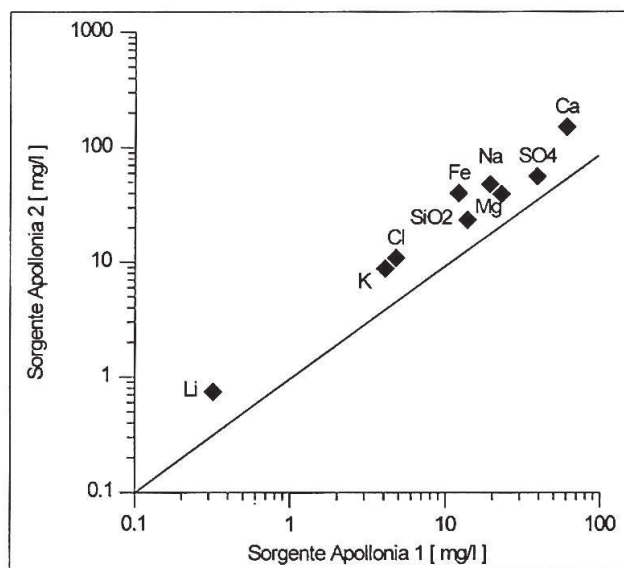


Fig. 27 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente Santa Apollonia 1 rispetto a quella della sorgente Santa Apollonia 2.

Fig. 27 - Diagram showing the element contents in the water of the Santa Apollonia 1 spring plotted versus that of the Santa Apollonia 2 spring.

fu poi interessato da un pozzo. Il locale con il pozzo è sotto il livello del piano campagna, allagato da acqua ricca in ferro che deposita fanghi rossi. La Tab. 17 riporta l'analisi chimica ed i parametri fisico-chimici di questa acqua prelevata il 17/11/1995 che risulta per il suo carico ionico molto basso probabilmente diluita da falde oligominerali. BONSIGNORE *et alii* (1969) riportano che il contenuto di anidride carbonica è di 2713 mg/l, ed un alto tenore in ferro (24,5 mg/l) e di bicarbonati (598,5 mg/l). Il tutto è ora abbandonato perché non vi è più qui, come in passato, l'uso dell'acqua minerale a scopo termale.

Il confronto fra l'acqua di Santa Caterina Valfurva, prelevata nel novembre 1995, e l'acqua Santa Apollonia 1 (Fig. 28) mostra che questa è più mineralizzata.

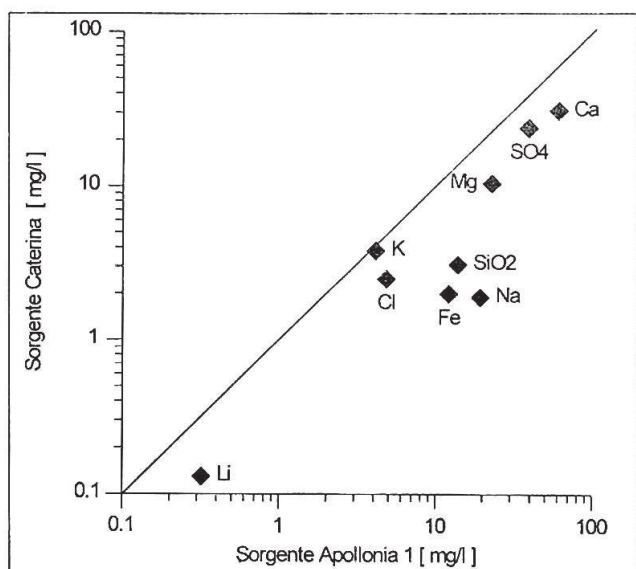


Fig. 28 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente Santa Apollonia 1 rispetto a quella della sorgente Santa Caterina.

Fig. 28 - Diagram giving the element contents in the water of the Santa Apollonia 1 spring plotted versus that of the Santa Caterina spring.

6.5. Bresimo e Rumo

La Fig. 1 mostra l'ubicazione delle acque ferruginose di Bresimo e Rumo in Val di Non. Le località sono presso la linea delle Giudicarie Nord coincidente con il lineamento Periadriatico che è diretto secondo NNE-SSW.

A Rumo le acque in questione erano usate nel passato in un stabilimento termale, trasformato ora in una casa d'abitazione. Testimonianze locali, come scritte sulle case e sulle vecchie carte topografiche, confermano questa passata attività termale. L'acqua ferruginosa emerge da due scaturigini finitime, circa a quota 1200 m s.l.m., poste nel

detrito che ricopre micascisti la cui scistosità negli affioramenti circostanti è diretta secondo N-S con immersione a ovest secondo 45°. La morfologia dei luoghi fa pensare che le acque emergano da una faglia in micascisti diretta circa N-S. La emergenza più occidentale è qui chiamata Rumo ovest, mentre quella più orientale è chiamata Rumo est. La sorgente Rumo ovest è raccolta in una piccola vasca di legno dove deposita fanghi rossi ferruginosi. La portata era di 1,3 litri al minuto il 10/8/1995. Analoga portata ha la sorgente Rumo est posta circa 30 m più ad oriente. Essa emerge spontaneamente in una depressione incanalandosi poi nel sottostante versante. La sorgente Rumo est è più ricca di ferro depositando anche un molto più abbondante sedimento ferruginoso. Le due acque di Rumo non sono effervescenti naturali, ma nella polla della Rumo est risale talora qualche bolla di gas. La Tab. 18 riporta le analisi chimiche ed i parametri fisico-chimici delle acque di Bresimo, Rumo est, Rumo ovest e di Überwasser.

A Bresimo l'acqua ferruginosa emerge da una fontana posta lungo la strada appena a monte dello stabilimento termale. La portata era il 10/8/1995 di 4 litri al minuto. Il ferro è 0,70 mg/l, mentre a Peio ed a Rabbi il contenuto è sui 20 mg/l. La conducibilità a Bresimo è 258 μ S/cm contro i circa 2000 di Rabbi. Il contenuto di anidride carbonica è sui 55 mg/l contro i 1600 mg/l di Peio e Rabbi. L'acqua di Bresimo è da definire quindi oligominerale ferruginosa, non effervescente naturale. Sembra che irrazionali ricerche abbiano causato la scomparsa delle acque ferruginose quali un tempo erano tipiche della località.

Dalla Fig. 29 si vede che le acque di Bresimo e di Rumo sono molto simili.

Tab. 18 - Analisi delle acque di Bresimo, Rumo est, Rumo ovest ed Überwasser. Dati in mg/l.

Tab. 18 - Analyses of the waters of the Bresimo, Rumo east, Rumo west and Überwasser springs. Data in mg/l.

	Bresimo 10/8/95	Rumo est 10/8/95	Rumo ovest 19/9/95	Überwasser 10/8/95
Portata [l/m]	4,0	1,5	1,3	10,0
pH	7,4	6,5	7,2	6,9
C.E.S. [μ S/cm]	258	147	122	320
CO ₂ libera	55	62	59	83
Li	0,18	0,12	0,14	0,11
Na	2,8	2,9	2,6	4,4
K	3,1	1,5	1,3	4,4
Mg	5,6	3,0	2,4	11,4
Ca	32,7	17,7	13,5	45,7
Fe tot	0,7	10,5	0,2	3,2
Cl	0,8	2,5	1,0	1,0
HCO ₃	70	62	59	32
SO ₄	77,3	27,9	30,0	65,8
SiO ₂	12,4	18,9	18,7	15,5

6.6. Überwasser

In località Überwasser nel Comune di S. Valpurga (Val d'Ultimo-Bolzano) a quota 1080 m s.l.m., emerge dai micascisti un'acqua ricca in ferro non lontano dalla linea di Peio. L'acqua era usata a scopi terapeutici fin dal diciassettesimo secolo, ma le strutture termali sono ora abbandonate. Vi è solo la raccolta dell'acqua da parte della popolazione locale. L'emergenza è sul versante destro della valle dove esiste una rudimentale

opera di presa da cui sgorga l'acqua che si perde nel sottostante detrito dove deposita fanghi rossi. L'acqua esce dai micascisti con scistosità diretta NE-SW ed immersione a SE secondo 40°. La Tab. 18 riporta l'analisi dell'acqua di Überwasser che risulta oligominerale ferruginosa, non effervescente naturale. L'acqua di Überwasser è analoga a quella di Bresimo e di Rumo (Figg. 30, 31). Si differenziano perché non effervescenti naturali da quelle di Peio, Rabbi, S. Apollonia e S. Caterina (Figg. 32, 33).

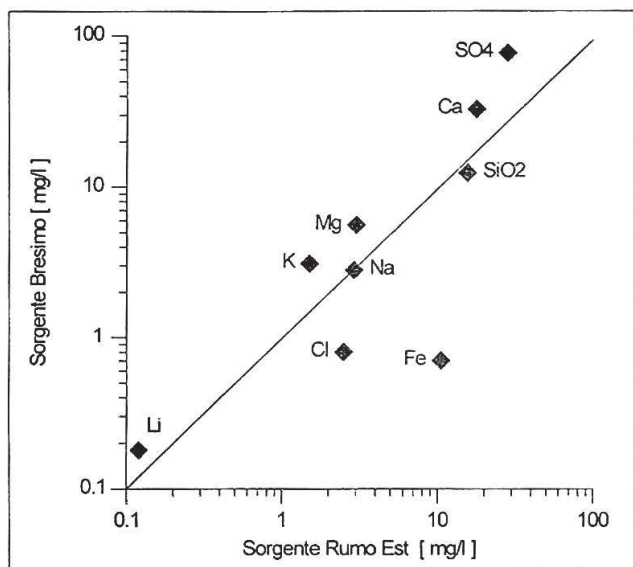


Fig. 29 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente di Bresimo rispetto a quella della sorgente Rumo Est.

Fig. 29 - Diagram giving the element contents in the water of the Bresimo spring plotted versus that of the Rumo East spring.

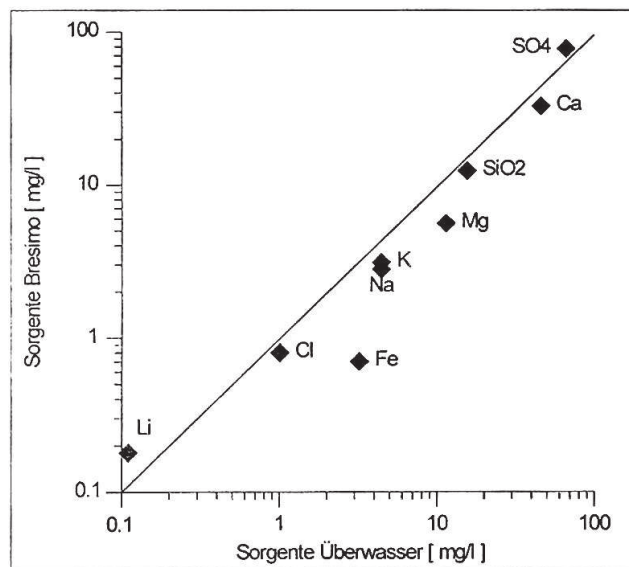


Fig. 30 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente di Bresimo rispetto a quella della sorgente Überwasser.

Fig. 30 - Diagram giving the element contents in the water of the Bresimo spring plotted versus that of the Überwasser spring.

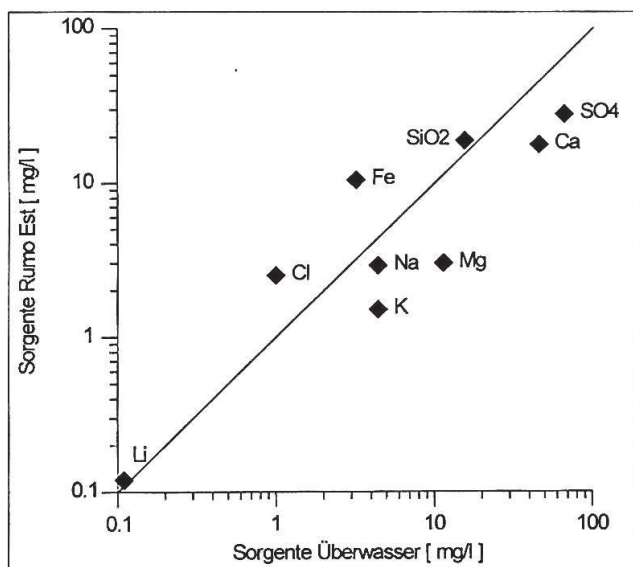


Fig. 31 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente di Rumo Est rispetto a quella della sorgente Überwasser.

Fig. 31 - Diagram giving the element contents in the water of the Rumo East spring plotted versus that of the Überwasser spring.

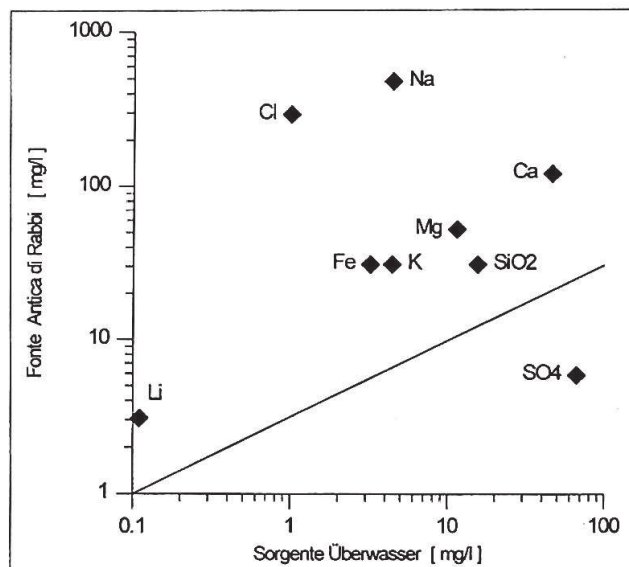


Fig. 32 - Diagramma dei contenuti di elementi nell'acqua della Fonte Antica di Rabbi rispetto a quella della sorgente Überwasser.

Fig. 32 - Diagram of the element contents in the water of the Antica Fonte spring at Rabbi plotted versus that of the Überwasser spring.

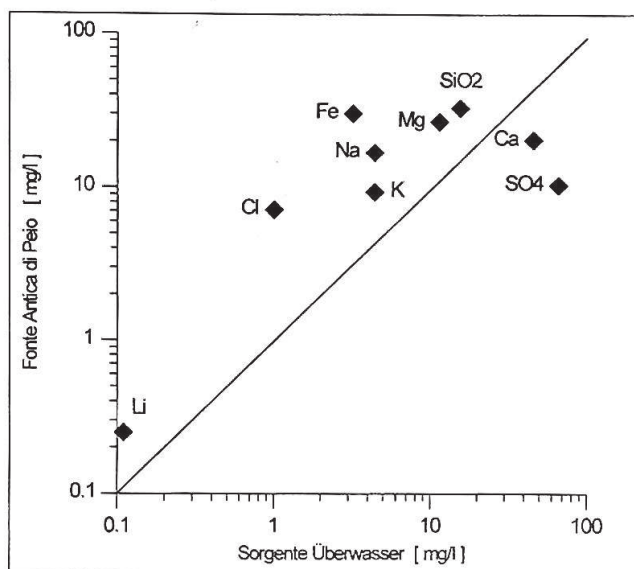


Fig. 33 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della Antica Fonte di Peio rispetto a quella della sorgente Überwasser.

Fig. 33 - Diagram giving the element contents in the water of the Antica Fonte spring at Rabbi plotted versus that of the Überwasser spring.

In Val d'Ultimo vi sono altre acque molto simili a quelle di Überwasser; ricordiamo Tauferer Bad presso Castel Leone a Cermes, Bad Lad, Staf-flerlahner Bad, Lotterbad, Bad zu Wasser e Mitterbad presso S. Pancrazio. Poco a meridione di Lana vi è anche la località Völlaner Bad presso Foiana dove passa la faglia di Foiana diretta NNE-SSW che mette a contatto le rocce magmatiche intrusive del Monte S. Croce ed i sedimenti permiani. Le cronache riportano qui presenza di acqua ferruginosa effervescente naturale, cioè con anidride carbonica come a Peio e Rabbi.

6.7. Bormio

Nella zona di Bormio (Sondrio) la faglia dello Zebrù, diretta secondo E-W ed immersa a nord di circa 60°, mette a contatto dolomie triassiche a nord con rocce metamorfiche premesozoiche a sud (Fig. 1). La situazione litologica, tettonica ed idrogeologica è ben descritta da BONSIGNORE *et alii* (1969). A Bagni di Bormio vi sono nove sorgenti carsiche, alcune note ed utilizzate fin dai tempi dell'Impero Romano, emergenti fra le quote di 1280 e 1421 m s.l.m. da dolomie triassiche in strati sub-orizzontali potenti oltre 1500 m sopra le emergenze stesse. Il fenomeno carsico è imponente. Abbondante acqua calda emerge a varie quote dalla parete dolomitica messa a nudo ora dall'erosione e corrispondente alla faglia dello Zebrù. L'acqua calda,

Tab. 19 - Analisi di tre acque calde carsiche ricche di radon (sui 2500 Bq/l) di Bormio. Riportata anche l'analisi di un'acqua carsica fredda (Grotta Fredda). Dati in mg/l.

Tab. 19 - Analyses of three warm karstic waters rich in radon (about 2500 Bq/l) of Bormio. The Grotta Fredda produces cold water of karstic origin, too. Data in mg/l.

	Bagni Romani 17/11/95	Fonte Pliniana 17/11/95	Bagni Vecchi 17/11/95	Grotta Fredda 17/11/95
T [°C]	38,5	37,2	41,1	6,6
pH	7,6	7,4	7,2	7,3
C.E.S. [μS/cm]	1160	1250	1165	280
CO ₂ libera	38	61	76	17
Residuo	1167	1292	1169	191
Li	0,42	0,35	0,41	0,10
Na	5,8	6,5	6,0	1,3
K	2,6	2,5	2,0	1,0
Mg	47,0	51,0	45,7	15,3
Ca	199,0	200,0	190,0	31,4
Fe tot	0,2	0,1	0,1	0,3
Cl	6,1	7,5	6,5	0,9
HCO ₃	172	219	159	136
SO ₄	616,4	694,9	642,0	53,2
SiO ₂	18,4	19,6	15,7	1,8

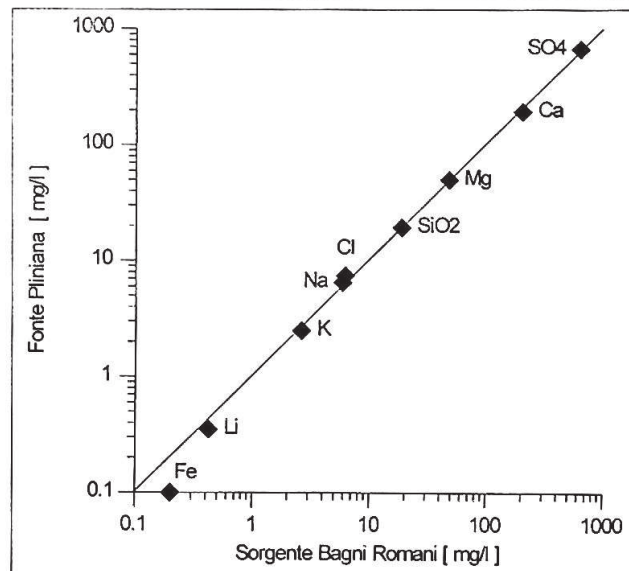


Fig. 34 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della Fonte Pliniana rispetto a quella della sorgente Bagni Romani di Bormio.

Fig. 34 - Diagram giving the element contents in the water of the Fonte Pliniana spring plotted versus that of the Bagni Romani spring at Bormio.

scendendo con cascate verso il fondovalle, deposita travertino sulle pareti rocciose subverticali. Le acque calde (37-41 °C) prelevate ed analizzate sono quelle delle sorgenti Bagni Romani, Fonte Pliniana e Grotta Bagni Vecchi. All'interno di questa grotta è captata anche un'acqua fredda (7 °C) chiamata sorgente Grotta Fredda. Le analisi sono date in Tab. 19. Le tre acque calde minerali sono molto simili. La quasi identica composizione delle acque suggerisce l'idea che le tre principali acque calde sono emergenze di uno stesso circuito idrico (Fig. 34).

L'acqua della Grotta Fredda è oligominerale ed ha una temperatura di 7 °C. Essa non penetra in profondità avendo un circuito superficiale. La Fig. 35 mostra infatti che le acque calde della sorgente Bagni Romani sono più mineralizzate di quelle fredde della sorgente Grotta Fredda. Il basso contenuto di anidride carbonica delle acque calde e fredde è tipico delle acque carsiche dell'area trentina dove l'apporto di anidride carbonica proviene solo dall'atmosfera e dal suolo (FUGANTI & DEFRANCESCO, 1997). A Bormio manca l'apporto di anidride carbonica dalle profondità geologiche, come a Peio, Rabbi, S. Apollonia, S. Caterina dove l'acqua contiene da 1300 a 1800 mg/l di questo gas, contro i 17-76 mg/l di Bormio. Le acque calde di Bormio contengono invece molto radon (sui 2500 Bq/l) contro i circa 50 Bq/l di radon presenti sia alla Antica Fonte di Peio sia a quella di Rabbi.

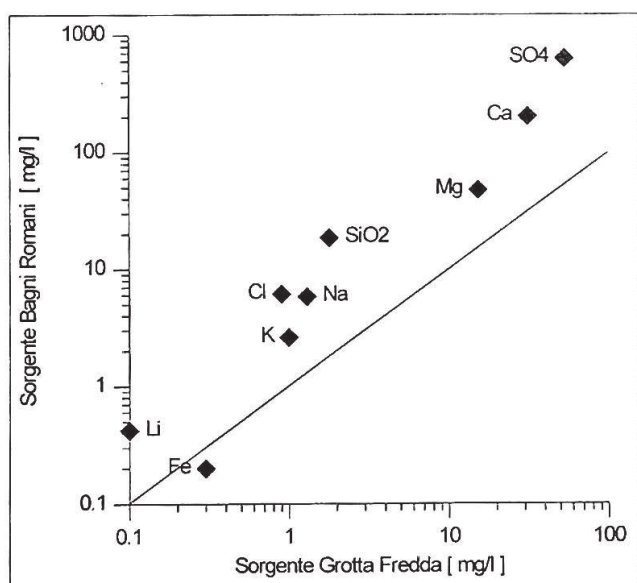


Fig. 35 - Diagramma mostrante i contenuti di elementi nell'acqua della sorgente Bagni Romani rispetto a quella della sorgente Grotta Fredda.

Fig. 35 - Diagram giving the element contents in the water of the Bagni Romani spring plotted versus that of the Grotta Fredda spring.

6.8. Gas contenuti nelle acque minerali

La Tab. 20 contiene l'analisi di tre campioni di gas prelevati dalle acque della sorgente Antica Fonte di Rabbi, della fontana di mescita della Antica Fonte di Rabbi e della fontana di mescita della Antica Fonte di Peio. Il gas nettamente prevalente è l'anidride carbonica.

Usando i criteri di PENTCHEVA (1989) si può valutare l'età della fase gassosa che satura le acque effervescenti naturali di Peio e di Rabbi sulla

base del rapporto fra elio ed argon. La fase gassosa raccolta alla Antica Fonte di Rabbi ha 790000 anni, mentre quella alla Antica Fonte di Peio ha 130000 anni.

Tab. 20 - Analisi dei gas contenuti nelle acque minerali effervescenti naturali di Rabbi e di Peio espressi in volumi per cento.

Tab. 20 - Gas analyses of in the natural sparkling mineral waters of Rabbi and Peio in vol. %.

	Antica Fonte di Rabbi 5/12/94	Antica Fonte di Rabbi 10/4/95	Antica Fonte di Peio 10/4/95
CO ₂	98,0	87,0	86,0
N ₂	2,5	8,2	12,6
O ₂	0,56	2,0	1,9
Ar	0,03	0,09	0,18
H ₂	0,01	< 0,01	0,01

7. FANGHI ROSSI E TRAVERTINI

Le sorgenti dell'area studiata depositano attorno alla loro emergenza:

- fanghi rossi ricchi di ferro a Peio Fonti (Antica Fonte e S. Camillo), Fontanino di Peio, Fontanino di Celentino, Val Taviela, miniera di Celentino, Antica Fonte di Rabbi, Rabbi Tof, Fontanino di Rabbi, S. Apollonia, S. Caterina, Rumo, Bresimo e Überwasser;

- travertini a Rabbi Tof, presso Rabbi Terme, a Bormio ed alla miniera di Celentino.

La sedimentazione avviene per il cambiamento delle condizioni chimico-fisiche di equilibrio quando le acque, uscendo dalle rocce, vengono a contatto con l'ambiente esterno. Per la spiegazione del fenomeno si veda APPELO & POSTMA (1993).

La Tab. 21 riporta le analisi dei fanghi rossi depositi dalla Antica Fonte di Peio, dall'acqua di scolo della galleria di Val Taviela, dall'acqua di scolo della miniera di pirite di Celentino, dalla Antica Fonte di Rabbi, dalla sorgente Rabbi Tof, dalla sorgente Rumo est, dalla sorgente S. Apollonia e dall'acqua di S. Caterina come pure dei travertini depositi dalle acque a Rabbi Tof e Rabbi Terme. La silice nei fanghi rossi è presente in percentuali comprese dal 3 al 46%. I fanghi rossi più tipici, senza certo apporto detritico, hanno valori di SiO₂ fra il 3 ed il 13%. Il contenuto di Al₂O₃ è compreso fra 0.28 ed il 11%, mentre il Fe₂O₃ varia fra il 25 ed il 67%. Il CaO è abbondante (18%) solo alla miniera di Celentino perché l'acqua di scolo passa attraverso marmi bianchi presenti nella miniera. Gli ossidi di sodio e potassio sono sotto il 2%. La perdita

Tab. 21 - Analisi dei fanghi rossi (FR) e dei travertini (TR) depositi dalle differenti acque minerali. LOI= Perdita al fuoco.
 Tab. 21 - Analyses of red muds (FR) and travertines (TR) deposited by the different mineral waters. LOI= Loss of ignition.

	Antica Fonte Peio FR	Galleria Val Taviola FR	Miniera Celentino FR	Antica Fonte Rabbi FR	Rabbi Tof FR	Rumo Est FR	Santa Apollonia FR	Santa Caterina FR	Rabbi Tof TR	Rabbi 2 Terme TR
<i>Elementi maggiori in [%]</i>										
SiO ₂	46,7	25,1	10,7	3,41	13,7	32,8	4,92	45,7	0,53	4,62
TiO ₂	0,592	0,475	0,047	<0,001	0,187	0,416	0,03	0,629	0,006	0,060
Al ₂ O ₃	10,2	5,67	0,63	0,28	2,9	7,75	0,36	11,7	0,04	1,02
Fe ₂ O ₃	25,2	51,6	33,1	66,9	58,6	31,8	65,9	30,2	0,03	0,54
MnO	0,09	0,21	0,68	0,03	0,06	0,93	0,04	0,14	<0,01	<0,01
MgO	1,25	0,71	0,35	0,31	0,56	1,17	0,11	1,62	1,93	0,44
CaO	1,58	0,98	18,7	7,66	2,01	1,7	3,96	1,48	51,0	49,8
Na ₂ O	1,28	0,50	0,15	0,74	0,47	1,21	0,1	1,18	0,07	0,17
K ₂ O	1,57	0,93	0,14	0,08	0,57	1,62	0,05	2,11	<0,01	0,16
P ₂ O ₅	0,42	0,18	0,18	2,67	0,28	0,73	1,55	0,21	0,03	0,02
LOI	11,4	13,8	34,5	17,9	21	20,1	23,4	5,3	45,8	43,6
Totale	100,4	100,2	99,4	100,5	100,5	100,3	100,6	100,4	99,8	100,5
<i>Elementi minori in [ppm]</i>										
Ag	0,3	0,3	1,5	0,4	<0,2	1,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
As	250	31	1	43	13	7	94	920	<1	<1
Au	0,006	<0,002	<0,002	0,032	0,028	0,018	0,005	0,028	0,002	0,003
B	25	34	78	363	185	14	20	50	32	<10
Ba	541	332	352	3430	527	576	1150	636	125	58
Be	9	2	11	91	43	3	<1	3	<1	<1
Br	3	2,7	24	8,4	8,3	12	4,1	8,1	26	73
Cd	<1	12	<1	26	16	<1	<1	<1	<1	<1
Co	6,9	27	11	1,5	3,4	11	1,8	19	1,9	3,9
Cr	58	37	7,4	22	43	41	10	83	19	77
Cs	5,3	3,3	1	4,5	4,6	3	<0,5	5,6	0,8	0,6
Cu	918	49,8	11,1	148	32,1	19,7	<0,5	99	<0,5	<0,5
Ge	<10	<10	<10	<10	68	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	2,9	2	<0,2	<0,2	0,8	2,4	<0,2	3,6	<0,2	0,7
Mo	3	<2	<2	2	<2	2	6	6	<2	<2
Nb	15	17	<10	<10	26	<10	16	14	<10	<10
Ni	14	27	9	<1	5	34	<1	53	<1	8
Pb	100	35	19	45	37	31	22	73	11	2
Rb	47	24	<10	<10	12	45	17	84	<10	<10
Sb	1,3	0,6	<0,1	0,1	0,6	0,1	0,7	4,8	0,1	0,1
Sc	15,0	8,1	1,4	9,3	15,1	6,6	0,4	10,8	0,1	1,1
Se	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	120	83	1240	1150	144	137	517	122	2770	408
Ta	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	<0,5
Th	7,8	4,9	0,5	0,2	2,8	5,1	<0,2	10	<0,2	0,9
U	3,3	2,5	0,6	0,6	3,5	1,6	0,7	4	0,4	0,8
V	103	80	23	78	73	65	30	101	<2	7
W	2	<1	3	<1	2	3	1	3	<1	1
Y	98	99	25	140	289	17	17	38	<10	<10
Zn	76,7	145	42,3	33,6	73,1	69	580	204	6,9	61,2
Zr	141	141	22	23	101	116	18	128	<10	<10
La	65	184	6	31	55	17	8	58	0,3	3,4
Ce	127	354	12	62	116	34	13	100	<1	6
Nd	62	156	6	31	65	14	6	37	<3	3
Sm	13	29	1,3	6,3	14,9	2,6	0,9	6	0,02	0,52
Eu	2,9	5,6	0,5	1,8	6,2	0,8	0,2	1,2	0,08	0,19
Tb	2,2	3	0,2	1	3,9	0,3	<0,1	0,7	<0,1	<0,1
Yb	6,6	5,8	1,2	6,9	16,6	1,5	0,3	2,8	<0,05	0,28
Lu	1	0,8	0,2	1,2	2,6	0,2	0,05	0,4	<0,01	0,05

al fuoco (LOI nella tabella 21) è compresa fra il 5 ed il 34%. I fanghi analizzati avevano variabili percentuali di acqua secondo le circostanze di raccolta. Valori oltre i 100 ppm sono da evidenziare per ittrio, zirconio, bario (3430 ppm alla Antica Fonte di Rabbi), arsenico, lantanio, cerio, neodimio, zinco, boro, vanadio, rame, piombo. Molti elementi hanno valori compresi fra 100 e 10 ppm, come ad esempio rubidio, niobio, scandio, cromo, cobalto, bromo, nickel, cadmio. È da notare che l'oro è presente sui 30 ppb alle due fonti di Rabbi ed a Santa Caterina. Uranio e torio hanno valori massimi di soli 10 ppm.

Nei travertini, composti prevalentemente da carbonato di calcio, il CaO raggiunge il 50%. Il contenuto di Sr raggiunge 3000 ppm, quello di Ba 125 ppm, quello di Cr 77 ppm e quello di Zn 70 ppm. I due travertini sono molto differenti per i loro contenuti in elementi di traccia.

8. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Vi sono strette relazioni fra i minerali delle rocce (micascisti) e gli elementi presenti nelle acque la cui abbondanza è condizionata dall'anidride carbonica, dalla temperatura dell'acqua e dalla profondità del circuito; ciò in accordo con la letteratura, ed in particolare con FUGANTI *et alii* (1995; 1997) che studiarono con le stesse metodologie le acque effervescenti naturali del Vulture (Potenza) e della Boemia occidentale attorno a Karlovy Vary.

Le acque fredde effervescenti naturali più significative dell'area di Peio sono acque leggermente mineralizzate secondo la classificazione della direttiva 80/777/CEE del Consiglio delle Comunità Europee (1980). L'acqua fredda della Fonte Alpina di Peio contiene pochissima anidride carbonica ed è minimamente mineralizzata. Essa ha anche un circuito più superficiale delle altre acque. In tutte le acque fredde di Peio prevale, fra i cationi, il calcio seguito da sodio, ferro, magnesio, potassio. Fra gli anioni è prevalente l' HCO_3 seguito dai solfati. L'acqua di scolo della miniera di Celentino è effervescente naturale ed è particolarmente ricca di calcio e di solfati; fra i micascisti vi sono infatti lenti di marmi e piriti. Essa è più calda delle altre acque di Peio, ma ciò è probabilmente determinato dai processi di trasformazione della pirite.

Le acque fredde effervescenti naturali di Rabbi circolano in micascisti e metapegmatiti; hanno un residuo fisso nettamente maggiore e sono classificabili come acque ricche di sali, sempre secondo la classificazione europea del 1980. A Rabbi prevale

nettamente il sodio; seguono fra i cationi calcio, magnesio, potassio, ferro. Fra gli anioni sono prevalenti HCO_3 , seguiti da cloruri e da ben distanziati solfati. Alla Antica Fonte di Rabbi vi è abbondanza di boro; ciò è probabilmente connesso con l'originario sedimento, la cui ricchezza in boro ha determinato, durante il metamorfismo, la genesi della tormalina, che caratterizza anche la metapegmatite, da cui l'acqua sgorga.

Non vi sono variazioni litologiche e differenti contenuti di anidride carbonica fra la zona di Peio e la zona di Rabbi. A Rabbi le acque hanno probabilmente un circuito più profondo e più lungo e da ciò la spiegazione della maggior presenza di elementi nell'acqua.

Le acque fredde effervescenti naturali di Santa Apollonia e di Santa Caterina Valfurva si trovano in situazioni geologiche e con caratteristiche simili alle acque di Peio e di Rabbi. Le acque fredde non effervescenti di Bresimo, Rumo ed Überwasser circolano ed escono dai micascisti presenti anche a Peio ed a Rabbi; esse sono acque classificabili al limite fra le acque minimamente e leggermente mineralizzate, pur avendo un significativo contenuto e sapore di ferro. Il calcio prevale sul magnesio, sul sodio e sul potassio. Fra gli anioni significative sono le presenze di HCO_3 e di solfati.

A Bormio vi sono acque che circolano in circuiti carsici dolomitici. Le acque calde, con circuito profondo, sono ben mineralizzate, mentre le acque fredde, con circuito superficiale, sono poco mineralizzate. Le acque calde (attorno a 40 °C) hanno un residuo a 180 °C attorno a 1200 mg/l, mentre le acque fredde (attorno a 7 °C) hanno un residuo attorno a 190 mg/l. Prevale sempre il calcio seguito dal magnesio; irrilevanti sono i contenuti di sodio e di potassio.

Di interesse è il confronto fra le acque carsiche di Bormio e le acque di sette sistemi carsici dei dintorni di Trento (FUGANTI & DEFRESCO, 1997), dove vi sono acque fredde (8-10 °C) ed acque sui 24-27 °C (Comano e Rocchetta). Tutte le acque carsiche dei dintorni di Trento hanno un residuo fisso a 180 °C compreso fra 215 e 400 mg/l; sono quindi acque leggermente mineralizzate. Da quanto sopra riportato sembrerebbe che l'acqua carsica si presenta ben mineralizzata solo quando la temperatura è elevata ed il circuito è profondo. Questo concetto è confermato anche dalla situazione presente a Karlovy Vary (FUGANTI *et alii*, 1997) dove vi sono acque molto calde (50-70 °C) sgorganti da faglie nel granito; le acque hanno residui sui 6000 mg/l avendo un riconosciuto circuito profondo.

Il contenuto di radon (circa 2500 Bq/l) a Bormio è ben lontano da quello rilevabile per

esempio nelle acque con radon (12000 Bq/l) della miniera di uranio di Jachymov nella Repubblica Ceca (FUGANTI, 1996). Acque con radon (1400 Bq/l) sono presenti anche a Merano (Fig. 1), dove sono raccolte da una galleria drenante entro ortogneiss, che hanno un contenuto non anomalo di minerali radioattivi, ma hanno una favorevole giacitura della scistosità per la risalita del radon che si mescola con l'acqua che scende lungo la stessa scistosità, permettendo il mescolamento (FUGANTI, 1996). L'abbondanza di radon nelle acque calde carsiche di Bormio è da ritenere dovuta alla profondità del circuito carsico ed alla vicinanza della grande faglia regionale che permette la risalita del radon.

I contenuti di deuterio e di ossigeno 18 delle acque della Antica Fonte di Peio, del Fontanino di Peio, del Fontanino di Celentino, della Antica Fonte di Rabbi e del Fontanino di Rabbi indicano che esse provengono dallo scioglimento delle nevi ad alte quote (MORTEANI & FUGANTI, 1998).

I contenuti di trizio variano fra 11 U.T. (Antica Fonte di Rabbi) a 20,3 U.T. (Fontanino di Celentino). Attorno a 16 U.T. sono i contenuti di trizio al Fontanino di Peio e di Rabbi. I valori fra 11 e 20 U.T. indicano che le acque hanno circuito superficiale e veloce condizionato dallo scioglimento della neve che influenza vistosamente le portate. Il valore di 11 U.T. indica che vi è anche una componente acquifera che circola più in profondità e più lentamente (MORTEANI & FUGANTI, 1998).

L'origine della anidride carbonica e dell'acqua effervescente naturale è stata studiata e discussa da MORTEANI & FUGANTI (1998) che in base ai contenuti del carbonio 13 e della situazione geologica ritengono che l'anidride carbonica contenuta nelle acque di Peio e Rabbi provenga da rocce carbonatiche (marmi) disciolte in profondità da acque piovane che penetrano lentamente per la presenza di fratture beanti per la tettonica attiva su scala regionale. Alla dissoluzione dei marmi in profondità segue la risalita dell'anidride carbonica lungo fratture

beanti ed il mescolamento con le acque attuali generando le acque minerali effervescenti naturali. Esistono così due cicli: uno profondo e lungo che genera l'anidride carbonica ed uno superficiale e breve che genera le acque effervescenti come miscela del gas che risale e dell'acqua che scende. Questa situazione è possibile per la presenza della tettonica attiva, fenomeno di carattere regionale, confermata dai terremoti. Tale connessione ha conferma a livello globale (IRWIN & BARNES, 1980).

L'importanza della geologia regionale nella genesi delle acque minerali effervescenti naturali è confermata anche dagli studi eseguiti da JAFFE *et alii* (1976) e da SCHOTTERER *et alii* (1987) per la Svizzera, da FUGANTI *et alii* (1997) per la Boemia attorno a Karlovy Vary (Karlsbad) e da MAY *et alii* (1996) per il Massiccio Renano a cavallo del fiume Reno, appena a sud di Colonia. In tutte le aree risulta importante la tettonica attiva con i relativi piani di tensione che facilitano i movimenti delle acque e dei gas.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo tutti quelli che hanno collaborato alla buona riuscita del lavoro ed in particolare Adolfo di Corrado e Livio Zottele (Laboratorio Materie Prime, Dip. di Ingegneria dei Materiali dell'Università di Trento) che hanno eseguito le analisi delle acque date nelle tabelle 3, 5, 6, 8-11, 13, 15, 17-19. Le analisi delle tabelle 4, 14, 16, 19 e 20 sono state fornite dagli enti termali di Peio e Rabbi ed eseguite dagli organi di controllo della Provincia Autonoma di Trento che ringraziamo cordialmente. Le analisi delle tabelle 1, 12 e 20 sono state fatte dalla Technische Universität München e quella della tab. 2 dal laboratorio X-RAL (Canada) per conto del Dip. di Ingegneria dei Materiali dell'Università di Trento. Quelle della tab. 7 sono state eseguite dal dott. Giancarlo Lorenzoni della Provincia Autonoma di Bolzano che pure ringraziamo. Ringraziamo anche Ulrike Bauer e Thomas Herzog per le elaborazioni grafiche.

SUMMARY - The natural sparkling mineral waters of Peio (4 springs), Rabbi (3 springs), Santa Apollonia (2 springs) and Santa Caterina Valfurva (1 spring) are found in a complicated sequence of micaschists, phyllites, marbles and intrusive rocks all belonging to the geological units of the Tonale-Ultimo and Campo Crystalline (Austroalpine nappes). Active tectonics with earthquakes produced N-S and NW-SE tension faults which act now as channels for the CO₂. Isotope data and geology suggest that the CO₂ found in these mineral waters is produced in depth by the dissolution of carbonate rocks, as found in the metamorphic country rocks, by circulating rain water. On its way to the surface the CO₂ enters in the upper aquifers producing the natural sparkling mineral waters. The waters of Bresimo, Rumo and Überwasser are rich in iron, but with low TDS. The warm and the cold mineral waters of Bormio, rich in radon, are of karstic origin. With exploratory wells based on geological and geochemical data and the ideas given in this paper a significant quantity of new natural sparkling mineral water has been found, in 1996, at the spa of Peio Fonti (Trento).

RIASSUNTO - Le acque minerali effervescenti naturali di Peio (4 sorgenti), di Rabbi (3 sorgenti), di Santa Apollonia (2 sorgenti) e di Santa Caterina Valfurva (1 sorgente) sgorgano da una complicata sequenza di micascisti, filladi, marmi e rocce intrusive varie appartenenti alle unità geologiche Tonale-Ultimo e Cristallino di Campo (Austroalpi). Nell'area di studio è presente una tettonica attiva con terremoti con piani di tensione diretti da N-S e NW-SE attraverso i quali risale l'anidride carbonica. I dati geologici ed isotopici indicano che la CO₂ presente in queste acque minerali è prodotta per la dissoluzione di rocce carbonatiche (marmi) che si trovano intercalate alle altre rocce metamorfiche. Questa dissoluzione avviene da parte di acque piovane che sono penetrate in profondità. L'anidride carbonica che risale lungo le fratture di tensione dalle profondità e si mescola negli acquiferi superficiali con acque attuali, o quasi, dando così luogo ad acque minerali effervescenti naturali. Le acque di Bresimo, Rumo e Überwasser hanno scarsa mineralizzazione e sono ricche solo di ferro. A Bormio vi è acqua minerale calda di origine carsica ricca di radon. Il circuito carsico in dolomie è molto profondo. Nel 1996 sono state ritrovate in base ad indagini geologiche e geochemiche a Peio abbondanti acque minerali effervescenti naturali mediante sondaggi profondi 40 m.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREATTA C., 1948 - La linea di Peio nel massiccio dell'Ortles e le sue miloniti. *Acta Geol. Alpina*, 1, pp. 1-63.
- ANDREATTA C., 1954 - La Val di Peio e la catena Vioz-Cevedale. Studio geo-petrotettonico e minerario di una parte del massiccio dell'Ortles. *Acta Geol. Alpina*, 5, pp. 4-337.
- APPELO C.A.J. & POSTMA D., 1993 - Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema ed., p. 536, Rotterdam.
- BONSIGNORE G., BORGO R., GELATI A., MONTRASIO A., POTENZA R., POZZI R., RAGNI U. & SCHIAVINATO G., 1969 - Note illustrative della carta geologica d'Italia, 1:100.000, foglio 8, Bormio. *Servizio Geol. d'Italia*, p. 116, Roma.
- CASTELLARIN A., FESCE A.M., PICOTTI V., PINI G.A., PROSSER G., SARTORI R., SELLI L., CANTELLI L. & RICCI R., 1988 - Structural and kinematic analyses of the Giudicarie deformation belt. Implication for compressional tectonics of the Southern Alps. *Miner. Petrog. Acta*, 30, pp. 287-310.
- CASTELLARIN A., 1994 - L'architettura geologica in Là dove nasce il Garda. Cierre ed., pp. 15-34, Verona.
- CONSIGLIO DELLE COMUNITÀ EUROPEE, 1980 - Direttiva del Consiglio del 15 luglio 1980 in materia di riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri sull'utilizzazione e la commercializzazione delle acque minerali naturali (80/777/CEE). *Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee*, 30.8.80, N.L. 229/1 - 229/8.
- FUGANTI A. & MORTEANI G., 1965 - Analisi strutturale del gruppo montuoso della Paganella (Trento) e relazioni fra assi B alpini e bacini sedimentari mesozoici e terziari nel Trentino. *Studi Trent. Sci. Nat.*, s. A, v. XLII, n. 2, pp. 367-380.
- FUGANTI A., DEFRANCESCO F., SIGILLITTO V., BAZZOLI G.F., MORTEANI G., BULGARELLI G., FESTA A. & GUERRASIO G., 1995 - Genesi e caratteristiche delle acque minerali effervescenti naturali nell'area Gaudianello, Monte Vulture (Potenza). *La Rivista di Scienza dell'Alimentazione*, 24, pp. 89-129.
- FUGANTI A., 1996 - L'origine delle acque minerali naturali con particolare riferimento all'area di Merano. Convegno "Per un percorso termale europeo". Merano, 24-26 ottobre 1996, (atti in stampa).
- FUGANTI A., MORTEANI G., PECEK J., DEFRANCESCO F. & BAZZOLI G.F., 1997 - Caratteristiche e genesi delle acque minerali effervescenti naturali fredde e calde di Kyselka e dintorni (Karlovy Vary, Repubblica Ceca). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 71 (1994), pp. 107-144.
- FUGANTI A. & DEFRANCESCO F., 1997 - Confronti fra le rocce e le acque sotterranee di sette sistemi carsici dei dintorni di Trento. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 72 (1995), pp. 92-115.
- IRWIN W.P. & BARNES I., 1980 - Tectonic relations of carbon dioxide discharges and earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 85, pp. 3115-3121.
- JAFFE F.C., RYBACH L. & VUATAZ F., 1976 - Thermal springs in Switzerland and their relation to seismo-tectonic features. International Congress on Thermal Water, Geothermal Energy and Vulcanism of the Mediterranean Area, Proceedings, 1, pp. 275-285, Athens.
- MAY F., HOERNES S. & NEUGEBAUER H.J., 1996 - Genesis and distribution of mineral water as a consequence of recent lithospheric dynamics: the Rhenish Massif, Central Europe. *Geol. Rundsch.*, 85, pp. 782-799.
- MARTIN S. & PROSSER G., 1991 - La linea di Peio e le sue relazioni cinematiche con le linee del Tonale e delle Giudicarie. *Rend. Soc. Geol. It.*, 14, pp. 79-82.
- MORTEANI G. & FUGANTI A., 1998 - Il ciclo geochemico dell'anidride carbonica e sua origine nelle acque minerali effervescenti naturali di Peio e Rabbi (Trento). *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Geol.*, 73 (1996), pp. 117-124.
- OGNIBEN L., 1985 - Relazione sul modello geodinamico "conservativo" della regione italiana. Enea ed., pp. 357, Roma.
- OGNIBEN L., 1987 - Modello geodinamico della regione trentina ed aree circostanti. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 63, p. 165.
- PANIZZA M., SLEYKO D., BARTOLOMEI G., CARTON A., CASTALDINI D., DEMARTIN M., NICOLICH R., SAURO U., SEMENZA E. & SORBINI L., 1981 - Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda ed il Monte Grappa. *Rend. Soc. Geol. Ital.*, 4, pp. 587-603.
- PENTCHEVA E.N., 1989 - Sur l'hélium des hydrothermes profonds. Rapports XXIV Congrès Intern. de Technique Hydrothermale, pp. 46-58, Evicen.

- SANDER B., 1948 - Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. Erster Teil: Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. Springer Verlag, p. 215, Wien.
- SANDER B., 1950 - Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. Zweiter Teil: Die Korngefüge. Springer Verlag, p. 409, Wien.
- SCHOTTERER U., SIEGENTHALER U., OESCHGER H., RIESEN T., MÜLLER I. & KELTS K., 1987 - Isotopic geochemistry of the Engadina mineral springs of Scuol Taraps, Switzerland. International Symposium on the Use of Isotopic Techniques in Water Resources Development, Proceedings, pp. 277-28, Vienna.
- SLEJKO D., 1989 - Sismica attuale nell'area benacense. Il rischio sismico nel Bresciano. Raniperto ed., pp. 31-39, Brescia.
- WERLING E., 1992 - Tonale-Peio und Judicarien Linie: Kinetik, Mikrostrukturen und Metamorphose von Tektoniten aus räumlich interferierenden aber verschiedenaltigen Verwerfungszonen. Diss. ETH Zürich No. 9923, p. 290, Zürich.
- ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U., 1982 - Evoluzione tettonica dell'Italia nord-orientale. *Mem. Sc. Geologiche Padova*, 35, pp. 355-376.

Lavoro pervenuto nel febbraio 1998.