

ANDREA FUGANTI, GIULIO MORTEANI, GIANFRANCO BAZZOLI,
SAVERIO COCCO, ERNESTO SANTULIANA, MARCO VISINTAINER

L'ARSENICO NELLE ROCCE, NELLE ACQUE
SUPERFICIALI E NELLE ACQUE SOTTERRANEE
DELLA VALLE DELL'ADIGE FRA
MEZZOLOMBARDO E MATTARELLO E PRESSO
ROVERÉ DELLA LUNA (TRENTO)

ABSTRACT - FUGANTI A., MORTEANI G., BAZZOLI G., COCCO S., SANTULIANA E.,
VISINTAINER M., 2005 - Arsenic in the rocks, the rivers and the groundwater of the
Adige Valley between Mezzolombardo and Mattarello and near Roverè della Luna
(Trento, Northern Italy).

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 255, 2005, ser. VIII, vol. V, B: 59-94.

The chemical composition of the rocks, the surface water, the water of karst springs and of the upper and lower aquifer of two sections of the Adige Valley have been investigated. The first section of 15 km in length is found between Mezzolombardo and Matterello, the second section encompasses the area of the village of Roverè della Luna near the province border between Bolzano and Trento in the Adige Valley. The main interest was to determine the arsenic content of the rocks and in the water. In this context the area was geologically mapped and characterized from a hydrological point of view. In addition to the chemical analyses of the rocks also the isotope composition of the water was determined. In some cases the arsenic content in the rocks was 10.000 times higher than in the water. The rocks with the highest arsenic contents have been deposited in a marine coastal environment or shallow sea. The highest arsenic contents have been found in volcanic rocks. The arsenic contents in the water are produced by leaching of the rocks. The lowest arsenic contents are found in the water of karst springs, in surficial water and in the upper aquifer where the arsenic contents are usually less than 10 µg/l. The highest arsenic contents are found in the deep aquifer of the Adige Valley with values up to 56 µg/l. These differences in arsenic contents are due to the fact that the surficial water is oxygen rich whereas the deep seated water is reducing and accumulates the heavy metals including arsenic. In the area of Roverè della Luna higher arsenic contents are also found in the upper aquifer where the alluvial sediments forming the aquifer contain peat levels.

KEY WORDS - Adige Valley, Province of Trento, Arsenic, Rocks, Surficial water, Aquifer.

RIASSUNTO - FUGANTI A., MORTEANI G., BAZZOLI G., COCCO S., SANTULIANA E., VISINTAINER M., 2005 - L'arsenico nelle rocce, nelle acque superficiali e nelle acque sotterranee della Valle dell'Adige fra Mezzolombardo, Mattarello e presso Roveré della Luna (Trento).

Sono state studiate dal punto di vista geochimico le rocce, nonché le acque superficiali, le acque di subalveo, le acque di sorgenti carsiche, le acque dell'acquifero superficiale semiconfinato e le acque delle falde confinate profonde di due tratti della Valle dell'Adige in Provincia di Trento. Il tratto più esteso è fra Mezzolombardo e Mattarello, diretto nord-sud per circa 15 Km. L'altro tratto è la Valle dell'Adige all'altezza del paese di Roveré della Luna presso il confine con la Provincia di Bolzano. L'obiettivo principale riguarda i contenuti di arsenico delle rocce e delle acque. Per valutare tale aspetto sono stati eseguiti rilievi geologici ed idrogeologici di campagna, analisi chimiche delle rocce nonché analisi fisico-chimiche ed isotopiche delle acque. È stato riscontrato che il contenuto di arsenico nelle rocce è circa 10.000 volte maggiore che nelle acque. Nelle rocce il contenuto maggiore di arsenico è in quelle di ambiente marino costiero e di mare poco profondo. Mentre è irrilevante il contenuto di arsenico nell'ambiente marino di scogliera e nelle rocce di mare profondo. Significativi sono i contenuti di arsenico nelle rocce vulcaniche. L'arsenico nelle acque deriva dalla lisciviazione di detto elemento dalle rocce del bacino. Il minor contenuto di arsenico è nelle acque carsiche e nelle acque superficiali e della falda semiconfinata superiore (con contenuti normalmente inferiori a 10 µg/l), mentre il maggior contenuto è presente nelle falde profonde dove si raggiungono contenuti di arsenico fino a 56 µg/l. La spiegazione della forte differenza di contenuto di arsenico è connessa con l'ambiente ossidante superficiale e quello riducente profondo dove vi è accumulo di molti metalli. Nella zona di Roveré della Luna si evidenzia la presenza di arsenico nelle falde superficiali dove i sedimenti alluvionali attraversati contengono livelli torbososi ricchi di arsenico.

PAROLE CHIAVE - Valle dell'Adige, Provincia di Trento, Arsenico, Rocce, Acque superficiali, Acque sotterranee.

1. PREMessa

Nell'area della Provincia Autonoma di Trento molte acque per il consumo umano hanno significativi contenuti di arsenico, spesso oltre la norma di legge che corrisponde a 10 µg/l. Il progetto Arge Alp riguardante l'origine dell'arsenico nelle acque per il consumo umano, gestito dall'Università di Trento, ha trovato nel Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento e nella Trentino Servizi S.p.A., che gestisce anche la raccolta e la distribuzione delle acque potabili alla città di Trento e dintorni, una fattiva collaborazione per unificare le competenze e le esperienze, al fine di una più ampia conoscenza sulla genesi e sui contenuti dell'arsenico nelle rocce e nelle acque del tratto di valle dell'Adige fra Mezzolombardo e Mattarello, nonché a Roveré della Luna, comune posto più a nord al confine con la Provincia Autonoma di Bolzano.

La caratterizzazione delle acque è stata fatta fra febbraio e marzo 2004 al passaggio dall'inverno alla primavera, intervallo di tempo in cui le acque sono più rappresentative della situazione, mancando ancora l'apporto diluente delle acque di scioglimento delle nevi.

2. METODOLOGIE

L'analisi delle rocce è stata eseguita utilizzando i metodi più adatti per ciascun elemento, quali fluorescenza a raggi X (XRF), attivazione neutronica (NA), nonché spettrometria al plasma (ICP).

I vari parametri delle acque sono stati determinati con metodologie diverse così raggruppate:

- Parametri chimico-fisici: temperatura, pH, conducibilità misure elettrochimiche (metodiche UNICHIM).
- Alcalinità e durezza totale titolazioni potenziometriche (metodiche UNICHIM).
- Cationi e anioni principali mediante tecniche di cromatografia ionica (rapporti ISTISAN).
- Metalli mediante tecniche di spettrometria al plasma ICP-OES con preconcentratore a ultrasuoni (STANDARD METHODS).

La determinazione del trizio è stata fatta usando la spettrometria LSC che esprime il valore in unità di trizio (TU) dove $1 \text{ TU} = 0,119 \text{ Bq/l}$.

Le analisi dell'ossigeno 18 ($\delta^{18}\text{O}$) e del deuterio ($\delta^2\text{H}$) sono state attuate mediante la spettrometria di massa con riferimento allo standard VSMOW $\pm 0,15\%$ per l'ossigeno 18 ed allo standard VSMOW $\pm 0,15\%$ per il deuterio.

Il contenuto di carbonio 13 ($\delta^{13}\text{C-DIC}$) è stato determinato con lo spettrometro di massa con riferimento allo standard VPDB $\pm 0,3\%$.

Le analisi di laboratorio applicate alle rocce ed alle acque sono state precedute dal rilevamento geologico ed idrogeologico sul terreno dove sono stati prelevati i campioni ed eseguite le varie misure.

3. LE ROCCE

Sono stati prelevati 27 campioni di roccia rappresentativi della successione stratigrafica, che è stata sintetizzata nella figura 1 in sei unità. È stato controllato un intervallo di tempo dal Permiano all'Eocene con ambienti sedimentari vari, quali continentale vulcanico, marino di va-

rio tipo quale costiero, evaporitico, tropicale di scogliera, di mare aperto, vulcanico, sottomarino. La tabella 1 elenca i campioni raccolti nelle varie località e l'età relativa, mentre la tabella 2 sintetizza i contenuti di arsenico nelle varie rocce della successione stratigrafica dell'area di Trento e le tabelle 3, 4, 5 e 6 forniscono le analisi complete delle rocce.

Il commento delle analisi nelle sei unità rocciose della figura 1 è il seguente.

Le vulcaniti permiane affiorano nella valle del torrente Avisio. Appartengono alla parte superiore della «Piattaforma porfirica atesina». Sono rioliti per lo più di genesi ignimbratica. Sono stati analizzati due campioni rappresentativi che sono risultati di analoga composizione (campioni 1 e 2 della tabella 3). I valori degli elementi maggiori confermano che sono rocce vulcaniche acide. Sono stati anche determinati gli elementi in traccia espressi come ppm e ppb. L'arsenico è presente con 4 e 8 ppm; altri elementi da ricordare sono lo zircone (194-200 ppm), il bario (425-741 ppm), il rubidio (280-240 ppm), lo zinco (64,1 ppm), il torio (15 ppm), l'uranio (3,3 ppm). Fra le terre rare prevale il cerio (75-47 ppm), seguito dal lantanio (39-24,2 ppm), dal neodimio (30-19 ppm), dal cesio (8,7-14,8 ppm). Irrilevante la presenza delle altre terre rare pesanti.

Il complesso del Permiano superiore e del Triassico inferiore (arenarie, marne, dolomie, calcari, gessi) corrisponde alla transizione fra l'ambiente continentale e l'ambiente marino della Tetide, attraverso anche fasi evaporitiche. Le vulcaniti permiane sono ricoperte da arenarie continentali, note come «Arenarie di Val Gardena», alla cui sommità iniziano i sedimenti marini inizialmente in facies anidritica e gessosa e successivamente in facies marnosa e dolomitica di mare non lontano dalla costa, come dimostrato dalla presenza di ooliti. Le dolomie oolitiche contengono mineralizzazioni a barite ed a solfuri misti di controversa origine, idrotermale o singenetica. Con l'inizio del Triassico (Scitico) l'ambiente marino, pur con apporti detritici continentali, diventa evidente per la presenza di calcari e dolomie organogeni, marne, siltiti. Di questo intervallo di tempo, comprendente ambienti sedimentologici diversi, sono stati prelevati ed analizzati undici campioni (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 delle tabelle 3 e 4). Il campione 3 è una dolomia del Permiano superiore con un significativo contenuto di ferro e di quarzo detritico. Il contenuto di arsenico è di 39 ppm. Altri elementi traccia da ricordare sono lo stronzio (130 ppm), il bario (140 ppm) e le terre rare leggere. Il campione 4 è analogo al precedente con un contenuto di arsenico di 24 ppm. Il campione 5 è una dolomia con barite ed un certo contenuto di ferro e di quarzo detritico. La concentrazione di arsenico è di 11 ppm e quella di zinco di 226 ppm. Anche il campione 6 è una

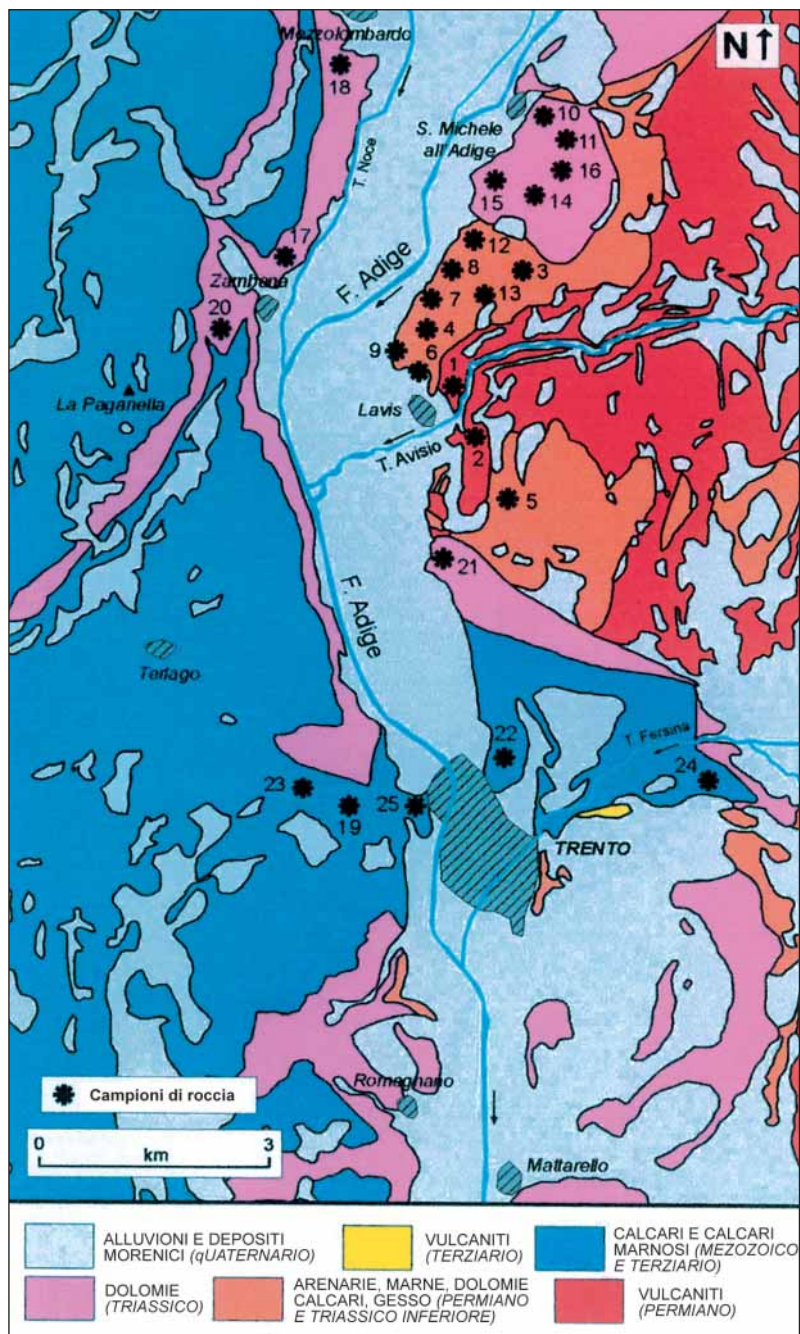


Fig. 1. Carta geologica schematica dei dintorni di Trento con ubicati i campioni di roccia analizzati.

dolomia ricca di barite. Il suo contenuto di arsenico è di 11 ppm. I campioni 7, 8 e 9 sono stati prelevati da affioramenti evaporitici dello Scitico. Il campione 7 è una dolomia con un certo apporto di quarzo detritico. Il suo contenuto di arsenico è di 2 ppm. Significativi sono i contenuti di stronzio (8090 ppm), di zirconio (153 ppm), di bario (151 ppm). I campioni 8 e 9 sono marne con gessi ricchi di stronzio (775-803 ppm). Il contenuto di arsenico in queste rocce è inferiore a 1 ppm.

Passando ai sedimenti del Triassico inferiore (Scitico) si ritrovano ancora significativi contenuti di arsenico. Il campione 10 è un calcare dolomitico con un contenuto di arsenico di 13 ppm. Altri elementi traccia da ricordare sono lo stronzio (213 ppm), il bario (516 ppm) e lo zinco (366 ppm). Il campione 11 è una breccia singenetica calcareo-dolomitica. Il contenuto di arsenico è di 11 ppm. Il campione 12 è un gesso werfeniano. Ha un contenuto di arsenico inferiore a 1 ppm. Significativo è il contenuto di stronzio (520 ppm). Il campione 13 è una arenaria a cemento carbonatico di età werfeniana con prevalente apporto di quarzo e di ferro. Il contenuto di arsenico è di 9 ppm. Fra gli altri elementi traccia sono da ricordare i contenuti di stronzio (172 ppm), di zirconio (245 ppm), di bario (420 ppm), rubidio (140 ppm), cromo (52 ppm), cerio (53 ppm), lantanio (26,2 ppm), neodimio (24 ppm), boro (90 ppm), zinco (78,8 ppm).

Il passaggio dal Triassico inferiore al Triassico medio e superiore avviene con la sedimentazione di dolomie e calcari per lo più algali. Il campione 14 (tabella 4) è una dolomia arenacea appartenente al «Conglomerato di Richthofen» dell'Anisico inferiore. Il contenuto di arsenico è di 3 ppm. Seguono sette campioni di dolomia algale del Triassico medio-superiore (campioni 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 della tabella 4). I contenuti di arsenico sono di 1 ppm o minore di 1 ppm. Seguono calcari e calcari marnosi del Giurassico (Ammonitico rosso), del Cretaceo (Scaglia rossa), dell'Eocene (Scaglia grigia) e vulcaniti basaltiche sottomarine dell'Eocene (campioni 22, 23, 24, 25 delle tabelle 5 e 6). Il campione di Ammonitico rosso (22) è un calcare con una lieve presenza di silice. Il contenuto di arsenico è inferiore a 1 ppm. Da ricordare la presenza di stronzio (559 ppm). I campioni di Scaglia rossa (23 e 24) sono pure calcari con concentrazione di arsenico inferiore a 1 ppm. Il contenuto di stronzio è fra 160 e 491 ppm. Il campione di Scaglia grigia (25) è ancora un calcare con un contenuto di arsenico di 3 ppm. Il contenuto di stronzio è di 510 ppm.

I riempimenti alluvionali della valle dell'Adige sono stati descritti da FUGANTI *et al.*, 2001.

La tabella 6 contiene anche l'analisi di una dolomia Ladinico-Carnico

che affiora sopra il paese di Roveré della Luna (campione RL). Il contenuto di arsenico è minore di 1 ppm. È anche riportata l'analisi di un travertino attuale, sempre presso Roveré della Luna (campione RLT) il cui contenuto di arsenico è pure inferiore a 1 ppm.

Campione	Località	Litotipo	
1	Lavis	porfido	Permiano
2	S. Lazzaro	porfido	Permiano
3	Pressano	dolomia	Permiano sup.
4	Lavis	dolomia	Permiano sup.
5	Cortesano	dolomia con barite	Permiano sup.
6	Palù di Giovo	dolomia con barite	Permiano sup.
7, 8, 9	Sorni	dolomia, marne, gesso	Scitico
10	Nave San Felice	calcare	Scitico
11	Nave San Felice	breccia calcarea	Scitico
12	S. Lazzaro	gesso	Scitico
13	Pressano	siltite	Scitico
14	S. Michele	dolomia	Anisico
15	Grumo	dolomia	Anisico
16	S. Michele	dolomia	Anisico
17	Zambana	calcare	Ladinico-Carnico
18	Mezzolombardo	dolomia	Ladinico-Carnico
19	Vela	calcare	Ladinico-Carnico
20	Zambana	dolomia	Norico- Retico
21	Nord Gardolo	dolomia	Norico- Retico
22	Trento	calcare	Dogger- Malm
23	Piedicastello	calcare	Cretaceo
24	Sud Cognola	calcare	Cretaceo
25	Doss Trento	calcare	Eocene
26	S. Donà	breccia basaltica	Eocene
RL	Roveré d/Luna	dolomia	Ladinico-Carnico
RLT	Roveré d/Luna	travertino	Attuale

Tab. 1. Ubicazione, litotipo ed età dei campioni di roccia analizzati.

Ambiente	Arsenico (ppm)	
Eocene	vulcanico sottomarino	7
Eocene	mare profondo	3
Cretaceo	mare profondo	<1
Giurassico	mare profondo	<1
Triassico superiore	scogliera algale	1,<1
Triassico medio	scogliera algale	1,<1
Triassico inferiore	marepoco profondo	<1,2,9,11,13
Permiano superiore	marino costiero, evaporitico	1,1,24,39
Permiano	continentale vulcanico	4,8

Tab. 2. Distribuzione dell'arsenico nelle rocce della serie stratigrafica presente lungo la valle dell'Adige

	Unità misura	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	%	70,4	71,9	3,48	3,88	3,58	2,16	3,45	1,19
Al ₂ O ₃	%	13,0	14,4	0,61	0,89	0,55	1,47	0,54	0,05
CaO	%	2,47	0,66	31,6	33,2	24,0	22,3	31,7	40,1
MgO	%	0,26	0,3	17,3	15,3	10,9	8,51	13,2	0,23
K ₂ O	%	6,47	5,17	0,22	0,25	0,07	0,07	0,16	0,05
Fe ₂ O ₃	%	1,82	2,13	2,72	2,95	1,23	1,08	0,32	0,09
MnO	%	0,03	0,02	0,12	1,06	0,22	0,35	0,02	<0,01
TiO ₂	%	0,302	0,314	0,057	0,059	<0,001	0,018	0,080	0,008
P ₂ O ₅	%	0,07	0,09	0,05	0,05	0,02	0,02	<0,01	<0,01
LOI	%	4,05	3,65	44,0	42,6	30,9	26,8	34,6	21,1
SOMMA		98,87	98,63	100,15	100,23	71,47	82,21	84,07	62,81
Ag	ppm	0,2	0,4	0,9	3,0	1,1	1,0	0,4	<0,2
As	ppm	4	8	39	24	11	11	2	<1
Au	ppb	<2	<2	<2	<2	<2	<3	<2	<2
B	ppm	33	59	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba	ppm	425	741	140	252	280000	339000	151	14
Be	ppm	3	4	<1	<1	1	<1	<1	<1
Br	ppm	3,6	2,7	6,5	5,1	4,7	4,0	5,4	2,8
Cd	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	3,4	2,4	4,0	5,8	4,2	3,2	1,5	0,8
Cr	ppm	9,8	7,6	5,9	7,3	<0,5	5,4	3,4	<0,5
Cs	ppm	8,7	14,8	0,8	1,1	<0,5	<0,5	0,9	<0,5
Cu	ppm	1,9	2,3	6,4	126	6,4	8,6	<0,5	<0,5
Ge	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	ppm	4,9	4,7	1,1	0,7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ir	ppb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	ppm	3	2	<2	<2	<2	8	<2	<2
Na	ppm	6700	4400	360	320	190	160	380	<50
Nb	ppm	11	<10	15	15	41	<10	18	19
Ni	ppm	1	2	4	4	6	6	<1	<1
Pb	ppm	16	12	11	9	6	5	13	3
Rb	ppm	280	240	10	10	<10	<10	<10	<10
Sb	ppm	2,0	2,8	1,4	4,8	2,3	3,0	0,1	<0,1
Sc	ppm	6,03	5,64	0,87	1,09	0,50	0,40	0,51	0,06
Se	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	ppm	73	37	130	261	111	<10	8090	775
Ta	ppm	1,2	1,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Th	ppm	19,0	15,0	2,8	1,9	0,7	0,5	0,4	<0,2
U	ppm	3,4	3,3	1,7	3,1	4,2	2,1	1,9	<0,1
V	ppm	13	12	23	7	5	<2	5	<2
W	ppm	2	2	<1	<1	32	4	<1	<1
Y	ppm	34	30	<10	<10	11	<10	19	<10
Zn	ppm	28,2	64,1	22,5	30,1	226	519	17,4	1,6
Zr	ppm	194	200	<10	<10	76	<10	153	<10
La	ppm	39,0	24,2	8,2	10,7	4,3	3,2	l.d.	0,2
Ce	ppm	75	47	19	20	7	8	l.d.	<1
Nd	ppm	30	19	10	9	3	<3	l.d.	<3
Sm	ppm	5,54	3,89	2,45	1,61	0,49	0,44	l.d.	0,03
Eu	ppm	0,55	0,59	0,61	0,54	0,22	0,15	l.d.	0,09
Tb	ppm	0,7	0,5	0,4	0,2	<0,1	<0,1	l.d.	<0,1
Yb	ppm	2,77	2,46	0,74	0,52	0,25	0,24	l.d.	<0,05
Lu	ppm	0,40	0,39	0,10	0,08	0,02	0,02	l.d.	<0,01

Tab. 3. Analisi di otto campioni di roccia. 1,2= porfido (Permiano); 3,4= dolomia (Permiano sup.); 5,6= dolomia con barite (Permiano sup.); 7= dolomia (Permiano sup.); 8= marna con gesso (Permiano sup.). LOI= perdita al fuoco. l.d.= limite di detezione.

	Unità misura	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	%	1,67	7,20	3,63	2,34	56,3	8,13	1,78	1,10
Al ₂ O ₃	%	0,20	0,40	0,76	0,24	10,8	2,56	0,04	0,09
CaO	%	40,7	37,0	43,9	39,6	6,86	29,7	30,9	30,8
MgO	%	<0,01	12,5	7,67	<0,01	4,08	17,5	21,8	21,3
K ₂ O	%	0,05	0,15	0,30	0,07	3,76	0,87	<0,01	<0,01
Fe ₂ O ₃	%	0,20	0,45	0,52	0,05	5,10	0,73	<0,01	<0,01
MnO	%	<0,01	0,08	0,05	<0,01	0,16	<0,01	<0,01	<0,01
TiO ₂	%	0,011	0,013	0,039	0,005	0,671	0,125	<0,001	0,004
P ₂ O ₅	%	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,16	0,03	<0,01	<0,01
LOI	%	20,6	42,4	42,6	20,6	12,0	40,5	45,3	45,3
SOMMA		63,43	100,19	99,48	62,90	99,89	100,14	99,82	98,59
Ag	ppm	<0,2	0,7	0,6	0,3	1,1	0,4	0,5	0,3
As	ppm	<1	13	12	<1	9	3	<1	<1
Au	ppb	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
B	ppm	<10	10	11	<10	90	22	<10	<10
Ba	ppm	31	516	263	58	420	68	24	244
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	2	1	<1	<1
Br	ppm	2,6	5,4	5,9	2,3	3,9	4,1	3,4	3,6
Cd	ppm	<1	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	1,0	2,3	1,5	1,0	17,0	2,3	1,0	1,1
Cr	ppm	0,7	1,8	4,9	0,7	52,0	12,0	1,8	1,3
Cs	ppm	<0,5	0,6	1,3	<0,5	16,3	2,0	<0,5	<0,5
Cu	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,6	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	ppm	<0,2	<0,2	0,4	<0,2	7,3	0,6	<0,2	<0,2
Ir	ppb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	ppm	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Na	ppm	120	370	340	260	910	350	310	260
Nb	ppm	21	15	15	18	14	18	17	20
Ni	ppm	<1	2	4	<1	31	3	<1	<1
Pb	ppm	2	66	17	4	8	<2	<2	<2
Rb	ppm	<10	10	10	<10	140	20	<10	<10
Sb	ppm	<0,1	1,1	0,6	0,1	1,5	0,6	0,1	0,1
Sc	ppm	0,17	0,35	0,70	0,08	9,06	2,29	0,09	0,1
Se	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	ppm	803	213	322	520	172	122	82	87
Ta	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,9	<0,5	<0,5	<0,5
Th	ppm	<0,2	0,3	0,8	0,4	9,8	2,0	<0,2	<0,2
U	ppm	<0,1	1,3	1,6	0,2	2,6	2,5	4,0	2,9
V	ppm	<2	5	10	<2	62	33	<2	2
W	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Y	ppm	<10	<10	<10	<10	33	<10	<10	<10
Zn	ppm	2,1	366	332	11,8	78,8	11,5	1,8	1,8
Zr	ppm	<10	<10	<10	<10	245	<10	<10	<10
La	ppm	0,5	l.d.	2,6	1,2	26,2	5,9	0,4	l.d.
Ce	ppm	1	l.d.	5	2	53	11	1	l.d.
Nd	ppm	<3	l.d.	<3	<3	24	5	<3	l.d.
Sm	ppm	0,07	l.d.	0,48	0,18	4,94	0,95	0,07	l.d.
Eu	ppm	0,09	l.d.	0,17	0,10	1,01	0,25	0,10	l.d.
Tb	ppm	<0,1	l.d.	<0,1	<0,1	0,7	0,1	<0,1	l.d.
Yb	ppm	<0,05	l.d.	0,19	<0,05	2,70	0,38	<0,05	l.d.
Lu	ppm	<0,01	l.d.	0,03	<0,01	0,39	0,06	<0,01	l.d.

Tab. 4. Analisi di otto campioni di roccia. 9= marna con gesso (Permiano sup.); 10= dolomia (Scitico); 11= breccia calcarea (Scitico); 12= marna con gesso (Scitico); 13= siltiti (Scitico); 14= dolomia arenacea (Anisico); 15,16= dolomia (Anisico medio-sup.). LOI= perdita al fuoco. l.d.= limite di detezione.

	Unità misura	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	%	0,33	2,22	10,9	0,60	1,00	3,46	1,41	3,75
Al ₂ O ₃	%	0,19	0,68	1,66	0,09	0,03	0,68	0,40	0,74
CaO	%	53,3	30,9	46,7	33,7	30,9	52,0	54,7	52,1
MgO	%	2,97	20,2	0,59	19,6	21,7	0,67	0,50	1,09
K ₂ O	%	0,04	0,16	0,29	<0,01	<0,01	0,19	0,14	0,15
Fe ₂ O ₃	%	<0,01	0,29	0,63	0,05	0,06	0,34	0,16	0,35
MnO	%	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02
TiO ₂	%	0,009	0,035	0,076	0,004	<0,001	0,026	0,025	0,036
P ₂ O ₅	%	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	<0,01	0,03	0,11	0,04
LOI	%	42,2	44,8	37,9	46,2	46,6	41,3	41,2	41,7
SOMMA		99,03	99,28	98,92	100,24	100,29	98,71	98,64	99,97
Ag	ppm	0,6	0,3	0,8	0,4	0,4	0,7	0,7	0,8
As	ppm	<1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1
Au	ppb	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
B	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba	ppm	<10	51	598	11	46	79	<10	28
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Br	ppm	3,9	2,8	4,5	2,9	2,9	3,0	4,2	4,2
Cd	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	1,1	1,3	4,4	1,6	1,3	2,4	1,8	2,5
Cr	ppm	3,7	6,8	17,0	2,7	1,2	4,5	4,2	6,0
Cs	ppm	<0,5	0,8	1,4	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5
Cu	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	ppm	<0,2	<0,2	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ir	ppb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	ppm	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Na	ppm	70	330	320	200	110	130	120	350
Nb	ppm	<10	16	<10	16	18	13	<10	15
Ni	ppm	<1	2	15	1	2	3	3	5
Pb	ppm	<2	<2	3	<2	<2	3	<2	4
Rb	ppm	<10	10	20	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	ppm	0,1	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Sc	ppm	0,23	0,67	1,83	0,17	0,09	0,83	0,98	1,03
Se	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	ppm	123	98	856	109	40	559	160	491
Ta	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Th	ppm	<0,2	0,6	1,4	<0,2	<0,2	0,5	0,3	0,5
U	ppm	0,7	2,1	0,9	0,5	1,9	0,2	0,2	0,1
V	ppm	<2	24	17	3	24	<2	4	5
W	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Y	ppm	<10	<10	20	<10	<10	<10	<10	11
Zn	ppm	2,5	3,7	34,5	4,7	1,9	151	13,5	11,2
Zr	ppm	20	<10	54	<10	<10	<10	23	<10
La	ppm	0,7	1,5	8,9	0,6	0,5	5,7	6,1	5,7
Ce	ppm	1	3	15	1	1	9	9	9
Nd	ppm	<3	<3	6	<3	<3	4	4	4
Sm	ppm	0,09	0,25	1,16	0,08	0,07	0,64	0,71	0,69
Eu	ppm	0,10	0,16	0,29	0,12	0,06	0,17	0,26	0,23
Tb	ppm	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1
Yb	ppm	<0,05	0,10	0,77	<0,05	<0,05	0,41	0,48	0,40
Lu	ppm	<0,01	0,01	0,12	<0,01	<0,01	0,06	0,07	0,06

Tab. 5. Analisi di otto campioni di roccia. 17= calcare (Ladinico-Carnico); 18= dolomia (Ladinico-Carnico); 19= calcare (Ladinico-Carnico); 20, 21= dolomia (Norico-Retico); 22= calcare (Dogger-Malm); 23, 24= calcare (Cretaceo). LOI= perdita al fuoco.

	Unità misura	25	RL	RLT
SiO ₂	%	1,10	0,91	0,75
Al ₂ O ₃	%	0,31	<0,01	0,11
CaO	%	55,0	31,1	53,1
MgO	%	0,73	21,1	0,70
K ₂ O	%	0,05	0,13	<0,01
Fe ₂ O ₃	%	0,32	0,04	0,08
MnO	%	<0,01	<0,01	<0,01
TiO ₂	%	0,031	<0,001	0,006
P ₂ O ₅	%	0,03	<0,01	0,08
LOI	%	42,3	46,6	44,5
SOMMA		99,87	99,88	99,32
Ag	ppm	0,6	0,2	<0,2
As	ppm	3	<1	<1
Au	ppb	<2	<2	3
B	ppm	<10	<10	<10
Ba	ppm	<10	<10	58
Be	ppm	<1	<1	<1
Br	ppm	4,8	4	24
Cd	ppm	<1	<1	<1
Co	ppm	1,4	<1	2
Cr	ppm	14,0	<2	35
Cs	ppm	<0,5	<0,5	<0,5
Cu	ppm	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	ppm	<10	<10	<10
Hf	ppm	<0,2	<0,2	<0,2
Ir	ppb	<5	<5	<5
Mo	ppm	<2	<2	<2
Na	ppm	220		
Nb	ppm	<10	18	<10
Ni	ppm	4	<1	3
Pb	ppm	<2	<2	5
Rb	ppm	<10	<10	<10
Sb	ppm	0,3	0,1	<0,1
Sc	ppm	0,57	<1	0,21
Se	ppm	<1	<1	<1
Sr	ppm	510	73	92
Ta	ppm	<0,5	<0,5	<0,5
Th	ppm	0,3	<0,2	0,2
U	ppm	2,7	1,6	1,7
V	ppm	9	<2	<2
W	ppm	<1	<1	<1
Y	ppm	<10	<10	<10
Zn	ppm	10,0	<0,5	24
Zr	ppm	31	73	<10
La	ppm	2,1	2,2	0,7
Ce	ppm	4	4,5	<1
Nd	ppm	<3	1,5	<3
Sm	ppm	0,34	0,3	0,08
Eu	ppm	0,18	<0,05	0,11
Tb	ppm	<0,1	<0,1	<0,1
Yb	ppm	0,14	0,6	<0,05
Lu	ppm	<0,01	0,1	<0,01

Tab. 6. Analisi di quattro campioni roccia. 25= calcare (Eocene); RL= dolomia (Ladini-co-Carnia); RLT= travertino (Attuale). LOI= perdita al fuoco.

4. LE ACQUE SUPERFICIALI

La figura 2 mostra la distribuzione delle acque superficiali e delle acque sotterranee nell'area studiata. I corsi d'acqua regionali qui considerati sono il fiume Adige, il torrente Noce, il torrente Avisio ed il torrente Fersina. Le loro acque sono state analizzate dal punto di vista fisico-chimico (Tab. 7). Sono tutte acque oligominerali. I prelievi delle acque del fiume Adige sono stati effettuati il 14 febbraio ed il 23 marzo 2004; le differenze delle analisi fra le due date sono le seguenti. Il pH varia da 7,70 a 6,90; la conducibilità passa da 275 a 332 $\mu\text{S}/\text{cm}$; aumentano di poco anche l'alcalinità, i nitrati, i solfati, il calcio. L'arsenico aumenta da 4,1 a 5,0 $\mu\text{g}/\text{l}$. Anche altri elementi traccia aumentano da febbraio a marzo; sono il bario, il ferro, lo stronzio. Sembra che da febbraio a marzo le acque del fiume Adige siano leggermente più concentrate senza apporto diluente di piogge e di acque di scioglimento delle nevi.

Le acque dei torrenti Avisio, Noce, Fersina, sono state prelevate il 25 marzo 2004 e sono quindi comparabili con l'acqua dell'Adige raccolta lo stesso giorno. L'arsenico nelle acque dei torrenti Avisio e Noce è di 2,8-2,9 $\mu\text{g}/\text{l}$, mentre nelle acque del torrente Fersina è di 8,8 $\mu\text{g}/\text{l}$. Ciò è spiegabile per la presenza nel suo bacino di ampi affioramenti di vulcaniti permiane spesso interessate da mineralizzazioni idrotermali a solfuri misti con arsenopirite.

Le caratteristiche isotopiche delle acque superficiali sono descritte nel capitolo 10.

5. LE ACQUE DI SUBALVEO DEL TORRENTE FERSINA

Le acque di subalveo del torrente Fersina sono captate da oltre 100 anni per alimentare una parte dell'acquedotto di Trento. Le tre captazioni sono in località Cantanghel e Ponte Alto alla periferia di Trento (punto d'acqua 24 della figura 2). La tabella 8 mostra i risultati del campionamento eseguito il 12 gennaio 2004. Sono tutte acque oligominerali con un contenuto di arsenico fra 12 e 14 $\mu\text{g}/\text{l}$, maggiore di quello presente nelle acque del torrente Fersina, di cui alla tabella 7.

6. LE ACQUE DELLA SORGENTE CARSICA

Dalle rocce carbonatiche mesozoiche carsificate del versante destro della valle dell'Adige in località Ischia Podetti emerge una sorgente

	Unità misura	Fiume Adige A1	Fiume Adige A1	Torrente Avisio AV	Torrente Noce N	Torrente Fersina F
Data		14/2/04	25/3/04	25/3/04	14/2/04	25/3/04
pH		7,70	6,90	6,80	8,00	6,80
Conduc. a 20°C	µS/cm	275	332	286	280	256
HCO ₃	mg/l	133,80	135,3	128,3	187,3	115,4
F	mg/l	0,20	0,20	0,20	0,07	0,20
Cl	mg/l	6,5	9,6	9,4	3,9	8,1
NO ₃	mg/l	3,6	4,3	6,0	4,8	10,9
NO ₂	mg/l	<0,02	0,60	0,15	<0,02	0,20
NH ₄	mg/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
P ₂ O ₅	mg/l	<100	<100	<100	<100	<100
SO ₄	mg/l	48,6	54,3	36,0	18,9	23,4
Na	mg/l	6,0	7,4	6,1	3,9	5,9
K	mg/l	2,3	1,9	1,2	1,1	1,3
Ca	mg/l	39,0	44,5	42,0	43,7	35,7
Mg	mg/l	10,7	9,8	8,3	11,2	7,2
As	µg/l	4,1	5,0	2,8	2,9	8,8
Al	µg/l	16,2	24,7	34,7	22,5	10,0
Sb	µg/l	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5
Ag	µg/l	<0,15	<0,2	0,4	<0,15	<0,2
Ba	µg/l	21,9	57,2	61,6	35,7	56,8
Cd	µg/l	0,1	0,1	<0,2	0,1	0,1
Co	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cr	µg/l	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Fe	µg/l	6,9	818,5	20,2	19,4	3,0
Li	µg/l	0,6	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
Mn	µg/l	0,6	18,4	1,8	1,2	0,7
Mo	µg/l	<0,25	1,7	0,5	<0,25	0,4
Ni	µg/l	1,9	1,5	0,5	1,1	0,6
Pb	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1
Cu	µg/l	4,0	4,3	3,5	3,5	3,7
Se	µg/l	2,4	4,7	5,5	<2	3,9
Sn	µg/l	0,8	1,5	1,4	0,5	1,1
Sr	µg/l	233,3	338,1	212,7	130,70	97,4
V	µg/l	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3
Zn	µg/l	26,8	13,9	311,4	7,4	10,9

Tab. 7. Analisi chimico-fisiche delle acque dei corsi d'acqua Adige, Avisio, Noce, Fersina.

te chiamata 11 nella figura 2; l'acqua è stata campionata il 14 febbraio per l'analisi chimico-fisica (tabella 9). Essa è un'acqua oligominerale caratterizzata dalla irrilevante presenza di arsenico (1,80 mg/l) come le rocce carbonatiche mesozoiche attraversate. L'acqua carsica è stata anche studiata isotopicamente (capitolo 10).

	Unità misura	Cantanghel	Ponte Alto	Ponte Alto
Data		12/01/04	12/01/04	12/01/04
pH		7,9	8,1	7,9
Conduc. a 20°C	µS/cm	371	347	383
HCO ₃	mg/l	220,80	203,80	195,00
F	mg/l	0,2	0,2	0,2
Cl	mg/l	10,4	11,8	18,2
NO ₃	mg/l	10	14	16
SO ₄	mg/l	36	28	30
Na	mg/l	9	7	9
K	mg/l	2,0	1,8	1,9
Ca	mg/l	55,6	53,8	57,4
Mg	mg/l	14,3	12,3	12,3
As	µg/l	14	12	13
Al	µg/l	3	5	4
Fe	µg/l	1	1	2
Mn	µg/l	0	0	0
Ni	µg/l	0	0	1
Pb	µg/l	1	0	0
Cu	µg/l	4	4	5
Sn	µg/l	0,7	0,7	0,80
Zn	µg/l	118,8	1,0	16,50

Tab. 8. Analisi chimico-fisiche delle acque di subalveo del torrente Fersina.

7. L'ACQUIFERO SUPERFICIALE SEMICONFINATO

Nella zona tra Mezzolombardo e Mattarello la valle dell'Adige è caratterizzata dalla presenza di un acquifero multistrato dato da sabbie con ghiaia, con interposti livelli sabbioso limosi con funzione di aquitard. Lo spessore e la continuità di questi ultimi aumentano con l'aumentare della profondità, mentre diminuisce la frequenza degli orizzonti ghiaioso-sabbiosi. L'acquifero chiamato atesino può così essere definito semiconfinato con uno spessore compreso fra 40 e 50 m. In corrispondenza dello sbocco nella valle principale degli affluenti, in destra ed in sinistra idrografica, l'acquifero atesino è interdigitato con gli acquiferi di conoide costituiti da ghiaie. Ricordiamo i conoidi del torrente Avisio, del torrente Fersina, del torrente Gola a Ravina. Gli acquiferi superficiali di conoide sono freatici. In figura 2 sono ubicati i pozzi sia dell'acquifero atesino, situati lungo il corso del fiume Adige, che del conoide dell'Avisio, posti lungo detto torrente. La profondità del livello statico è compresa fra 2 e 4 metri circa nei pozzi della falda atesina. Nel conoide dell'Avisio il tetto della falda freatica ha profondità decrescenti. Presso

	Unità misura	Sorgente carsica
Data		14/2/04
pH		7,40
Conduc. a 20°C	µS/cm	374
HCO ₃	mg/l	274,50
F	mg/l	0,06
Cl	mg/l	5,30
NO ₃	mg/l	11,70
NO ₂	mg/l	< 0,02
NH ₄ ⁺	mg/l	< 0,20
P ₂ O ₅	mg/l	< 100,00
SO ₄ ²⁻	mg/l	11,30
Na	mg/l	3,60
K	mg/l	0,70
Ca	mg/l	65,00
Mg	mg/l	13,50
As	µg/l	1,80
Al	µg/l	13,10
Ba	µg/l	66,20
Cd	µg/l	0,10
Cr	µg/l	0,40
Fe	µg/l	8,30
Li	µg/l	2,30
Mn	µg/l	0,40
Cu	µg/l	4,20
Se	µg/l	2,80
Sn	µg/l	0,80
Sr	µg/l	167,40
V	µg/l	0,50
Zn	µg/l	0,40

Tab. 9. Analisi chimico-fisiche delle acque della sorgente carsica 11 prelevate il 14 febbraio 2004.

l'apice (pozzi 5, 6, 8, 9 di figura 2) la profondità invernale è sui 27-28 m, per giungere presso l'Adige alle profondità della falda atesina semiconfinata. La variazione della profondità del tetto della falda nel conoide dell'Avisio è dovuta alla maggior inclinazione della superficie topografica del conoide che scende da est verso ovest rispetto alla falda in esso contenuta. Il livello statico ha le maggiori profondità in inverno per poi risalire con la primavera per lo scioglimento delle nevi e la quasi costante presenza delle piogge. Le acque di diciannove pozzi sono state controllate con analisi fisico-chimiche ed isotopiche; i pozzi corrispondono ai punti d'acqua 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 della figura 2. La tabella 10 contiene le analisi delle acque dei pozzi 5, 6, 8, 9, 13 e del rio Carpine campionati il 14 febbraio 2004,



Fig. 2. Distribuzione delle acque superficiali e sotterranee dell'area di Trento studiate per i contenuti di arsenico.

Acque superficiali: N (Fiume Noce), A (Fiume Adige), M (Fossa Maestra), C (Fossa di Caldaro), AV (Torrente Avisio), RCA (Rio di Camparta), RC (Rio Carpine), RG (Roggia Gardolo), F (Torrente Fersina).

Acque sotterranee: i pozzi 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 captano la falda freatica.

I pozzi 1, 22, 23 captano falde confinate.

Il punto d'acqua 11 è una sorgente carsica.

Il punto d'acqua 24 indica gallerie di drenaggio nel subalveo del torrente Fersina.

nonché dei pozzi 18 e 19 campionati il 25 marzo 2004. Sono tutte acque oligominerali. La tabella 11 contiene le analisi fisico-chimiche delle acque dei pozzi 3, 7, 14, 20 prelevate il 14 febbraio (inverno) ed il 25 marzo 2004; esse sono pure oligominerali.

Di interesse è la lettura delle analisi delle acque dei pozzi ubicati sul conoide dell'Avisio (pozzi 3, 5, 6, 7, 8, 9, 13) campionate il 14 febbraio 2004. I pozzi hanno acqua poco mineralizzata, ma ciascuna è un po' diversa, principalmente per il pH, la conducibilità, il calcio, i solfati, l'alcalinità, i nitrati, i cloruri, ed anche per l'arsenico, il bario, il ferro, il manganese e lo stronzio. Questo insieme di dati indica che nel conoide dell'Avisio circolano acque di origine diversa provenienti anche dai versanti dove vi sono rocce di differente natura. Il loro contenuto di arsenico varia da 1,6 a 7 µg/l; il valore maggiore è nelle acque del pozzo 13 che contiene anche un'elevata quantità di ferro. Probabilmente la presenza anomala di arsenico e ferro potrebbe essere spiegata dalla presenza di una vecchia discarica di rifiuti, cui corrispondono condizioni riducenti. La tabella 11 contiene i valori analitici di acque prelevate il 14 febbraio ed il 25 marzo 2004; essa serve per constatare eventuali influenze delle precipitazioni avvenute in questo intervallo di tempo. I pozzi considerati sono i numeri 3 e 7 posti sul conoide dell'Avisio, il pozzo 14 piezometro posto al bordo sud della discarica di Ischia Podetti ed il pozzo 20 perforato nella parte nord della città di Trento. L'acqua del pozzo 3 ha subito leggerissime variazioni nel pH, nella conducibilità, nei nitrati, mentre tutti gli altri elementi sono rimasti costanti, arsenico compreso. Le acque del pozzo 7 mostrano evidenti diluizioni fra febbraio e marzo. Sono infatti diminuiti i valori della conducibilità, della alcalinità, dei solfati, del calcio, del magnesio, del ferro, dello stronzio; anche l'arsenico è leggermente diminuito. La falda captata dal pozzo 14, che ha il tratto filtrato nella parte più superficiale dell'acquifero, ha invece mostrato una netta concentrazione come conseguenza di apporti dalla discarica posta poco più a nord. Sono aumentati i valori di: conducibilità (da 1154 a 1930 µS/cm), alcalinità (da 821,4 a 1004,6 µg/l), cloruri (da 64,2 a 140,7 µg/l), ammoniaca (da 9,6 a 19,6 µg/l), sodio, potassio, calcio, magnesio, nonché arsenico (da 11,8 a 27,2 µg/l) e ferro (da 2913,6 a 16961,0 µg/l). Si nota assenza di nitrati e nitriti con valore circa costante dei solfati. L'acqua del pozzo 20 ha mostrato fra febbraio e marzo un aumento dell'arsenico (da 7,3 a 11,3 µg/l), mentre altri valori sono leggermente diminuiti (calcio e magnesio) ed altri leggermente aumentati (conducibilità, solfati, sodio, potassio).

	Unità misura	5	6	8	9	13	Rio Carpine	18	19
Data		14/2/04	14/2/04	14/2/04	14/2/04	14/2/04	14/2/04	25/3/04	25/3/04
pH		7,10	7,10	7,80	7,80	7,00	7,10	7,10	7,80
Conduc. a 20°C	µS/cm	376	654	321	321	475	692	405	499
HCO ₃	mg/l	218,40	304,10	186,2	186,20	295,90	288,40	210,6	303,0
F	mg/l	0,15	0,14	0,15	0,15	0,20	0,15	0,36	0,16
Cl	mg/l	6,00	25,10	5,8	5,80	11,70	12,50	13,30	26,0
NO ₃	mg/l	12,80	15,00	7,6	7,60	8,90	12,80	0,70	5,50
NO ₂	mg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,10
NH ₄	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,2	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,2	< 0,2
P ₂ O ₅	mg/l	< 100,00	< 100,00	< 100,0	< 100,00	< 100,00	< 100,0	< 100,0	< 100,0
SO ₄	mg/l	42,30	110,00	32,60	32,60	33,50	174,50	39,90	4,80
Na	mg/l	6,00	13,70	4,6	4,60	12,90	9,10	9,80	26,40
K	mg/l	0,90	2,80	0,7	0,70	1,40	2,40	1,70	3,50
Ca	mg/l	63,40	106,50	53,0	53,00	77,80	91,90	63,90	69,20
Mg	mg/l	12,40	24,70	11,1	11,10	15,40	43,30	9,80	10,70
As	µg/l	3,30	4,70	1,60	1,60	7,00	3,50	3,30	6,50
Al	µg/l	8,20	13,50	7,4	7,40	523,50	13,60	14,40	18,40
Sb	µg/l	< 0,50	< 0,50	< 0,5	< 0,5	< 0,50	< 0,50	< 0,5	< 0,5
Ag	µg/l	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,20	0,20	< 0,15
Ba	µg/l	70,80	173,00	59,2	59,20	117,20	68,30	94,60	52,90
Cd	µg/l	0,10	0,10	< 0,10	< 0,20	0,20	< 0,50	< 0,10	< 0,10
Co	µg/l	< 0,50	< 0,50	< 0,5	< 0,50	5,10	0,10	< 0,50	< 0,50
Cr	µg/l	0,50	0,60	0,4	0,40	1,90	0,30	0,30	0,50
Fe	µg/l	8,70	18,10	5,9	5,90	1125,70	14,70	2,60	4,20
Li	µg/l	0,50	2,70	1,0	1,00	2,30	3,20	< 0,10	1,70
Mn	µg/l	0,40	0,30	0,3	0,30	248,00	1,60	1,10	0,90
Ni	µg/l	< 0,50	< 0,50	0,5	0,50	1,80	< 0,25	0,50	0,70
Pb	µg/l	1,10	1,30	< 0,5	< 0,50	9,10	1,40	< 1,0	< 1,0
Cu	µg/l	4,40	7,20	3,6	3,60	9,80	5,70	4,50	10,90
Se	µg/l	3,20	4,90	3,9	3,90	7,10	5,40	8,80	10,20
Sn	µg/l	0,30	0,80	0,5	0,50	1,30	1,20	2,70	3,30
Sr	µg/l	285,20	528,70	259,9	259,90	312,40	373,80	188,9	365,2
V	µg/l	0,80	0,90	0,6	0,60	2,20	0,20	1,30	0,60
Zn	µg/l	1,40	5,10	57,7	57,70	7,90	7,80	107,0	3,0

Tab. 10. Analisi fisico-chimica delle acque dei pozzi 5, 6, 8, 9, 13, 18, 19 e del rio Carpine.

8. LE ACQUE DELLE FALDE CONFINATE

Sono considerate ed analizzate le acque di tre pozzi con falde confinate. I pozzi sono indicati con le sigle 1, 22, 23 sulla figura 2. Le acque delle falde confinate sono caratterizzate dalla presenza di arsenico.

Il pozzo 1 è stato perforato nel dominio di Zambana vecchia sul lato destro del torrente Noce. Ha raggiunto la profondità di 370 metri entro le alluvioni sabbioso-gliaiose della valle dell'Adige la cui sedi-

	Unità misura	3	3	7	7	14	14	20	20
Data		14/2/04	25/3/04	14/2/04	25/3/04	14/204	25/3/04	14/2/04	25/3/04
pH		7,40	7,10	7,20	7,40	6,70	6,80	7,20	7,10
Conduc. a 20°C	µS/cm	562	582	395	401	1154	1930	791	843
HCO ₃	mg/l	346,2	325,0	239,00	217,5	281,4	1004,6	473,8	446,5
F	mg/l	0,11	0,13	0,16	0,20	0,30	0,30	0,40	0,40
Cl	mg/l	10,8	10,5	9,40	11,0	64,2	140,7	40,0	40,6
NO ₃	mg/l	23,1	21,3	11,50	12,4	0,1	<0,1	0,5	0,3
NO ₂	mg/l	<0,02	<0,02	< 0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NH ₄	mg/l	<0,20	< 0,20	< 0,20	<0,20	9,6	19,6	<0,2	<0,2
P ₂ O ₅	mg/l	<100	< 100	< 100,00	<100	<100	<100	<100	<100
SO ₄	mg/l	53,6	54,8	35,44	29,2	12,9	10,4	70,4	81,4
Na	mg/l	6,3	6,0	7,00	6,8	34,7	95,4	52,7	57,4
K	mg/l	0,9	0,9	1,10	0,9	22,0	36,9	1,9	2,1
Ca	mg/l	97,0	98,0	65,90	63,7	114,9	227,0	104,9	103,9
Mg	mg/l	20,7	20,2	13,40	13,1	31,5	38,5	28,8	25,8
As	µg/l	4,3	4,3	1,80	4,0	11,8	27,2	7,3	11,3
Al	µg/l	117,8	14,0	32,00	15,3	3,6	14,5	80,5	13,8
Sb	µg/l	<0,5	< 0,5	< 0,50	0,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ag	µg/l	<0,15	0,3	< 0,15	<0,15	<0,15	<0,2	<0,2	0,2
Ba	µg/l	96,6	102	87,90	88,6	307,8	505,0	102,7	95,5
Cd	µg/l	0,5	< 0,5	0,10	<0,2	0,1	0,3	0,3	0,1
Co	µg/l	<0,5	0,1	< 0,50	<0,5	1,2	0,8	1,3	0,8
Cr	µg/l	1,1	0,5	0,70	0,6	0,7	1,4	0,7	0,3
Fe	µg/l	1168,3	8,1	43,30	5,6	2913,6	16961,0	2519,5	3,1
Li	µg/l	1,5	0,6	0,60	<0,1	3,0	2,6	1,5	4,9
Mn	µg/l	39,4	0,8	2,00	0,5	338,2	368,1	979,7	3,2
Mo	µg/l	<0,25	< 0,25	< 0,25	0,8	<0,25	0,80	<0,25	1,3
Ni	µg/l	<0,5	0,6	< 0,50	0,6	2,1	5,8	2,7	0,8
Pb	µg/l	22,8	< 1	1,40	<1	<1	<1	8,7	0,5
Cu	µg/l	9,1	7,3	4,90	4,7	7,2	14,3	11,2	7,0
Se	µg/l	4,0	8,6	3,40	4,7	14,8	25,8	9,7	10,2
Sn	µg/l	1,0	2,4	0,30	0,1	3,2	15,8	1,7	3,3
Sr	µg/l	450,8	513,6	308,80	343,8	467,0	667,4	277,1	365,2
V	µg/l	1,8	0,5	0,60	0,6	<0,2	<0,6	<1,8	<0,6
Zn	µg/l	14,5	208,7	30,30	28,4	14,8	161,5	1699,0	3,0

Tab. 11. Analisi fisico-chimica delle acque della falda freatica campionate nei pozzi 3, 7, 14, 20 il 14 febbraio ed il 25 marzo 2004.

mentazione è vecchia di migliaia di anni. L'orizzonte acquifero captato è fra le profondità di 340 e di 360 metri. Esso è confinato e risaliente; il livello statico è oscillato fra il 2000 ed il 2003 fra le profondità di 2,61 e 4,01 metri dal piano campagna. L'acqua è abbondante perché la prova di portata del 22 maggio 2000 ha mostrato che con una portata di 50 l/s il livello dinamico era sceso solo a 8,70 m dal piano campagna. La temperatura dell'acqua del pozzo è oscillata in detto intervallo fra 18,1

e 18,8°C indipendentemente dalla temperatura dell'aria circostante la bocca pozzo.

La tabella 12 riporta sei analisi fisico-chimiche delle acque del pozzo 1 eseguite fra il maggio 2000 ed il marzo 2004. La conducibilità oscilla fra 464 e 483 $\mu\text{S}/\text{cm}$, il calcio fra 38,70 e 63,80 mg/l, con valori più frequenti attorno a 60 mg/l, il magnesio fra 10,90 e 25,4 mg/l, con valori più frequenti sui 20-23 mg/l, i solfati fra 67,2 e 89,3 mg/l, il sodio fra 12,6 e 25,0 mg/l, con valori più frequenti attorno ai 20 mg/l. Da notare l'assenza o il bassissimo valore dei nitrati e la rilevante presenza di arsenico (56 $\mu\text{g}/\text{l}$ il 15/10/01 e 42 $\mu\text{g}/\text{l}$ il 25/3/04). Altro pozzo con falda confinata è alla base del conoide di Ravina (pozzo 22, Fig. 2). Il pozzo 22 capta alluvioni di conoide sovrastate da sedimenti fini atesini.

Sono stati individuati tre livelli acquiferi:

- un acquifero con tetto a 12 m di profondità, e letto a 16 m;
- un acquifero con tetto a 46 m di profondità e letto a 67 m di profondità captato dal pozzo;
- un acquifero con tetto a 69 m di profondità e letto a 99 m, caratterizzato dalla presenza di lenti ghiaioso-argillose.

La temperatura dell'acqua è costante sui 13°C ed è indipendente dalla temperatura dell'aria circostante.

La tabella 12 mostra anche l'analisi dell'acqua del pozzo 22 campionata il 14 febbraio ed il 25 marzo 2004. Risulta che questa acqua è molto simile a quella dell'acqua della falda profonda confinata di Zambana vecchia. L'acqua del pozzo 22 ha pure un significativo contenuto di arsenico (13,1 $\mu\text{g}/\text{l}$) come tutte le acque delle falde confinate.

Falde confinate sono state ritrovate anche all'aeroporto di Mattarello dove sono stati perforati due piezometri profondi sui 370 m (punto d'acqua 23 della figura 2). Le perforazioni hanno attraversato ghiaie, sabbie con talora lenti torbose e limose. Nel piezometro 1 la falda principale, in ghiaia, è fra le profondità di 225 e 258 metri. L'acqua è confinata e risaliente. Il livello statico, controllato fra il 2001 ed il 2003, varia fra le profondità dal piano campagna di 1,63 m nel piezometro 1 e di 1,99 e 0,29 m nel piezometro 2. Nel piezometro 1 la temperatura dell'acqua è compresa fra 11,4 e 15,1°C, mentre nel piezometro 2 la temperatura varia fra 13,0 e 13,9°C. Non vi è legame con la temperatura dell'aria. La tabella 13 riporta tre analisi dell'acqua del piezometro 1 e tre analisi dell'acqua del piezometro 2, eseguite fra il 2001 ed il 2003. Le due acque sono molto simili ed oligominerali. La conducibilità varia da 543 a 624 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con valori più frequenti attorno a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il calcio varia da 69,6 a 86 mg/l, i solfati variano da 13,2 a 158 mg/l. I nitrati sono sempre assenti, mentre l'ammoniaca, leggermente presente

nel 2001, è poi scomparsa. Da evidenziare la presenza di arsenico in entrambe le acque con valori di 18, 24, 41 µg/l.

	Unità misura	1	1	1	1	1	1	22	22
Data		22/05/00	15/10/01	18/06/02	12/12/02	30/01/03	25/3/04	14/2/04	25/3/04
pH		7,7	–	–	7,80	7,80	7,60	7,50	7,50
Conduc. a 20°C	µS/cm	450	483	475	497	496	464	481	481
HCO ₃	mg/l	233	223,00	227,00	225,00	228,00	232,2	250,50	250,50
F	mg/l	0,9	0,80	0,80	1,00	0,90	0,90	0,30	0,30
Cl	mg/l	5,1	6,10	4,90	6,80	6,30	5,1	5,60	5,60
NO ₃	mg/l	< 0,1	< 0,10	< 0,20	< 0,20	< 0,20	<0,1	1,10	1,10
NO ₂	mg/l	–	< 0,01	–	–	–	<0,02	< 0,02	< 0,02
NH ₄	mg/l	–	0,25	0,12	0,11	0,10	<0,20	< 0,20	< 0,20
SO ₄	mg/l	67,2	89,30	70,00	96,60	95,00	74,5	< 100,00	86,40
Na	mg/l	17,4	23,00	17,00	25,00	20,00	17,6	86,40	12,60
K	mg/l	2,9	3,10	1,60	3,40	3,10	2,7	12,60	2,50
Ca	mg/l	61,4	58,80	38,70	61,20	61,20	59,6	2,50	63,80
Mg	mg/l	20,6	20,70	10,90	22,30	23,20	20,9	63,80	25,40
As	µg/l	–	56,00	–	–	–	42,7	25,40	13,10
Al	µg/l	–	10,00	–	–	–	5,4	13,10	5,50
Sb	µg/l	–	–	–	–	–	<0,5	5,50	< 0,50
Ag	µg/l	–	–	–	–	–	0,2	< 0,50	< 0,15
Ba	µg/l	28,0	45,00	–	–	–	41,1	< 0,15	84,50
Cd	µg/l	–	<1	–	–	–	0,3	84,50	0,10
Co	µg/l	–	–	–	–	–	0,5	0,10	< 0,50
Cr	µg/l	–	4,00	–	–	–	0,3	< 0,50	< 0,30
Fe	µg/l	–	540,00	–	350,00	10,00	2,5	< 0,30	8,40
Li	µg/l	–	–	–	–	–	2,3	8,40	4,60
Mn	µg/l	–	94,00	51,00	71,00	62,00	61,6	4,60	0,20
Mo	µg/l	–	–	–	–	–	7,4	0,20	–
Ni	µg/l	–	–	–	–	–	<0,5	2,20	2,20
Pb	µg/l	–	–	–	–	–	<1	< 1,00	< 1,00
Cu	µg/l	–	–	–	–	–	3,8	5,50	5,50
Se	µg/l	–	–	–	–	–	4,5	9,20	9,20
Sn	µg/l	–	–	–	–	–	1,3	0,80	0,80
Sr	µg/l	–	–	–	–	–	1048,3	279,50	279,50
V	µg/l	–	–	–	–	–	<2	0,30	0,30
Zn	µg/l	–	–	–	–	–	7,4	8,10	8,10

Tab. 12. Analisi fisico-chimica delle acque delle falde confinate del pozzo profondo 1 a Zambana vecchia fra il 2000 ed il 2004 e del pozzo 22 a Ravina in febbraio ed in marzo 2004.

	Unità misura	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Data		22/10/01	11/12/02	24/3/03	23/10/01	16/5/02	04/3/03
pH		–	7,8	7,9	–	7,7	7,8
Conduc. a 20°C	µS/cm	584	601	543	595	599	624
HCO ₃	mg/l	253	253	255	267	276	270
F	mg/l	1,0	1,4	1,1	0,6	0,6	0,7
Cl	mg/l	6,2	7,1	6,1	2,8	2,1	2,4
NO ₃	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NH ₄	mg/l	0,12	0,06	< 0,02	0,29	0,06	0,06
SO ₄	mg/l	130,7	140	132	137,7	135	158
Na	mg/l	25	28	29	3,2	25	9,5
K	mg/l	3,3	3,7	4,6	1,1	3,5	3,9
Ca	mg/l	69,6	73,6	75,0	73,8	69,5	86
Mg	mg/l	29,8	29,2	29,0	36,7	30,9	38
As	µg/l	41	–	–	24	–	18
Ba	µg/l	47	–	–	51	–	44
B	µg/l	87	–	–	40	–	26
Cr	µg/l	3	–	–	2	–	–
Fe	µg/l	390	–	–	830	–	–
Mn	µg/l	76	92	–	54	–	30
Ni	µg/l	7	–	–	6	–	–
Zn	µg/l	710	–	–	50	–	160

Tab. 13. Analisi fisico-chimica delle acque delle falde dei piezometri P1 e P2 presso l'aeroporto di Matterello a varie date.

9. LE VARIAZIONI DEL LIVELLO STATICO FRA FEBBRAIO E MARZO 2004 E RICARICA DELLA FALDA

In febbraio ed in marzo 2004 vi sono state precipitazioni sia in forma di pioggia che di neve. Il tetto della falda di tutti i pozzi si è alzato, ma in maniera diversa. Nel conoide dell'Avisio la risalita è compresa fra 30 e 80 cm con valori più frequenti attorno a 50 cm. La figura 3 mostra precipitazioni e risalite del livello statico nei pozzi 3 e 6. Da tali diagrammi si può ricavare la ricarica in centimetri, moltiplicando la risalita per la porosità efficace, che può essere stimata attorno a 0,25. Si ha così che la ricarica in occasione della nevicata, subito disciolta, è stata di 10 centimetri (Fig. 3).

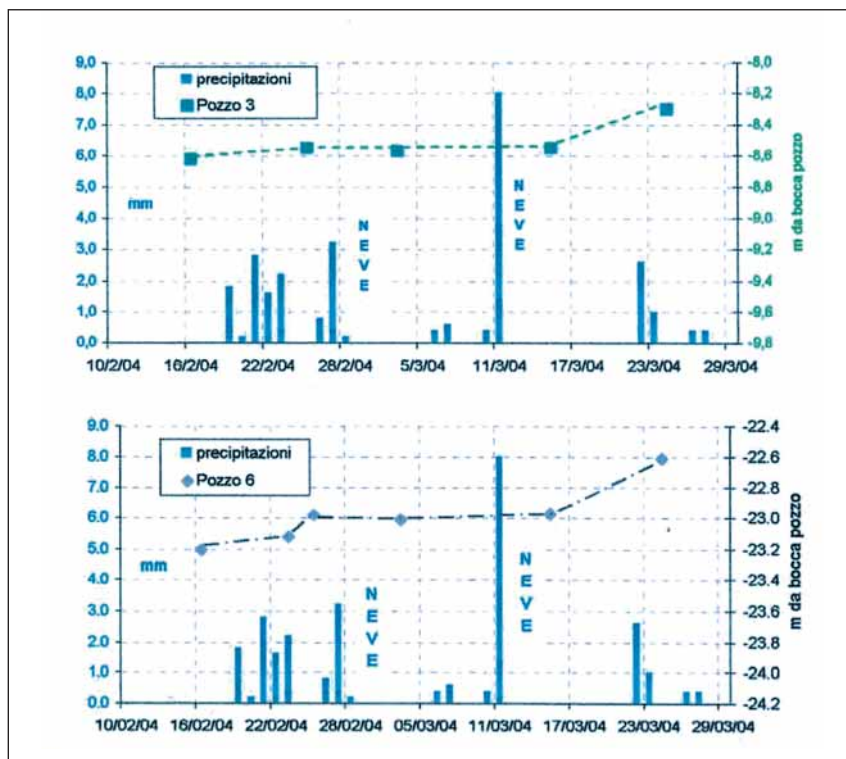


Fig. 3. Rapporti fra precipitazioni di pioggia e di neve e variazioni di falda nei pozzi 3 e 6.

10. LE CARATTERISTICHE ISOTOPICHE DELLE ACQUE

Sono state eseguite le seguenti determinazioni isotopiche sulle acque superficiali e di falda:

- 14 di trizio,
- 45 di ossigeno 18,
- 14 di deuterio,
- 6 di carbonio 13.

10.1 Trizio

Fornisce informazioni circa l'età dell'acqua. Senza entrare nel dettaglio metodologico, ricordiamo che il contenuto di trizio (isotopo radioattivo dell'idrogeno) nell'acqua della pioggia ed in quella sotterranea era prima del 1950 attorno a una unità di trizio (1 UT= 0,119 Bq/l).

Le esplosioni delle bombe all'idrogeno fra il 1950 ed il 1960 circa portarono nell'atmosfera grandi quantità di trizio. Si raggiunsero valori fino a circa 200 UT. Con la successiva moratoria nucleare la quantità di trizio nell'atmosfera, il cui tempo di dimezzamento è di circa 12,5 anni, continuò a diminuire. La pioggia sulle Alpi al 2003-2004 aveva un valore di 7-9 UT. Di conseguenza si può valutare l'età e le eventuali miscele delle acque alimentate dalla pioggia in base al contenuto di trizio. I valori di trizio riscontrati sulle acque considerate della tabella 14 sono i seguenti.

Acque su figura 2	Data prelievo	Trizio UT	Tipo di acqua
Fiume Adige	15/2/04	11±1,1	superficiale
Torrente Avisio	15/2/04	9,5±1,1	superficiale
Pozzo 1	24/3/04	7,5±0,8	falda confinata
Pozzo 4	15/2/04	8,1±0,9	falda semiconfinata
Pozzo 4	24/3/04	6,7±0,8	falda semiconfinata
Pozzo 5	15/2/04	7,4±0,8	falda semiconfinata
Pozzo 8	24/3/04	8,3±0,6	falda semiconfinata
Pozzo 9	24/3/04	8,5±1,4	falda semiconfinata
Pozzo 13	24/3/04	8±1,0	falda semiconfinata
Sorgente 11	15/2/04	7,5±1,2	carsica
Sorgente 11	24/3/04	6,7±6,7	carsica
Pozzo 14	24/3/04	16,7±1,1	discarica
Pozzo 20	24/3/04	7±0,5	falda semiconfinata
Pozzo 22	15/2/04	5,1±0,8	falda confinata

Tab. 14. Contenuti di trizio nelle acque campionate.

Alcuni valori sono di acque del febbraio 2004 quando non è ancora iniziato il disgelo nelle alte montagne, altri sono del marzo 2004 quando è in atto il disgelo sui versanti esposti a sud delle montagne che delimitano il tratto di valle dell'Adige di figura 2.

I valori del trizio ritrovati nelle acque dell'Adige e dell'Avisio (9,5±11 UT) sono leggermente più elevati di quelli presenti nelle acque della falda freatica (7±8,3 UT) e della sorgente carsica (6,7±7,5 UT), da considerare attuali rispetto alla campagna di misura. L'acqua della falda confinata del pozzo 1 (7,5 UT) indica acqua della stessa età della falda semiconfinata, mentre l'acqua dell'altro pozzo con falda confinata (pozzo 22) ha un valore di 5,1 UT non omogeneo con gli altri valori; forse è il risultato di una miscelazione.

Di interesse sono i diversi valori del trizio misurati il 15 febbraio ed il 23 marzo nelle acque della sorgente carsica (7,5 diventato 6,7) e del pozzo 4 (8,1 diventato 6,7). La diminuzione dei valori significa che con marzo è arrivata acqua più recente per la pioggia ed il disgelo.

10.2 Ossigeno 18 e deuterio

Possiamo distinguere le acque superficiali dalle acque sotterranee, la cui ubicazione è nella figura 2.

Acque superficiali

La tabella 15 mostra quindici valori dell'ossigeno 18 di nove acque di corsi superficiali. Dieci prelievi sono stati effettuati il 15 febbraio e cinque il 24 marzo 2004. Sono state anche eseguite quattro determinazioni del deuterio e del deuterio in eccesso. Accettando il principio che la quota di caduta dell'acqua e della neve è legata al valore dell'ossigeno 18 e del deuterio, risulta che più i valori di questi due isotopi sono negativi, più elevate sono le quote di caduta delle precipitazioni. I valori più negativi caratterizzano le acque del fiume Adige considerando che il bacino comprende le alte montagne dell'Alto Adige; risulta inoltre che in marzo i valori sono più negativi di febbraio perché è iniziato lo scioglimento delle nevi sui versanti esposti a sud delle montagne. Il fiume Adige è stato campionato il 15 febbraio in tre località dell'area in esame: campione A1 a Zambana Nuova, campione A2 a Trento nord, campione A3 a Trento sud. I valori dell'ossigeno 18 sono crescenti da nord a sud (da -11,81 a -11,60), probabilmente perché l'acqua dell'Adige riceve un apporto da acque locali. L'acqua del torrente Noce campionata il 15 febbraio ha un valore di ossigeno 18 di -10,95. Il suo bacino è meno elevato di quello dell'Adige. L'acqua della Fossa Maestra di Zambana campionata il 15 febbraio ha un valore di ossigeno 18 di -10,75. L'acqua del torrente Avisio al 15 febbraio ha valori di -10,33 ma denota una provenienza da quote maggiori il 24 marzo con un valore di ossigeno 18 di -10,94. L'acqua del torrente Fersina rappresenta in data 24 marzo un bacino di alimentazione di quota inferiore (-10,44) rispetto a quelli dell'Adige e del Noce. L'acqua della Fossa di Caldaro proviene dalla zona dell'omonimo paese in provincia di Bolzano. In febbraio 2004 la sua acqua proveniva da quote più elevate ($\delta^{18}\text{O}$: -10,19) di quelle di marzo ($\delta^{18}\text{O}$: -9,95). Le acque dei rivi che scendono nella valle dell'Adige fra Lavis e Gardolo hanno al 15 febbraio 2004 valori dell'isotopo ossigeno 18 compresi fra -9,15 e -9,03; il valore di marzo delle acque del Rio Camparta diventa di -9,60 ad indicare che entrano acqua o neve cadute a quote più elevate. La quota della sommità del bacino di questi tre rivi è circa a quota 600 m s.l.m. Si può affermare che i valori dell'ossigeno 18 delle loro acque fra febbraio e marzo sono compresi fra -9,60 e -9,03. Questi valori sono nettamente diversi da quelli dell'Adige (fra -11,81 e -11,92), a conferma che i bacini di alimentazione sono diversi.

I valori del deuterio determinato in quattro acque (Tab. 15) confermano quanto detto. L'acqua dell'Adige (campionamento A1) ha il 15 febbraio un valore del deuterio di -84,3 ed il 24 marzo di -84,9; il torrente Avisio ha il 15 febbraio un valore del deuterio di -71,3 ed il 24 marzo di -76,8. A queste due date variano anche i valori dell'eccesso di deuterio (Tab. 15), a significare diverse situazioni atmosferiche delle precipitazioni.

	Data	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta^2\text{H}\text{‰}$	eccesso $\delta^2\text{H}\text{‰}$
Fiume Adige	A1 15/2/04	-11,81	-84,3	10,2
	A1 24/3/04	-11,92	-84,9	10,1
	A2 15/2/04	-11,75		
	A3 15/2/04	-11,60		
Torrente Noce	15/2/04	-10,95		
Fossa Maestra Zambana	15/2/04	-10,75		
Torrente Avisio	15/2/04	-10,33	-71,3	11,3
	24/3/04	-10,94	-76,8	10,8
Torrente Fersina	24/3/04	-10,44		
Fossa Caldaro	15/2/04	-10,19		
	24/3/04	-9,95		
Rio Carpine	15/2/04	-9,15		
Rio Camparta	15/2/04	-9,06		
	24/3/04	-9,60		
Roggia Gardolo	15/2/04	-9,03		

Tab. 15. Valori dell'ossigeno 18 e del deuterio di acque prelevate a febbraio e a marzo 2004.

Acque sotterranee

Possiamo distinguere la sorgente carsica, la falda semiconfinata atesina e le falde confinate profonde. La valutazione dei loro bacini di alimentazione può essere fatta su base isotopica confrontando i valori delle acque superficiali con quelli delle acque sotterranee. La tabella 16 mostra i valori isotopici di diciotto punti d'acqua con determinazione di 30 valori dell'ossigeno 18, di 10 valori del deuterio e di 10 valori di eccesso di deuterio.

Sorgente carsica

Dalla parete dolomitica che sovrasta la discarica di Ischia Podetti emergono due sorgenti carsiche vicine. La più importante è chiamata 11A, la minore è chiamata 11B. Sulla figura 2 sono indicate come punto d'acqua 11. I valori dell'ossigeno 18 delle due sorgenti carsiche al 15 febbraio 2004 sono di -9,68 e -9,66, mentre al 24 marzo 2004 sono di -10,33 e -10,10. I valori del deuterio sono stati analizzati solo per la sorgente 11A; alle due date i valori sono di -67,2 e -71,0. Le acque delle due sorgenti carsiche sono alimentate da acque provenienti da quote superiori di quelle da cui provengono le acque della falda freatica presente nei 13 pozzi considerati e da quote superiori di quelle da cui provengono le acque del rio Carpine, del rio Camparta e della Roggia di Gardolo.

Falda semiconfinata

Il controllo del contenuto di ossigeno 18 è stato realizzato in tredici pozzi, alcuni dei quali campionati il 15 febbraio ed il 24 marzo 2004. Tutti sono stati campionati il 15 febbraio. I valori dell'ossigeno 18 nelle acque campionate il 15 febbraio variano da -9,08 (pozzo 2) a -9,85 (pozzo 9), mentre alla data del 24 marzo tali valori sono compresi fra -9,30 (pozzo 15) e -10,26 (pozzo 20). Risulta così che a fine marzo 2004 la falda freatica contiene acqua proveniente da quote più elevate di quelle che alimentano la falda il 15 febbraio. Viene accettato il criterio di Longinelli & Selmo (2003) per il gradiente isotopico dell'ossigeno 18 di -0,20‰/100 m. La differenza di quota è così di circa 200 metri.

L'acqua del pozzo 14 posta al margine meridionale della discarica di Ischia Podetti ha valori dell'ossigeno 18 uguali sia al 15 febbraio che al 24 marzo (-8,62 e -8,63). Ciò sembra significare che la situazione idrogeologica viene condizionata dalla discarica e non dalla falda esterna alla stessa. I sei valori del deuterio confermano quanto evidenziato dall'ossigeno 18. L'eccesso di deuterio varia da 7,8 a 12,1 a significare diverse condizioni atmosferiche delle precipitazioni.

Falda confinata

Nell'area della figura 2 sono ubicati quattro pozzi con falda profonda e confinata. Solo tre di essi (1, 21, 22) hanno avuto le acque esaminate isotopicamente il 15 febbraio ed il 24 marzo 2004. La falda con acqua penetrata alla quota più elevata e più fredda è quella del pozzo 22 posto ai piedi del conoide di Ravina alimentato probabilmente dalle acque che cadono nel bacino sovrastante che arriva fin quasi a quota 2000 m s.l.m. (monte Palon). L'acqua della falda confinata del

pozzo 21 (conoide del Fersina) ha caratteristiche isotopiche analoghe a quella della falda semiconfinata. Il pozzo profondo 1 a Zambana ha valori isotopici intermedi con relativo valore negativo dell'ossigeno 18 (-9,98) e relativo poco negativo valore del deuterio (-68,5). Si nota inoltre che i valori dell'ossigeno 18 del 24 marzo sono più negativi di quelli del 15 febbraio, a dimostrazione di un apporto di acque più fredde dovuto allo scioglimento delle nevi.

A conclusione sono sintetizzate le situazioni nelle figure 4, 5 e 6. La figura 4 mostra la distribuzione dei valori di ossigeno 18 e deuterio al 24 marzo 2004 dei punti d'acqua 11, 4, 8, 14, 20, 1 e 22, e dei corsi d'acqua Adige e Avisio. Risulta che le varie acque hanno origine diversa; il valore più negativo (acqua più fredda penetrata alle quote più elevate) è quello dell'acqua dell'Adige, mentre il valore meno negativo con acqua locale è tipico del piezometro posto a valle della discarica. La figura 5 mostra la distribuzione dei valori dell'ossigeno 18 al 15 febbraio 2004. Risultano tre fasce di punti d'acqua; una superiore, che comprende il fiume Adige che ha il bacino più elevato in quota, una intermedia, che comprende i torrenti Noce, Avisio, Fossa Maestra, Fossa di Caldaro e l'acqua confinata del pozzo 22, ed una terza fascia che caratterizza i corsi d'acqua e le acque della falda semiconfinata e confinata (pozzo 1), il cui bacino di alimentazione è il più basso in quota. Ad esempio la differenza fra l'acqua dell'Adige e quella del pozzo 20 è -3,36. Considerando valida l'assunzione per l'ossigeno 18 di $-0,20\text{‰}/100\text{ m}$ di quota, si ha che il fiume Adige è alimentato da precipitazioni cadute circa 1800 metri più in alto di quelle che alimentano la falda del pozzo 20; tale valore coincide con le conoscenze topografiche regionali. La figura 6 mostra i rapporti fra conducibilità e valori dell'ossigeno 18 al 15 febbraio 2004. I valori più negativi corrispondono alle acque meno mineralizzate, che sono le acque dei fiumi e dei torrenti. Non segue questa regola l'acqua del piezometro posto appena a sud della discarica in cui è evidente l'influenza dei fluidi che da essa dipartono.

10.3 Carbonio 13 nel DIC

Il carbonio 13 (^{13}C) è un isotopo stabile dell'elemento carbonio. Come DIC (dissolved inorganic carbon) si intende il carbonio che si trova nell'acqua come CO_2 o come HCO_3 , sempre presenti in tutte le acque.

La tabella 17 mostra i valori di detto isotopo trovato nelle acque di quattro pozzi (14, 4, 13, 20) della figura 2, nonché nelle acque del fiume Adige al 16 febbraio ed al 24 marzo 2004. Risulta che i valori mini-

	Data	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta^2\text{H}\text{‰}$	eccesso $\delta^2\text{H}\text{‰}$
Sorgente 11A carsica	15/2/04	-9,68	-67,2	10,2
	24/3/04	-10,33	-71,0	11,6
Sorgente 11B carsica	15/2/04	-9,66		
	24/3/04	-10,10		
FALDA FREATICA				
Pozzo 2	15/2/04	-9,08		
Pozzo 3	15/2/04	-9,31		
	24/3/04	-9,58		
Pozzo 4	15/2/04	-9,74		
	24/3/04	-10,21	-71,6	10,1
Pozzo 5	15/2/04	-9,65	-67,1	10,1
	24/3/04	-9,63		
Pozzo 6	15/2/04	-9,78		
Pozzo 7	15/2/04	-9,88		
	24/3/04	-10,16		
Pozzo 8	24/3/04	-9,13	-65,2	7,8
Pozzo 9	15/2/04	-9,85	-66,7	12,1
Pozzo 13	15/2/04	-9,41		
Pozzo 14	15/2/04	-8,62		
	24/3/04	-8,63	-58,7	10,3
Pozzo 15	15/2/04	-9,42		
	24/3/04	-9,30		
Pozzo 16	15/2/04	-9,42		
	24/3/04	-9,30		
Pozzo 20	15/2/04	-8,45		
	24/3/04	-10,26	-59,1	
FALDA CONFINATA				
Pozzo 21	15/2/04	-9,50		
	24/3/04	-9,61		
Pozzo 1	24/3/04	-9,98	-68,5	11,3
Pozzo 22	15/2/04	-10,73		
	24/3/04	-10,93		

Tab. 16. Valori dell'ossigeno 18 e del deuterio rilevati nella sorgente carsica, nella falda semiconfinata e nelle falde confinate.

mi sono nel pozzo 14 posto appena a valle della discarica di Ischia Podetti. I valori presenti nelle acque dell'Adige e degli altri due pozzi variano fra 11,3 e 17,2. La variazione dei valori da 3 a 17 indica diverse influenze di fonti inquinanti.

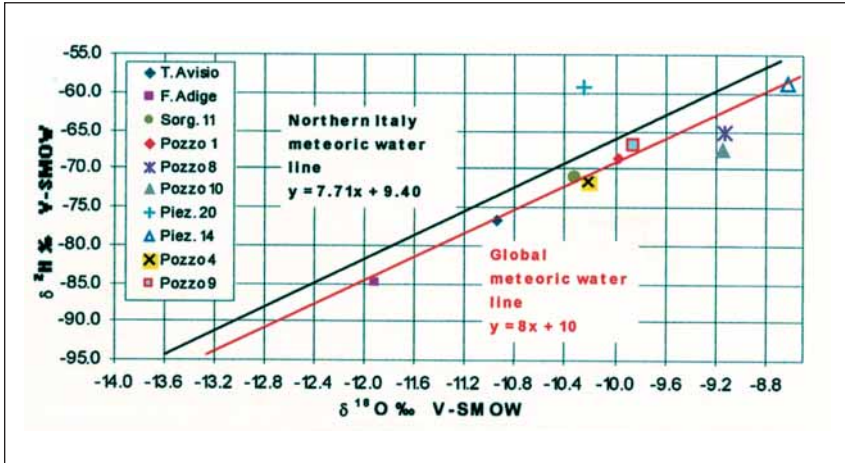


Fig. 4. Rapporti fra i valori di ossigeno 18 e deuterio al 24 marzo 2004 delle acque di: fiume Adige, torrente Avisio, sorgente carsica 11 e dei pozzi della falda confinata 1, della falda freatica 4, 8, 9, 10, 20. Il pozzo 14 è al bordo meridionale della discarica.

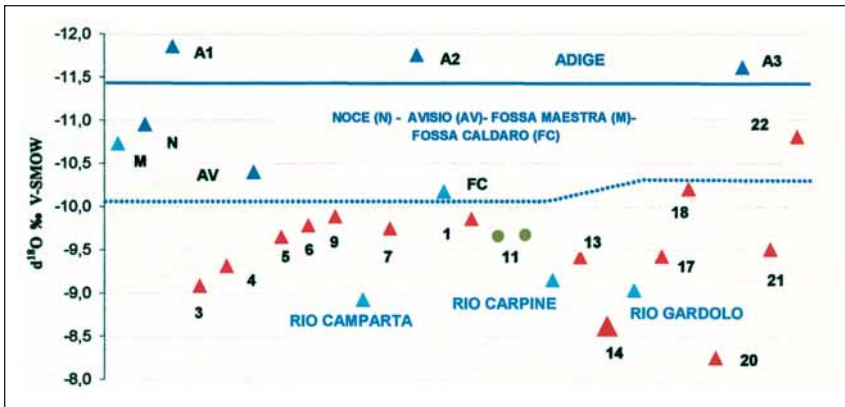


Fig. 5. Rapporti fra i valori dell'ossigeno 18 e la distribuzione delle acque secondo N-S fra Lavis e Trento. Prelievi del 15 febbraio 2004 di pozzi (1, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 22), sorgenti carsiche (11), ed acque superficiali (fiumi Adige, Noce, Avisio; fosse Maestra, Caldano; Rivi Camparta, Carpine, Gardolo).

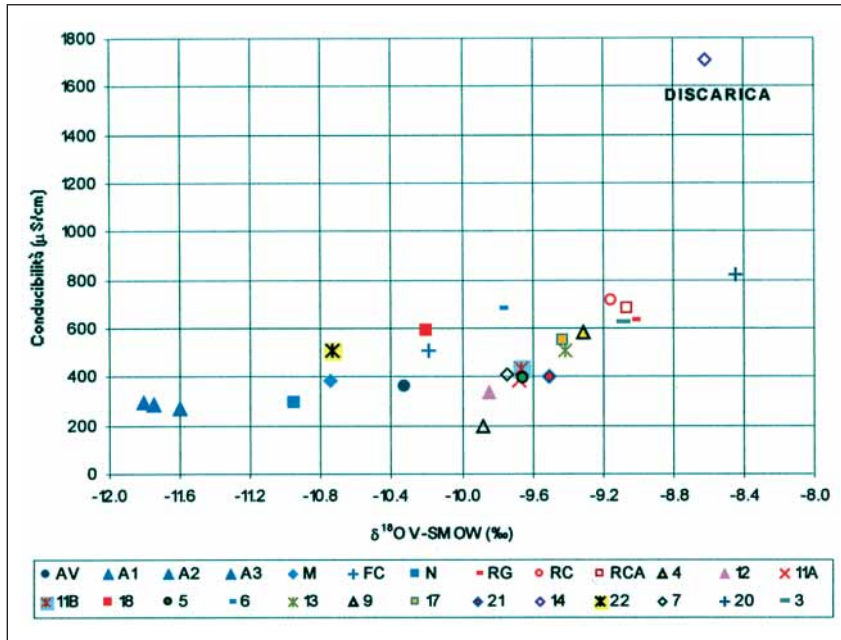


Fig. 6. Rapporti fra ossigeno 18 e conducibilità di acque superficiali e sotterranee. Campioni raccolti in data 15 febbraio 2004. AV = Torrente Avisio; A1, A2, A3 = Fiume Adige; M = Fossa Maestra; FC = Fossa Caldano; N = Torrente Noce; RG = Rio Gardolo; RCA = Rio Camparta; RC = Rio Carpine. Campionati i pozzi: 4, 12, 17, 18, 5, 6, 13, 9, 21, 14, 22, 7, 20, 3 e le sorgenti carsiche 11A e B.

Pozzo/Fiume	Data	$\delta^{13}\text{C-DIC}$ (‰)
14	16/2/04	-3,0
14	24/3/04	-6,1
4	16/2/04	-11,3
13	16/2/04	-12,5
20	24/3/04	-17,2
Adige (A1)	16/2/04	-10,3

Tab. 17. Valori del carbonio 13 in tre pozzi e nel fiume Adige.

11. ROVERÉ DELLA LUNA

Roveré della Luna è un abitato posto su un conoide alluvionale sul fianco destro della valle dell'Adige, al confine con la provincia di Bolzano. Le alluvioni del conoide sono interdigitate con quelle del fiume Adige, che, prima della regimazione, divagava nella zona con una serie di meandri, tra i quali si trovavano zone paludose. In queste zone si sono depositi nel tempo banchi di torba, a varia profondità. L'area è inoltre attraversata da numerose rogge che drenano acque del sovrastante massiccio carbonatico, che sversa in fondovalle.

Sono presenti due acquiferi: un acquifero di conoide alluvionale, dato da ghiaie e sabbie con abbondante matrice limosa, a litologia esclusivamente calcareo-dolomitica, e l'acquifero atesino di fondovalle, dato da limi sabbiosi e sabbie limose, con orizzonti argillosi dello spessore di diversi metri, ricchi di frustoli carboniosi e di livelli di torba.

È stata accertata la presenza di condizioni riducenti, con emissione, dai livelli torbosi più profondi (40-50 m), di gas metano.

Campioni d'acqua provenienti da pozzi per acqua esistenti nella zona nord del territorio comunale, di profondità sino a 30 metri, e sondaggi di ricerca recentemente eseguiti sino a 80 metri di profondità hanno mostrato che nelle acque dei pozzi che intercettano livelli di torba le concentrazioni di arsenico sono fuori norma (valori sino a 32 mg/l, Fig. 7). Al di fuori della norma, in una fascia di territorio adiacente a quella in cui è fuori norma l'arsenico, sono anche le concentrazioni di ferro (fino a 340 mg/l) e di manganese (fino a 280 µg/l, Fig. 8). Nelle stesse zone la durezza delle acque è molto elevata (30-40 °F).

Un campione di torba prelevato in un sondaggio alla profondità di 32 metri è stato analizzato per verificare il contenuto di metalli. La torba si è confermata come un vero concentratore di metalli: sono particolarmente elevati i contenuti di arsenico (115.6 mg/kg sostanza secca) e relativamente alti sono quelli di rame (145.5 mg/kg s.s.), stagno (1.4 mg/kg s.s.) e zinco (166.6 mg/kg s.s.)

L'entità della contaminazione è, sulla ristretta area considerata, molto variabile e viene a dipendere da:

- posizione dei filtri del pozzo e flusso idraulico indotto dal pompaggio rispetto alla posizione degli strati torbosi;
- spessore degli strati torbosi (o abbondanza delle torbe diffuse nei sedimenti);
- direzione di flusso dell'acquifero sotterraneo;
- distanza dalle parti di acquifero che possono essere aerate per abbassamento del livello di falda o che possono ricevere acque di infiltrazione.

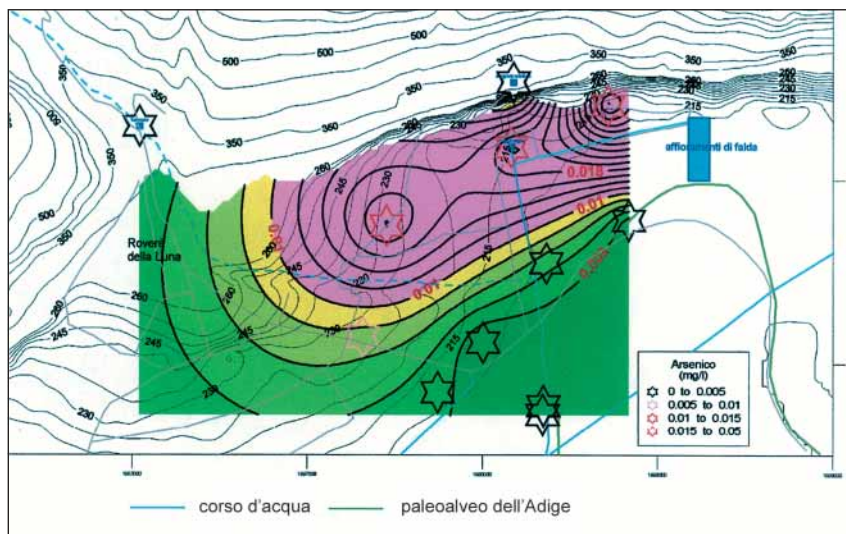


Fig. 7. Concentrazioni di As (in mg/l) presso Roveré della Luna.

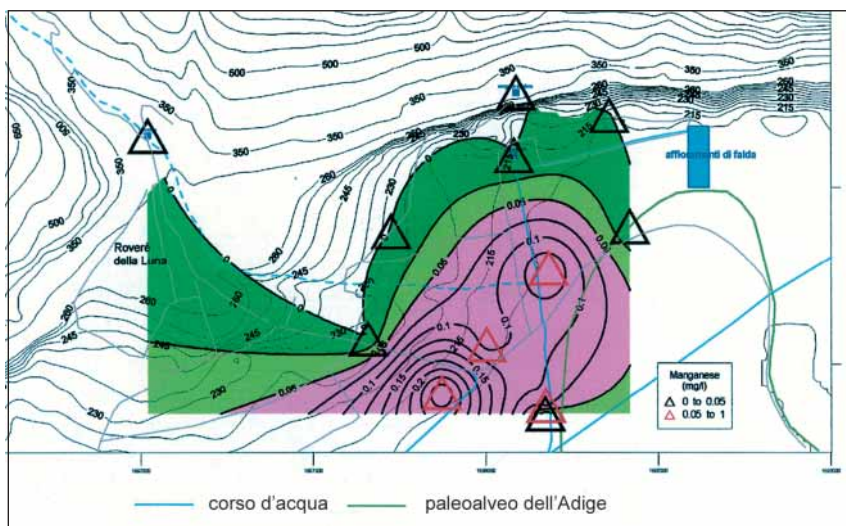


Fig. 8. Concentrazioni di Mn (in mg/l) presso Roveré della Luna.

12. CONSIDERAZIONI

Nell'area studiata le rocce con maggior contenuto di arsenico sono quelle di ambiente marino-costiero e di mare poco profondo. In questi ambienti vi è ancora un apporto dalla terra ferma di arsenico e di altri elementi concentrati in ambiente riducente. Il contenuto di arsenico arriva fino a 39 ppm. Irrilevante è il contenuto di arsenico nell'ambiente marino di scogliera (Triassico medio e superiore) e di mare profondo fra il Giurassico e l'Eocene. I contenuti di arsenico non superano 1 ppm. Significativi sono i contenuti di arsenico nelle rocce vulcaniche continentali del Permiano e delle rocce vulcaniche sottomarine dell'Eocene. I contenuti di arsenico nelle rocce vulcaniche arrivano fino a 8 ppm. Questi contenuti sono in accordo con la letteratura (ONISHI & SANDELL, 1955; CULLEN & REIMER, 1989).

L'arsenico nelle acque superficiali deriva dalla lisciviazione delle rocce presenti nei bacini idrografici dell'Alto Adige e del Trentino. I contenuti di arsenico in queste acque variano da 2,8 a 8,8 µg/l. L'arsenico disciolto nelle acque dei fiumi europei ed americani è, secondo CULLEN & REIMER (1989), fra 1 e 3 µg/l. FUGANTI *et al.* (2004) riportano che le acque del fiume Adige a Bolzano hanno un contenuto di arsenico fino a 6 mg/l perché nella zona vi sono rocce vulcaniche con mineralizzazioni di arsenico.

Nelle acque sotterranee si può distinguere:

- l'acqua di subalveo del torrente Fersina dove i contenuti di arsenico sono fra 12 e 14 µg/l;
- l'acqua carsica con bacino nelle rocce carbonatiche del Mesozoico il cui contenuto di arsenico è molto basso (1,8 µg/l);
- l'acqua della falda semiconfinata atesina; il suo contenuto di arsenico è compreso fra 1,8 e 11,3 µg/l;
- la falda a valle della discarica di Ischia Podetti ha un contenuto di arsenico fra 11,8 e 27,2 µg/l;
- la falda confinata profonda ha un contenuto di arsenico fra 13,1 e 56 µg/l.

La spiegazione della forte differenza del contenuto di arsenico fra la falda semiconfinata superficiale e le falde profonde è connessa con l'ambiente ossidante superficiale e l'ambiente riducente profondo dove vi è l'accumulo di molti metalli fra cui ferro, manganese ed arsenico. Nelle acque in condizioni riducenti si può avere mobilitazione dell'As per desorbimento di ossianioni di As dalla superficie degli idrossidi di ferro, alluminio e manganese che ricoprono come patina i granuli dell'acquifero, e/o per dissoluzione riduttiva di idrossidi di Fe (FeOOH)

presenti nei sedimenti (BHATTACHARYA *et al.*, 2001). Il processo può essere mediato da azioni batteriche, in cui la presenza dei batteri è collegata a quella di strati di materia organica. In molti siti la presenza di As è infatti correlata con la presenza di torba nei sedimenti. La riduzione ha la formula:



ed è guidata dal metabolismo microbico della materia organica (RAVENSROFT *et al.*, 2001); essa è accompagnata dalla riduzione, sempre microbica, dell'arsenato in arsenito. La concentrazione di arsenico e di altri metalli nell'ambiente lacustre ricco di sostanza organica algale rispetto alle acque sovrastanti è stato evidenziato da FUGANTI & MORTEANI (1999) per il lago di Tovel (Trentino). Considerando l'alta concentrazione di As presente negli strati torbosi, si può prospettare anche un meccanismo di rilascio e dissoluzione di As per lisciviazione, indotta dal pompaggio dei pozzi, e sempre mediata dall'attività microbica: QURESHI *et al.* (2003) hanno dimostrato che l'entità della lisciviazione di As dalle torbe può essere elevata (dal 5% al 21% della concentrazione originaria nella torba, a seconda delle condizioni di pH). Ad analoghe conclusioni sono giunti GOTKOWITZ *et al.* (2004) che hanno studiato i rapporti fra pompaggio di falde confinate e contenuti di arsenico nelle acque emunte.

I rapporti fra la presenza dell'arsenico nelle acque sotterranee, le condizioni riducenti e ossidanti e l'azione microbiologica, sono discussi da vari autori riferendosi a differenti località, dalla pianura ungherese (VARSANYI *et al.*, 1991) al bacino del Bengala in India e Bangladesh (ACHARYYA *et al.*, 1999; NICKSON *et al.*, 2000; ANAWAR *et al.*, 2003).

BIBLIOGRAFIA

- ACHARYYA S.K., LAHIRI S., RAYMAHASHAY B.C., BHOWMIK A., 1999 - Arsenic toxicity of groundwater in parts of the Bengal basin in India and Bangladesh: the role of Quaternary stratigraphy and Holocene sea-level fluctuation - *Environmental Geology*, 39: 1127-1137.
- ANAWAR H.M., AKAI J., KOMAKI K., TERAO H., YOSHIOKA T., ISHIZUKA T., SAFIULLAH S., KATO K., 2003 - Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh: sources and mobilization processes - *Journal of Geochemical Exploration*, 77: 109-131.
- BHATTACHARYA, P., JACKS, G., SRACEK, A., GUSTAFSSON, J.P., and CHATTERJEE, D., 2001 - Geochemistry of the Holocene alluvial sediments in the Bengal Delta Plains: Implication on arsenic contamination in the groundwater - In Proceedings of the KTH - Dhaka University Seminar on Groundwater Arsenic Contamination in

- the Bengal Delta Plains of Bangladesh. *Edited by G. Jacks, P. Bhattacharya, and A.A. Khan. KTH Special Publication, Stockholm, Sweden.* TRITA-AMI report 3084.
- CULLEN W.R., REIMER K.J., 1989 - Arsenic speciation in the environment - *Chemical Reviews*, 89: 713-764.
- FUGANTI A., MORTEANI G., 1999 - La storia del Lago di Tovel in base ai sedimenti della Baia Rossa (Trentino) - *Geologia Tecnica & Ambientale*: 21-32.
- FUGANTI A., BAZZOLI G., MORTEANI G., 2001 - La genesi della Valle dell'Adige - *Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica*, 77: 205-219.
- FUGANTI A., SAPELZA A., MORTEANI G., COLOMBETTI A., 2004 - L'arsenico nelle acque per il consumo umano: aspetti legislativi, tossicologia, idrogeologia ed idrochimica, e valutazione dei metodi di dearsenificazione. Progetto Arge Alp: arsenico nelle acque per il consumo umano - *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1: 45-53.
- GOTKOWITZ M.B., SCHREIBER M.E., SIMO J.A., 2004 - Effects of water use on arsenic release to well water in a confined aquifer - *Groundwater*, 42: 568-575.
- LONGINELLI A., SELMO E., 2003 - Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map - *Journal of Hydrology*, 270: 75-88.
- NICKSON R.T., MCARTHUR J.M., RAVENSCROFT P., BURGESS W.G., AHMED K.M., 2000 - Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal - *Applied Geochemistry*, 15: 403-413.
- ONISHI H., SANDELL E.B., 1955 - Geochemistry of arsenic - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 7: 1-33.
- QURESHI S., RICHARDS B.K., MCBRIDE M.B., BAVEYE P., and STEENHUIS T.S., 2003 - Temperature and microbial activity effects on trace element leaching from metalliferous peats - *J. Environ. Qual.* 32: 2067-2075.
- RAVENSCROFT P., MCARTHUR J.M., HOQUE B.A., 2001 - Geochemical and palaeohydrological controls on pollution of groundwater by Arsenic - In: *Arsenic exposure and health effects IV. W.R. Chappel, C.O. Abernathy & R. Calderon (Eds): 53-78*, Elsevier Science Ltd., Oxford
- VARSAŃYI I., FODRÉ Z., BARTHA A., 1991 - Arsenic in drinking water and mortality in the southern Great Plain, Hungary - *Environmental Geochemistry and Health*, 13: 14-22.

Indirizzo degli autori:

Andrea Fuganti - Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali, Via Mesiano, 77 - I-38050 Mesiano (TN), Italia.

Giulio Morteani - Hydroisotop GmbH - Woelkestrasse, 9 -
D-85301 Schweitenkirchen, Germania.

Gianfranco Bazzoli e Marco Visintainer - Trentino Servizi S.p.A.,
Via Fersina, 23 - I-38100 Trento, Italia.

Saverio Cocco e Ernesto Santuliana - Servizio Geologico della Provincia
Autonoma di Trento, Via Roma, 50 - I-38100 Trento, Italia.
