

## CONTAMINAZIONE NATURALE DA ARSENICO DI ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE IN TICINO (SVIZZERA MERIDIONALE)

Giorgio BEATRIZOTTI<sup>1</sup>, Jérôme BERTHOUD<sup>2</sup>, Marco DE ROSSA<sup>3</sup>, Anne GUEYE-GIRARDET<sup>2</sup>, Mario JAEGGLI<sup>3</sup>, Jean-Claude LAVANCHY<sup>2</sup>, Hans-Rudolf PFEIFER<sup>1,2</sup>, Damien REYMOND<sup>2</sup>, Catherine SCHLEGEL<sup>2</sup>, Valerie SCHMIT<sup>2</sup> & Emile TEMGOUA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scuola Universitaria Professionale, Istituto Scienze della Terra, Via Trevano Blocco C, Casella Postale 72, CH-6952 Canobbio

<sup>2</sup> Università de Lausanne, Sciences de la Terre, Centre d'Analyse Minérale, BFSH 2, CH-1015 Lausanne

<sup>3</sup> Laboratorio Cantonale, Via Mirasole 22, C. P., CH-6501 Bellinzona

**Abstract** Arsenic belongs together with lead, mercury and cadmium to the most toxic elements. Used extensively during the first half of the 20<sup>th</sup> century as part of pesticides, today, its industrial use has been drastically reduced, but still persists. However, the influence of natural arsenic occurrences on soil and water composition has been largely underestimated. During the last 10 years, starting in Asia, especially in Taiwan, Bangladesh and India, natural As-contamination has been discovered in many countries. The main liberation and dispersion processes are weathering of As-bearing rocks and input of deep As-rich thermal waters in shallow aquifers. The main concern is drinking water with As-contents above the internationally recommended limiting value of 10 µg/l. In Switzerland, rocks and soils containing As in elevated amounts are known from the Jura (Bohnerz formation, Fe-rich Dogger limestone) and from the Alps (sulfide ore deposits and silicate rocks relatively rich in pyrite or hematite). For the moment detailed data on drinking water is only available for the Ticino area.

In about a dozen communities the drinking water contains between 10 and 40 µg/l As, locally up to 80 µg/l were detected. In former mines and some isolated ground water drill holes, characterized by reducing conditions, values of up 300 µg/l As occur. These are close to levels which are known from Bangladesh and which create the typical arsenic pathologies (e.g. "black foot disease", cancer) after a few years of exposure. Depending on the dissolved oxygen content and the oxidation potential, arsenic occurs as As(III) or As(V) or as a mixture of both. The contamination is limited to the Sotto Ceneri area and 4 types of hydro-geological situations can be distinguished: (1) Spring water and local creeks related to a fissured hard rock aquifer with an elevated As-content (gneisses, mica schists and phyllonites containing elevated amounts of As-bearing pyrite and iron oxides). (2) Spring waters related to a porous glacial aquifer which is enriched in As, due to the erosion of regional Fe-As ore deposits. (3) Mine waters issuing from abandoned adits and/or percolating through mine dump material rich in arsenic. (4) Reduced Fe- and As-rich groundwater slowly circulating or stagnating in alluvial river deposits on the valley grounds, often close to the shore line of lakes and rivers. Here, the exact origin of the As is often unknown. Actually the state authorities monitor the critical springs and wells and some of them have recently been excluded from consumption. Water treatment procedures to reduce arsenic in drinking water to levels of about 5 µg/l exist and have been tested already, but ask for close follow up of water treatment plant.

**Riassunto** L'arsenico, con piombo, mercurio e cadmio, è tra gli elementi maggiormente tossici. Esso è stato molto utilizzato, nella prima metà del 20 secolo, come componente dei pesticidi, ed anche oggi prosegue, per quanto drasticamente ridotto, un suo impiego ad uso industriale. Al contrario non è mai stata data una sufficiente importanza all'arsenico presente naturalmente nei terreni e nell'acqua. Negli ultimi 10 anni sono stati rilevati dei casi di contaminazioni da arsenico di origine naturale in molti paesi: Taiwan, Bangladesh e India. I principali processi di liberazione e dispersione sono l'alterazione di rocce contenenti arsenico e la miscelazione di acque termali profonde, contenenti arsenico, con acque superficiali. I problemi derivano dall'uso potabile di acque contenente dei quantitativi di arsenico superiori al valore limite, raccomandato a livello internazionale, di 10 µg/l. In Svizzera vi sono delle rocce e dei suoli contenenti delle quantità elevate di arsenico sia nel Giura (formazioni calcaree e argillose del Dogger ricche di Ferro – formazione di Bohnerz) e nelle Alpi (depositi di solfuri e rocce silicee relativamente ricche in pirite ed ematite). Al momento dei dati dettagliati sulle acque potabili sono disponibili soltanto nella Svizzera meridionale (Ticino). In circa dodici comuni l'acqua potabile contiene tra 10 e 40 µg/l di arsenico, mentre in qualche sorgente se ne sono trovati anche 80 µg/l. In vecchie gallerie di miniera e in alcuni sondaggi, eseguiti in acquiferi isolati in condizioni riducenti, si sono trovati sino a 300 µg/l di arsenico. Valori prossimi quelli trovati in Bangladesh e che, dopo pochi anni d'esposizione, sono la causa delle tipiche patologie da arsenico (ipercheratosi, melanodermia arsenicale, cancro). In funzione dell'ossigeno disciolto e del potenziale di ossidazione l'arsenico si presenta come As(III) o As(V) o come una miscela dei due. La contaminazione è limitata al Sottoceneri dove sono state rilevate le seguenti situazioni: (1) Acqua sorgiva e ruscelli provenienti da acquiferi fessurati, presenti in rocce con un alto contenuto di arsenico (gneiss, micascisti e fillidi con importanti quantità di pirite con arsenico ed ossidi di ferro). (2) Acque sorgive provenienti da un acquifero poroso (depositi glaciali) che si è arricchito d'arsenico a seguito dell'erosione di depositi di arsenico e ferro. (3) Acque provenienti da vecchie gallerie di miniere o da discariche di materiali di risulta ricchi d'arsenico. (4) Acque sotterranee, povere d'ossigeno ma ricche di ferro e arsenico, circolanti lentamente, se non stagnanti, in depositi incoerenti confinanti con corsi d'acqua o rive di laghi. In quest'ultimo caso l'origine esatta dell'arsenico è spesso sconosciuta. Al momento le autorità cantonali tengono sotto controllo le sorgenti ed i pozzi critici ed alcuni di questi recentemente sono stati tolti dalla rete d'approvvigionamento idrico.

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 L'Arsenico nel mondo

Sin dall'antichità l'arsenico era conosciuto per le sue proprietà tossiche (Eisler 1988). Analogamente a quanto verificatosi per altri elementi tossici, le attività industriali (estrazione dell'arsenico, fabbricazione di coloranti arsenicali, metallurgia, fusione e manifattura del vetro), l'impiego in medicina e gli usi come: pesticida, conservante del legno e coadiuvante nella crescita degli animali, sono all'origine di una larga distribuzione nell'ambiente ed in particolare nel suolo e nell'acqua. Nel 1985 si è stimato che le emissioni antropiche d'arsenico nell'atmosfera fossero di circa 28'000 t/anno, quantitativo di poco superiore alla metà delle emissioni naturali (vulcani e incendi di foreste) (45'000 t/anno; Chilvers & Peterson 1987).

Tra il 1970 ed il 1990 si sono fatti ovunque molti sforzi per ridurre le immissioni antropiche e le contaminazioni locali, una particolare attenzione è stata posta alla crescita dei quantitativi d'arsenico nei suoli. Minore attenzione è però stata data ai valori naturali di: rocce, suoli e acqua, questo anche per le difficoltà analitiche connesse all'identificazione di quantità relativamente basse d'arsenico. I principali processi di liberazione e dispersione sono l'alterazione di rocce contenenti arsenico e la miscelazione di acque termali profonde, ricche in arsenico, con quelle contenute negli acquiferi superficiali. Mentre gli effetti tossici dati da alte concentrazioni d'arsenico sono ben noti (0.1 g di triossido di arsenico possono essere letali per gli uomini), per molto tempo si sono sottostimati gli effetti di un'esposizione prolungata a valori medi e bassi e di una loro accumulazione. Alcuni studi, svolti a Taiwan negli anni '60, dove delle persone sono state esposte a dei livelli eccezionalmente alti, hanno mostrato che delle concentrazioni di 500 µg/l d'arsenico nell'acqua potabile causano la cancro della pelle o altre forme di lesione della stessa. L'OMS stima che l'uso quotidiano, per 70 anni, d'acqua contenente 20 µg/l di arsenico possa far aumentare del 5% i casi di cancro della pelle o di altri tipi di cancro. Per queste ragioni, recentemente, molti paesi, ma non ancora la Svizzera, hanno ridotto il livello massimo ammissibile nell'acqua potabile da 50 a 10 µg/l, valore raccomandato dall'OMS (1999).

Questa nuova soglia e i dati riguardanti milioni di persone nel Bengala occidentale (India) e in Bangladesh (Samanta *et al.* 1999, Hug *et al.* 2000), che avendo cominciato, alla fine degli anni '80, a bere acqua proveniente da acquiferi profondi, ora soffrono di cancro della pelle, ipercheratosi e melanodermia arsenicale, hanno portato le autorità di molti paesi a controllare sistematicamente i loro servizi d'acqua potabile. Il risultato di questi controlli è che in molti paesi del mondo, compresi gli Stati Uniti e parte dell'Europa, vi sono delle zone dove il valore naturale d'arsenico nell'acqua è più alto di 10 µg/l, per cui vi sono migliaia di acquedotti, che servono milioni di utenti, che necessitano di sistemi appropriati per rimuovere l'arsenico dall'acqua (Germania: Heinrichs & Udluft 1996, Weiss *et al.* 1999; Austria: Wenzel *et al.* 1999; France: Robert *et al.* 1998; Hungary: BAW 1993, VATECH 1999; Portugal: Moreno *et al.* 1999, USA: Davis *et al.* 1994, Welch *et al.* 1999.; Spagna: Sassoon 1998, Mardones 2000; Slovenia: Svetina & Pirc 1998, Chile: Sancha 1999, Argentina: Rivero *et al.* 1999, Mexico: Rosas *et al.* 1999, Simeonova 1999; Australia: Naidu *et al.* 1999, India e Bangladesh: Samanta *et al.* 1999, Nickson *et al.* 2000, Vietnam: Berg *et al.* 2001).

### 1.2 L'Arsenico nella Svizzera meridionale.

In Svizzera vi sono zone dove le rocce ed i suoli presentano un alto tenore di arsenico, queste si trovano sia nel Giura – (noduli di ferro e argille rosse del Siderolitico (Formazione di Bohnerz), calcari bruni del Dogger (Giura medio) ricchi in ferro e calcari gialli del Cretaceo (Donzel 2001) – che nelle Alpi – solfuri e rocce silicee relativamente ricche di pirite o ossidi di ferro (Pfeifer & Zobrist 2002) –. Sino al 1994, in Svizzera i dati sulla presenza d'arsenico nell'ambiente erano molto limitati (Pfeifer *et al.* 1996). Gli stessi riguardavano alcune sorgenti minerali (Högl 1980), pochi suoli e sedimenti in Vallese (Woodtli *et al.* 1985) e qualche sorgente e pozzo del Malcantone (Ticino) (Pfeifer *et al.* 1996). Una ricerca sistematica è iniziata con uno studio sui suoli e ruscelli del Malcantone (Bondietti *et al.* 1994, Rey 1996, Pfeifer e Rey, 1998). Nel 1996, quando una delle sor-

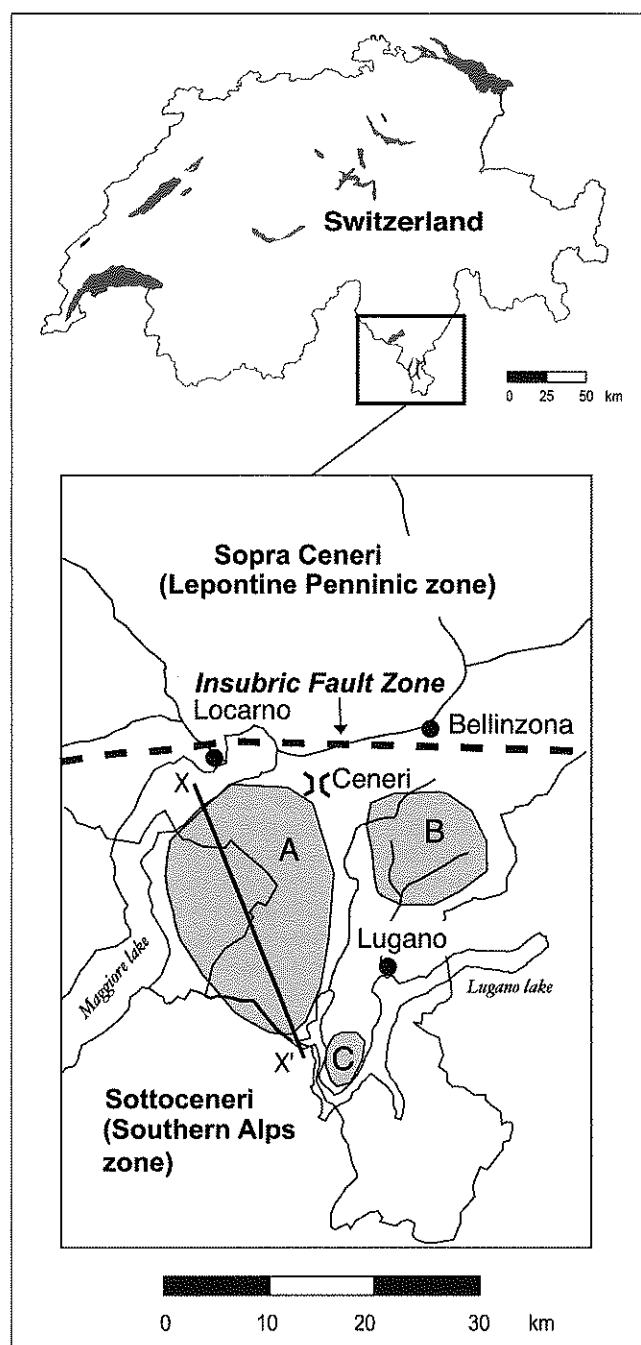


Fig. 1 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T °C	10.0	13.0	10.9	6.0	10.9	10.3	10.0	7.8	–	10.0	10.0	10.0
K mS/cm	76.0	70.0	80.0	231.0	122.0	–	280.0	123.0	–	190.0	223.0	–
pH	7.8	7.7	7.5	7.8	7.5	7.5	6.2	7.9	–	8.0	7.3	8.2
Eh mV	–	–	–	–	+190.0	–	–	–	–	–9.0	+153.0	–
Na µg/L	2.6	2.5	1.6	5.2	2.9	4.2	7.1	2.5	10.3	11.3	–	–
K	1.0	0.3	0.5	1.4	9.1	1.3	1.4	1.2	2.9	1.9	–	–
Mg	3.0	2.2	0.8	8.2	0.9	14.6	4.2	1.7	26.3	3.5	–	–
Ca	10.0	5.3	12.7	37.4	16.8	41.1	19.2	18.8	61.5	22.9	–	–
HCO <sub>3</sub>	20.0	21.2	37.0	123.2	41.5	103.7	4.2	70.9	301.3	83.0	–	–
Cl	1.0	<0.2	4.0	6.2	9.8	2.4	<0.2	0.7	7.5	1.5	–	–
SO <sub>4</sub>	–	9.0	10.2	16.6	8.7	63.5	64.6	13.8	12.7	13.6	–	–
NO <sub>3</sub>	0.9	4.4	5.9	1.2	3.8	4.0	1.3	5.9	0.9	–	–	–
SiO <sub>2</sub>	7.1	3.3	7.7	1.8	–	2.3	15.4	4.3	–	–	–	–
Fe	–	<0.05	0.1	–	–	–	1.5	<0.05	–	–	–	–
As µg/L	9.0	25.8	0.5	2.0	74.0	159.0	234.0	32.5	211.0	290.0	80.0	42.0
AsIII	–	–	–	<0.3	1.5	4	–	–	135	220	26	<0.5
AsV	–	–	–	2	72.5	155	–	–	76	70	54	42

- 1: Fiume Magliasina, Malcantone (Martini & Pilet 1996)
- 2: Fiume Bello, Val Colla (Schmit 2000)
- 3: Fiume Vedeggio, Val Isone (Schmit 2000)
- 4: Lago di Lugano a Figino (Barbieri & Mosello 1992, As: questo lavoro)
- 5: Sorgente Proda ad Astano, Malcantone (AS 91): questo lavoro
- 6: Acqua fluente attraverso una discarica di miniera a Beredino, Malcantone (Rey 1996, questo lavoro)
- 7: Acqua proveniente da vecchie gallerie di miniera a Medeglia, Val Isone (Schmit 2000)
- 8: Sorgente a Camignolo, Val Isone (Schmit 2000)
- 9: Ambiente riducente, acqua sotterranea a Barbengo – Figino, non trattata (pozzo comunale), (Jäggl 1999a)
- 10: Ambiente riducente, acqua sotterranea in Val Tresa; stagnante (Cr 6a, 2000, questo lavoro)
- 11: Ambiente riducente, acqua sotterranea in Val Tresa; dopo 10 minuti di pompaggio (Cr 6a, 2000, questo lavoro)
- 12: Ambiente riducente, acqua sotterranea in Val Tresa; dopo 30 minuti di pompaggio (Cr 6a, 2000, questo lavoro)

Tab. 1: analisi tipiche di acque superficiali e sotterranee contenenti arsenico naturale

genti che fornivano acqua potabile ai Comuni di Sessa ed Astano, fu temporaneamente chiusa, in un'altra furono trovati dei valori d'arsenico molto alti. Questo portò ad un controllo sistematico delle acque potabili di tutto il Cantone Ticino (Jäggl 1996, 1997, 1999a & b; Pfeifer *et al.* 2000). Al termine dei controlli ci si rese conto come le acque contenenti arsenico, in misura superiore alle soglie indicate dall'OMS, fossero molto più diffuse di quanto si pensasse. Come in altri paesi, anche in Ticino, la presenza d'arsenico è un fenomeno naturale. Obiettivo di questa pubblicazione è dare una visione d'insieme sulla presenza e la composizione delle acque superficiali e sotterranee ricche d'arsenico della Svizzera italiana.

Tre sono le zone dove le acque sotterranee hanno dei valori superiori ai 10 µg/l (Fig. 1), tutte si trovano nelle rocce silicee delle Alpi meridionali a sud della Linea Insubrica. La sorgente di arsenico è essenzialmente geochimica e riferibile all'ossidazione supergenica di solfuri metallici (pirite, calcopirite, arsenopirite). Nelle acque, l'arsenico è presente come ossianioni solubili arsenato (V) e arsenito (III). La tossicità dell'elemento dipende dallo stato d'ossidazione: le forme ridotte sono più tossiche di quelle ossidate. La variabilità dell'arsenico influenza il suo adsorbimento su: ossidi e idrossidi di Ferro e d'Alluminio, minerali argillosi e sostanza organica. (Smith *et al.* 1998, Halter & Pfeifer 2001), mentre la precipitazione sotto forma di ossidi o di arseniti (orto, meta e piro) è molto più rara. Ambienti alcalini (pH alto) e riducenti (basso Eh) favoriscono la mobilizzazione dell'arsenico nell'acqua e nei suoli (Deutsch 1997).

Dal profilo della composizione chimica generale le acque sopra menzionate (cfr. Pfeifer *et al.* 2000), appartengono a due principali tipi chimici (Tab. 1):

(A) acque dominate dalle interazioni con rocce silicee, caratterizzate da un basso contenuto di solidi disciolti (conduttività tra

70 e 120 mS/cm, pH tra 7.0 e 7.5, basse alcalinità: HCO<sub>3</sub> 20 - 40 µg/l) e (B) acque influenzate da rocce carbonatiche con conduttività tra 250 e 300 mS/cm e un pH spesso superiore ad 8. Le concentrazioni d'arsenico nelle acque superficiali sono comprese tra 0.5 e 26 µg/l, quelle nelle sorgenti normalmente ossidate tra <0.5 e 80 µg/l. Valori più alti, tra 150 e 300 µg/l, sono stati trovati in relazione a miniere di solfuri (analisi no 6 e 7) e nelle acque sotterranee stagnanti e riducenti degli acquiferi alluvionali (analisi no 9 - 11). La ripartizione, ancora poco nota, tra As(III) e As(V) sarà discussa ulteriormente.

## 2. MALCANTONE

Questa zona, situata ad ovest di Lugano (Fig. 1), comprende essenzialmente i bacini, ricchi di depositi minerali, della Magliasina e della Lisora (Fig. 2 e 3), dove vi è stata un'attività mineraria locale mirata all'estrazione d'oro e di ferro. Queste estrazioni hanno portato alla creazione di modeste discariche, spesso ricche d'arsenico, di cui i principali esempi sono le miniere di Costa ad Astano e di Torri a Breno (Steiger 1999, Pfeifer *et al.* 2000), vicino alle quali si sono trovati nei terreni e nei ruscelli dei tenori d'arsenico alti (Pfeifer & Rey 1998, Pfeifer *et al.* 2000, Girardet 2001). La presenza di sorgenti ricche d'arsenico fuori della zona delle miniere (es. N di Astano), ci porta a ritenere che la responsabilità dei depositi minerali sia però incidentale (Fig. 4) e che invece la principale fonte dell'arsenico nei terreni e nelle acque siano i depositi glaciali. Le concentrazioni d'arsenico nei depositi glaciali e fluviali variano tra i 40 ed i 150 mg/kg, con un massimo attorno ai 500 mg/kg, anche se si è trovato un orizzonte di suolo, a 60 cm di profondità, con un contenuto di 750 mg/kg (Girardet 2001). Köppel (1996) e Berthoud (2001) citano la presenza nei depositi glaciali dell'area di Pura di blocchi erratici mineralizzati. Questo, assieme all'alto contenuto in arsenico della parte fine del till, sembra



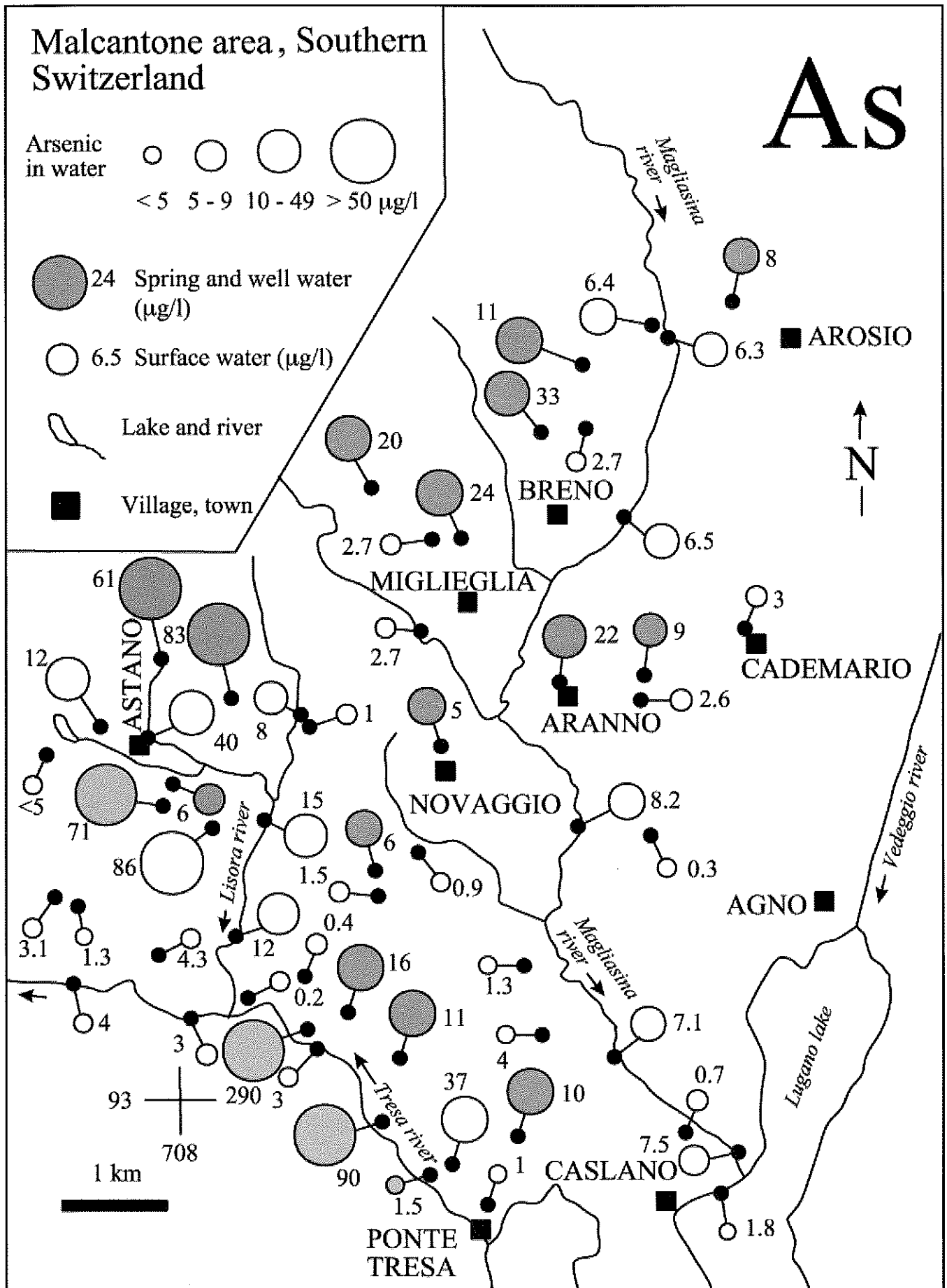
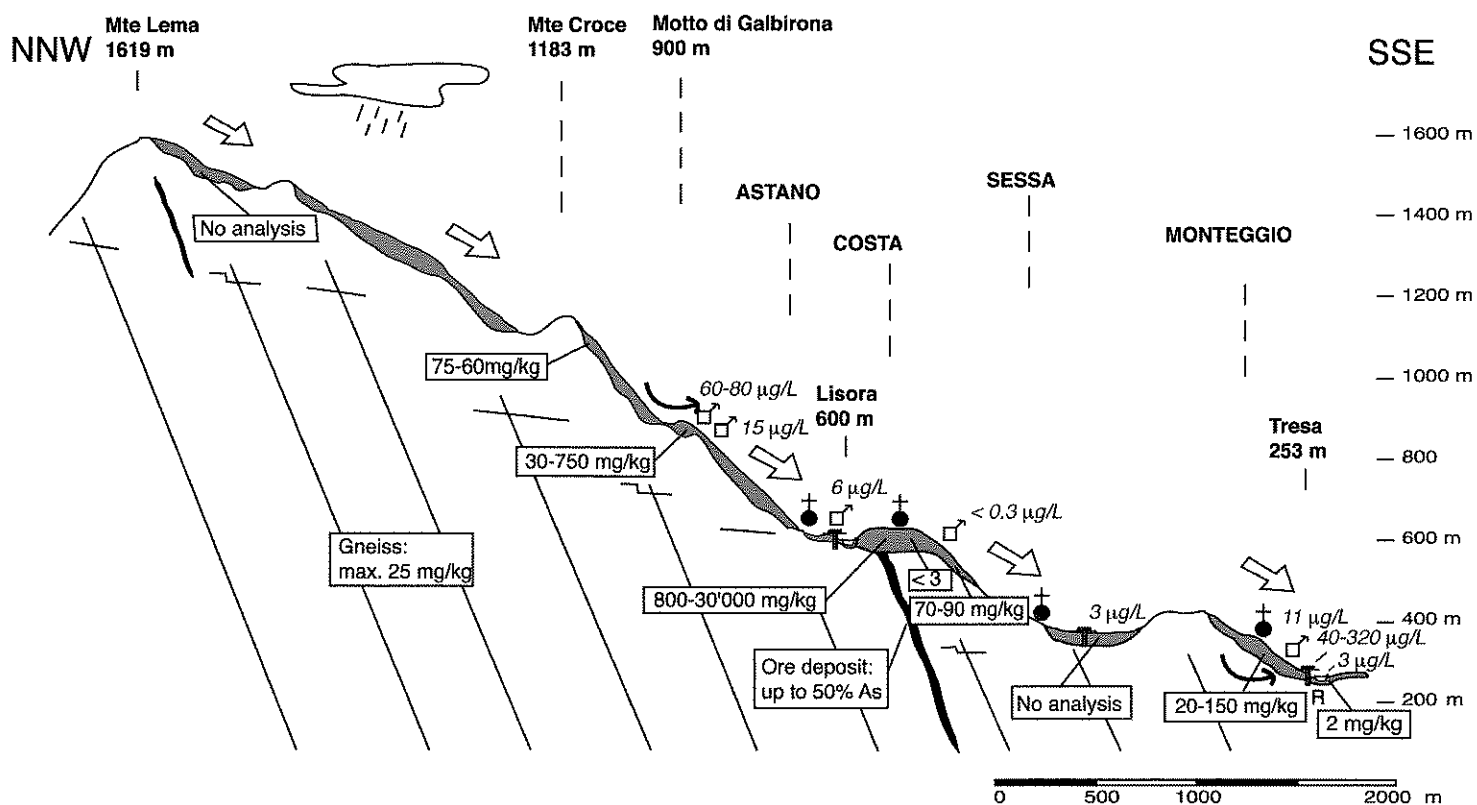


Fig. 3 vedi indice figure (pp. 14 - 15)



Rocks and soils		Waters		Processes		
	Geol. substrate (gneisses, micaschists, amphibolites)		Oxygenated springs		Erosion of As-bearing material	
	As-bearing ore		Groundwater well (often reduced)		As-leaching in sediments	
	Fissures (close to the surface)		River (oxygenated)		Reduction in stagnant water	
	Major aquifers (soils and unconsolidated sediments at the surface)		As in water (min.-max.)			
	As-contents in soils (top-bottom)					
					<b>General</b>	
						villages

Fig. 4 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

indicare che l'alterazione e l'erosione dei ghiacciai negli ultimi 100'000 anni è l'origine della contaminazione da arsenico e che la stessa è principalmente naturale.

Le percentuali relative d'arsenico (III) e (V) in queste acque sono abbastanza costanti. Tutte le 15 sorgenti analizzate erano ossidanti e composte, per più del 99%, di As(V), (cfr. Tab. 1, Jäggi 1998). La ripartizione tra le due forme di ossidazione, per acque provenienti da gallerie minerarie, è nota solo ad Astano - Bolle e Astano - Costa - Beredino. Dato che queste acque spesso sono a contatto con dei solfuri, che creano delle condizioni riducenti (Eh minore di 100 mV), l'arsenico trivalente può raggiungere il 10% dell'arsenico totale (cfr. no 6 Tab. 1).

Non soltanto i suoli, i sedimenti e l'acqua contengono arsenico, ma anche la vegetazione. I muschi sulle rive della Magliasina contengono tra i 10 ed i 50 mg/kg d'arsenico, l'erba nella zona di Croglio arriva a 5 mg/kg e le piante che crescono sulla vecchia discarica della miniera di Costa (denti di leone, betulle, erica viola) ne contengono sino a 10 mg/kg. Anche i muschi che crescono sugli alberi del Malcantone sono più ricchi di arsenico di quanto riscontrato in altre parti della Svizzera

(BUWAL 1993), infatti ne contengono sino a 3 mg/kg. Dato che i muschi non hanno radici, questo può essere spiegato con un arricchimento in arsenico della polvere trasportata dal vento. Ad un'analoga conclusione sembrano portare gli alti contenuti nelle acque di pioggia (Pfeifer *et al.* 2000).

### 3. VAL DI ISONE - VAL COLLA

In questa zona non vi è quasi traccia di depositi minerari malgrado siano presenti, almeno in parte, le stesse formazioni geologiche che si trovano nel Malcantone. Si conoscono infatti solo due mineralizzazioni, una con ferro, quarzo e pirrotina a Medeglia, e l'altra con pirite, arsenopirite, ferro e dolomite in Val di Bogh, a ovest di Cima di Lago (Fig. 5, cfr. Köppel 1966, p. 111). I contenuti d'arsenico nell'acqua e nel suolo sono però alti quasi come nelle altre regioni (Fig. 5, Schmit 2000).

I depositi glaciali sono relativamente rari, mentre gran parte dell'area è caratterizzata da un sottile strato di suolo che, oltre a fungere da supporto ad un'ampia zona erbosa subalpina, copre i detriti di roccia. Le rocce silicee sottostanti contengono delle concentrazioni d'arsenico molto variabili (da 8 a

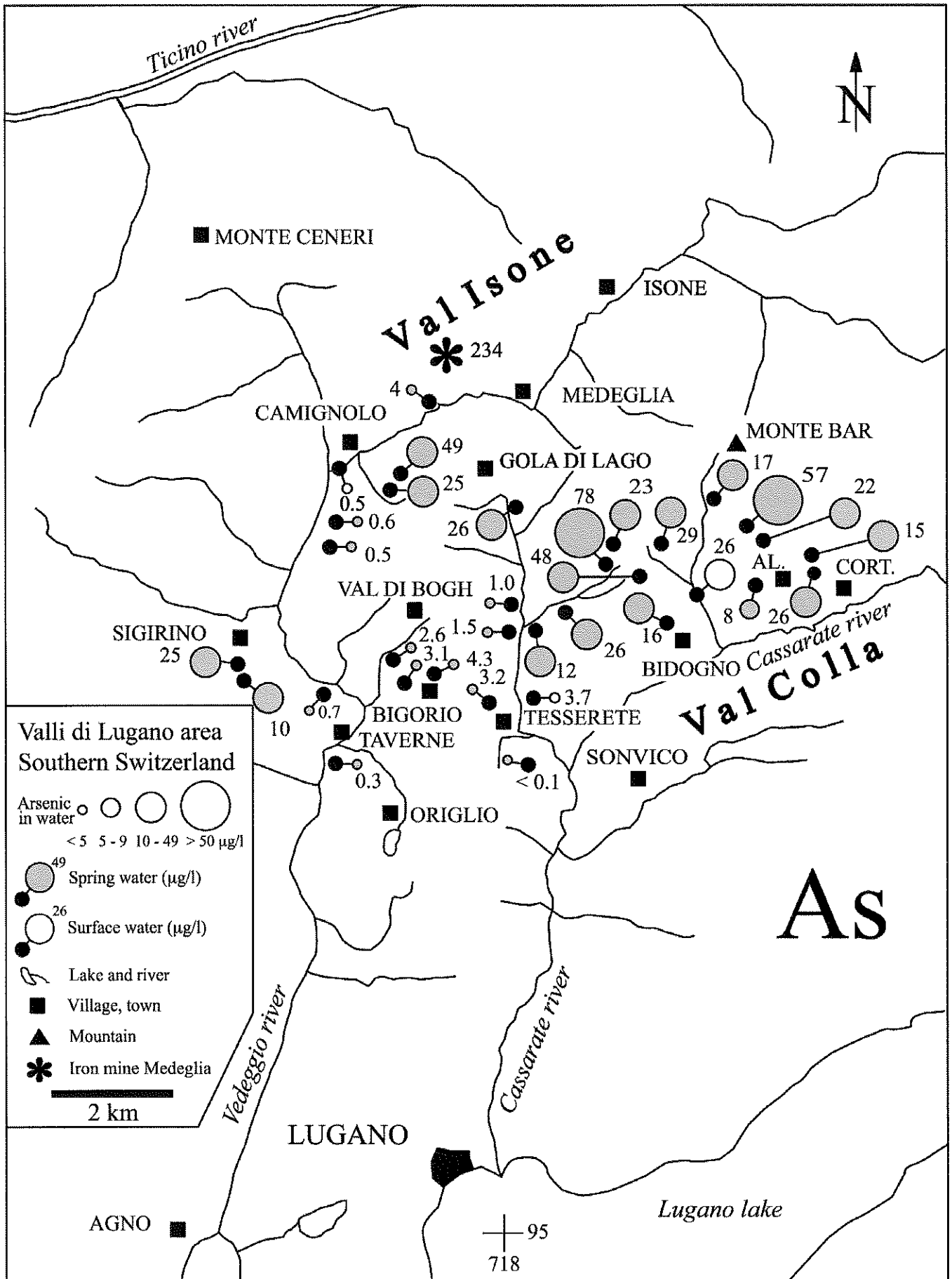


Fig. 5 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

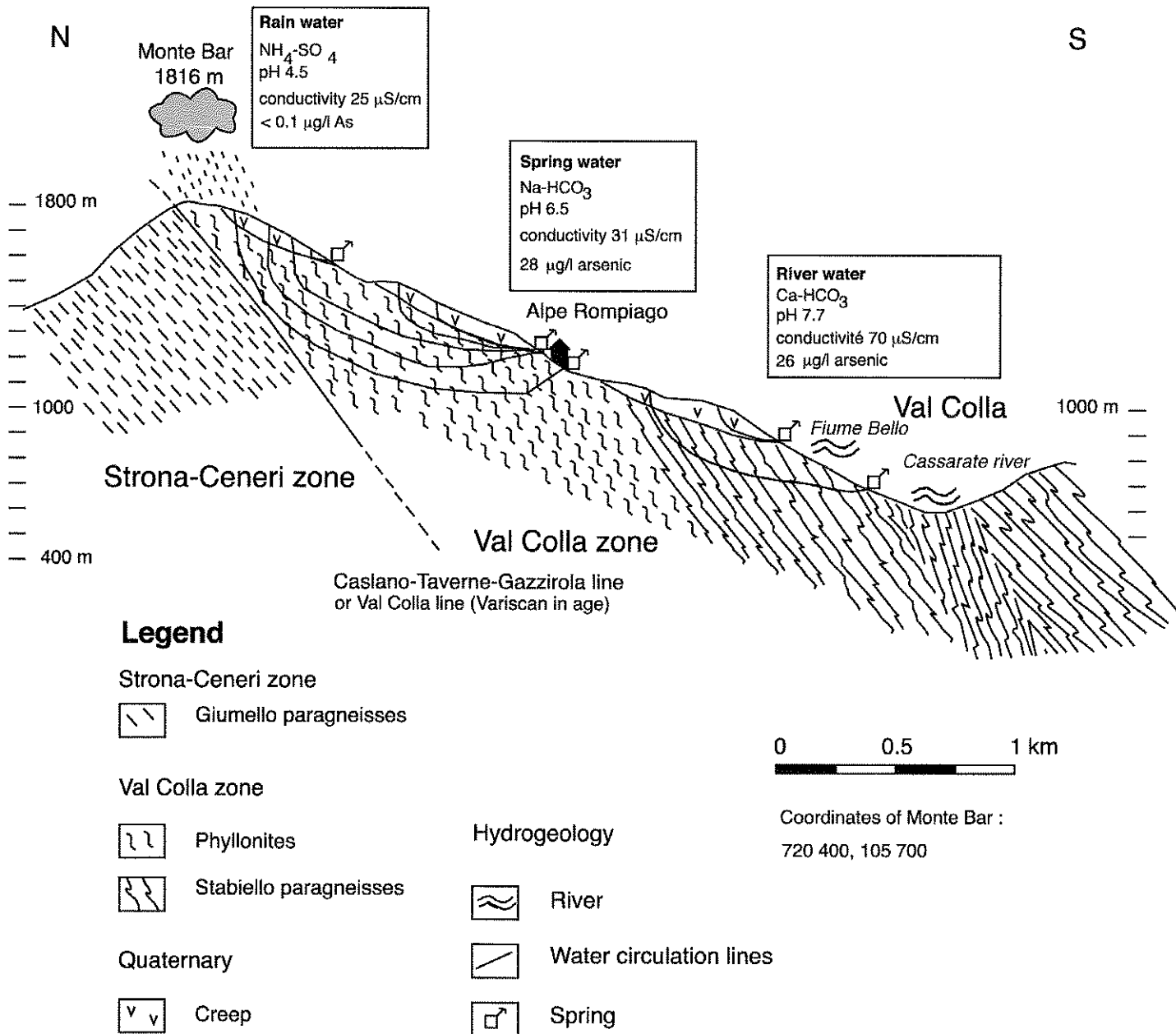


Fig. 6 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

3'000 mg/kg, quest'ultimo valore trovato alla base di un profilo di suolo all'Alpe Rompiago in Val Colla, Schmit 2000), da ciò si può dedurre che l'arsenico deve provenire da solfuri ed ossidi dispersi nella roccia. La figura 6 schematizza, partendo da quanto rilevato in Val Colla, il passaggio della pioggia ad acqua sorgiva e poi fluviale con arricchimento in arsenico ed una modifica continua di: carico totale (conduttività), pH e composizione chimica. Nel Comune di Camignolo (all'entrata della Val di Isonne) si trova un'altra zona interessante, qui infatti scorre lungo il pendio, costituito da detrito e coperto da un suolo dello spessore variabile tra i 20 ed i 100 cm, dell'acqua sorgiva con un contenuto d'arsenico variabile tra i 30 ed i 50  $\mu\text{g/l}$ . Scendendo si ha un aumento della sostanza organica nel suolo a cui corrisponde un incremento del contenuto d'arsenico che passa da 10 a 400 mg/kg. Dato che l'area in cui si è rilevato questo fenomeno è solo quella sotto le sorgenti, ci si

trova chiaramente di fronte ad una zona di arricchimento secondario di arsenico (Temgoua *et al.* 2003). Anche in questo caso, il 99% dell'arsenico è presente come arsenico V (analisi 5 e 8, Tab. 1)

La figura 7 schematicamente illustra la situazione nella miniera di ferro che si trova ad ovest di Medeglia, nella valle del Vedeggio. La pioggia e l'acqua ruscellanti lungo il pendio entrano nelle gallerie della vecchia miniera, diventano debolmente riducenti e si arricchiscono di ferro ed arsenico, prima di essere scaricate nel Vedeggio. Viste le differenze di portata tra l'acqua ricca d'arsenico (230  $\mu\text{g/l}$ ), pochi litri al minuto, e il corso d'acqua (800 l/s in media), non si ha alcuna contaminazione del fiume (analisi 7 e 3, Tab. 1). Non si dispone invece di dati sui sedimenti fluviali.

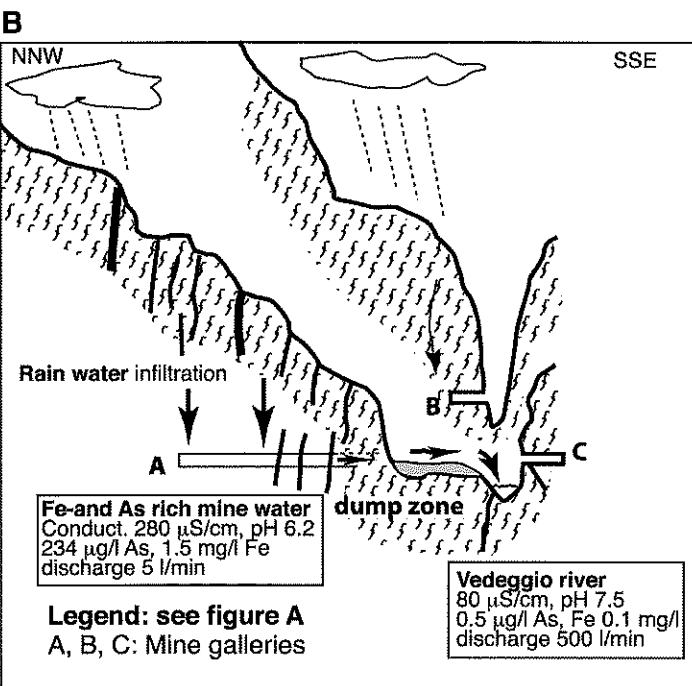
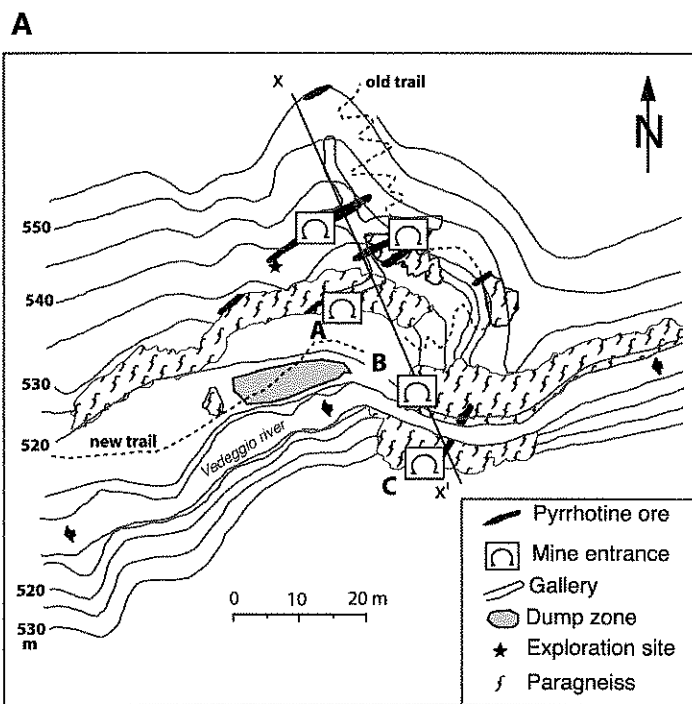


Fig. 7 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

#### 4. ALTRE ZONE

##### 4.1 Introduzione

Per le altre aree indicate in figura 1 le informazioni sono praticamente limitate all'analisi delle acque (Jäggl 1997). Anche se la situazione geologica è relativamente ben conosciuta, sono però necessari degli approfondimenti per determinare l'esatta origine dell'arsenico. Nelle prossime pagine si cercherà di dare una panoramica sullo stato delle conoscenze.

##### 4.2 Barbengo – Figino

Nel delta del torrente Scairolo, a 50 m dalla sponda del lago e in prossimità del Villaggio di Figino (schematicamente indicato in Fig. 8), sino al 1999 si trovava un pozzo, profondo 30

metri, che garantiva l'approvvigionamento idrico al comune di Barbengo.

Al momento dell'estrazione, l'acqua conteneva dell'idrossido di Ferro (III) con un contenuto totale di arsenico di 230 µg/l, dopo il trattamento di deferrizzazione, necessario per renderla potabile, l'arsenico oscillava tra i 24 ed i 32 µg/l. Quando, nel 1996, si scoprì che l'acqua conteneva dell'arsenico il Comune decise di chiudere il pozzo e di ricorrere all'acqua di lago per la fornitura di acqua potabile. Prima che il pozzo fosse costruito, negli anni '70, in prossimità dello stesso si trovarono delle acque stagnanti ricche di metano (CH<sub>4</sub>) e acido solfidrico (H<sub>2</sub>S), indici di condizioni riducenti, cosa tra l'altro perfettamente compatibile coi depositi palustri che in tutto il delta coprono i depositi di outwash glaciale.

Prima della chiusura del pozzo si rilevarono nell'acqua 76 µg/l di As (V) e 135 µg/l di As(III) (64% dell'arsenico totale, analisi 9 in Tab. 1), chiaro indice di acqua proveniente da un ambiente riducente. Una prova di pompaggio di breve durata eseguita in un altro pozzo della zona ha portato alla luce dell'acqua priva d'arsenico. La fonte dell'arsenico potrebbero essere le vulcaniti permiane che affiorano lungo il versante sinistro dello Scairolo (contenuto tipico in arsenico tra 7 e 72 mg/kg), mischiate nei depositi di outwash con le rocce dolomitiche che, creando un pH alto e un ambiente riducente in profondità, potrebbero essere la causa della liberazione dell'arsenico nell'acqua, assieme alla stagnazione dell'acqua in prossimità del lago.

##### 4.3 Gambarogno

In questa zona, situata al limite settentrionale dell'area Malcantone – Val Veddasca, una presenza d'arsenico nell'acqua sotterranea non deve certo essere ritenuta eccezionale. A Vira, in un pozzo utilizzato a scopo termico, si sono trovate delle acque di ambiente riducente ricche in arsenico (circa 40 µg/l). L'idrossido di ferro (Fe(III)), presente in forma colloidale, che spesso bloccava la pompa conteneva il 2.3% d'arsenico. L'acqua potabile del Comune ha invece un tenore d'arsenico di 2 µg/l (Jäggl 1997). Quest'acqua è contenuta in depositi di conoide prossimali o di medio cono. Si tratta di sedimenti immaturi, depositati principalmente a seguito di flussi di detrito, caratterizzati da una bassa permeabilità 3 – 5 10<sup>-5</sup> m/s. Agli stessi localmente sono intercalati dei depositi ricchi in sostanze organiche.

##### 4.4 Val Tresa

Tra Ponte Tresa e Monteggio, lungo il fondovalle della Tresa, in diversi tubi piezometrici si sono trovate acque, ricche in ferro, proprie di un ambiente riducente. Le stesse contenevano circa 300 µg/l d'arsenico (Balestra 1996, analisi 10 in Tab. 1). L'acquifero, formato da: depositi di conoide, detrito di versante ed alluvioni recenti, è abbastanza eterogeneo, per questo possono trovarsi nello stesso anche zone in condizioni riducenti (EAWAG 1975, Berthoud 2001). Inoltre a SE di Croglio, in una cava di ghiaia abbandonata, è stata realizzata un'importante discarica, il cui fondo non è impermeabile, (Nawratil 1997, Balestra 1997). In questa discarica potrebbe prendere origine una "piuma" con un alto pH e delle condizioni riducenti, infatti vicino alla stessa, quando la Tresa è in magra, si può osservare una zona di sgocciolamento ricca in ferridrite, che contiene circa lo 0.5% di arsenico. Dei controlli saltuari eseguiti negli ultimi 2 anni non hanno permesso di stabilire né che gli alti tenori d'arsenico, temporaneamente presenti (analisi 9 – 11 in Tab. 1), dipendessero dalla discarica, né che esistesse una

“piuma” ricca d’arsenico (come si pensava inizialmente). L’arsenico, che dovrebbe avere origine, nei depositi glaciali e fluvio-glaciali (sino a 150 mg/kg, Berthoud 2001), sembra muoversi quasi perpendicolarmente dalle colline verso il fiume (Fig. 2 e 3). In condizioni ossidanti quest’acqua contiene circa 40 µg/l d’arsenico, ma quando ristagna e viene ridotta, può arrivare a contenere sino a 300 µg/l con un 60% di As(III) (Tab. 1). Il pozzo che fornisce l’acqua potabile al Comune di Croglia e che si trova ad una distanza di circa 300 m dai piezometri inquinati contiene meno di 0.5 µg/l di arsenico, probabilmente perché oltre ad esservi una circolazione abbastanza rapida dell’acqua vi è anche il drenaggio del Tresa attraverso i sedimenti alluvionali.

#### 4.5 Morcote

L’unica cosa che si sa di questa zona è che l’acqua potabile della zona contiene 24 µg/l di arsenico e che l’area, analogamente a quanto si è visto per la sponda sinistra dello Scairolo (Barbengo) è dominata da rocce vulcaniche permiane. Per il momento si ipotizza che ci si trovi di fronte ad un acquifero fessurato, con arsenico diffuso all’interno della matrice.

### 5. SITUAZIONI IDROGEOLOGICHE TIPICHE

#### 5.1 Aspetti generale

La sezione trasversale schematica attraverso il Sottoceneri (Figura 8) mostra le diverse condizioni idrogeologiche in cui compaiono in Ticino le acque ricche di arsenico. Si distinguono quattro situazioni principali (Fig. 9).

- (1) Acque sorgive e ruscelli riferibili ad acquiferi fessurati in rocce silicee;
- (2) Acque sorgive riferibili ad acquiferi porosi d’origine glaciale;
- (3) Acque riferibili o a gallerie minerarie abbandonate o alla percolazione attraverso delle discariche di materiali minerali di risulta;
- (4) Acque sotterranee d’ambiente riducente contenute in acquiferi alluvionali di fondovalle.

Queste quattro situazioni possono comparire nella stessa area, tuttavia la figura 8 mostra come vi sia una certa distribuzione geografica. Il tipo 1 si trova prevalentemente in Val di Isona, Val Colla e in prossimità di Morcote, il tipo 2 si osserva in corrispondenza a vecchie strutture minerarie (Malcantone, Medeglia, Val di Isona), il tipo 3 è stato trovato in prossimità di laghi e corsi d’acqua: Barbengo – Figino (vecchio pozzo ad uso potabile), Vira Gambarogno (pozzo ad uso termico), fondovalle della Tresa tra Ponte Tresa e Monteggio (diversi tubi piezometrici).

#### 5.2 Acquiferi fessurati in rocce silicee (Fig. 9 – 1)

Le sorgenti ed i ruscelli che hanno origine da questi acquiferi tipicamente contengono tra 20 e 50 µg/l d’arsenico. I suoli di copertura sono solitamente sottili (massimo 50 cm, di litosuoli o regosuoli) e le sorgenti sono spesso situate alla base di pareti o di zone senili. I contenuti in arsenico nei suoli sono molto diversi variano infatti da 8 a 3000 mg/kg (ppm), i valori dominanti sono comunque sotto i 20 mg/kg. Non si sa esattamente quali siano i minerali che contengono arsenico, infatti questi acquiferi si trovano in

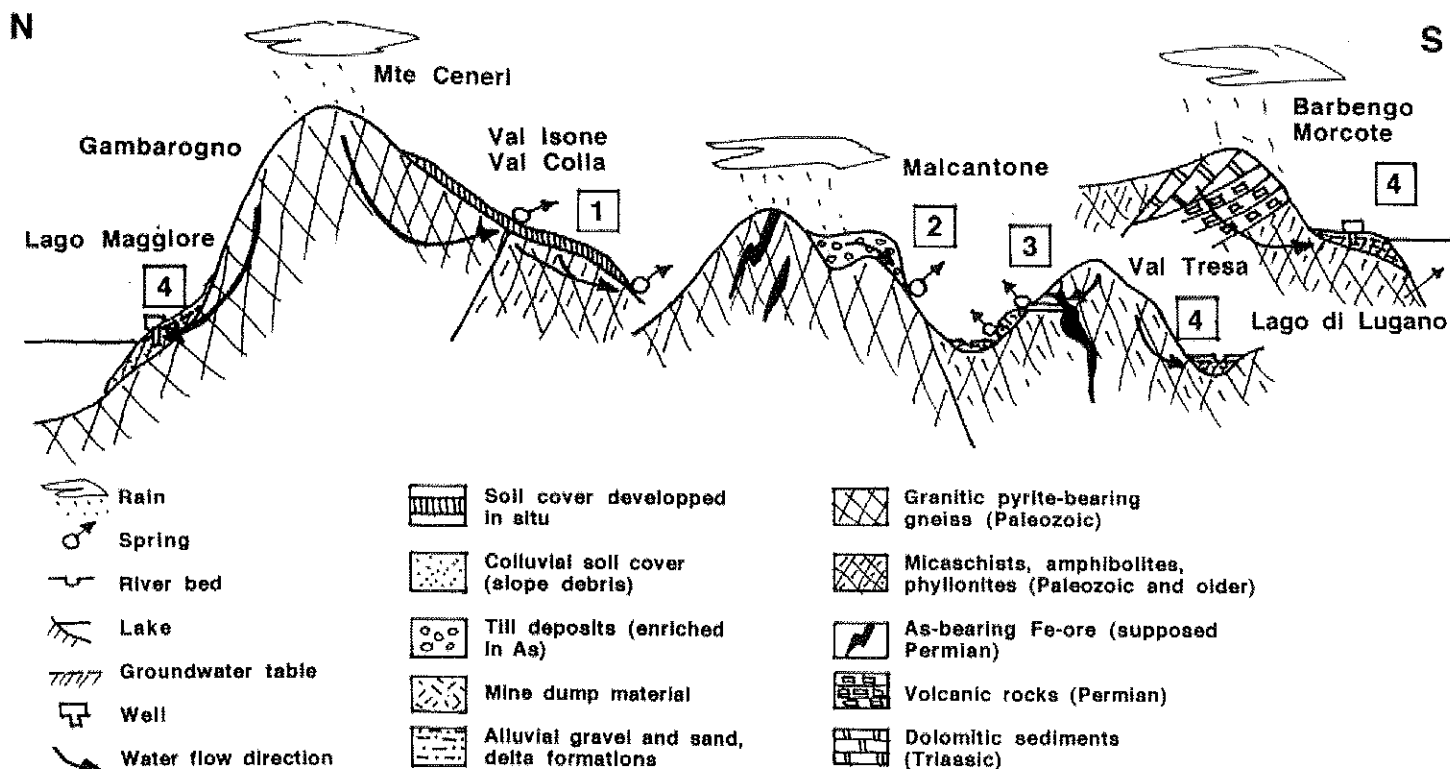


Fig. 8 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

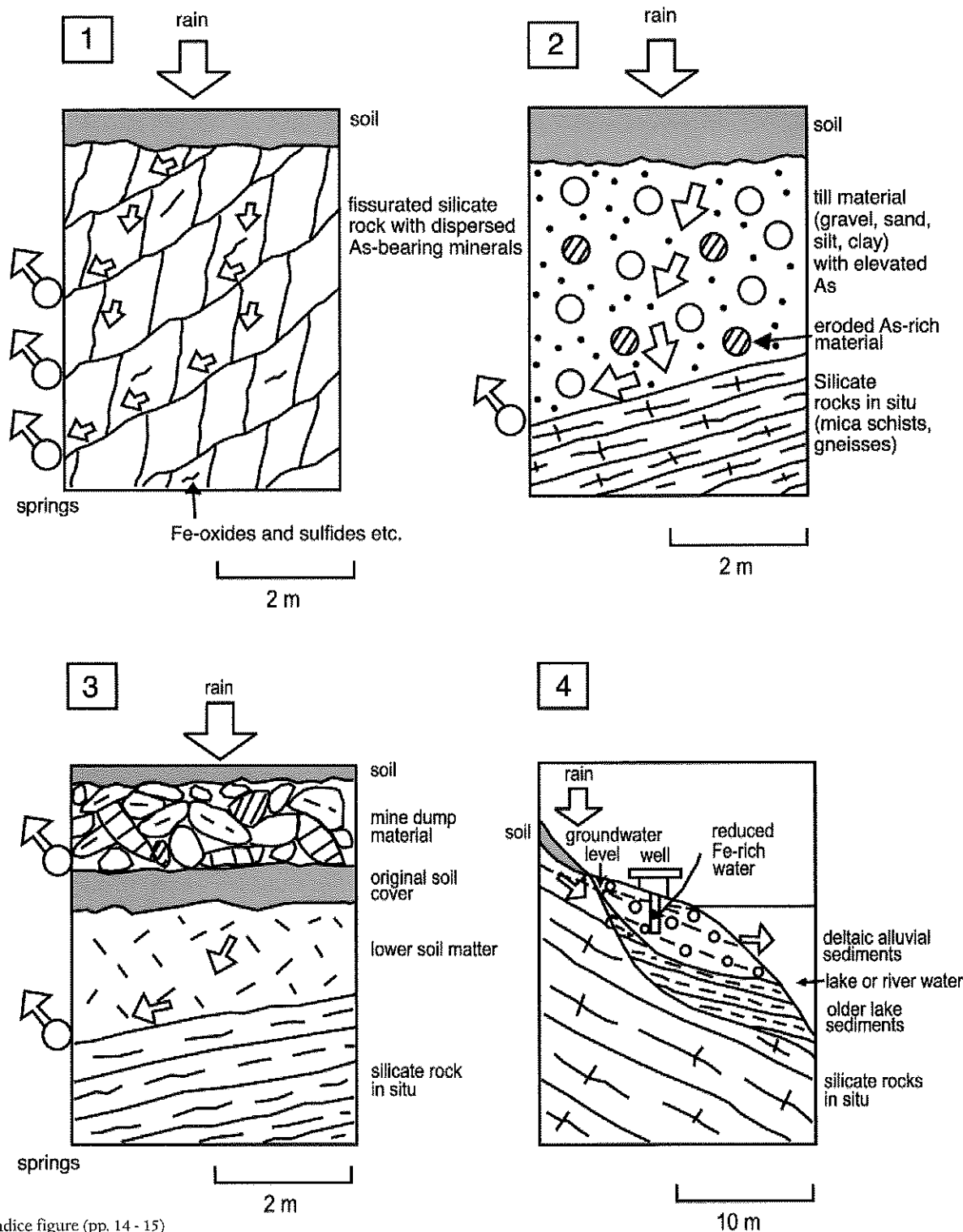


Fig. 9 vedi indice figure (pp. 14 - 15)

zone dove le probabilità di trovare dei giacimenti di minerali contenenti arsenico sono molto scarse. Pertanto siamo arrivati alla conclusione che nell'acquifero devono essere presenti dei solfuri, come la pirite, o degli ossidi di ferro, come l'ematite, che, per quanto irregolarmente distribuiti, sono responsabili dell'arsenico osservato. Delle analisi preliminari, eseguite con la microsonda, indicano l'ematite e l'allanite come origine dell'arsenico. La pioggia e l'acqua che percola dal suolo dovrebbero arricchirsi di arsenico mentre circolano nella parte più superficiale del substrato roccioso che è anche quella più fessurata e più alterata.

### 5.3 Acquiferi porosi (Fig. 9 - 2)

Acque sorgive provenienti dai depositi glaciali (principalmente till di ghiacciai locali o regionali, più raramente sabbie e ghiaie fluvio glaciali, Berthoud 2001), solitamente con delle concentrazioni di arsenico tra 30 e 80 µg/l. In Val Veddasca, Provincia di Varese, Italia, ci sono tre sorgenti che arrivano a 330 µg/l d'arsenico (VAR 1998). Il till contiene tra 40 e 500 mg/kg (ppm) d'arsenico. Come mostrato nella figura 9.2, queste concentrazioni, alte se paragonate alla media svizzera di 10 mg/kg, sono dovute alla presenza di materiale provenienti da rocce conte-

nenti dei minerali di arsenico (arsenopirite, pirrotina, pirite), rocce largamente diffuse nel Malcantone e in Val Veddasca (Köppel 1966), sedi principali di questo tipo di acquiferi. In questi acquiferi l'arsenico, solitamente, non è associato ai solfuri, come nel tipo 1, ma è adsorbito su: ossidi e idrossidi di ferro (ferridrite, goethite, cf. Cornell & Schwertmann, 1996), minerali argillosi e sostanza organica (Pfeifer et al. 2003). Le sorgenti solitamente si trovano al contatto tra i sedimenti glaciali e le sottostanti rocce massicce, poco permeabili (Beatrizotti 1996), anche se, in presenza di fratture, non si può escludere una limitata penetrazione dell'acqua nel complesso roccioso.

#### 5.4 Aree di miniera (Fig. 9 – 3)

Le acque che provengono da vecchie gallerie minerarie o dalle discariche sono le più ricche d'arsenico (da 100 a 800 µg/l), in quanto o sono state a diretto contatto con solfuri ricchi in arsenico (arsenopirite, pirite o pirrotina) o percolano attraverso dei detriti ricchi di arsenico (caso mostrato in Fig. 9-3). Questi detriti solitamente contengono tra il 5 ed il 40% d'arsenico (50 – 400 g/kg). Nei casi conosciuti, l'alta mobilità dell'arsenico è spesso favorita da alti valori di pH, dovuti alla presenza di minerali carbonatici (dolomia con ferro). Solitamente le discariche di materiali di risulta, a causa della granulometria grossolana, hanno un'alta permeabilità e l'acqua che le attraversa o percola sino al contatto col terreno naturale o attraversa lo stesso e si infila sino alla roccia compatta. La maggior parte di queste acque si rilevano a causa degli stillicidi, con portate quindi molto basse, visibili preferibilmente dopo i periodi di pioggia. Queste acque possono essere seguite solo su brevi distanze, in quanto o scompaiono nel terreno dopo poche decine di metri o sono diluite da ruscelli e torrenti.

#### 5.5 Acque sotterranee provenienti da acquiferi alluvionali riducenti (Fig. 9 – 4)

Questo caso differisce dagli altri poiché l'arsenico non proviene direttamente dall'acquifero, ma dai monti e dai colli contigui. In questa situazione si sono trovati dei contenuti relativamente alti d'arsenico (da 200 a 300 µg/l). Questi sono associati ad acque ricche in ferro, dove, o durante il pompaggio o in seguito alla corrosione dei tubi piezometrici, si forma dell'idrossido ferrico (Fe(III)). Questo e i bassi potenziali d'ossidazione, si sono trovati dei valori (Eh) da -50 a -200 mV, rivelano delle condizioni riducenti, che favoriscono le specie neutre dell'arsenico (III) e il deassorbimento dell'arsenico dalla maggior parte delle fasi solide. Delle condizioni riducenti normalmente prevalgono nelle acque sotterranee, o stagnanti o soggette ad un movimento molto lento, meglio se in presenza di sostanza organica (torba o legno poco decomposto). I sedimenti eterogenei depositati dai corsi d'acqua in prossimità dei laghi favoriscono tali condizioni.

## 6. CONCLUSIONI

Come in molti altri paesi, anche in Svizzera, dopo la scoperta della minaccia legata a piombo e cadmio di origine antropica, se ne sta prospettando un'altra, quella dell'arsenico naturale. I controlli sistematici eseguiti in Ticino hanno mostrato che in molte zone le concentrazioni di arsenico nelle rocce, nei suoli e nelle acque sono più alte di quanto raccomandato nelle linee guida. Si può stimare che tra il Ticino e la vicina Provincia di Varese almeno 6'000 persone siano toccate da questo fenomeno. Per il momento la situazione non è allarmante, ma le acque di certe sorgenti dovranno essere trattate se si vorrà

continuare ad usarle a scopo potabile, e nuove fonti di approvvigionamento dovranno essere verificate prima di poter essere utilizzate.

In linea di principio le tecniche per eliminare l'arsenico dai rifiuti e dalle acque potabili sono note (EPA 2000, Hug et al. 2000), ma in dettaglio, il procedimento ideale a basso costo e di facile gestione non è ancora stato trovato (Jäggi 1999a & b). Dato che il rapporto costo – efficienza per tali sistemi, specialmente per quelli per piccole quantità d'acqua (100 l/min) è spesso alto, la tendenza attuale dei Comuni toccati è quella di eliminare sorgenti e pozzi contaminati cercando nuove fonti d'acqua, spesso in collaborazione con altri comuni.

I risultati provvisori sulla vegetazione presente nelle aree toccate indicano un aumento dei valori nella catena alimentare (Nawratil 1998, Pfeifer et al. 2000, Girardet 2001), tuttavia questi aspetti necessitano di ricerche più approfondite.

## BIBLIOGRAFIA

- Balestra, U. 1997: *La décharge de Croglia/Ponte Tresa. Contribution à la connaissance de la composition isotopique du méthane et des eaux. Diplôme thesis, Sciences de l'Environnement, Univ. of Lausanne and Univ. of Geneva.*
- Barbieri, A. & Mosello, R. 1992: *Chemistry and trophic evolution of lake Lugano in relation to nutrient budget.* Aquat. Sci. 54, 219-237.
- BAW 1993: *Aufbereitung von arsenhaltigem Grundwasser im Komitat Békés, Ungarn.* Techn. Bericht, Bundesamt für Aussenwirtschaft, 35p.
- Beatrizotti, G. 1996: *Cantone Ticino: valutazione della permeabilità delle rocce.* Rapp. di lavoro Ist. Geologico, Republ. et Cantone di Ticino, no. 07, 14p.
- Berg, M., Con Trang, H., Nguyen, T.H., Schertenlaib, R. & Giger, W. 2001: *Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: a human health threat.* Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 2621-2626.
- Berthoud-dit-Gallon, J. 2001: *Etude hydrochimique et repartition de l'arsenic au sud du Malcantone, Tessin.* Diplôme thesis, Sciences naturelles de l'Environnement, Univ. of Lausanne and Univ. of Geneva, 150p.
- Bondiotti, G., Gex, P., Gini, G.F., Hansen, J., Hunziker, J. & Pfeifer, H.-R. 1994: *Heavy metal contamination around the As-Pb-Zn-Au-mine at Astano (Malcantone, Ticino).* Eclogae geol. Helv. 87, 487-490.
- BUWAL 1993: *Bestimmung der Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz mit Moosanalysen.* Schriftenr Umwelt no.194. Bundesamt für Umwelt, Wald etc. Bern.
- Chilvers, D.C & Peterson, P.J. 1987: *Global cycling of arsenic.* In: Hutchison, T.C. & Meema, K.M. (eds). Lead, mercury, cadmium and Arsenic in the environment. 279-301.
- Cornell, R.M. & Schwertmann, U. 1996: *The iron oxides. Structure, properties, reactions, occurrence and uses.* VCH, Weinheim, 570p.
- Davis, M.K., Reich, K.D. & Tikkanen, M.W. 1994: *Nationalwide and California arsenic occurrence studies.* In: Chappell et al., eds.: Arsenic, exposure and health, 31-40. Science & Technology Letters, Northwood.
- Deutsch, W.J. 1997: *Groundwater geochemistry. Fundamentals and applications to contamination.* Lewis Publ. Boca Raton, 221p.

- Donzel, P.-Y. 2001: *Arsenic dans les roches et les sols du Haut-Jura suisse: distribution générale sur la chaîne et étude détaillée dans la région du Weissenstein (SO)*. Travail de diplôme, Sciences de la Terre, Univ. de Lausanne, 80p.
- EAWAG 1975: *Ricerca nella zona lungo la Tresa concernenti l'approvvigionamento in acqua potabile e i luoghi idonei per discariche controllate*. Report of EAWAG, 20p. Archivio, Istituto di scienze della Terra, SUPSI, Lugano.
- Eisler, R. 1988: *Arsenic, hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review*. Contaminant Hazard Reviews no.12, Fish and Wildlife Service, U.S. Dept. Interior, 92p.
- EPA 2000: *Arsenic in drinking water. Treatment technologies*. United States Environmental protection Agency, Office of Water. Web-site-information: [www.epa.gov/OGWDW/ars/ars6.html](http://www.epa.gov/OGWDW/ars/ars6.html) and [www.epa.gov/safewater/ars](http://www.epa.gov/safewater/ars).
- Fehlmann, H. 1919: *Der Schweizerische Bergbau während des Weltkrieges*. Schweiz. Volkswirtschaftsdepartement, Bergbau-Bureau, Kümmerly & Frey, Bern.
- Girardet, A. 2001 : *Contamination en arsenic des sols de la région Sessa-Astano, Malcantone, Ti*. Diplôme thesis, Sciences naturelles de l'Environnement, Univ. of Lausanne and Univ. of Geneva, 101p.
- Halter, W., and Pfeifer, H.-R. 1998: *The effect of temperature on the surface properties of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and As(V) adsorption*. Mineralogical Magazine, 64, 563-564.
- Halter, W. & Pfeifer, H.-R. 2001: *Arsenic (V) adsorption onto  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> between 25 and 70 °C*. Applied geochemistry, 16, 793-802.
- Heinrichs, G. & Udluft, P. 1996: *Geogenes Arsen in grundwässern Deutschlands unter Berücksichtigung der Aquifergeologie*. Z.d. geol. Ges. 147, 519- 530.
- Hug, S., Wegelin, M., Gechter, D. & Canonica, L. 2000: *Nutzung von arsenhaltigem Grundwasser- katastrophale Folgen für Bangladesh*. EAWAG News, 49d, 18-20.
- Jäggi, M. 1996: *Arsenico nell'acqua di alcuni comuni del Malcantone*. 34- 36, Rapporto d'esercizio 1996. Laboratorio cantonale, Cantone di Ticino, Dip. delle opere sociale.
- Jäggi, M. 1997: *Arsenico nelle acque potabili dei comuni ticinesi*. 45- 51, Rapporto d'esercizio 1997. Laboratorio cantonale, Cantone di Ticino, Dip. delle opere sociale.
- Jäggi, M. 1999a: *Specazione dell'arsenico III nelle acque potabili dei comuni ticinesi*. 50-51, Rapporto d'esercizio 1999. Laboratorio cantonale, Cantone di Ticino, Dip. delle opere sociale.
- Jäggi, M. 1999b: *Prove pilota per l'eliminazione dell'arsenico dall'acqua potabile di Astano*. 51-53, Rapporto d'esercizio 1999. Laboratorio cantonale, Cantone di Ticino, Dip. delle opere sociale.
- Knecht, K., Keller, T. & Desaulles, A. 1999: *Arsen in Böden der Schweiz*. Schriftenr. EAL 32, Ed. Inst. Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld, Bern, 37p.
- Kündig, R., Wenger, C., Steiger, R. & Bianconi, F. 1990: *Karte der Vorkommen mineralischer Rohstoffe der Schweiz 1.200'000, Blatt Tessin-Uri, mit Erläuterungen*. Geotechn. Kommission, Zürich.
- Madiec, H. et al. 1999: *The removal of arsenic*. Special subject 13. Proceed. IWSA World water congress Buenos Aires Sept. 1999, SS13-1 - SS13-28.
- Martini, R. & Pillet, M. 1996: *Etude biogéochimique comparative des bassins versants de la Magliasina (Malcantone) et de la Breggia (Val Muggio), Tessin*. Diplôme thesis, Sciences de l'Environnement, Univ. of Lausanne and Univ. of Geneva.
- Moreno, F., Ferreira Da Silva, E., Candida Gil, M. & Cardoso Fonseca, E. 1999: *Evolution des teneurs en As dans un drainage à l'aval d'une ancienne exploitation minière (mine du Pintor, Portugal)*. Chronique Recherche Minière 534, 47- 51.
- Nawratil, C. 1998: *Contamination en métaux lourds des sols et plantes de la décharge de Croglia*. Diploma thesis, Sciences de l'Environnement, Univ. of Lausanne and Univ. of Geneva.
- Naidu, R., Smith, J. & Swift, R.S. 1999: *Soil washing techniques for remediation of arsenic contaminated soils*. In: Wenzel, W. et al. eds., Proceed. 5th Internat. Conf. Biochem. Trace Elements, Vienna, July 1999, 1026- 1027.
- 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*. Appl. geochem. 15, 403- 413.
- Nikolaidis, N.P. 1998: *Arsenic remediation technology- AsRT*. Web-site: [www.eng2.uconn.edu/~nikos](http://www.eng2.uconn.edu/~nikos).
- Pfeifer, H.-R., Hansen, J., Hunziker, J., Rey, D., Schafer, M. & Serneels, V. 1996: *Arsenic in Swiss soils and waters and their relation to rock and composition and mining activity*, in: Prost, R., ed., Contaminated soils: 3rd Internat. Conf. Biogeochemistry of Trace Elements, Paris, May 15-19, D:/data/communic/ 050. PDE, Colloque 85, INRA ed., Paris.
- Pfeifer, H.-R. & Rey, D. 1998: *Arsenic and heavy metal contents in soil percolation and surface water from the former mining area of Astano (Switzerland), a key to their sorption behavior*. Min. Mag. 62A, 1167- 1168.
- Pfeifer, H.-R., Derron, M.-H., Rey, D., Schlegel, C., Dalla Piazza, R., Dubois, J.D. & Mandia, Y. 2000: *Natural trace element input to the soil-water-plant system, examples of background and contaminated situations in Switzerland, Eastern France and Northern Italy*, p. 33- 86 in: Markert, B. & Friese, K., eds., Trace metals- Their distribution and effects in the environment. Elsevier, Amsterdam.
- Pfeifer, H.-R., Guèye-Girardet, A., Reymond, D. Schlegel, C., Temgoua, E., Hesterberg, D.L. & Weiqing Chou, J. (2003): *Dispersion of natural arsenic in the Malcantone watershed, Southern Switzerland: Field evidence for repeated sorption-desorption and oxidation-reduction processes*. Geoderma, in press.
- Pfeifer, H.-R. & Zobrist, J. 2002: *Arsenic in drinking water, also a problem in Switzerland?* EAWAG news 53e, 15- 17.
- Rey, D. 1996: *Arsenic dans les sols et eaux d'Astano (TI)*. Diploma thesis, Sciences de la Terre, Univ. of Lausanne.
- Rivero, S., Alvarez, J.A., Liberal, V. & Esparza, M.L. 1999: *Community participation in reducing risks by exposure to arsenic in drinking water*. Proceed. IWSA World water congress Buenos Aires 1999, SS13-6 - SS13-8.
- Robert, J. (1998): *De l'arsenic au robinet en Alsace*. Science et Avenir, Juin 1998, 70- 71.
- Rosas, I., Belmont, R., Armineta, A. & Baez, A. 1999: *Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, Mexico*. Water, Soil and Air Pollut. 112, 133- 49.
- ROV 1972: *Barbengo: Potenziamento acquedotto comunale: nuovo pozzo di captazione, zone di protezione*. Report Ing. Rovelli, 4 p. Archivio, Istituto di scienze della Terra, SUPSI, Lugano.
- Sadiq, M. 1997: *Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and field observations*. Water, Air and Soil Pollution 93, 117- 136.
- Samanta, G., Mandal, B.K., Roy Chowdhury, T., Biswas, B.K., Chowdhury, U.K., Basu, G.K., Lodh, D., Saha, K.C. & Chakraborti, D. 1999: *Arsenic in groundwater and sufferings of people in eight districts of West Bengal, India*. In: Wenzel, W. et al. eds., Proceed. 5th Internat. Conf. Biochem. Trace Elements, Vienna, July 1999, 256- 257.

Sancha, A.M. 1999: *Removal of arsenic from drinking water supplies: Chile experience*. Proceed. IWSA World water congress Buenos Aires 1999, SS13-9 - SS13-13.

Sassoon, M. 1998: *Los Frailes aftermath*. Mining Environ. Management 6, 8-12.

Schmit, V. 2000: *L'arsenic entre le Val Colla et le Val d'Isonne /Ti*. Etude hydrogéologique et pédologique. Diploma thesis, Sciences de la Terre, Univ. of Lausanne.

Simeonova, V.P. 1999: *Pilot study for arsenic removal*. Proceed. IWSA World water congress Buenos Aires Sept. 1999, SS13-24 - SS13-28.

Smith, E., Naidu, R. & Alston, A.M. 1998: *Arsenic in the soil environment: a review*. Advanc. Agronomy, 64, 149- 195.

Svetina, M. & Pirc, S. 1998: *Arsenic enrichment in the soil of the Salek Valley, Slovenia*. Mineral.mag. 62A, 1485- 1486.

Temgoua, E., Pfeifer, H.R. & Schmit, V. 2003: *Arsenic in spring waters and soils of the Lugano area, Switzerland : evidence of complex weathering and re-deposition processes*. Environmental Geology, submitted.

VAR 1998: *Concentrazione arsenico, sorgenti della Dumenza (valori max. anno 96/97)*. Azienda sanitaria locale, Prov. di Varese, I-21100 Varese, Italia.

VATECH 1999: *Grundwasser-Aufbereitung, Beispiel Békés Ungarn*, Info.1.Ed. VATECH-WABAG AG, Winterthur.

Welch, A.H., Helsel, D.R., Focazio, M.J. & Watkins, S.A. 1999: *Arsenic in ground water supplies of the United States*, in: Chappell, W.R., Abernathy, C.O. and Calderon, R.L., eds., Arsenic exposure and health effects. Elsevier Sciences, New York, 9-17.

Weiss, H., Daus, B. & Mattusch, J. 1999: *Arsenic mobilisation and precipitation from tin mine tailings in the Erzgebirge, Germany*. Chronique Recherche Minière. 534, 13- 19.

WHO 1999: *L'arsenic dans l'eau de boisson*. World Health organisation, Geneva. Aide-mémoire no.210. Web-site: www.who.int./inf-fs/fr/am210.html.

## INDICE FIGURE

### Figura 1

Aree della Svizzera meridionale dove i terreni e le acque hanno un alto contenuto d'arsenico. A: Gambarogno, Malcantone, Valle Veddasca (Italia), B: Val di Isonne, Val Colla, C: Barbengo - Figino, Morcote. X - X' sezione trasversale (figura 8). Le unità geologiche principali sono separate dalla linea Insubrica che costituisce il limite tra «Sopraceneri» e «Sottoceneri».

*Areas in southern Switzerland with elevated natural arsenic in soils and waters. A: Gambarogno- Malcantone- Val Veddasca (Italy), B: Val Isonne- Val Colla, C: Barbengo- Figino- Morcote. X - X': cross-section shown in figure 3. As additional information, the major geological units are indicated, separated by the Insubric line, marking the limit between the two main regions "Sopraceneri" and "Sottoceneri".*

### Figura 2

Presenza dell'arsenico nei bacini della Magliasina e della Lisora (Malcantone). A causa della diffusione dei giacimenti minerari di ferro e arsenico, il till e gli altri materiali di copertura non consolidati, come sedimenti fluviali e suoli, contengono arsenico (i numeri indicano le concentrazioni in  $\mu\text{g}/\text{kg} = \text{ppm}$ ). Anche i muschi che si trovano lungo la Magliasina sono abbastanza ricchi d'arsenico (dati di Martini & Pillet 1996).

*Distribution of arsenic in different environmental compartments of the Malcantone Area, formed by the two catchments of the Maglia-*

*sina and Lisora rivers. Due to the omnipresence of arsenic-bearing Fe-ore deposits, till material and other unconsolidated cover material, such as river sediments and soils, are enriched in arsenic (numbers indicate concentrations in  $\mu\text{g}/\text{kg} = \text{ppm}$ ). Also water mosses growing in the Magliasina river are quite enriched in arsenic (data from Martini & Pillet 1996).*

### Figura 3

Contenuto d'arsenico di sorgenti, acque superficiali e ruscelli nel Malcantone. La dimensione dei cerchi è proporzionale alla concentrazione d'arsenico in  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Verso est e sud le concentrazioni diminuiscono.

*Arsenic contents in spring, surface and river plain ground waters in the Malcantone area. The size of the circles is proportional to the concentration in  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Towards the east and the south the concentrations are clearly diminishing.*

### Figura 4

Sezione trasversale del Malcantone, con la presentazione schematica delle situazioni in cui si è trovato dell'arsenico nelle rocce e nelle acque. Non si sono trovate acque potabile ricche d'arsenico direttamente collegate ai giacimenti minerari. Sui versanti sono preponderanti le acque ossigenate con un contenuto medio d'arsenico, mentre si possono trovare dei valori abbastanza alti nelle acque sotterranee d'ambiente riducente prossime ai corsi d'acqua.

*Cross-section of the Malcantone area, schematically summing up the different situations in which arsenic has been found in rocks and waters: drinking waters rich in As are not directly linked to ore deposits. On slopes oxygenated waters with medium contents dominate, whereas in locally reduced ground waters related to river plains high As values can be found.*

### Figura 5

Contenuto d'arsenico nelle acque dell'area Valli di Lugano (Val Isone e Val Colla). Le concentrazioni sono paragonabili a quelle trovate nel Malcantone, anche se qui sono in pratica assenti dei depositi minerari di ferro che potrebbero essere all'origine degli elevati contenuti d'arsenico (esiste soltanto la miniera di pirrotina di Medeglia). Abbreviazioni: Cort. Corticiasca, Al. Albumo.

*Arsenic contents in waters of the Valli di Lugano area (Val Isonne- Val Colla). The concentrations are comparable to the Malcantone Area, however, Fe-ore deposits which could be at the origin of the elevated arsenic contents are almost absent (only case: pyrrhotine mine of Medeglia). Abbreviations: Cort. Corticiasca, Al. Albumo.*

### Figura 6

Sezione idrogeologica schematica dell'area della Val Colla (Schmit 2000). In essa sono presentati i passaggi da acqua piovana ad acqua di percolazione e ad acqua fluviale; la conduttività, che riflette la quantità di materia dissolta, aumenta sistematicamente verso valle e così pure il pH. Nel momento in cui si raggiunge un certo quantitativo d'arsenico (attorno ai 30  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), esso viene fissato mentre cambiano le proporzioni degli altri ioni (evoluzione da un tipo  $\text{Na-SO}_4$  a  $\text{Ca-HCO}_3$ ).

*Schematic hydro-geological cross-section of the Val Colla area (after Schmit 2000). It shows the systematic changes from rain to soil percolation and river water: the conductivity reflecting the total dissolved matter increases systematically downhill, so does the pH. Once a certain arsenic contents is achieved (around 30  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), it remains fixed, however the proportions of other ions change (evolution from a  $\text{Na-SO}_4$ -type to  $\text{Ca-HCO}_3$ -type water).*

### Figura 7

Esempio di rilascio dell'arsenico dalle gallerie delle miniere e dal materiale di risulta: caso della miniera di pirrotina a ovest

di Medeglia (geologia ricavata da Fehlmann 1919 e Kündig et al. 1990)

*Example of the release of arsenic by mine galleries and dump material: case of the pyrrhotine mine W of Medeglia (geology updated after Fehlmann 1919 and Kündig et al. 1990).*

#### Figura 8

Sezione geologica schematica attraverso il Sottoceneri, con la presentazione delle condizioni idrogeologiche in cui si è trovata l'acqua con un elevato contenuto d'arsenico. Le situazioni dei diversi acquiferi ( indicate con i numeri da 1 a 4) sono presentate più dettagliatamente in figura 9.

*Very schematic geological cross section through the Sottoceneri region, showing the different hydro-geological situations in which the waters with elevated arsenic contents occur. The four general aquifer situations indicated (with number 1 to 4) are explained in detail in figure 9.*

#### Figura 9

I quattro principali tipi di acquiferi in cui si trova acqua con un contenuto d'arsenico elevato

1: acqua sorgiva e ruscelli ricchi d'arsenico ( 20 - 50  $\mu\text{g}/\text{l}$  ) che hanno origine in acquiferi fessurati con un elevato contenuto di arsenico ( gneiss, micascisti, filladi con pirite contenente arsenico). Esempio: Val Colla, Val Isona, Morcote.

2: acque sorgive ricche in arsenico ( 50 - 80  $\mu\text{g}/\text{l}$  ) contenute in acquiferi porosi d'origine glaciale (till ricchi in arsenico per la presenza di giacimenti minerari di ferro e arsenico). Esempio: Malcantone (versanti).

3: acqua molto ricca d'arsenico (100 - 800  $\mu\text{g}/\text{l}$  ) proveniente da gallerie di vecchie miniere o percolante attraverso dei materiali di risulta ricchi d'arsenico. Esempio: Astano - Costa (Malcantone), Medeglia (Val Isona).

4: acqua sotterranea, d'ambiente riducente, ricca di ferro e arsenico ( 200 - 300  $\mu\text{g}/\text{l}$  ). La stessa, contenuta in depositi incoerenti siti in prossimità dei laghi o dei corsi d'acqua, è caratterizzata da una circolazione lenta, se non assente. L'origine dell'arsenico è spesso sconosciuta. Esempi: Barbengo - Figino, Gambarogno, Valle della Tresa.

*The four main types of aquifers producing waters with elevated arsenic contents.*

1: Spring water and local creeks enriched in As (20-50  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), related to a fissured hard rock aquifer with an elevated As-content (gneisses, mica schists and phyllonites containing elevated amounts of As-bearing pyrite). Example: Val Colla/Val Isona, Morcote area.

2: Spring water rich in As (50-80  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), related to a porous glacial aquifer (till deposits enriched in As, due to the presence of regional Fe-As ore deposits). Example: Malcantone area (hill slopes).

3: Mine water very rich in As (100-800  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) issuing from abandoned adits and/or percolating through mine dump material rich in arsenic. Examples: Astano- Costa (Malcantone), Medeglia (Val Isona).

4: Reduced Fe- and As-rich groundwater (200-300  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), slowly circulating or stagnating in alluvial river deposits on the valley grounds, often close to the shore line of lakes and rivers. Origin of the As often unknown. Examples: Barbengo-Figino, Gambarogno area, Tresa valley.