

Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 43	pp. 117-149	Trieste 2011
---	---------	-------------	--------------

FABIO GEMITI<sup>(\*)</sup>

## ORIGINE E BILANCIO DEI CLORURI NELLE ACQUE DEL CARSO CLASSICO

### RIASSUNTO

*È stato fatto un bilancio quantitativo dello ione cloruro nelle acque in ingresso ed uscita del Carso Classico. Sono stati presi in considerazione gli apporti in cloruri delle acque piovane, delle acque di percolazione, dell'alto Timavo e dell'Isonzo, delle attività antropiche. Il contributo dei cloruri di origine antropica nei deflussi idrici delle risorgive carsiche comprese tra Aurisina e il Lisert, con portata di 35,1 mc/s e concentrazione media di cloruri di 6,6 mg/l, è stato stimato in 1,7 mg/l. Tale apporto non è pertanto rilevante e non giustifica i valori relativamente elevati, mediamente 45 mg/l, delle acque sotterranee prelevate dall'acquedotto sloveno in località Klariči, nel Vallone di Brestovizza. In termini di concentrazione vi è un esubero di cloruri nei deflussi pari a 2 mg/l. Questo eccesso di cloruri è probabilmente in relazione ad una contaminazione attuale o remota da parte di acque salmastre. La presenza di cloruri e degli altri sali di origine marina è stata infatti rilevata nelle acque di alcune sorgenti e cavità nei pressi della costa, nei pozzi del Lisert e nelle falde acquifere a contatto con i calcari della bassa pianura friulana tra S. Pier d'Isonzo e Monfalcone.*

### ABSTRACT

*In this paper a quantitative evaluation of chloride ion in the waters entering and leaving the Classical Karst is reported. The contributions of chloride in rain water, in percolation, in the high Timavo and Isonzo water, and in anthropic activities has been considered. The contribution of anthropic origin chloride in the water runoff of the Karst springs situated between Aurisina and the Lisert, with capacity of 35,1 mc/s and an average concentration of chlorides of 6,6 mg/l, was evaluated at 1,7 mg/l. Such contribution is therefore not relevant and doesn't justify the high values, average 45 mg/l, of the subterranean water drawn from the slovenian aqueduct at Klariči, in the Basovizza deep valley. As concentration is concerned, there is a chloride excess in the water runoff corresponding to 2 mg/l. This chloride excess is probably related to contamination, in present or distant times, caused by brackish water. The presence of chlorides and other salts of marine origin was in fact observed in the water of a few springs and hollows near the coast, in the wells of Lisert and on the aquifers in contact with the limestone of the low Friuli plain between St. Pier d'Isonzo and Monfalcone.*

### IZVLEČEK

*Opravljen je bila kvantitativna bilanca iona klorida, ki vstopa in iztopa iz Klasičnega Krasa. Upoštevani so bili doprinosi kloridov deževnice, vode, ki se preceja skozi površje, reke Reke, Soče, in človeških*

<sup>(\*)</sup> Chimico, Via Tedeschi 3, I-34123 Trieste, gemiti@tin.it

*dejanosti. Doprinos kloridov, ki je posledica človeških dejanosti v izvirih med Nabrežino in Lisertom, ki imajo povprečen pretok 35,1 kubičnih metrov na sekundo in vsebujejo povprečno 6,6 mg/l klorida, je bil ocenjen na 1,7 mg/l. Ta doprinos ni pomemben in ne opravičuje sorazmerno visoke vsebine klorida, povprečno 45 mg/l, v podzemeljski vodi, ki jo zajema slovenski vodovod pri Klaričih pri Brestovici. Opazovanja kažejo, da znaša presežek kloridov v izvirih 2 mg/l. Ta presežek kloridov je verjetno posledica doprinosna, sedanjega ali iz preteklosti, slane vode. Prisotnost kloridov in drugih soli, ki se nahajajo v morski vodi, je opazna v nekaterih izvirih in jamah ob obali, v vrtinah pri Lisertu in v vodi, ki se nahaja na stiku med apnencem in podtalnico v spodnji Furlanski nižini med Tržičem in S.Pier d'Isonzo (Špeter).*

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. Generalità sullo ione cloruro

I cloruri sono largamente diffusi in natura, generalmente sotto forma di sali di sodio (NaCl) e di potassio (KCl). Gli oceani, con 19.000 mg/l di Cl, contengono la maggiore quantità di cloruri presenti nell'ambiente. Le acque piovane presentano generalmente cloruri in quantità inferiori a 1 mg/l, valori più elevati si riscontrano in prossimità delle coste.

Gli ioni cloruro si trovano solo in piccole quantità nelle rocce ignee, metamorfiche e carbonatiche. In queste ultime il contenuto medio è di 305 mg/Kg (MATTHESS, 1982). Valori molto elevati si hanno invece nelle evaporiti e nelle esalazioni vulcaniche.

Tracce dell'acqua marina originaria possono essere trattenute, per tempi geologici considerevoli, nei sedimenti con grana fine, come gessi e arenarie. Di conseguenza le acque che scorrono su queste formazioni possono arricchirsi di cloruri (BIANUCCI *et al.*, 1985).

Nelle acque naturali, i cloruri originati dalla dissoluzione delle rocce sono generalmente inferiori a 50 mg/l (GOLDEN, 1970). Nelle acque potabili, la concentrazione massima ammissibile è di 250 mg/l, con valori superiori si avverte il gusto di salato.

Gli ioni cloruro per la loro elevata solubilità ed il piccolo raggio ionico non vengono assorbiti dai materiali con cui la fase acquosa viene a contatto, per cui possono essere considerati un tracciante conservativo: la quantità che entra in un sistema deve essere eguale a quella che esce.

Cloruri legati all'attività antropica sono dispersi nell'ambiente in vario modo: scarichi civili, zootecnici e industriali, salatura antigelo delle strade, percolati di discariche, concimazione dei terreni.

Scaricano acque con elevato tenore di cloruri: cartiere che utilizzano il processo di sbianca con il cloro, fabbriche di cloro, di ipoclorito di sodio, di carbonato e bicarbonato di sodio, aziende galvaniche che utilizzano acido cloridrico per decappaggio, tutti gli impianti di addolcimento dell'acqua mediante resine, prosciuttifici che salano le carni.

La normativa italiana vigente prevede una concentrazione massima di cloruri allo scarico sul suolo di 200 mg/l e di 1200 mg/l in corsi d'acqua superficiali e in fognatura.

Lo ione cloruro è essenziale per l'organismo umano e degli altri esseri viventi; attraversa facilmente le membrane cellulari e assicura una pressione osmotica, un bilancio idrico e un equilibrio acido-base appropriati.

Il tenore di cloruri degli alimenti varia molto, le piante commestibili presentano generalmente una concentrazione inferiore a 0,5 mg/g, mentre la carne ed il pesce presentano concentrazioni che arrivano fino a 1,0 e 1,5 mg/g, rispettivamente. Senza aggiunte di sale nella dieta l'apporto degli alimenti sarebbe di soli 0,6 g/giorno/persona (SANTE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU MILIEU DE TRAVAIL, 1979).

Secondo l'OMS il bisogno nutrizionale pro capite dovrebbe invece essere di 3 g/giorno di NaCl pari a 1,8 g/giorno di cloruri.

Questo deficit viene compensato e superato di molto dalla salatura dei cibi, che può portare ad una assunzione fino a 13 g/giorno. Il valore medio oscilla, a seconda dei paesi, tra 5 e 8 g/giorno.

Poiché il 92% dei cloruri ingeriti sono escreti con le urine, nelle acque reflue urbane l'apporto dei cloruri, derivante dal metabolismo umano, può essere stimato mediamente intorno a 6 g/giorno pro capite.

## 1.2. Impostazione del lavoro

Gli ioni cloruro, generalmente associati al sodio, sono presenti nelle acque sotterranee del Carso Classico (Carso triestino-goriziano e Carso sloveno) in quantità relativamente basse, generalmente inferiori ai 10 mg/l. Una anomalia è costituita dalle acque estratte dal sottosuolo nel vallone di Brestovizza (Slovenia), in località Klariči. I tre pozzi che alimentano l'acquedotto (Kraški Vodovod Sežana), che fornisce l'acqua ai comuni del Carso sloveno, sono infatti caratterizzati da acque che contengono mediamente 45 mg/l di cloruri con punte di 64 mg/l.

L'origine di questi cloruri è stata attribuita dai ricercatori sloveni (DOCTOR *et al.*, 2000, 2006) ad un apporto significativo di acque modificate da attività antropiche, però non vi è stato alcun approfondimento su quali attività umane potessero modificare la composizione di una falda con una potenzialità di almeno 1 mc/s (MINISTRSTVO ZA VARSTVO OKOLJA, 1992).

Acque contenenti cloruri fino a un massimo di 115 mg/l sono state individuate nel corso della terebrazione dei pozzi dell'acquedotto di Trieste (A.C.E.G.A., 1986), sia nel basamento calcareo che nelle falde immediatamente sovrastanti della bassa pianura friulana, tra S. Pier d'Isonzo (200 metri di profondità) e Monfalcone (50 metri di profondità).

È noto inoltre (BIANUCCI *et al.*, 1985) che acque sotterranee che fluiscono su terreni di Flysch spesso contengono quantità relativamente elevate non solo di calcio e solfati ma anche di cloruri (fino a 100 mg/l).

Alla luce di quanto sopra si è deciso di approfondire l'argomento sull'origine dei cloruri nelle acque sotterranee del Carso Classico, utilizzando anche molti dati analitici inediti, tratti dagli archivi della ex azienda municipalizzata di Trieste (ACEGAT, poi ACEGA, ACEGAS, ACEGAS-APS), di seguito indicata per semplicità come ACEGAS.

Sono stati analizzati gli apporti naturali (precipitazioni, dissoluzione dei calcari, percolazione attraverso i sedimenti terrosi, infiltrazioni di acque marine) e quelli di natura antropica (acque di scarico urbane, reflui industriali, percolati di discarica, salatura antighiaccio delle strade). Altri apporti idrici alla falda carsica — e quindi di ioni cloruro — sono costituiti dai corsi d'acqua che si immettono direttamente nel sottosuolo carsico (in primis l'alto Timavo o Reka) o indirettamente, attraverso le alluvioni a contatto con la roccia calcarea (Isonzo e in subordine Vipacco).

È stato successivamente analizzato il contenuto di cloruri in alcune acque di fondo carsiche raggiungibili attraverso cavità (Trebiciano, Lindner, Skilan) o estratte dal sottosuolo mediante trivellazioni, come nel caso dei pozzi di Brestovizza.

Infine è stato sintetizzato il contenuto di cloruri di tutte le principali risorgenze carsiche, comprese tra Monfalcone e Aurisina e di alcune sorgenti e pozzi in terreno di Flysch.

Alla luce di tutti i dati analitici acquisiti è stata fatto un bilancio dei cloruri e sono state formulate alcune ipotesi sull'origine dei cloruri presenti nelle acque dei pozzi di Klariči.

\* \* \*

## 1. I CLORURI NELLE PRECIPITAZIONI

Il contenuto di cloruri nelle precipitazioni è generalmente associato agli aerosol marini e quindi è maggiore in prossimità della costa. La ricaduta degli aerosol marini può avvenire in forma secca (dry) o umida (wet).

Le analisi effettuate nel passato in provincia di Trieste fanno riferimento al campione totale (bulk), risultante dalle deposizioni secche + umide.

Secondo un'indagine svolta dal C.N.R. e da altri enti (ELLI *et al.* 1998a, 1998b), nel periodo 1959-1960, il contenuto medio di cloruri nelle precipitazioni (bulk) rilevate a Basovizza è stato di 1,1 mg/l. Nello stesso periodo, a Trieste, la concentrazione media di cloruri rilevata presso l'Istituto Talassografico, situato a 300 metri dal mare, è stata di 2,4 mg/l.

Sempre a Trieste, nel periodo 1990-1993, la deposizione wet è stata di 1,1 mg/l.

Sul contenuto di cloruri nei singoli eventi meteorici si hanno maggiori informazioni da indagini svolte da ACEGAS (dati inediti) nel periodo 26 gennaio-20 ottobre 1990, mediante analisi bulk delle piogge raccolte a S. Giovanni di Duino (a 1250 m dalla costa), e a Trieste nell'area del Broletto (a 500 m dalla costa), utilizzando la cromatografia ionica. Un'altra fonte di dati è costituita dalle analisi svolte dalla stessa ACEGAS per conto di Hydrores su campioni raccolti a Monrupino nel periodo 21 maggio 1990-29 marzo 1992.

Nella tabella 1 sono sintetizzati i risultati ottenuti.

Località	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Media ponderata
S. Giovanni di Duino	0,2	7,6	1,8	1,2	1,3
Trieste, Broletto	0,2	17,3	2,4	1,5	0,9
Monrupino	0,4	16,9	2,6	1,3	1,6

Tab. 1 – I cloruri nelle precipitazioni (dati inediti ACEGAS).

Si fa presente che le concentrazioni più elevate fanno riferimento a basse quantità di precipitazioni, che quindi incidono in maniera poco significativa sulla ricaduta dei cloruri.

Escludendo questi casi particolari, piuttosto rari, i valori più elevati di cloruri nelle precipitazioni sul Carso Triestino non superano generalmente i 6 mg/l.

I campioni prelevati a S. Giovanni di Duino e a Trieste sono riferibili prevalentemente alle deposizioni umide, quelli di Monrupino comprendono anche le deposizioni secche e per questo motivo, probabilmente, i valori trovati in questa stazione più lontana dalla costa sono anche i più elevati.

In definitiva possiamo dire che sul Carso triestino le deposizioni secche ed umide di cloruri ammontano a circa 1,5 mg/l, con riferimento alle precipitazioni (1200-1400 mm/anno).

## 2. I CLORURI NELLE ACQUE DI PERCOLAZIONE

L'acqua piovana che raggiunge il suolo subisce il fenomeno dell'evapotraspirazione, che percentualmente varia durante il corso dell'anno tra il 20% e l'80%. Le acque di percolazione, raccolte ad alcuni metri di profondità, avranno pertanto un contenuto di cloruri maggiore delle acque piovane.

Un'altra fonte di arricchimento in cloruri delle acque di percolazione potrebbe essere rappresentata dalla dissoluzione dei calcari.

Sul contenuto di cloruri nelle rocce carbonatiche abbiamo trovato dati discordanti.

TIMEUS (1912) nel suo studio “Ricerche sul Timavo inferiore” riporta il contenuto di cloruri in alcuni calcari (7 litotipi), espressamente analizzati: le quantità variano tra 1,5% e 2% in peso (dati elaborati dall'autore). Un calcare nummulitico presentava un valore del 5%.

Il Timeus ha anche effettuato delle prove di irrorazione con acqua di pioggia degli stessi calcari finemente triturati (1 Kg di roccia con 1 l di acqua), ottenendo sull'eluato valori compresi tra 3 e 12 mg/l.

Secondo DEMATTEIS (1995) che ha analizzato con moderne tecniche di laboratorio 50 campioni di roccia calcarea delle catene alpine dell'Europa centrale e meridionale (tra cui 4 campioni di roccia del Carso classico), i cloruri non sono mai presenti nei lisciviati dei calcari.

Anche il laboratorio di analisi dell'ACEGAS non ha trovato tracce di cloruri (valori inferiori allo 0,1%) in un campione di calcare prelevato presso Ferneti e in un campione di dolomia prelevata a Samatorza (dati inediti dell'autore, analisi effettuate il 7.2.1975).

Lo stesso laboratorio ha analizzato il 6.5.1974 l'acqua distillata fatta percolare attraverso 15 cm di terra rossa, prelevata presso la grotta BAC (49 VG): l'acqua è risultata priva di cloruri (concentrazione inferiore a 0,5 mg/l), mentre è risultata particolarmente ricca di calcio (37 mg/l) e di solfati (15 mg/l).

Supponendo che il contenuto medio di cloruri nelle rocce carbonatiche sia di 305 mg/kg (secondo Horn e Adams 1966 e Hem 1970 in “The properties of ground water” di MATTHES, 1982), un litro di acqua di infiltrazione carsica che ha disciolto 250 mg di calcare (durezza calcica = 25 °F) ha un contenuto di cloruri derivante dalla dissoluzione carsica di soli 0,08 mg/l.

Da COMIN CHIARAMONTI *et al.* (1982) si rileva invece che per le rocce del Carso triestino il contenuto medio di Cl<sup>-</sup> è di circa 44 mg/Kg (con un minimo di 3 mg/Kg ed un massimo di 98 mg/Kg) e quindi ancora notevolmente inferiore a quello della media rilevata sul pianeta.

In base ai dati sopra riportati si è pertanto assunto che la dissoluzione dei calcari da parte delle acque di infiltrazione non comporti contributi significativi di cloruri.

Per quanto riguarda il dato sperimentale sul contenuto in cloruri delle acque di percolazione del Carso triestino (stillicidi o depositi d'acqua in vaschette) sono stati raccolti tutti i dati d'archivio ACEGAS relativi al periodo 1973-1999, alcuni dei quali oggetto di pubblicazioni (GEMITI & MERLAK, 1977, 1999, 2000).

I dati fanno riferimento ad una ventina di cavità ed a circa 40 punti di raccolta. Tutte le acque esaminate non presentano tracce evidenti di inquinamento antropico, né attuale, né remoto. I valori dei cloruri sono compresi tra 1 e 6 mg/l. Solo nell'acqua di percolazione dell'abisso Lazzaro Jerko, prelevata il giorno 24.11.1999, si è riscontrato un valore di 13 mg/l, chiaramente in relazione ad una contaminazione antropica remota (18 mg/l di nitrati).

Il valore medio delle acque di percolazione è risultato di 2,9 mg/l, la mediana di 2,5 mg/l.

### 3. I CLORURI DI ORIGINE ANTROPICA VEICOLATI NEL SOTTOSUOLO CARSIKO

Il Carso non è intensamente urbanizzato, soprattutto dalla parte slovena, né le attività artigianali e industriali sono particolarmente sviluppate. Per quanto riguarda il comparto agricolo, l'unica coltura di una certa importanza è quella della vite, che però non impiega fertilizzanti a base di cloruri.

Fonti non trascurabili di cloruri nel sottosuolo possono essere alcune grandi discariche di rifiuti e soprattutto l'uso del sale per la manutenzione stradale durante gli episodi di innevamento.

Poiché gli apporti antropici di cloruri sono stati chiamati in causa per giustificare gli elevati tenori riscontrati nelle acque dei pozzi di Klariči, si è cercato di stimare — almeno come ordine di grandezza — questo tipo di apporto alle acque fluenti nel sottosuolo.

### 3.1. I cloruri nelle acque reflue domestiche e del terziario

Nelle acque di scarico urbane, oltre ai cloruri prodotti dal metabolismo umano, sono presenti anche i cloruri derivanti da processi di salatura in cucina e da altre attività domestiche, per cui si può valutare in circa 10 g/abitante/giorno i cloruri provenienti dalle attività civili, addotti in fognatura.

In un liquame urbano di media forza (consumo d'acqua pro capite di 200 l/abitante/giorno) il contenuto di cloruri viene pertanto ad essere di 50 mg/l, al netto dei cloruri preesistenti nell'acqua consumata, in linea con i dati di letteratura (MASOTTI, 1999; PASSINO, 1995).

Sul Carso sloveno vivono 22.500 persone (RAVBAR, 2004), sul Carso triestino e goriziano circa 27.000. Per la parte italiana il valore è stato ricavato dai dati riportati da WIKIPEDIA (Internet) per comuni e centri abitati del Carso. In totale, quindi, abitano sul Carso Classico circa 49.500 persone. Le acque reflue, provenienti da case singole o aggregati abitativi, vengono veicolate nel sottosuolo, dopo trattamenti di depurazione piuttosto sommari. Una quota parte degli scarichi, corrispondente a circa 5000 persone (parte del comune di Duino Aurisina e dell'abitato di Opicina), viene invece inviata ad impianti di depurazione, situati in prossimità della costa, e successivamente smaltita a mare.

Poiché i processi di depurazione non influiscono sulla concentrazione dei cloruri nei liquami, ma addirittura li possono aumentare se sono presenti trattamenti di disinfezione con cloro o ipoclorito di sodio, si può concludere che fluiscono giornalmente nel sottosuolo del Carso Classico 445 Kg di cloruri, cioè 162 t/a (tabella 3).

A ciò vanno aggiunti i cloruri presenti originariamente nelle acque potabili distribuite, cioè 45 mg/l per la parte slovena e 15 mg/l per la parte italiana. Tenuto conto che la fornitura annua di acqua potabile sul Carso sloveno è di 1.300.000 mc (RAVBAR, 2004) e sul Carso italiano può essere stimata in 2.400.000 mc, in base ai dati forniti da ACEGAS e dall'Acquedotto del Carso, si ricava un ulteriore apporto di 96 t/a (tabella 3).

Sul Carso triestino sono insediati due grandi complessi scientifici: l'Area di ricerca di Padriciano e il Sincrotrone di Basovizza. Il numero di abitanti equivalenti (A.E.), stimato in base ai consumi d'acqua e alla composizione degli scarichi, è di circa 2500. Il contributo annuo di cloruri risulta di 9 t/a (tabella 3).

### 3.2. I cloruri nelle acque reflue derivate da processi produttivi

Non ci risulta che esistano sul Carso attività artigianali o industriali che possano scaricare quantità rilevanti di cloruri. Vi sono però in territorio sloveno alcuni prosciuttifici che utilizzano molto NaCl per i processi di salatura delle carni.

Il più grande si trova a Šepulje, vicino a Sežana, gli altri due, di dimensioni più ridotte, sono rispettivamente a Kobjeglava e Lokev (KRANIC, 1997).

Il prosciuttificio di Šepulje consuma una notevole quantità d'acqua, 70.500 mc/anno e la concentrazione dei cloruri nelle acque di scarico spesso supera il valore limite (RAVBAR, 2006). Per i tre impianti complessivamente è stato ipotizzato, in base ai dati di alcune realtà italiane, uno scarico di cloruri pari a 100 t/a (tabella 3).

Anche i rifiuti organici degli allevamenti zootecnici contengono cloruri che direttamente o indirettamente (tramite i processi di concimazione dei campi) vengono sversati nel sottosuolo.

Allevamenti zootecnici di grandi dimensioni non esistono sul Carso, comunque si è cercato di dare una dimensione all'entità degli apporti di cloruri.

Per l'allevamento del bestiame in territorio sloveno si sono utilizzati i dati riportati nella monografia Kras (KRANIC, 1997), relativi al 1991, includendo anche il numero di equini allevati a Lipizza. Per quanto riguarda gli allevamenti di polli si è fatto riferimento al lavoro di RAVBAR (2006).

Per quanto riguarda la parte italiana si sono riportati i dati relativi alla provincia di Trieste nel 2003, raccolti dall'Ispettorato Provinciale dell'Agricoltura, ipotizzando che l'allevamento del bestiame avvenga prevalentemente sul Carso. Il numero di capi di bestiame è stato poi trasformato in abitanti equivalenti, utilizzando i coefficienti di trasformazione utilizzati in letteratura (BARBIERO *et al.*, 1991).

Il dato finale, di 45415 A.E., riportato nella tabella 2, è stato successivamente arrotondato a 50.000 per tener conto degli allevamenti che si svolgono nella zona carsica, in provincia di Gorizia.

Non si è riusciti a trovare in letteratura valori puntuali sul contributo di cloruri nelle deiezioni degli animali di allevamento, che comunque hanno un metabolismo dei cloruri molto simile a quello dell'uomo. In base ai dati disponibili si è ipotizzato in 2 g/giorno l'emissione di cloruri per ogni abitante equivalente. L'apporto complessivo di cloruri derivante dall'attività zootecnica risulterebbe pertanto di 37 t/a (tabella 3).

	<b>Carso sloveno Capi n°</b>	<b>Carso triestino Capi n°</b>	<b>A.E./capo n°</b>	<b>Totale A.E. n°</b>
Bovini	2.170	829	8,2	24.592
Suini	650	610	2,0	2.520
Equini	400	420	8,1	6.642
Ovini e caprini	235	688	1,8	1.661
Pollame	50.000		0,2	10.000
<b>Totale</b>				<b>45.415</b>

Tab. 2 – Parco zootecnico sul Carso Classico.

### 3.3. I cloruri nei percolati di discarica

Sul Carso ci sono due grandi discariche di rifiuti solidi urbani: quella di Trebiciano e quella di Sežana. Quella non più attiva di Trebiciano servì la città di Trieste dal 1960 al 1973 ed in essa sono stati accumulati — senza alcuna impermeabilizzazione del terreno e quindi senza sistemi di raccolta del percolato — circa 800.000 t di rifiuti solidi urbani, di cui 650.000 t di materiali organici (FAVRETTO & TUNIS, 1976). La superficie carsica interessata dalla discarica è valutabile in 120.000 m<sup>2</sup>.

La discarica di Sežana è stata aperta nel 1971 e fino al 2006 ha ospitato 200.000 t di rifiuti (KOGOVŠEK & PETRIČ, 2007).

Nel caso di una discarica con impermeabilizzazione del fondo e raccolta del percolato, è valutabile in 2000 mg/l il contenuto di cloruri presente nel percolato, sia in fase di acetogenesi che di metanogenesi, e nel 20% della pioggia caduta la quantità di percolato raccolto sul fondo (CHRISTENSEN *et al.*, 1993). Nel caso della discarica di Trebiciano, priva di qualsiasi impermeabilizzazione, è possibile fare una valutazione di massima del carico di cloruri rilasciati mediamente durante l'anno: supposto una precipitazione annua di 1300 mm, una infiltrazione efficace del 50%, un contenuto di cloruri di 1000 mg/l nell'acqua di percolazione, si ricava che la quantità annua di cloruri infiltratisi nel sottosuolo carsico ammonta a 78 t/anno. Per la discarica di Sežana, che ha accumulato un quarto dei rifiuti rispetto a Trebiciano, è stato ipotizzato un contributo di cloruri proporzionale. Complessivamente quindi per le due discariche è stato valutato in 100 t/a l'apporto di cloruri nel sottosuolo (tabella 3).

### 3.4. I cloruri provenienti dalla salatura antighiaccio delle strade

La salatura delle strade per favorire lo scioglimento della neve e per impedire la formazione di ghiaccio è una pratica abituale nei paesi nordici, che si sta diffondendo capillarmente sull'intera rete stradale carsica, oltre che su quella autostradale.

Sul territorio carsico italiano vi è una complessa struttura di manutenzione delle strade, con numerose competenze: comuni, provincia, regione, ANAS. Da informazioni assunte presso le singole entità è valutabile in 530 t il sale sparso durante un episodio di neve (tre giorni). Considerato che vi sono mediamente tre episodi di neve nell'arco dell'anno, la quantità di sale utilizzato ammonta a 1590 t/a, valore confrontabile con il dato sloveno (RAVBAR, 2006) di 740 t/anno.

Il totale di 2330 t/a corrisponde ad una immissione di cloruri di 1413 t/a (supponendo che si tratti solo di NaCl), cioè risulta essere di un ordine di grandezza superiore a quella di tutte le altre fonti antropiche, precedentemente trattate, come risulta dal quadro complessivo riportato nella tabella 3.

Fonte di cloruri	Abitanti n°	A.E. n°	Cloruri g/ab/giorno	Cloruri Kg/giorno	Cloruri t/a
Acque reflue civili	44.500		10	445	162
Area R. e Sincrotrone		2.500	10	25	9
Reflui zootecnici		50.000	2	100	37
Cloruri all'origine <sup>(*)</sup>					96
Discariche RSU					100
Salatura strade					1.413
Scarichi industriali					100
<b>Totale apporti</b>					<b>1.917</b>

Tab. 3 – Apporto di cloruri di origine antropica sul Carso Classico.

(\*) Cloruri presenti nell'acqua potabile distribuita e poi scaricata nel sottosuolo.

### 3.5. Effetto dei cloruri di origine antropica sul contenuto di cloruri alle risorgive

Dall'esame della tabella 3, in cui sono stati sintetizzati i principali apporti di cloruri derivanti dagli insediamenti civili e produttivi situati sul Carso e dalle attività connesse, si possono fare le seguenti considerazioni.

Tra tutti gli apporti di origine antropica, la salatura delle strade durante gli episodi nevosi è quello più rilevante, di un ordine di grandezza superiore agli altri. Si tratta di una forma di inquinamento che si concentra in pochi giorni dell'anno ed i cui effetti sulle acque sotterranee del Carso Classico non sono mai stati studiati.

Gli scarichi urbani, limitatamente ai cloruri, non costituiscono invece una fonte di inquinamento particolarmente rilevante, anche perchè piuttosto diffusi sul territorio carsico.

Gli apporti puntuali, derivanti dalle due discariche e dal grosso prosciuttificio di Šepulje, potrebbero avere effetti rilevanti sulle acque sotterranee sottostanti.

Il quantitativo stimato di 1917 t/a di cloruri comporta alle risorgive — tenendo conto di una portata media di 35,1 mc/s (GEMITI, 1984) — un deflusso di 60,8 g/s di cloruri e quindi una concentrazione di 1,7 mg/l.



Conseguenza diretta di quanto sopra riportato è che gli apporti antropici di cloruri sul Carso Classico non possono in alcun modo giustificare gli elevati livelli (mediamente 45 mg/l) che caratterizzano l'acqua dei pozzi di Brestovizza, tenuto conto che la portata della falda è stata valutata in almeno 1 mc/s.

#### **4. I CLORURI NEI CORSI D'ACQUA SUPERFICIALI CHE ALIMENTANO LA FALDA CARSIKA**

Tre grossi corpi idrici superficiali alimentano direttamente o indirettamente la falda carsica: si tratta dell'alto Timavo (Notranjska Reka) che si inabissa a S. Canziano, dell'Isonzo con le dispersioni della falda isontina nella piana di Gorizia in direzione del Carso, del Vipacco con le perdite di subalveo a partire da Bilje. Per altri due corsi d'acqua, di portata molto minore e che si inabissano nel sottosuolo carsico, sono stati accertati mediante prove di marcatura i collegamenti idrici con le sorgenti carsiche comprese tra Aurisina e S. Giovanni di Duino: si tratta del Sajeovski potok e della Raša (HABIČ, 1989).

Mentre il contributo medio dell'alto Timavo è ben definito, cioè di 8,26 mc/s per il periodo 1961-1990 (KOGOVŠEK & PETRIČ, 2007), quello dell'Isonzo è stato solo recentemente stimato da DOCTOR (2008) in 19,8 mc/s, utilizzando i traccianti naturali nell'acqua e impiegando moderne tecniche di calcolo.

L'entità degli apporti del Vipacco è invece molto incerta. Per accertare la continuità idrica tra Vipacco e Timavo il TIMEUS (1910) nel 1908 immise nell'acqua del fiume a Vrtoče 10 Kg di cloruro di litio. Dopo cinque giorni il litio venne riscontrato, tramite misure spettroscopiche, nelle acque dei laghi di Doberdò, Pietrarossa e Sablici, alle sorgenti Sardos e nel ramo del Timavo più meridionale.

Probabilmente due sono le vie di penetrazione delle acque del Vipacco nel Carso: la prima diretta, attraverso le fessurazioni calcaree non intasate da materiali argillosi nel tratto Vrtoče-Rupa; la seconda indiretta, tramite la falda isontina, a valle di Gabria. L'elevatissima torbidità delle acque del Vipacco durante le piene e la limpidezza delle acque di Doberdò anche in questi periodi farebbero comunque escludere apporti significativi per via diretta.

Qui di seguito viene riportata più in dettaglio la situazione dei cloruri per i tre corsi d'acqua e si puntualizzano alcune caratteristiche idrologiche e idrochimiche dell'alto Timavo, l'unico dei tre corsi d'acqua che durante le piene influisce — in modo diretto e molto pesante — sulla qualità dell'acqua alle risorgive di S. Giovanni di Duino.

##### **4.1. Alto Timavo**

L'alto Timavo drena le acque di un bacino imbrifero che si sviluppa prevalentemente su terreni impermeabili di Flysh, però riceve anche il contributo di notevoli sorgenti carsiche come la Bistrice. Presenta un regime nettamente torrentizio, con piene che possono superare i 300 mc/s e magre di soli 0,2 mc/s. Con la realizzazione di due bacini di accumulo, che alimentano il fiume durante il periodo di magra, la portata minima non scende più sotto 1 mc/s. La portata media annua è di 8,26 mc/s.

Il comune più importante che insiste sul bacino dell'alto Timavo è Villa del Nevoso (Ilirska Bistrice) con quasi 15.000 abitanti.

Oltre agli scarichi civili l'alto Timavo riceve scarichi industriali, localizzati prevalentemente a Villa del Nevoso. Tra il 1966 e il 1990 il fiume è stato pesantemente inquinato dagli scarichi provenienti da una fabbrica di acidi organici (TOK) che ha cessato la propria attività nel 1990.

Dalla consultazione dei dati di archivio del laboratorio di analisi dell'ACEGAS risultano i seguenti dati (tabella 4) sul contenuto di cloruri delle acque del fiume prelevate immediatamente a monte di S. Canziano o a Vreme.

Periodo di osservazione	N° di campioni	Minimo	Massimo	Mediana
25.11.82 – 2.10.90	14	4,0	10,5	8,1
14.11.90 – 25.5.2000	66	2,6	9,6	4,5

Tab. 4 – Contenuto di cloruri (in mg/l) delle acque dell'alto Timavo.

Secondo KOGOVŠEK (2001) il contenuto di cloruri nelle acque prelevate immediatamente a monte di S. Canziano raggiungeva i 9 mg/l prima del 1990; negli anni successivi si è mantenuto mediamente al di sotto dei 5 mg/l.

#### 4.2. Isonzo e Vipacco

L'Isonzo e il suo affluente Vipacco sono stati oggetto di prelievi periodici e analisi da parte di GEMITI & LICCIARDELLO (1977), per un totale di 35 campioni prelevati nel 1975. Altre analisi periodiche sono state condotte tra il 1985 e il 1987 da CANCIAN (1987), per un totale di 12 campionature. Analisi mensili sono state effettuate dal laboratorio di analisi dell'ACEGAS nel periodo 8.4.93 - 6.3.2000 su 83 campioni d'acqua. Successive indagini sono state condotte da REISENHOFER *et al.* (1998), con 6 campionature effettuate nel 1994. I risultati relativi al contenuto di cloruri sono riportati sinteticamente nella tab 12.

I prelievi sull'Isonzo da parte di ACEGAS sono stati effettuati a monte della confluenza del Vipacco, in corrispondenza del ponte autostradale. Quelli sul Vipacco in località Rupa. La sintesi dei risultati è riportata nella tabella 5.

Corso d'acqua	Minimo	Massimo	Media	Mediana
Isonzo	0,5	6,1	2,2	1,9
Vipacco	2,1	6,7	3,7	3,5

Tab. 5 – Contenuto di cloruri (in mg/l) delle acque dell'Isonzo e del Vipacco (analisi ACEGAS).

### 5. I CLORURI NELLE ACQUE DI FONDO DEL CARSO TRIESTINO E GORIZIANO

Le principali finestre sulle acque di fondo carsiche sono costituite da cavità profonde che raggiungono il corso sotterraneo del Timavo: quattro si trovano in territorio sloveno e precisamente una cavità sul fondo della dolina Risnjak (nei pressi di Divača), la Kačna Jama tra Divača e Lokev, la grotta di Kanjaduce nei pressi di Sežana, l'abisso nella dolina Stršinkna nei pressi di Orlek. Due si trovano in territorio italiano: l'abisso di Trebiciano e l'abisso Lazzaro Jerko. Altre cavità naturali o pozzi artificiali che raggiungono acque di fondo sono in territorio italiano la grotta Skilan, vicino al confine di Lipizza, e la grotta Linder nei pressi di S. Pelagio. Cavità con acque sul fondo, ma vicinissime alle risorgive del Timavo, sono il pozzo 226 della Ferrovia ed il pozzo dei Colombi. Nel Carso Goriziano le cavità che raggiungono la falda

sono la grotta Andrea ad ovest di Jamiano, il pozzo di Jamiano a sud del paese e la grotta di Comarie in prossimità del confine, nel vallone di Brestovizza.

Nei pressi di Monfalcone cavità con acqua sul fondo sono la Grotta ad est della stazione e il pozzo presso la 4512 VG .

Nel vallone di Brestovizza troviamo la Dolenjca Jama e la Drča Jama ed i pozzi artificiali di Klariči: il B-4 ed altri tre pozzi vicini che alimentano il Kraški Vodovod. Altri pozzi diagnostici sono stati trivellati all'inizio degli anni '80 nel vallone di Brestovizza: B-2, B-3, B-5, B-6, B-7, B-8 Nella fig. 1 è riportato il posizionamento di cavità con acqua, pozzi e sorgenti nella zona che va da Sistiana a Monfalcone e comprende il lago di Doberdò e il vallone di Brestovizza.

Sulla composizione delle acque del Timavo sotterraneo la più ampia documentazione disponibile è certamente quella relativa al corso d'acqua che scorre sul fondo di Trebiciano, alimentato prevalentemente dalle acque che si inabissano a S. Canziano, ma anche da acque di percolazione carsica.

Nel periodo 16.2.92 - 23.1.2000 sono stati analizzati dal Laboratorio di Analisi della ACEGAS 20 campioni di acqua prelevata sul fondo dell'abisso di Trebiciano. I risultati, riportati nella tabella 6, sono molto simili a quelli riscontrati nello stesso periodo per l'acqua dell'alto Timavo.

Per le acque di fondo della grotta Skilan sono a disposizione (GRUPPO GROTTA C. DEBELJAK, 1994) solo tre analisi, con un livello medio di cloruri di 5,0 mg/l (tabella 6).

Per le acque di fondo della grotta Lindner sono disponibili per i cloruri cinque dati analitici, rispettivamente 7,5 - 2,2 - 2,5 - 2,4 - 2,7 mg/l, relativi a campioni analizzati dal Laboratorio ACEGAS, i primi quattro nel 1974, il quinto nel 1982. La bassa concentrazione di cloruri, l'elevato tenore di calcio e il basso contenuto di magnesio fanno ritenere che l'acqua che si preleva sul fondo di questa cavità, il cui livello oscilla in concordanza con quello del Timavo alle risorgive, non sia l'acqua fluente in una condotta idrica, ma bensì uno "strato di acqua di percolazione" che galleggia sopra l'acqua in pressione, in diretto collegamento con le risorgive del Timavo.

Per le acque raccolte sul fondo del pozzo 226 della Ferrovia sono disponibili 5 analisi ACEGAS, effettuate nel periodo 1974-1991, con un valore medio di cloruri di 7,0 mg/l. Ricordiamo che nel 1909 il Timeus immise uranina nel laghetto sul fondo di questa cavità; il colorante uscì dopo 4 giorni, in seguito a forti precipitazioni, alle sorgenti Sardos e Moschenizze e soltanto in minime tracce, successivamente, alle risorgive del Timavo (BOEGAN, 1938).

Le acque di fondo della grotta Andrea, del pozzo di Jamiano e della grotta di Comarie sono state oggetto di 13 analisi, condotte mensilmente tra l'agosto 1985 e il settembre 1986 (BORDON *et al.*, 1987), che hanno messo in evidenza caratteristiche sempre molto simili e analoghe a quelle del lago di Doberdò.

Per l'acqua della grotta di Comarie sono disponibili anche 3 analisi effettuate da ACEGAS nel periodo 1974-1983.

La grotta ad est della Stazione di Monfalcone è profonda 18 metri e sul fondo si trova un piccolo e limpido specchio d'acqua. Tra il 1985 e il 1987 le acque di fondo sono state oggetto di analisi da parte di CANCIAN (1987) che ha messo in evidenza un contenuto anomalo di cloruri (24-37 mg/l) e valori elevati di solfati (15-22 mg/l), di potassio (1,4 mg/l) e di magnesio (10,5).

Nell'acqua di fondo è stato rinvenuto il proteo, per cui sono da escludere rilevanti contaminazioni antropiche.

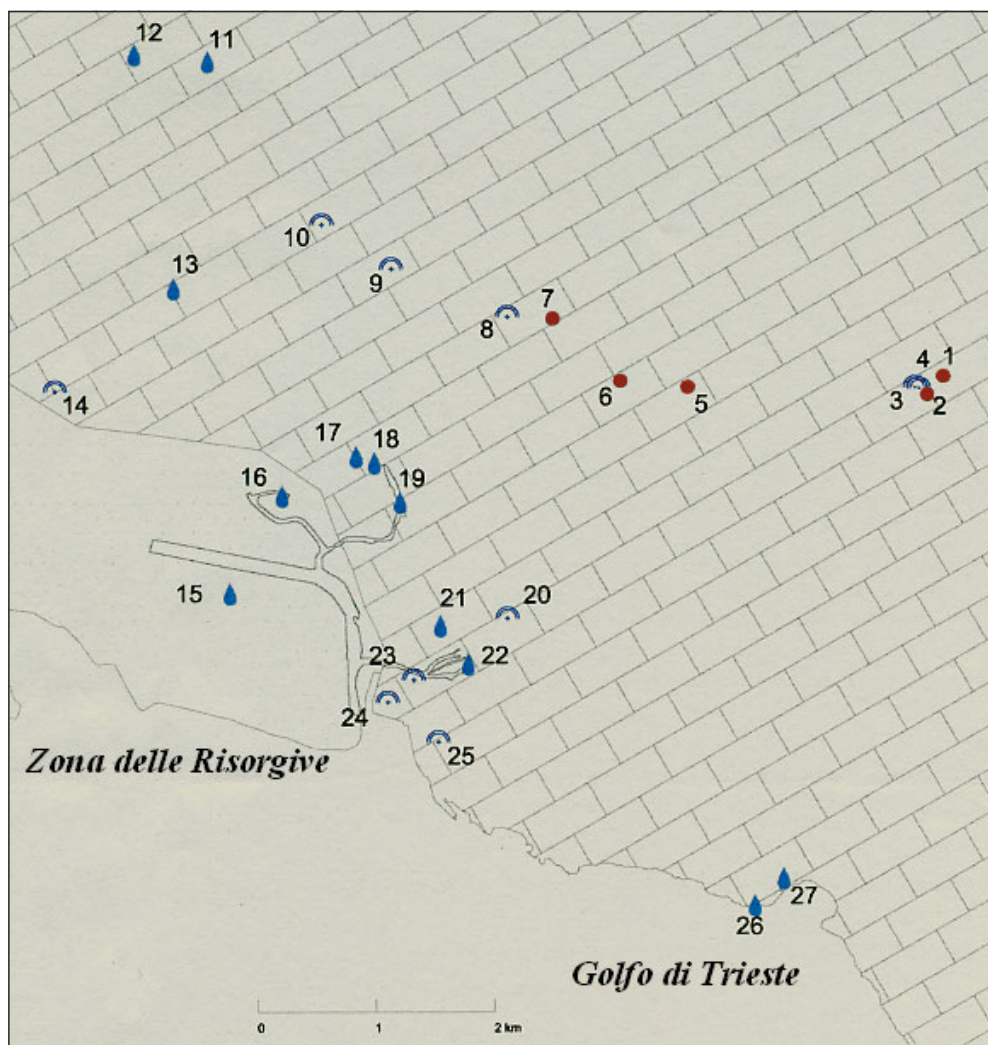


Fig. 1 – Sorgenti, pozzi e cavità con acqua nella zona compresa tra Brestovizza (Slovenia), il lago di Doberdò, Monfalcone e la baia di Sistiana.

LEGENDA

- 1 Pozzo B-1, 2 Pozzo B-5, 3 Dolenjca Jama, 4 Drča Jama, 5 Pozzo B-2, 6 Pozzo B-3, 7 Pozzo B-4, 8 Grotta di Comarie, 9 Pozzo di Jamiano, 10 Grotta Andrea, 11 Sorgente N del lago di Doberdò, 12 Sorgenti ONO del lago di Doberdò, 13 Sorgenti del lago di Pietrarossa, 14 Grotta ad E della stazione di Monfalcone, 15 Terme di Monfalcone, 16 Sorgenti del Lisert, 17 Punto di prelievo corso del Sablici, 18 Sorgente Moschenizze N, 19 Punto di prelievo sorgenti Moschenizze S, 20 Pozzo 226 della Ferrovia, 21 Sorgenti Sardos, 22 Risorgive del Timavo, 23 pozzo presso ex Azienda Frigoriferi, 24 Grotta presso la Peschiera del Timavo, 25 Grotta presso il Villaggio del Pescatore, 26 Sorgente a mare (A) di Sistiana, 27 Sorgente B di Sistiana.

Acqua di fondo	N° campioni	Minimo Cloruri	Massimo Cloruri	Media Cloruri	Media Calcio	Media Magnesio
Abisso di Trebiciano	20	2,8	7,0	4,7	74	5
Grotta Skilan	3	4,2	5,7	5,0	131	2
Grotta Lindner	5	2,2	7,5	3,5	96	2
Pozzo 226	5	6,5	7,8	7,0	76	7
Grotta Andrea	13	3,0	4,2	3,9	56	8
Pozzo di Jamiano	13	3,0	4,6	4,1	57	8,5
Pozzo di Comarie	13	3,0	4,3	4,1	57	9
Pozzo di Comarie/ACEGAS	3	2,5	4,0	3,2	57	8
Grotta ad E della Staz.di Monfalcone		24	37	31	64 <sup>(*)</sup>	10,5

Tab. 6 – Contenuto di Cl, Ca, Mg (in mg/l) in alcune acque di fondo carsiche.

(\*) in regime di magra e normale, 75 in piena.

Dall'analisi dei risultati riportati nella tabella 6 possiamo distinguere alcune tipologie di acque di fondo:

1. Acque alimentate prevalentemente dalla percolazione carsica, con un contenuto di cloruri variabile tra 2 e 7 mg/l; contenuti molto elevati di calcio, superiori a 90 mg/l; bassi livelli di magnesio, intorno a 2 mg/l. Sono rappresentate dalle acque di fondo della Skilan e della Lindner.
2. Acque del corso sotterraneo del Timavo (abisso di Trebiciano), alimentate dall'alto Timavo e in subordine dalle acque carsiche di percolazione. La concentrazione di cloruri è simile alle acque della Reka, il contenuto di calcio è mediamente più basso, compreso tra 41 e 91 mg/l, a seconda prevalga la prima alimentazione (alto Timavo in piena) o la seconda (acque di percolazione). Il contenuto di magnesio è più elevato (mediamente 5 mg/l) rispetto alle acque carsiche.
3. Acque del tipo Sardos (pozzo 226), con valori più elevati di cloruri (media 7 mg/l) e di magnesio (7 mg/l).
4. Acque alimentate dall'Isonzo e dalla percolazione carsica (Grotta Andrea, pozzo di Jamiano, pozzo di Comarie), con un contenuto di cloruri relativamente basso (4 mg/l), basso contenuto di calcio (57 mg/l), quantità di magnesio relativamente elevata (8,5 mg/l).
5. Acque probabilmente contaminate da apporti salmastri (Grotta ad E della stazione di Monfalcone).

## **6. I CLORURI NELLE ACQUE DEI POZZI DI KLARIČI (VALLONE DI BRESTOVIZZA - SLOVENIA)**

Il Vallone di Brestovizza è un grande polje carsico che ha inizio in territorio italiano, nei pressi di Jamiano (vallone di Doberdò), ma si sviluppa prevalentemente in territorio sloveno, a quote molto basse rispetto allo zero marino, che vanno dai 20 metri in Italia ai 60 metri in località Brestovizza in monte (Gornja Brestovica). Dalla parte italiana vi sono delle piccole doline in cui il fondo raggiunge i 10-12 metri sul l.m.m., quindi molto vicino al livello della falda carsica che si trova a qualche metro sopra il livello del mare. Sono note fin dalla prima guerra mondiale alcune cavità ove veniva attinguta l'acqua come il pozzo di Jamiano e la grotta di Comarie.

Anche dalla parte slovena erano note alcune cavità interessate dalla presenza di acqua sul fondo, quali la "Dolenjca Jama", visitata ai tempi della I Guerra Mondiale, e la Drča Jama, esplorata nel 1974, situate ambedue nei pressi di Gornja Brestovica. La "Drča Jama" è stata esplorata dagli speleosub sloveni fino alla profondità di 15 metri sotto il livello del mare (SKUPŠČINA OBČINE SEŽANA, 1987).

La vicinanza della falda carsica alla superficie del terreno e la buona qualità dell'acqua riscontrata nelle due grotte, avevano interessato particolarmente gli amministratori del Comune di Sežana, alla ricerca di fonti di approvvigionamento idrico per gli abitanti della zona carsica slovena. Per questo motivo nel 1977 furono effettuati 8 sondaggi esplorativi nella valle di Brestovizza: cinque pozzi (da B-1 a B-5) interessavano il polje vero e proprio (quote del terreno comprese tra 16 e 64 metri), gli altri tre quote decisamente più elevate (KRIVIC, 1981).

I pozzi B-4, B-3, B-2 sono stati perforati nei calcari grigio-scuri, i pozzi B-1 e B-5 nelle dolomie grigio-scare (cretaceo inferiore-cenomaniano).

Tutti i pozzi sono stati spinti fino a quote di varie decine di metri sotto lo zero marino. Dalle prove di pompatura effettuate (KRIVIC, 1983) il pozzo più produttivo risultò essere il B-4, situato 900 m ad ovest dell'abitato di Klariči, vicino al confine di stato. In subordine, come produttività, risultò essere il B-2, situato 500 m a SE dello stesso abitato, e il B-5 (che interseca il canale idrico della "Drča Jama"), vicino all'abitato di Brestovizza in monte. Il pozzo B-3,

pur essendo vicino al B-2, risultò scarsamente produttivo, perché situato in un terreno poco carsificato, caratterizzato da fessure fini.

#### *Il pozzo B-4*

La quota del terreno in cui è stata fatta la trivellazione è di 16 m sul livello medio mare, il pozzo raggiunge la profondità di 52,5 m sotto il livello del medio mare (DOCTOR, 2008). È finestrato tra i 14 e 68 m di profondità e più di un metro della perforazione interseca una condotta carsica di grandi dimensioni. La quota dell'acqua nel pozzo varia tra 0,5 e 3,5 m sul livello medio mare.

La prima prova di pompatura è stata fatta il giorno 7.3.1980. La potenzialità massima del pozzo è stata di 53 l/sec.

Successivamente sono stati realizzati vicino al pozzo B-4 (pozzo diagnostico) tre pozzi di produzione in grado di estrarre più di 250 l/s di acqua con un abbassamento di livello di soli 0,5 m e successivamente fu realizzato l'intero sistema acquedottistico del Carso sloveno (1984). Dalle prove di pompatura effettuate la potenzialità massima dell'acquifero è valutabile in 1 mc/s.

Il livello dell'acqua del pozzo B-4 risente della marea che si registra nel golfo di Trieste e la trasmissione delle onde di marea attraverso l'acquifero costiero carsico è stata oggetto di studio da parte di KRIVIC (1982). Vi è quindi una connessione idraulica tra le acque sotterranee in località Klariči e il mare, però prove di pompatura prolungate nel tempo ai tre pozzi di produzione (DOCTOR *et al.*, 2006) non hanno rivelato intrusioni di acqua di mare.

#### *Il pozzo B-3*

Si trova ad una quota di 40 metri e raggiunge la profondità di 44,6 m sotto il livello del mare. Il livello dell'acqua varia solitamente nell'intervallo + 2/+3m; nell'agosto 1999 però l'acqua si trovava a -10 m rispetto allo zero marino (DOCTOR, 2008). Queste caratteristiche idrologiche indicano chiaramente che il pozzo attinge da un bacino di acqua alimentato localmente.

Nonostante sia poco produttivo, la sua acqua è stata presa come riferimento di un'alimentazione solo e soltanto carsica dovuta ad acque di infiltrazione meteorica (DOCTOR *et al.*, 2006).

#### *La composizione delle acque estratte dai pozzi del Vallone di Brestovizza*

Tutte le indagini geologiche e di qualità dell'acqua hanno avuto come riferimento il compianto dott. Krivic, che l'autore della presente nota ha conosciuto personalmente e con il quale ha avuto stretti contatti scientifici. Per questo motivo sono disponibili presso ACEGAS diversi reperti di analisi effettuate da Istituti sloveni sulle acque estratte dal pozzo B-4 e sull'acqua distribuita. Complessivamente è stata utilizzata la seguente documentazione:

- 1) N° 11 analisi relative a campioni prelevati nel periodo 1980-1981.
- 2) N° 7 analisi relative a campioni prelevati nel periodo 1991-1992.
- 3) N° 2 analisi relative a campioni prelevati e analizzati rispettivamente da DEMATTEIS (1995) nel 1992 e da ACEGAS nel 1995.
- 4) Dati medi di temperatura, conducibilità, carbonio<sup>13</sup>, deuterio, mercurio, relativi alla campagna di prelievi mensili svolta da DOCTOR *et al.* (2000) nel periodo 1998-1999 sulle acque dei pozzi B-4 e B-3.
- 5) Dati giornalieri di alcuni parametri chimico-fisici e isotopici delle acque prelevate per conto di DOCTOR *et al.* (2006) al pozzo B-4 nei periodi 16.10.99-9.11.99 e 28.9.2000-7.11.2000, in corrispondenza ad alcuni episodi di piena.

## 6.1. Composizione delle acque del pozzo B-4

Sulla base dei dati disponibili è stato possibile sintetizzare nella tabella 7 il quadro analitico relativo al pozzo B-4.

Parametro	Unità di misura	Minimo	Massimo	Media
Temperatura**	°C	11,8	15,1	14,0
Calcio	mg/l	45	90	78
Magnesio	mg/l	6	13	10
Sodio	mg/l	11	35	28
Potassio	mg/l	1,1	2,2	1,7
Stronzio*	mg/l			0,3
Bicarbonati	mg/l	150	296	253
Cloruri	mg/l	20	64	45
Nitrati	mg/l	4	8	6
Solfati	mg/l	10	22	17
Bromuri*	mg/l			0,2
Silice*	mg/l			3
Durezza totale	°F	13,9	30,0	24,1
Durezza temporanea	°F	12,3	24,3	20,8
Durezza permanente	°F	1,6	5,0	3,4
Conducibilità calcolata a 25°C	µS/cm	327	702	581

Tab. 7 – Caratteristiche chimico-fisiche delle acque del pozzo B-4.

\* numero limitato di dati a disposizione.

\*\* numero limitato di dati a disposizione per le minime e le massime.

Dall'esame della tabella 7 si possono fare le seguenti considerazioni.

Non si conosce il reale campo di variabilità della temperatura, per la mancanza di un numero di dati sufficiente. Il valore medio di 14,0 °C, riportato da DOCTOR (2000), è nettamente superiore a quello di tutte le grandi sorgenti carsiche (GEMITI & LICCIARDELLO, 1977), che presentano valori medi compresi tra 11,8 °C (Moschenizze N e Timavo) e 12,5°C (Moschenizze S). Anche i valori massimi di queste sorgenti non superano generalmente i 13,0 °C .

Solo le sorgenti di Aurisina, alimentate da acque meteoriche locali che interessano una zona carsica più calda, presentano una temperatura media di 13,0 °C ed una massima di 13,5 °C.

È inoltre strano che la temperatura si mantenga così elevata nonostante i notevoli apporti di acque isotine, caratterizzate da temperature non superiori ai 12 °C. Poiché la temperatura non è un parametro conservativo e la temperatura della roccia contenitore aumenta con la profondità (mediamente di 1°C ogni 33 metri) si deduce che le acque emunte provengono prevalentemente da zone piuttosto profonde e con circolazione idrica piuttosto lenta.

Tutti i parametri chimici presentano una grande variabilità, specialmente nel contenuto di



NaCl. Indubbiamente, come è stato evidenziato da DOCTOR *et al.* (2006), nel sottosuolo della zona di Klariči ci sono apporti di acque con composizione molto diverse: le acque dell'Isonzo, povere di sali, e quelle carsiche, caratterizzate da elevati valori di bicarbonato di calcio, specialmente in periodi di forti precipitazioni. Vi è inoltre una terza componente caratterizzata da un elevato contenuto di cloruri.

L'anomalia rispetto a tutte le altre acque carsiche esaminate è appunto il contenuto relativamente elevato di cloruri, di sodio, di bromuri.

Tutti questi ioni sono presenti in grande quantità nell'acqua di mare, in acque salmastre fossili, in sali di origine marina inglobati in rocce del tipo marnoso-arenaceo. Un aumento di 100 mg/l di cloruri, causato da una contaminazione marina, comporta una notevole modificazione di una tipica acqua di percolazione carsica, come riportato nella tabella 8.

	Acqua carsica mg/l	Contaminazione marina - mg/l	Acqua carsica contaminata	Incremento %
Calcio	100	2,1	102	2
Magnesio	3	6,6	9,6	220
Sodio	3	55,6	58,6	1853
Potassio	0,5	2,0	2,5	400
Bicarbonati	150		150	
Cloruri	5	100	105	2000
Nitrati	3		3	
Solfati	10	14,0	24	140
Bromuri	0,02	0,35	0,37	1750
Silice	3		3	

Tab. 8 – Modificazione della concentrazione ionica di un'acqua carsica per una contaminazione marina che porti ad un incremento di 100 mg/l di cloruri.

Gli ioni che subiscono incrementi percentuali dell'ordine delle migliaia di volte sono in ordine decrescente: cloruri, sodio, bromuri. Potassio, magnesio, solfati presentano invece incrementi di un ordine di grandezza inferiore.

In definitiva ci sembra indubbio che l'acqua del pozzo B-4 presenti tutte le caratteristiche di una contaminazione da sali di origine marina, seppure in quantità limitate. Di conseguenza si può calcolare la sua composizione originaria, supponendo che la concentrazione di cloruri sia di 5 mg/l. Nella tabella 9 viene riportata la composizione ionica dell'acqua del pozzo B-4, dedotta la salinità, causata da sali di origine marina.

Parametro	Unità di misura	Minimo	Massimo	Media
Temperatura	°C	11,8	15,1	14,0
Calcio	mg/l	45	89	77
Magnesio	mg/l	5,0	9,1	7,3
Sodio	mg/l	2,7	2,2	5,2
Potassio	mg/l	0,8	1,0	0,9
Stronzio	mg/l			0,3
Bicarbonati	mg/l	150	296	253
Cloruri	mg/l	5	5	5
Nitrati	mg/l	4	8	6
Solfati	mg/l	7,9	18	11
Bromuri	mg/l			0,0
Silice	mg/l			3
Durezza totale	°F	13,2	25,9	22,3
Durezza temporanea	°F	12,3	24,2	20,7
Durezza permanente	°F	0,9	1,7	1,6
Conducibilità calcolata a 25°C	µS/cm	273	501	437

Tab. 9 – Caratteristiche chimico-fisiche dell’acqua del pozzo B-4, dedotto il contributo dei sali di origine marina.

## 6.2. Composizione delle acque del pozzo B-3

Le caratteristiche chimico – fisiche dell’acqua di questo pozzo, tratte dai lavori di DOCTOR *et al.* (2000, 2006) sono riportate in tabella 10.

Periodo	Temp. °C	Cond. Elett. µS/cm	Calcio mg/l	Magnesio mg/l	Cloruri mg/l	Dur. totale °F
1998 - 1999	13,4	494				
1999 - 2000		560	108	2,6	3,7	28,1

Tab. 10 – Analisi dell’acqua del pozzo B-3.

La temperatura media di 13,4 °C risulta inferiore a quella del pozzo B-4 (14,0 °C).

La conducibilità di 494 µS/cm a 25 °C è invece simile a quella del pozzo B-4, rilevata nello stesso periodo di tempo (490 µS/cm), però è in relazione ad una composizione salina diversa, caratterizzata da maggiori quantità di bicarbonato di calcio e bassi livelli di NaCl.

Le acque di questo pozzo presentano livelli di mercurio decisamente più bassi, quantità minori di carbonio 13 e invece maggiori di deuterio e ossigeno 18.

La sua composizione è stata assunta da DOCTOR *et al.* (2006) per il calcolo degli apporti idrici nel sottosuolo, come modello di un’acqua carsica di infiltrazione meteorica.

### 6.3. Composizione delle acque del pozzo B-2

Il pozzo B-2 si trova a 200 m di distanza dal pozzo B-3, però in un terreno molto più carsificato. Per questo pozzo sono disponibili 9 analisi, effettuate da istituti sloveni nel 1981 e sintetizzate nella tabella 11.

Parametro	Un. misura	Minimo	Massimo	Media
Durezza totale	°F	18,9	32,7	25,7
Durezza temporanea	°F	16,6	28,9	23,1
Durezza permanente	°F	1,1	3,8	2,6
Cloruri	mg/l	8,2	12	10

Tab. 11 – Analisi dell’acqua del pozzo B-2.

La durezza delle sue acque (sali di calcio e magnesio) presenta un ampio campo di variabilità, probabilmente in relazione a diverse alimentazioni. La concentrazione dei cloruri si mantiene invece su valori più elevati del pozzo B-3 (alimentato da acque di infiltrazione locali), ma decisamente più bassi del pozzo B-4.

In definitiva, e limitatamente ai dati disponibili, si può affermare che solo le acque estratte dal pozzo B-4 e dai tre pozzi produttivi di Klariči presentano valori di cloruri decisamente anomali rispetto alle acque sotterranee del Carso classico, precedentemente esaminate. Concentrazioni elevate di cloruri sono state rilevate solo nelle acque di fondo della grotta ad est della stazione ferroviaria di Monfalcone e in alcune acque sotterranee, situate in prossimità del mare, e di cui si parlerà più diffusamente al punto 8.

## 7. I CLORURI NELLE ACQUE DELLE PRINCIPALI SORGENTI CARSICHE

Tutte le grandi sorgenti carsiche comprese tra Aurisina e il lago di Doberdò sono state oggetto di numerose indagini, non solo a scopo scientifico, ma soprattutto per la loro importanza nell’approvvigionamento idrico della città di Trieste. Ricordiamo in ordine di tempo le sorgenti di Aurisina, le sorgenti Sardos, le risorgive del Timavo, la sorgente Moschenizze N, il Sablici.

Per questo motivo dagli archivi del laboratorio di analisi dell’ACEGAS è stato possibile recuperare una grande mole di dati sul contenuto di cloruri di tali acque. Nella tabella 12 sono sintetizzati tutti i dati ACEGAS e i risultati di campagne sistematiche di analisi effettuate nel 1975 da GEMITI & LICCIARDELLO (1977), nel 1985-1987 da CANCIAN (1987), nel 1994 da REISENHOFER *et al.* (1998).

Da un confronto dei dati disponibili per ciascuna sorgente, che in certi casi coprono un arco di quasi 30 anni, si rilevano valori medi, massimi e minimi molto simili, per cui si è ritenuto opportuno sintetizzare questi risultati nella tabella 13.

Sorgente	Periodo	N° campioni	Rif. Bibliogr.	Min. mg/l	Max. mg/l	Media mg/l
Aurisina	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	6	14	10
	1973-1988	23	ACEGAS	5	15	11
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			12
Timavo	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	4,0	8,2	5,5
	1976-1989	45	ACEGAS	2,8	8	6,0
	1990-2004	179	ACEGAS	2,9	11	6,7
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			6,2
Sardos	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	3,7	10	6,7
	1976-1989	43	ACEGAS	5	9	6,9
	1990-2004	179	ACEGAS	3,8	13	7,1
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			6,7
Moschenizze S	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	5,5	8,5	6,7
	1985-1987	12	Cancian, 1987	6,5	13	
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			7,3
Moschenizze N	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	2,5	4,5	3,5
	1990-2004	179	ACEGAS	2,7	8,8	4,5
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			4,3
Doberdò	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	2,0	4,0	2,8
	1985-1986	12	Cancian, 1987			3,4
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			3,5
Pietrarossa	1985-1987	12	Cancian, 1987	2,8	4,0	3,4
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			3,7
Sablici	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	2,0	6,0	4,6
	1985-1987	12	Cancian, 1987	4,3	7,3	
	1990-2004	179	ACEGAS	2,8	8,8	4,8
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			4,6
Isonzo	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	i. 0,5	2,0	0,6
	1993-2000	83	ACEGAS	0,5	6,1	2,2
	1985-1987	12	Cancian, 1987	1,0	3,0	2,0
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			1,9
Vipacco	1975	35	Gemiti-Licciardello, 1977	0,7	4,5	2,4
	1993-2000	83	ACEGAS	2,1	6,7	3,7
	1994	6	Reisenhofer <i>et al.</i> , 1998			3,9

Tab. 12 – Cloruri nelle acque delle principali sorgenti carsiche, dell’Isonzo e del Vipacco.

Sorgente	Minimo	Massimo	Media
Aurisina	5	15	11
Timavo	2,8	11	6,7
Sardos	3,7	13	7,1
Moschenizze S	5,5	13	7,0
Moschenizze N	2,5	8,8	4,5
Doberdò	2,0	4	3,5
Pietrarossa	2,8	4	3,5
Sablici (corso d’acqua)	2,0	8,8	4,8

Tab. 13 – Cloruri (in mg/l) nelle acque delle principali sorgenti carsiche.

Dall'esame di questi dati e facendo riferimento ai deflussi calcolati da GEMITI (1984) alle risorgive carsiche comprese tra Aurisina e il Lisert:

Sablici + Lisert	=	2,2 mc/s
Moschenizze + Sardos	=	2,4 mc/s
Timavo	=	30,2 mc/s
Aurisina	=	0,3 mc/s
<b>Deflusso totale</b>	=	<b>35,1 mc/s</b>

si possono fare le seguenti considerazioni.

Le sorgenti di Aurisina, con una portata relativamente modesta e valutabile in 0,3 mc/s, sono caratterizzate da un contenuto di cloruri decisamente più elevato, in relazione a più cause quali:

- la vicinanza al mare, dal quale sono state separate mediante un bacino di contenimento che può avere minime infiltrazioni salmastre;
- il possibile contatto col Flysch, e quindi una cessione di sali di origine marina da parte della roccia;
- un bacino imbrifero più vicino al mare e quindi alimentato da precipitazioni più ricche di cloruri;
- una contaminazione remota da scarichi urbani rilevabile da un contenuto relativamente elevato di nitrati e di potassio.

Il Timavo, la principale sorgente carsica, con una portata media annua di 30,2 mc/s, presenta un valore medio di cloruri (6,7 mg/l) più elevato rispetto alle sue acque di alimentazione e cioè alto Timavo a S. Canziano (4,5 mg/l), acque di percolazione carsica (3 mg/l), acque dell'Isonzo (2,2 mg/l).

Sardos e Moschenizze S, con portata complessiva di 2,4 mc/s, presentano lo stesso livello di cloruri.

Il valore medio di 7,1 mg/l è leggermente superiore a quello del Timavo (6,7 mg/l).

Doberdò (sorgente ONO), Pietrarossa (sorgenti) e Moschenizze N presentano valori medi di cloruri decisamente più bassi, compresi tra 3,5 e 4,5 mg/l

Il collettore Sablici, la cui acqua è sempre stata prelevata dai tecnici dell'ACEGAS immediatamente a monte della confluenza con la sorgente Moschenizze N, presenta invece un valore medio di cloruri leggermente più elevato (4,8 mg/l).

## **8. I CLORURI IN CAVITÀ NATURALI, SORGENTI E POZZI VICINO AL MARE**

Nel tratto di costa compreso tra il porto di S. Croce (Aurisina) e la piana del Lisert, viene a mancare la tamponatura di Flysch, per cui i calcari sono a diretto contatto con il mare. Di conseguenza vi sono numerose scaturigini carsiche, situate ad una quota prossima a quella del mare o completamente sommerse. Alcune di esse sono visibili in piena, quando le acque sono torbide.

Prescindendo dalle sorgenti di Aurisina, che sono state imbrigliate a partire dal 1850, poco si conosce di queste sorgenti, sia dal punto di vista della portata che della composizione chimica e del loro insalinamento.



Due o tre sorgenti piuttosto cospicue sono note nella baia di Sistiana (MOSETTI, 1989), altre si scaricano sotto la costiera di Duino, altre infine si trovano subito ad E del Villaggio del Pescatore, in località Cernizza, e sono state descritte da CUCCHI & FORTI (1983).

A NO del canale Locavaz troviamo infine le sorgenti del Lisert, in numero di otto, che sgorgano da un fronte lungo circa mezzo chilometro, alla quota di 40-50 cm s.l.m. Sono alimentate dalla falda idrica dei laghi di Doberdò e Pietrarossa e la loro portata è stata stimata da MOSETTI (41) in circa 100.000 mc/giorno.

I calcari sotto Monfalcone e sotto la piana del Lisert sono intrisi d'acqua di piccole e disseminate vene e nella piana del Lisert, oltre alle Terme, vi sono pozzi ad uso industriale che attingono l'acqua dai calcari.

Nella tabella 14 si riporta la composizione di alcune acque sotterranee prelevate e analizzate dal laboratorio di analisi dell'ACEGAS. Per alcune di queste, come è il caso della grotta presso la Peschiera del Timavo e la grotta presso il Villaggio del Pescatore, i dati sono già stati pubblicati da GEMITI (1994); per le altre invece i dati sono inediti. Si tratta di due sorgenti: una è situata all'interno del piazzale dell'ex camping Caravella di Sistiana e scaturisce alla base delle falesie. È attiva solo in situazione di piena delle acque. L'altra è una sorgente a mare, sempre attiva, che fuoriesce dalle falesie, a NO dello stesso piazzale. La quinta acqua esaminata è stata prelevata da un pozzo che si trova presso la ex Azienda Frigoriferi, nelle immediate vicinanze del canale che raccoglie le acque del Timavo e le convoglia a mare.

Dall'esame dei dati riportati in tabella si evidenzia che tutte le acque presentano un elevato contenuto di calcio e valori anomali di NaCl, in relazione ad una contaminazione diretta di acque marine. Ipotizzando un contenuto originario di 5 mg/l cloruri, è possibile risalire alla composizione originaria di dette acque, che risulta abbastanza simile per tutte le acque. La composizione media, riportata nella stessa tabella, è quella tipica di un'acqua di infiltrazione carsica attraverso calcari non puri (con una certa componente dolomitica). Il contenuto di solfati è abbastanza elevato, forse in relazione ad una maggiore quantità di questo ione nelle precipitazioni (inquinamento da SO<sub>2</sub> prodotto dalla centrale termoelettrica di Monfalcone).

## 9. ACQUE SOTTERRANEE NELLA PIANA DEL LISERT

Dal laboratorio di analisi dell'ACEGAS sono state analizzate per conto terzi le acque di cinque pozzi: uno raggiunge il calcare ad una profondità di 31 m, gli altri tre si spingono a maggiori profondità. Il quinto è profondo solo 7 metri. Nella tabella 15 viene riportata la temperatura e il contenuto in cloruri (in g/l) delle acque esaminate.

Sono stati pure inseriti i dati relativi ad una polla d'acqua e alle sorgenti termali di Monfalcone che un tempo venivano alla luce ai piedi del Monte di S. Antonio, colle calcareo che è stato spianato nel dopoguerra.

Data del prelievo	Pozzo/sorgente	Profondità m	Temperatura °C	Cloruri g/l
11.06.1991	Pozzo A	31		3,3
04.05.1999	Pozzo B	50	15,1	0,5
04.05.1999	Pozzo C	200	15,2	2,1
10.10.1981	Pozzo D	(50?)	24,0	7,5
11.06.1991	Pozzo E	7	12,2	0,01
04.05.1999	Sorgente (polla)			0,2
30.06.1994	Terme		38	7,5

Tab. 15 – Composizione di alcune acque sotterranee della piana del Lisert.

Il contenuto di cloruri (espresso in g/l) di queste acque è estremamente variabile, in relazione alla complessa idrologia sotterranea della piana del Lisert, subordinata a molteplici fattori: diverse profondità a cui si trova il basamento calcareo, alimentazione non omogenea di acque dolci provenienti da monte, insalinamento marino. In corrispondenza delle terme di Monfalcone vi sono inoltre delle risalienze di acque profonde salmastre, caratterizzate da temperature decisamente elevate.

## **10. LA RISALITA DEL CUNEO SALINO IN PALEOALVEI O COMUNQUE ZONE DEPRESSE, COMPRESSE TRA LE FOCI DEL TIMAVO E MONFALCONE**

La valle di Moschenizze è una specie di fiordo carsico che si incunea per quasi un chilometro tra il colle di Moschenizza (m 60) e il dosso Giulio (m 106). Probabilmente si tratta di un paleoalveo che un tempo drenava grandi quantità d'acqua provenienti dal solco del Vallone. Attualmente riceve il collettore del Sablici con le acque della sorgente Moschenizze N e le acque delle sorgenti Moschenizze S. Tutte queste acque sottopassano l'autostrada e si immettono nel canale Locavaz, che più a valle riceve le acque del Timavo e poi sbocca a mare. Dall'autostrada allo sbocco a mare il percorso è di circa 2400 m.

La possibile risalita del cuneo salino nella valle di Moschenizze è stata oggetto di indagini da parte dell'ACEGAS allo scopo di verificare la possibilità di un utilizzo a scopo potabile delle acque che vi confluiscono. Nei primi anni '70 i periodici inquinamenti del Timavo mettevano infatti in crisi l'approvvigionamento idrico dell'intera provincia di Trieste e quindi si cercavano soluzioni alternative.

Le indagini sono state condotte nel 1974 in diversi punti dello specchio d'acqua, a monte dell'autostrada, fino allo scarico del collettore Sablici.

In sintesi si può dire che solo per un metro e mezzo l'acqua mantiene la sua conducibilità originaria ( $K_{18} = 330 \mu\text{S}/\text{cm}$ ); però già a due metri di profondità, a seconda dei punti, la conducibilità varia tra 500 e 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , più sotto supera anche di molto i 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Non si possiedono dati né sulla profondità del fondo, né sul valore dell'insalinamento delle acque in profondità.

La possibilità di un insalinamento dalle acque attinte dalla stazione di pompaggio, realizzata più tardi da ACEGAS alla confluenza della sorgente Moschenizze N con il collettore Salici, è stata confermata sperimentalmente nei periodi di forti magre, quando l'attingimento dell'acqua era eccessivo.

Le tre risorgive del Timavo scaricano le loro acque in un canale collettore che dopo un percorso di 600 metri si collega al canale Locavaz. Dalla confluenza dei tre rami allo sbocco a mare le acque percorrono circa 1300 metri. Il cuneo salino probabilmente può risalire, in condizioni di magra, fino allo stramazzo del 3° ramo. Durante le misure di portata effettuate al 3° ramo del Timavo (GEMITI, 1984) è risultato infatti che l'acqua dolce scorre per qualche metro sopra un'acqua ferma.

La presenza di cloruri (100 mg/l) nelle acque del pozzo presso l'ex Azienda Frigoriferi (tabella 14) confermerebbe tale ipotesi.

Anche il canale Valentinis, che si incunea profondamente verso il centro di Monfalcone, è soggetto alla risalita del cuneo salino, nonostante riceva il cospicuo apporto delle acque dolci del Canale Dottori. La presenza di cloruri nelle acque di fondo della grotta ad est della stazione ferroviaria potrebbe essere causata da una contaminazione marina.

In definitiva il cuneo salino, attraverso questi varchi, potrebbe interessare canalizzazioni carsiche, poste sotto il livello del mare e idrologicamente poco attive e quindi contaminare



le acque più profonde della zona carsica più vicina al mare. Per diffusione la contaminazione potrebbe estendersi, in forma molto più attenuata, ad aree alquanto vaste e quindi interessare notevoli volumi d'acqua immagazzinati nelle canalizzazioni carsiche profonde.

## 11. IL CONTENUTO DI CLORURI DELLE FALDE PROFONDE DELLA PIANURA ISONTINA

Nel 1974 è stato dato l'avvio da parte dell'ACEGAS di Trieste ad uno studio idrologico di dettaglio (A.C.E.G.A., 1986) sulla potenzialità, alimentazione e possibilità di sfruttamento delle acque sotterranee della bassa pianura in sinistra del fiume Isonzo. Venivano realizzati due pozzi geognostici di grande diametro: il pozzo di Cassegliano (S. Pier d'Isonzo), in corrispondenza della Linea Nord, e il pozzo della Risaia (S. Canzian d'Isonzo), in corrispondenza della Linea Sud.

Il pozzo di Cassegliano raggiungeva a 208 m di profondità dal piano campagna (16 m sul livello medio mare) il basamento calcareo. La perforazione veniva ulteriormente spinta nella roccia carsica, per una decina di metri, fino ad incontrare una cavità carsica, con terra rossa. Le prove di pompatura, effettuate isolando la falda compresa tra 204 e 208 metri di profondità, fornivano un'acqua torbida e con un alto contenuto di ioni cloruro (115 mg/l).

Questa falda veniva chiusa e si effettuarono successivamente le prove di pompatura e indagini idrochimiche sulla falda superiore (175-190 m). Anche questa falda presentava praticamente la stessa tipologia di alimentazione, però in questo caso l'acqua si presentava limpida perché filtrata dalle ghiaie. La composizione media di quest'acqua e di quella originaria, dedotto il contributo salino (supponendo che derivi da un'acqua di mare con composizione eguale a quella del mare odierno) è riportata nella tabella 17.

Acqua	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Cl mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Br mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	K <sub>25</sub> μS/cm
Tal quale	70	20	62	3,7	256	108	9,0	24	0,8	7,0	796
Dedotta salinità	68	13	4,7	1,6	255	5	9,0	10	0,4	7,0	437

Tab. 16 – Composizione dell'acqua profonda del pozzo di Cassegliano.

Si osserva che l'acqua originaria ha una composizione chimica diversa da quella tipica delle "acque isontine" per il maggior contenuto di calcio, magnesio e nitrati, inoltre il contenuto di ossigeno 18 (δ‰ di -7,5), è decisamente più elevato rispetto alle acque isontine (δ‰ di -9,0).

Anche l'acqua della falda immediatamente superiore (144-160 m) contiene cloruri, però in quantità inferiori (40 mg/l). Le acque delle altre falde sono invece caratterizzate da bassi livelli di cloruri e presentano le caratteristiche proprie di un'alimentazione da parte dell'Isonzo.

Tutti gli altri 11 pozzi della Linea Nord, che però incontrano il basamento calcareo a profondità inferiori, intercettano falde con caratteristiche simili a quelle del pozzo di Cassegliano.

Anche il pozzo della Risaia, situato più a sud e più vicino al mare, si spinge a profondità molto elevate (a -193 m rispetto allo zero marino), fino alla roccia di base che in questo caso è il Flysh.

I cloruri sono presenti nella falda più profonda in quantità nettamente più basse (26 mg/l) rispetto a Cassegliano.

Il basamento calcareo che a Cassegliano si trova ad una quota assoluta di -192 m si alza progressivamente in direzione SE fino a venire alla luce all'altezza di Monfalcone. Lungo tale direttrice vi sono alcuni pozzi che non raggiungono il basamento di fondo, ma però presen-

tano finestrature sufficientemente profonde e tali da intercettare acque con tenori di cloruri piuttosto elevati.

Il pozzo n° 1 dell'acquedotto di Monfalcone (davanti all'aeroporto) emunge l'acqua dalla falda a profondità di 31-42 m rispetto allo zero marino. L'acqua contiene 30 mg/l di cloruri.

La falda del pozzo di Staranzano dell'ACEGAS, a profondità di 56-61 m rispetto allo zero marino, presenta acque con un contenuto di 40 mg/l di cloruri.

Il pozzo del Silos di Monfalcone è profondo 33 m, il contenuto di cloruri è di 23 mg/l.

In definitiva tutte le falde della bassa pianura in sinistra Isonzo che si trovano in prossimità al basamento calcareo contengono acque con un tenore anomalo di cloruri e ciò avviene fino all'altezza di Monfalcone.

## 12. I CLORURI NELLE ACQUE SOTTERRANEE CHE SCORRONO SU TERRENI DI FLYSH

I colli marnoso-arenacei che circondano Trieste e sono addossati ai calcari del Carso sono sede di numerose vene d'acqua che in alcuni casi danno luogo a forme sorgentizie, ma che più spesso sono state raggiunte mediante lo scavo di pozzi in pietra, di grande diametro. Sono state anche realizzate delle gallerie drenanti, come nel 1750 per l'acquedotto Teresiano di S. Giovanni, che forniva mediamente 200 mc/giorno di acqua ad alcune fontane della città di Trieste.

Le acque piovane che lentamente drenano il Flysh si arricchiscono in modo particolare di bicarbonati e solfati di calcio (MERLAK, 1999). I tenori relativamente elevati di cloruri, sodio e potassio testimoniano la cessione all'acqua di residui marini inglobati nelle arenarie. Il rapporto ponderale solfati/cloruri si mantiene costantemente — anche di molto — superiore a 1. Caratteristica di tutte le acque fluenti su Flysh è inoltre il contenuto piuttosto elevato di silice.

Nella tabella 17 viene riportata la composizione media delle acque del capofonte teresiano (gallerie drenanti superiori) e di due sorgenti in terreni di Flysh, la sorgente di S. Giuseppe della Chiusa e quella di S. Antonio in Bosco, vicino a Trieste.

Sorgente	Data	N° campioni	Calcio mg/l	Magnesio mg/l	Cloruri mg/l	Solfati mg/l	Silice mg/l
Acquedotto Teresiano	1994-1995	13	154	13	23	200	10
S. Giuseppe della Chiusa	1972-1993	2	132	8	14	40	11
S. Antonio in Bosco	1972-1993	2	112	8	15	45	10

Tab. 17 – Composizione di acque drenanti il Flysch.

Il contenuto di cloruri di tutte e tre le acque è superiore a quello che caratterizza generalmente le acque carsiche ed è accompagnato da tenori molto elevati di solfati e di silice.

## 13. BILANCIO DEI CLORURI

La grande mole di dati raccolti sul contenuto dei cloruri nelle varie fasi che caratterizzano il ciclo delle acque sul Carso classico e cioè infiltrazione e percolazione delle acque piovane nel sottosuolo, apporti alloctoni di corsi d'acqua esterni alla zona carsica, contaminazioni localizzate o diffuse derivanti da attività antropiche, movimento delle acque nel sottosuolo in direzione delle risorgive, possibilità di contaminazioni marine in prossimità della costa,

fuoriuscita delle acque in molteplici punti sorgentizi, è stata sintetizzata nella tabella 18. Essa riporta i valori medi di cloruri per le principali tipologie di acque esaminate.

<b>APPORTI NEL SOTTOSUOLO</b>	
Acque piovane	1,5
Acque di percolazione	3
Alto Timavo	4,5
Isonzo	2,2
Vipacco	3,5
<b>Acque di fondo con alimentazione</b>	
Carsica (Skilan,Lindner)	4
Alto Timavo + carsica (a Treb.)	4,5
Isonzo + carsica	3,5
Isonzo + carsica + componente X	45
<b>Fuoriuscite (sorgenti)</b>	
Timavo	6,7
Sardos e Moschenizze S	7,1
Doberdò, Pietrarossa	3,5
Moschenizze N, Sablici	4,7

Tab. 18 – Contenuto di cloruri (in mg/l) delle principali tipologie di acque esaminate.

Il contenuto medio di cloruri nelle acque di percolazione, pari a 3 mg/l, è congruo con quello riscontrato nelle precipitazioni (1,5 mg/l), tenuto conto dei fenomeni di evapotraspirazione che, grosso modo, possono essere valutati nel 50%.

Alimentano la falda carsica l'alto Timavo, con portata ben definita, l'Isonzo e il Vipacco. L'entità dell'apporto del Vipacco è ignota e comunque non molto elevata, per cui il suo contributo è stato inglobato in quello dell'Isonzo. Le acque dell'Isonzo presentano un contenuto di cloruri nettamente più basso (2,2 mg/l) di tutte le altre tipologie di acque esaminate.

L'acqua di fondo carsica, che viene alla luce nella depressione di Doberdò, contiene un livello di cloruri un po' superiore a quello che ci si potrebbe aspettare (non più di 3 mg/l).

Per le acque di fondo con alimentazione puramente carsica sono disponibili solo pochi dati e per di più relativi a due sole cavità (grotte Lindner e Skilan) per cui il valore di 4 mg/l presenta una certa incertezza.

L'acqua campionata sul fondo dell'abisso di Trebiciano, dopo la chiusura della fabbrica di acidi organici a Villa del Nevoso, presenta un contenuto di cloruri praticamente eguale a quello dell'alto Timavo.

Apporti di cloruri di origine antropica possono derivare da scarichi urbani e industriali, discariche, allevamenti zootecnici, e soprattutto dalla salatura delle strade nei giorni di neve. Questi apporti incrementerebbero di 1,7 mg/l i cloruri alle risorgive (punto 3.5).

Eclatante, rispetto a tutte le altre acque, è invece il contenuto di cloruri — mediamente 45 mg/l — nelle acque dei pozzi di Klariči (Brestovizza). L'alimentazione di queste acque,

secondo DOCTOR *et al.* (2006), è triplice: Isonzo e acque carsiche, più una terza componente, definita come “anthropogenic component derived from epikarstic storage”. La composizione di questa componente è stata assunta da Doctor come simile a quella delle acque della grotta presso la Peschiera del Timavo, analizzate il 22.03.1991 (tabella 14).

Per quanto riguarda le fuoriuscite, Sardos e Moschenizze S, con 7,1 mg/l, presentano i valori di cloruri più elevati, segue il Timavo con 6,7 mg/l e le sorgenti della zona di Doberdò con 3,5 mg/l.

Le acque del collettore Sablici e quelle della sorgente Moschenizze N, che drenano la maggior parte delle acque del Carso goriziano, presentano valori di cloruri (4,7 mg/l) insolitamente più elevati di quelli che caratterizzano le sorgenti di Doberdò e Pietrarossa.

Tutti questi dati di concentrazione di cloruri, oltremodo significativi perché rappresentano il risultato di innumerevoli analisi condotte per lunghi periodi di tempo, sono disponibili per un bilancio dei cloruri in entrata ed uscita dal Carso classico, purchè si conosca l'entità delle masse d'acqua in input ed output.

Per quanto riguarda le uscite si fa riferimento ai dati di GEMITI (1984), relativi ai deflussi delle risorgive comprese tra Aurisina e il Lisert.

Per quanto riguarda gli afflussi, sono certi da un punto di vista quantitativo solo quelli dell'alto Timavo (8,26 mc/s); quelli delle acque di infiltrazione carsica sono invece valutabili solo con notevole approssimazione, considerata l'incertezza nei valori da assegnare all'evapotraspirazione e nell'esatta definizione della superficie del bacino carsico; quelli dell'Isonzo+Vipacco sono stati solo recentemente stimati da DOCTOR (2008) mediante l'analisi chimica ed isotopica delle acque. Se viene fissato il contributo dell'Isonzo, quello delle acque di infiltrazione carsica viene dedotto automaticamente.

Secondo DOCTOR (2008) il contributo dell'Isonzo sarebbe mediamente del 56,3% rispetto al totale delle fuoriuscite (35,1 mc/s), cioè di 19,8 mc/s. Ne consegue che l'apporto delle acque di infiltrazione carsica risulterebbe di 7,1 mc/s, un valore decisamente troppo basso. Infatti supponendo una precipitazione media annua di 1400 mm su un bacino di 440 Km<sup>2</sup> (DOCTOR, 2008) ed una evapotraspirazione del 50% (valore massimale), il contributo delle acque di infiltrazione carsica dovrebbe essere di 9,8 mc/s. Per questo motivo, a titolo puramente indicativo, si è presa in considerazione una seconda ipotesi, cioè un contributo medio annuo dell'Isonzo (comprensivo del Vipacco) del 45%, pari a 15,8 mc/s. A questo apporto di acque isontine corrisponde conseguentemente un afflusso di acque di infiltrazione carsica di 11 mc/s.

Nella tabella 19 sono riportati, per le due ipotesi, gli afflussi e deflussi delle acque in mc/s, la concentrazione dei cloruri in mg/l e i flussi di massa in g/s. Gli apporti antropici, espressi in g/s, sono quelli stimati al punto 3.5. Attraverso un foglio Excel è stato successivamente calcolata la concentrazione media dei cloruri in ingresso ed in uscita per tutte e due le ipotesi.

La concentrazione media di cloruri nelle acque in output ammonta a 6,6 mg/l, superiore a quella in entrata (4,6 e 4,7 mg/l). L'eccesso di cloruri risulta di 2,0 e 1,9 mg/l, rispettivamente per le due ipotesi. Si tratta a prima vista di differenze minime, però un incremento di 2 mg/l di cloruri alle risorgive è superiore a quello derivante da tutti gli apporti antropici. Agli insediamenti umani sul Carso e alle attività collegate è infatti è imputabile, come riportato al punto 3.5, un aumento di cloruri alle risorgive di 1,7 mg/l.

L'eccesso di cloruri nei deflussi idrici corrisponde ad un ipotetico apporto di 0,7 mc/s di acque con 100 mg/l di cloruri. Naturalmente se la concentrazione di cloruri in questa “componente X” fosse superiore, i quantitativi sarebbero proporzionalmente minori. Al limite, se detta componente fosse l'acqua di mare, la contaminazione sarebbe provocata da un'ingressione molto modesta, di 3,5 l/s.

	1° ipotesi				2° ipotesi			
	Contributo %	Portata mc/s	Cloruri mg/l	P x Cl g/s	Contributo %	Portata mc/s	Cloruri mg/l	P x Cl g/s
<b>INPUT</b>								
Alto Timavo		8,3	4,5	37,2		8,3	4,5	37,2
Isonzo + Vipacco	56,3	19,8	2,2	43,5	45	15,8	2,2	34,7
Acque carsiche		7,1	3	21,2		11,1	3	33,1
Apporti antropici				60,8				60,8
<b>Totale input</b>		<b>35,1</b>		<b>162,7</b>		<b>35,1</b>		<b>165,9</b>
Cloruri input calcolati			<b>4,6</b>				<b>4,7</b>	
<b>OUTPUT</b>								
Sablici+Moschenizze N+Lisert		2,2	4,7	10,3		2,2	4,7	10,3
Sardos+Moschenizze S		2,4	7,1	17,0		2,4	7,1	17,0
Timavo		30,2	6,7	202,3		30,2	6,7	202,3
Aurisina		0,3	11	3,3		0,3	11	3,3
<b>Totale output</b>		<b>35,1</b>		<b>233,0</b>		<b>35,1</b>		<b>233,0</b>
Cloruri output			<b>6,6</b>				<b>6,6</b>	
Cloruri output-input			2,0	70,3			1,9	67,2
Apporto acque con Cl		0,7	100	70,3		0,7	100	67,2

Tab. 19 – Bilancio dei cloruri delle acque in entrata ed uscita dal Carso.

## CONCLUSIONI

La grande mole di dati sul contenuto dei cloruri nelle acque in ingresso ed uscita dal Carso Classico, la dettagliata valutazione di tutti i possibili apporti antropici di cloruri, e infine la stima del contributo dell'Isonzo alle risorgive carsiche fatta da Doctor, hanno reso possibile un bilancio di questo ione. Il risultato ottenuto mette in evidenza, per tutte e due le ipotesi fatte sull'entità degli apporti dell'Isonzo, un eccesso di cloruri alle risorgive di circa 2 mg/l, cioè una quantità superiore a quella di tutti gli apporti antropici sul Carso.

Vi sono quindi altri input di cloruri, non certo di natura antropica, nel sottosuolo carsico. La causa più probabile è una modesta ingressione marina, però non vanno esclusi anche apporti di acque salmastre fossili, profonde.

Anche la presenza di cloruri — e degli altri ioni presenti nell'acqua di mare — nelle acque carsiche profonde del Vallone di Brestovizza (fino ad un massimo di 64 mg/l), nelle acque sul fondo della grotta ad est della stazione ferroviaria di Monfalcone, con una punta di 37 mg/l, e nella sorgente Nord del lago di Doberdò (mediamente 9 mg/l), depone a favore dell'ipotesi di un modesto, ma significativo, insalinamento delle acque carsiche in prossimità della zona delle risorgive e sicuramente maggiore per le acque più profonde.

Insalinamento di acque carsiche da apporti di mare sono stati accertati in alcune cavità e sorgenti in prossimità della costa. Contaminate da sali di origine marina sono inoltre tutte le acque emunte dai calcari presenti nella piana del Lisert, al di sotto delle alluvioni. Anche le falde idriche, a contatto con il basamento calcareo della pianura in sinistra Isonzo, tra S. Pier d'Isonzo e Monfalcone, sono interessate da acque contenenti cloruri, in concentrazioni variabili tra 25 e 115 mg/l. La concentrazione massima di 115 mg/l è stata accertata proprio nelle acque estratte dai calcari nel pozzo di Cassegliano (S. Pier d'Isonzo).

Mediante la documentazione disponibile non è possibile accertare se la contaminazione di tutte le acque esaminate, ivi comprese tutte le acque carsiche che vengono alla luce nella zona compresa tra le foci del Timavo e Monfalcone, sia causata da apporti di acque marine attuali o fossili.

In base a queste risultanze è possibile formulare un'altra ipotesi sulla terza componente delle acque estratte dai pozzi di Klariči. Una cosa è certa: non si tratta di contaminazione antropica di acque carsiche, ma di una contaminazione da sali di origine marina, o da parte del mare attuale o da acque salmastre fossili provenienti dai calcari profondi. Il rapporto ponderale solfati/cloruri, inferiore ad 1, non giustifica eventuali apporti di acque provenienti da zone di Flysch (valle del Vipacco).

## RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento al responsabile del laboratorio di analisi e controllo della ACEGAS-APS, Stefano Piselli, per aver messo a disposizione tutta la documentazione di archivio e per la lettura critica del testo. Sono particolarmente grato a Stojan Sancin che ha gentilmente curato la traduzione del riassunto in lingua slovena. Ringrazio Franco Cucchi e il Luca Zini per i consigli forniti e per aver curato la cartografia. Infine un sentito ringraziamento all'amico Enrico Merlak che mi ha sollecitato e consigliato nella stesura di questa memoria.

## BIBLIOGRAFIA

- A.C.E.G.A., 1986 – *Esecuzione di uno studio idrologico di dettaglio sulla potenzialità, alimentazione e possibilità di sfruttamento delle acque sotterranee della bassa pianura in sinistra del fiume Isonzo*. Studio geochimico. Trieste.
- BARBIERO & al., 1991 – *Valutazione dei carichi inquinanti potenziali per i principali bacini idrografici italiani: Adige, Arno, Po, Tevere*. Quaderno dell'IRSA n. 90, CNR.
- BIANUCCI G. & RIBALDONE BIANUCCI E., 1971 – *Il trattamento delle acque inquinate*. Ed. Hoepli, Milano.
- BIANUCCI G. & RIBALDONE BIANUCCI E., 1985 – *La chimica delle acque sotterranee*. Ed. Hoepli, Milano.
- BOEGAN E., 1938 – *Il Timavo. Studio sull'idrografia carsica subaerea e sotterranea*. Mem. Ist. It. di Spel., serie geol. e geof., mem. III, Trieste.
- BORDON V., CANCIAN G. & PINTAR D., 1987 – *Ricerche sull'idrologia sotterranea tra il lago di Doberdò e la grotta di Comarie (Carso Goriziano) tramite traccianti naturali*. Atti Mus. Civ. di st. nat. di Trieste, 41: 169-179.
- CANCIAN G., 1987 – *L'idrologia del Carso goriziano-triestino tra l'Isonzo e le risorgive del Timavo*. Studi Trentini Sci. Natur., 64: 77-98.
- CANCIAN G., 1988 – *Significato idrologico della concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nelle acque sotterranee tra il lago di Doberdò e le risorgive del Timavo (Carso goriziano-triestino)*. Mondo Sotterraneo, Nuova Serie anno XII, n. 1-2: 11-29.
- CHRISTENSEN T.H., COSSU R. & STEGMANN R., 1993 – *Sardinia 93. Fourth Intern. Landfill Symp. Proceedings*. Ed CISA, Cagliari.
- COMIN CHIARAMONTI P., PIRINI RADRIZZANI C., STOLFA D., ZUCCHI STOLFA M. L., 1982 – *Contributo alla conoscenza di alcuni termini carbonatici del Carso triestino (M. Lanaro-Cedas)*. Gortania Atti Museo Friul. Storia Nat., 4: 5-30.
- CUCCHI F. & FORTI F., 1983 – *Primi risultati dello studio di alcune sorgenti carsiche marine presso San Giovanni di Duino (TS)*. Atti 6° Conv. Reg. Spel. del FVG, Udine: 67-76.
- DEMATTEIS A., 1995 – *Typologie géochimique des eaux des aquifères carbonatés des chaînes alpines d'Europe centrale et méridionale*. Thèse. E.P.F. de Lausanne.
- DOCTOR D.H., LOJEN S. & HORVAT M., 2000 – *A stable isotope investigation of the Classical Karst aquifer: evaluating karst ground water components for water quality preservation*. Acta carsolog. 29/1: 79-92.
- DOCTOR D.H., ALEXANDER E.C. JR, PETRIČ M., KOGOVŠEK J., URBANC J., LOJEN S. & STICHLER W., 2006 – *Quantification of karst aquifer discharge components during storm events through end-member mixing analysis using natural chemistry and stable isotopes as tracers*. Hydrogeology Journal, 14: 1171-1191.
- DOCTOR D.H., 2008 – *Hydrologic connections and dynamics of water movement in the classical Karst (Kras) aquifer: evidence from frequent chemical and stable isotope sampling*. Acta carsolog. 37/1: 101-123.
- DROGUE C., RAZACH M. & KRIVIC P., 1984 – *Survey of a coastal karstic aquifer by analysis of the effect of the sea-tide: example of the Kras od Slovenia, Yugoslavia*. Environ Geol Water Sci, 6/2: 103-109.
- ELLI M., TARTARI G., CARNIEL A., PRINCI M. & BUSSANI D., 1998a – *Deposizioni umide dell'Italia nord-orientale Parte I - Caratteristiche chimiche, stagionalità e contributo marino*. Boll. Chim. Igien., 49: 1-11.

- ELLI M., TARTARI G., CARNIEL A., PRINCI M. & BUSSANI D., 1998b – *Deposizioni umide dell'Italia nord-orientale Parte II – Evoluzione chimica trentennale a Trieste*. Boll. Chim. Igien., 49: 89-97.
- FAVRETTO L. & TUNIS F., 1976 – *Degradazione delle risorse idriche del Carso triestino. L'inquinamento del Timavo*. Annali della Facoltà di Ec. e Comm. Università di Perugia, Atti dell'VIII Convegno sulla qualità, N.3.
- GABROVŠEK F. & PERIČ B., 2006 – *Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifers: the case of Reka river system, karst plateau, SW Slovenia*. Acta carsolog. 35/1: 35-45.
- GEMITI F. & LICCIARDELLO M., 1977 – *Indagine sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso triestino e goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali*. Annali Gruppo Grotte Ass. XXX Ott., Trieste, 6: 43-61.
- GEMITI F. & MERLAK E., 1977 – *Caratteristiche chimiche di acque di percolazione del Carso triestino*. Atti II Conv. Spel. del FVG, Udine: 135-144.
- GEMITI F. & MERLAK E., 1999 – *Indagine sull'equilibrio carbonatico nelle acque di percolazione di una cavità del Carso triestino (Pozzo 2° a NW di Gropada - ex VG 857)*. Atti VIII Conv. Reg. Spel. del FVG, Cave di Selz: 155-160.
- GEMITI F. & MERLAK E., 2000 – *Determination of the pH of saturation, Langelier index and chemical composition in the percolating waters of the Trieste Karst*. Ipogea, 3: 73-88.
- GEMITI F., 1984 – *La portata del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*. Annali Gruppo Grotte Ass. XXX Ott., Trieste, 7: 23-41.
- GEMITI F. 1994 – *Indagini idrochimiche alle risorgive del Timavo*. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 31: 73-83.
- GOLDEN W.S., 1970 – *Water treatment and examination*. Ed. J.A. Churchill, London.
- GRUPPO GROTTA C. DEBELJAK, 1994 – *La grotta "Claudio Skilan"*, Trieste.
- HABIČ P., 1989 – *Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomorskem razvodju*. Acta carsol., 16: 123-129.
- KOGOVIŠEK J., 2001 – *Opazovanje poplavnega vala Reke maja 1999*. Acta carsolog. 30/1: 55-68.
- KOGOVIŠEK J., 2002 – *Multiparameter observations of the Reka flood pulse in march 2000*. Acta carsol., 31/2: 61-73.
- KOGOVIŠEK J. & PETRIČ M., 2007 – *Directions and dynamics of flow and transport of contaminants from the landfill near Sežana (SW Slovenia)*. Acta carsol., 36/3: 413-424.
- KRANIC A., 1997 – *Slovene Classical Karst "Kras"*. ZRC SAZU Ljubljana.
- KRIVIC P., 1981 – *Etude hydrodinamique d'un aquifère karstique côtier: le Kras de Slovenie, Yougoslavie*. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
- KRIVIC P., 1982 – *Transmission des ondes de marée à travers l'aquifère côtier de Kras*. Geologija, 25: 309-325.
- KRIVIC P., 1983 – *Interprétation des essais par pompage réalisés dans un aquifère karstique*. Geologija, 26: 149-186.
- MASOTTI L., 1999 – *Depurazione delle acque*. Ed. Calderoni, Bologna.
- MATTHESS G., 1982 – *The properties of groundwater*. Ed. John Wiley-Sons, New York.
- MERLAK E., 1999 – *Rapporto sulla presenza dei solfati nelle acque carsiche della provincia di Trieste e delle aree circostanti*. Atti VIII Conv. Spel. del FVG, Cave di Selz: 217-224.



- MERLAK E., BRUN C., GEMITI F. & SEMERARO R., 2007 – *Chemistry of percolation and bas-flow water in the Carso/Kras for the knowledge of the strategic reservoir in Trieste and Slovenian karst plateau*. 6<sup>th</sup> Symposium on Karst Protection, Beograd (Serbia).
- MINISTRSTVO ZA VARSTVO OKOLJA, 1992 – *Kataster vodnih izvirov 1991*. Ljubljana.
- MOSETTI F., 1989 – *Il carsismo e l'idrologia carsica*. Quaderni E.T.P. del FVG n° 18 - Udine.
- PASSINO R., 1995 – *Manuale di conduzione degli impianti di depurazione delle acque*. Ed. Zanichelli/ESAC, Bologna.
- RAVBAR N., 2004 – *Drinking water supply from karst water resources (the example of the kras plateau, SW Slovenia)*. Acta carsolog. 33/1: 73-84.
- RAVBAR N., 2006 – *Karst aquifer hazard assessment and mapping on the Classical Karst*. Acta geographica Slovenica, 46-2: 169-189.
- SKUPŠČINA OBČINE SEŽANA, 1987 – *Primarni vodovod v občini Sežana*. 1981-1987.
- REISENHOFER E., ADAMI G. & BARBIERI P., 1998 – *Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic freshwaters (Timavo river, north-eastern Italy): a chemometric approach*. Wat. Res. 32/4. 1193-1203.
- SANTE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU MILIEU DE TRAVAIL. CANADA, 1979 – *Le chlorure*. Internet, 1-7.
- TIMEUS G., 1910 – *Studi in relazione al provvedimento d'acqua per la città di Trieste*. Comune di Trieste.
- TIMEUS G., 1912 – *Ricerche sul Timavo inferiore*. Municipio di Trieste, 3-81.
- WIKIPEDIA – *Comuni del Carso* - Internet.

