

ENRICO MERLAK (*)

IDROLOGIA DEI TORRENTI DELLA BIRCHINIA-VALSECCA DI CASTELNUOVO NORD OCCIDENTALE (MATARSKO PODOLJE) - SLOVENIA

RIASSUNTO

Nel periodo 1999-2001 l'autore ha eseguito un monitoraggio sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei 5 bacini nord-occidentali dei colli Birchini (Brkini) sul versante nord est della cosiddetta Valsecca di Castelnuovo (Matarsko Podolje) nella Slovenia occidentale e vicinissimi al Carso triestino. Si tratta di acque che scorrono sul flysch e si inabissano in diversi punti, sia nel flysch stesso sia al contatto con i calcari stratigraficamente sottostanti. Si è determinata la composizione media delle acque ed il grado di saturazione (SI- saturation index) in rapporto all'equilibrio calcio-carbonico. La composizione chimica di queste acque, dipende, oltre che da fattori antropici locali, da due processi principali:

- a) la dissoluzione del carbonato di calcio che costituisce il cemento delle arenarie e delle marne e che determina la presenza rilevante nelle acque di $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$*
- b) l'idrolisi dei silicati con un processo di alterazione così indicato:*

Ca, Mg, Na, K - silicati + H^+ + H_2O \Rightarrow fillosilicati + ossidi e idrossidi di Al ed Fe, con rilascio in soluzione di ioni Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e silice idrata H_4SiO_4 .

Si tratta di acque che presentano sensibili variazioni di mineralizzazione in funzione delle precipitazioni, delle portate e della temperatura. È stato possibile definire un rapporto costante tra solidi totali disciolti e conducibilità specifica per tutti i torrenti in regime di magra e di piena. Ciò consente di valutare sul terreno il grado di mineralizzazione presente nelle acque attraverso la misura della conducibilità considerato che le maggiori variazioni dello spettro chimico riguardano HCO_3^- e Ca^{2+} , preponderanti nella composizione, essendo minime le variazioni delle concentrazioni degli altri ioni.

Per il flysch dei colli Birchini è stato calcolato un indice di denudazione superficiale media di circa 0,11 mm l'anno.

SUMMARY

HYDROLOGIC FEATURES OF THE BRKINI RIVERS (N.W. PART) (MATARSKO PODOLJE) - SLOVENIA

In the 1999-2001 period, the author monitored the chemical-physical characteristics of the waters contained in 5 north-western Colli Birchini basins, situated on the north-eastern side of the so-called "Valsecca di Castelnuovo", located in Western Slovenia, very close to the Triestine Karst.

(*) Commissione Grotte "Eugenio Boegan", Società Alpina delle Giulie, C.A.I., via Donota 2, I-34121 Trieste.

Water flows on flysch and sinks in different points, both into the flysch itself and in contact with the stratigraphically underlying limestone. The surveys helped determine the average water composition and the saturation level (SI - Saturation Index) with respect to the calcium-carbonic saturation index. The chemical composition of the monitored waters depends on two main processes — besides on local anthropic factors:

- a) dissolution of calcium carbonate, which constitutes the cement of sandstones and marls and determines a relevant presence of $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ in water;
- b) hydrolysis of silicates, with the following alteration processes:
 $\text{Ca, Mg, Na, K-silicates} + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{phyllosilicates} + \text{Al and Fe oxides and hydroxides} + \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+, \text{K}^+ \text{ and } \text{H}_4\text{SiO}_4$ with release of cations and silicon in solution.

The mineralization of these waters varies considerably according to rains, flow and temperature. It has been possible to define a constant relation between total dissolved solids and specific conductivity for all torrents, both during low- and during high-water phases. This permits to assess the mineralization level that is present in the waters directly on the spot by measuring their conductivity, taking into consideration that the most significant variations in the chemical spectrum concern HCO_3^- and Ca^{2+} , which are predominant in the composition, whereas the concentration of the other ions is nearly constant.

As far as the flysch present in the Colli Birchini area is concerned, an average surface-denudation index of 0.11mm/year has been calculated.

POVZETEK

HIDROLOGIJA BRKINSKIH HUDOURNIKOV V SEVEROZAHODNEM DELU PODGRAJSKEGA PODOLJA

V letih 1999-2001 je avtor opravil pregled kemijsko-fizičnih značilnosti voda petih severozahodnih potokov, ki pritekajo iz Brkinov na severo-vzhodnem delu Podgrajskega ali Matarskega podolja, ki se nahaja v zahodni Sloveniji, tik ob Tržaškem Krasu. Gre za vode, ki tečejo po flišu in ponikajo v različnih točkah, bodisi na flišu, bodisi na stiku s stratigrafsko spodnjim apnenecem. Ugotovljena je bila povprečna sestava voda in stopnja nasiženosti (SI-saturation index) v zvezi z ravnovesjem kalcij-karbonat. Kemična sestava teh voda je odvisna od človekove dejavnosti in od dveh glavnih procesov:

- a) korozija kalcijevega karbonata, ki predstavlja vezivo v peščenjakih ter laporjih in zato povzroča obilno prisotnost $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- b) hidroliza silikatov s sledečim procesom: $\text{Ca, Mg, Na, K-silikati} + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{filosilikati} + \text{oksidi in hidrokoksidi Al in Fe} + \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+, \text{K}^+ \text{ in } \text{H}_4\text{SiO}_4$ ter prehod kremena in kationov v raztopino.

Gre za vode, ki kažejo občutne spremembe v mineralizaciji, v funkciji padavin, pretoka in temperature. Uspelo je določiti stalno razmerje med skupno raztopljeno trdo snovjo in specifično prevodnostjo, za vse hudournike ob nizkih in ob visokih vodah. To omogoča, da se na terenu določa stopnjo mineralizacije vode s pomočjo meritve prevodnosti, ker glavne spremembe kemijskih sestavin zadevajo HCO_3^- in Ca^{2+} , ki prevladujeta v sestavi, medtem ko so koncentracije ostalih ionov skoraj vedno enake.

Za fliš, ki sestavlja Brkine je bil izračunan indeks povprečne površinske denudacije ki znaša približno 0,11mm/leto.

Introduzione

Il territorio di Castelnuovo (Matarsko Podolje), interamente in territorio sloveno, è in diretto contatto con il Carso triestino. Con la sua superficie, questo bacino raccoglie acqua attraverso il contributo di una serie di torrenti che scendono dai colli Birchini, colli marnoso-arenacei che delimitano il versante nord-est del solco stesso. Riguardo il deflusso sotterraneo annuo dei cinque bacini descritti, questo è dell'ordine di 17×10^6 metri cubi complessivi.

Poichè il confine tra il Carso triestino e l'area di Castelnuovo non ha avuto una precisa interpretazione idrogeologica gli apporti idrici dall'Istria settentrionale verso il Carso triestino rappresentano uno dei quesiti aperti sul problema dell'idrologia carsica. HABIČ e GOSPODARIČ (1972) in una sintesi sull'idrologia della Slovenia, "Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge unterirdischer Wasser im Karst der Nordwest-Dinariden", hanno ipotizzato un contributo delle acque del solco di Castelnuovo all'idrografia dell'altipiano triestino. KRIVIC *et al.* (1989) pubblicano i risultati di una serie di tracciamenti eseguiti nell'area tra il 1986 e il 1987. Emerge da tale studio l'esistenza di collegamenti diretti tra alcuni inghiottitoi dei colli birchini e le sorgenti di Osopo e Risano.

Il solco di Castelnuovo, denominato anche Valsecca, si sviluppa con pendenza costante in direzione SE-NW dalla località di Castelnuovo (Podgrad) 550 m s.l.m. al paese di Erpelle Cosina (Hrpelje-Kozina) 500 m s.l.m.. Qui il solco si raccorda con l'altipiano carsico a N mentre ad Est precipita nella Val Rosandra e a Sud verso l'altipiano di San Servolo. La struttura del solco è caratterizzata dalla linea di contatto, longitudinale rispetto al solco stesso, tra la formazione del Flysch e il complesso calcareo stratigraficamente inferiore. Mentre il versante meridionale e l'asse del solco si sviluppano entro i terreni calcareo-dolomiti mesozoici e cenozoici con una morfologia carsica, diverso è l'aspetto del versante settentrionale marnoso-arenaceo con colline ed ondulazioni dolci incise da acque a regime torrentizio e con una abbondante copertura vegetale. Da questi rilievi, chiamati "colli birchini", si sono sviluppati numerosi bacini idrici chiusi i cui corsi d'acqua, nella fase terminale, si inabissano in inghiottitoi all'altezza del contatto tra il flysch e la formazione calcarea.

L'A. ha condotto uno studio sulle acque dei 5 bacini ubicati al margine NW dell'intera area e cioè quei bacini che per vicinanza potrebbero interessare la circolazione idrica del Carso triestino. Il settore si estende tra le località di Dane (Dane pri Divači), presso S. Canziano (Škocjanske Jame) e Slivje, presso Marcossina (Markovščina), su una estensione complessiva di 16 Km² (fig.1).

Nel periodo 1999-2001 è stato eseguito un monitoraggio mensile dei cinque bacini per determinare l'evoluzione delle caratteristiche chimico-fisiche di queste acque nel corso dell'anno in funzione delle temperature e delle portate. Attenzione è stata posta al fenomeno delle perdite che i torrenti subiscono nel tratto di percorso finale al contatto con le valli chiuse alluvionali. In questo tratto e prima degli inghiottitoi terminali si verificano cospicue perdite d'acqua la cui destinazione non è conosciuta.

Premesse storiche

L'area che si estende da Hrpelje a Castelnuovo è stata oggetto di studi, ricerche ed esplorazioni speleologiche già dall'inizio del novecento. G.A. Perco la descrive come una regione piena di contrasti, con grandi sbalzi di temperatura e notevoli differenziazioni nella vegetazione e con attrattive dal punto di vista idrologico con numerosi torrenti che si inabissano in profonde cavità. Diverse sono le pubblicazioni di "Il Tourista" edita dal "Club Touristi Triestini" nei primi anni del '900 e riguardanti le ricerche compiute nella Valsecca.

Nel 1909 G. Timeus, occupandosi con attenzione dei problemi idrologici del Carso di Trieste, esegue un'esperimento di tracciamento con la fluorescina nell'inghiottitoio di Odolina riscontrando una comunicazione con le sorgenti del Risano. In questa occasione viene per la prima volta accertata una relazione tra l'idrografia della Valsecca e la regione istriana.

Va menzionata la ricerca condotta nell'area da E.Boegan, descritta, alla fine degli anni trenta, in relazione inedita intitolata "La Valsecca di Castelnuovo"; la ricerca fu interrotta dallo scoppio della guerra. In questo lavoro, rintracciabile in copia dattiloscritta presso la Commissione Grotte E. Boegan di Trieste, vengono per la prima volta descritte le valli chiuse ed i relativi inghiottitoi.

Fig.1

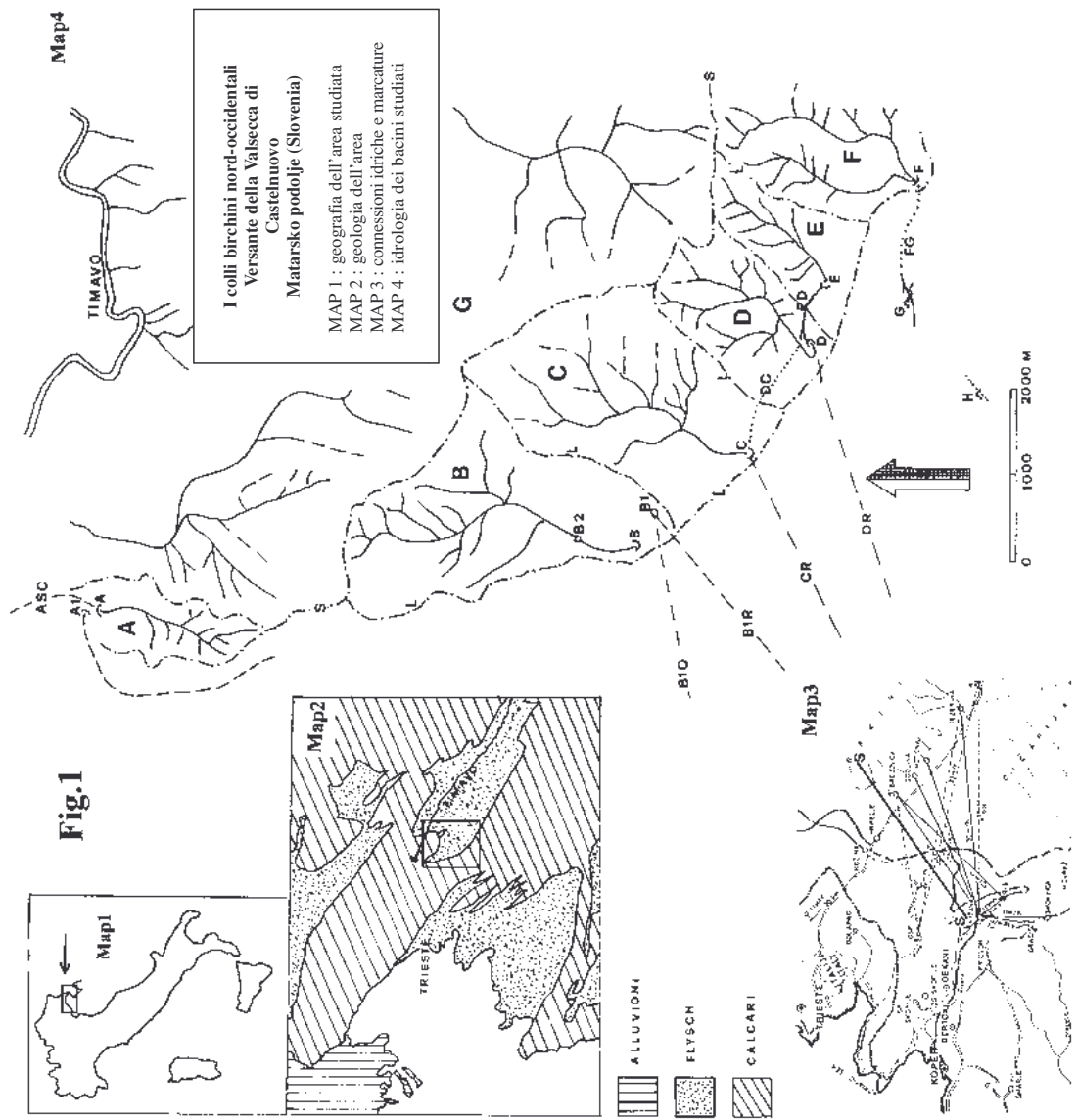
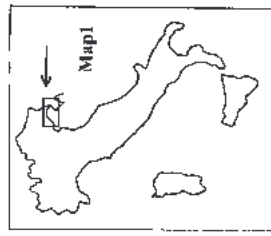


Figura 1 - Colli birchini nord-occidentali

LEGENDA

- A = Bacino di Dane
- B = Bacino di Bresovica
- C = Bacino di Odolina
- D = Bacino Hotična
- E = Bacino di Slivje
- F = Bacino di V. Loče
- G = Bacino del F. Timavo
- A = Inghiottoio di Dane
- A1 = Inghiottoio di Hudournik
- ASC = Collegamento idrico presunto Dane-S. Canziano
- B = Attuale inghioitoio di Bresovica
- B1 = Originario inghioitoio di Bresovica
- B2 = Terzo inghioitoio di Bresovica (ora ostruito)
- C = Inghioitoio di Odolina
- D = Inghioitoio di Hotična
- DC = Presunto collegamento idrico Hotična - Odolina
- E = Inghioitoio di Slivje
- ED = Collegamento idrico Slivje e Hotična
- F = Inghioitoio di V. Loče
- FG = Collegamento idrico V. Loče - Grotta del Fumo
- G = Grotta del Fumo (Dimnice)
- H = Skalonova Jama (corso sotterraneo)
- B10 = Collegamento idrico tra Bresovica e Osopo
- B1R = Collegamento idrico tra Bresovica e Risano
- CR = Collegamento idrico tra Odolina e Risano
- DR = Collegamento idrico tra Hotična e Risano
- S = Spartiacque con il bacino del Timavo
- L = Limitazioni indicative dei bacini studiati
- SS = Sezione geologica (Map3) di fig. 2
- Map1 = Inquadramento geografico dell' area studiata
- Map2 = Geologia dell' area comprendente il Carso triestino e parte dell' Istria
- Map3 = Carta delle connessioni idrologiche dei bacini di Castelnuovo con la traccia degli esperimenti principali di marcatura. Da Krivic *et al.*
- Map4 = Carta idrografica del settore nord-occidentale dei colli birchini con i 15 bacini studiati

Le esplorazioni speleologiche nella zona riprendono nel dopoguerra con la discesa dell'inghiottitoio di Slivje da parte dei triestini del CAT. La grotta viene per la prima volta esplorata fino al sifone terminale ma il rilievo non sarà mai pubblicato.

Nel 1953, al Congresso Speleologico Internazionale di Parigi, W. Maucci presenta una memoria su "Inghiottitoi fossili e paleoidrografia epigea del Solco di Aurisina" comprendente uno studio sulla Valsecca di Castelnuovo e sugli inghiottitoi delle valli chiuse. Viene coniato il termine "inghiottitoio castelnoviano" per intendere una cavità la cui genesi è legata all'azione di torrenti al contatto tra flysch e calcari.

Studi successivi sono condotti dal 1963 al 1965 da I. Gams (dati forniti gentilmente da Fabio Forti). Vengono marcati alcuni torrenti dell'area studiata (compreso Odolina) ma non si registrano esiti positivi. Altre ricerche (MERLAK, 1976) riguardano i bacini dei torrenti nord-occidentali.

Nel 1968 riprendono le ricerche degli speleologi triestini. Nel 1969, dopo il superamento del sifone terminale dell'inghiottitoio di Slivje, l'A. ipotizza la continuità idrica con il fondo della grotta di Hotična. Viene eseguito un rilievo che riconduce alle reali dimensioni della cavità precedentemente ritenuta profonda alcune centinaia di metri. Nel corso di queste esplorazioni si constata che una parte cospicua dell'acqua dei torrenti della zona si inabissa a monte degli inghiottitoi attraverso sistemi idrici diversi.

Negli anni '80 e '90 le esplorazioni degli inghiottitoi consentono di accertare la presenza, ad un centinaio di metri di profondità, di un reticolo idrografico complesso ed in evoluzione. In particolare va citata la campagna di ricerche condotta dal 1981 e nel 1983 dagli speleologi di Koper. KRIVIC P. *et al.* (1989) pubblicano una carta delle connessioni idrologiche del bacino di Castelnuovo, qualitativamente accertate attraverso più esperimenti di marcatura (per una semplificata comprensione del testo la copia della carta elaborata dal Krivic e riguardante le connessioni idriche determinate attraverso gli esperimenti di marcatura viene inserita nella fig.1 e indicata come particolare MAP3). Studi approfonditi sono condotti da MIHEVC A. (1989, 1994). Va detto che, a proposito delle connessioni idriche evidenziate dagli esperimenti, si tratta di un risultato qualitativo e non quantitativo nel senso che i tracciamenti sono eseguiti su singoli corsi d'acqua degli inghiottitoi, con il presupposto che ad ogni torrente corrisponda un corso sotterraneo ignorando il fatto che a monte dei tracciamenti avvengono perdite consistenti a cui potrebbero corrispondere deflussi sotterranei diversi. Nel 2000 viene eseguito il congiungimento tra il fondo dell'inghiottitoio di Slivje e quello di Hotična (fig.4) e si conferma l'ipotesi di Merlak (1976).

Ulteriori ricerche nell'area confermano l'esistenza, ad una certa profondità, di connessioni idriche dirette tra gli inghiottitoi di Cotticina (Hotična) e Odolina (notizie fornite da Stojan Sancin). Uno studio di VERBOVŠEK (2003), tra quelli recentemente condotti nell'area, cita il ritrovamento di ciottoli di arenaria nella grotta Medvedjak, a oltre 3 Km dall'attuale fronte del flysch.

Riguardo i rapporti tra l'area ed il Risano (Rižane) si è sempre attribuito uno stretto legame tra le acque dei torrenti e le sorgenti che alimentano l'acquedotto municipale di Capodistria (Koper).

Queste sorgenti hanno una portata media alla quale corrisponderebbe un bacino di oltre 150 Km². Le curve di recessione delle portate alle sorgenti suggeriscono la presenza, a monte, di sacche di raccolta. Studi basati sugli isotopi rivelano, per le sorgenti, tempi di ritenzione di circa 4 mesi tra le precipitazioni invernali, più frequenti, e l'efflusso al Risano durante l'estate. Queste osservazioni farebbero pensare all'esistenza di grandi serbatoi sotterranei. Le sorgenti del Risano si aprono ad una quota di circa 70 metri s.l.m. e la presunta area di alimentazione dovrebbe essere situata mediamente tra i 400 (aree maggiormente depresse del solco di Castelnuovo e della zona di Piedimonte del Taiano) e i 700 metri s.l.m. (altezza media dei colli Birchini). Dato l'elevato gradiente non si spiega facilmente la costante presenza d'acqua anche nei periodi di siccità se non ipotizzando qualcuna delle seguenti situazioni:

- 1 - l'esistenza di un grande bacino di raccolta ad una quota prossima alle sorgenti
- 2 - l'esistenza di più bacini intercomunicanti ed ubicati a quote diverse
- 3 - l'esistenza di bacini distanti ma collegati alla zona.

BREZNIK M. (1998) in "Storage Reservoirs and Deep Wells in Karst Regions" cita il "caso delle sorgenti del Risano", ipotizzando la formazione di sacche di raccolta dell'acqua nel sottosuolo tra i rilievi del Vena (monte Taiano) e le sorgenti del Risano non escludendo un flusso idrico dalla parte della Ciceria in direzione nord-ovest e quindi dal centro Istria verso il Risano. I risultati degli esperimenti sintetizzati da KRIVIC e PEZDIČ (1986) indicano invece per il bacino di alimentazione del Risano una velocità di deflusso idrico variabile tra i 16 ed i 520 metri/ora con un bacino di alimentazione stimato in circa 180 Km/q.

Geologia del settore

I colli Birchini sono interamente rappresentati dalla formazione del "flysch", formazione silico-clastica di età terziaria presente e ben conosciuta anche nella provincia di Trieste, nelle prealpi giulie e nella penisola istriana. Si tratta di una formazione dello spessore originario di molte centinaia di metri costituita da una alternanza continua di arenarie e marne. La serie è caratterizzata da una frequenza ritmica in cui è prevalente la frazione arenacea con strati compatti di spessore mediamente variabile tra i 20 ed i 70 cm intervallati dai livelli marnosi friabili. L'arenaria è ricca di quarzo con cristalli irregolari, spigolosi o poco arrotondati immersi in una matrice limosa detritica abbastanza fine e cemento calcitico spesso colorato da infiltrazioni di limonite. Sono presenti frammenti di feldspati e miche, oltre ad ossidi e minerali pesanti. Sono presenti la pirite, idrossidi di ferro e di alluminio e frammenti di zircone, tormalina, rutilo e granato. I granuli di quarzo presentano una dimensione variabile tra 20 e 300 micron. Il litotipo marnoso è costituito prevalentemente da siltiti. In questo litotipo sono presenti, in quantità rilevante, i fillosilicati o cosiddetti minerali delle argille.

Le analisi mineralogiche quantitative condotte sul flysch rivelano per i due litotipi fondamentali la seguente composizione media indicativa:

Composizione	Quarzo	Illite	Feldspati	Calcite
Arenaria	75%	0	10%	15%
Marna	55%	10%	5%	30%

Il termine di fillosilicati è qui proposto come termine generico comprensivo delle miche (biotite e muscovite) e dei minerali delle argille quali illiti, caoliniti e cloriti presenti come prodotti di alterazione delle marne e delle arenarie che compongono il flysch della regione.

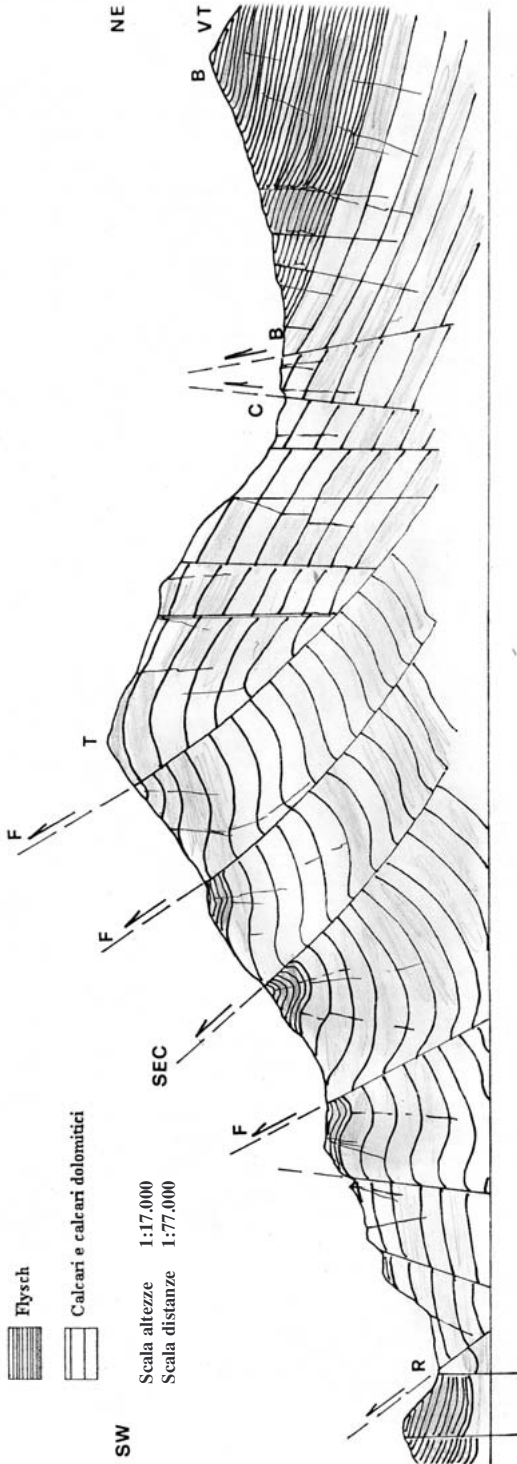
È significativa la presenza costante del cemento calcitico, fattore questo che influisce, come si legge in seguito, sulla degradazione delle rocce e sul chimismo delle acque dei torrenti birchini.

Nell'alterazione le arenarie producono con continuità sabbie di quarzo mentre le marne sono responsabili dell'elevato tenore di argille presenti nelle parti terminali dei torrenti in corrispondenza delle conche alluvionali.

In fig. 2 è riportata una sezione geologica indicativa, trasversale al Solco di Castelnuovo e ricavata all'altezza della località di Bresovica. La sezione inizia dai rilievi dei colli birchini, a NE, attraversa la conca finale di Bresovica, il monte Taiano, parte della Ciceria (Čičarija) e termina, a SW, in corrispondenza delle sorgenti del Risano. La stratigrafia della sezione è indicativa e tiene conto delle situazioni tettoniche presenti nell'area anche a distanza dalla sezione stessa. In realtà la situazione stratigrafica tra il Taiano e le sorgenti del Risano si riconduce ad una complicata struttura tettonica con sovrascorrimenti, detta anche "embricata", tipica della Ciceria, come descritto da PLACER (1981).

Fig.2) Sezione stratigrafica nordest / sudovest comprendente i colli Bircchini, il bacino e la valle chiusa di Bresovizza, il solco di Castelnuovo, i rilievi del m.Taiano e le sorgenti del Risano.

R = Sorgenti del Risano
 F = Faglie
 SEC = Struttura embriicata della Ciceria
 T = M.Taiano
 C = Solco di Castelnuovo
 B = Bacino e conca di Bresovizza con i colli Bircchini
 VT = Versante meridionale della valle del Timavo (Reka)



La formazione del flysch succede al complesso calcareo-dolomitico costituito da calcari compatti e ben stratificati alternati a calcari dolomitici e dolomie friabili strutturalmente appartenenti alla cosiddetta piattaforma carbonatica di Comeno e riferibili all'intervallo Cretacico superiore-Eocene inferiore.

Immediatamente sotto il flysch è presente una formazione calcarea di circa 350 m ad alveoline e nummuliti di età eocenica costituita da calcari compatti, ben stratificati, che rappresentano il tetto del complesso carbonatico della regione. Si tratta di calcari spesso ricristallizzati di colore grigio chiaro (SIKIČ *et al.*, 1975, 1967). Questa formazione, presente anche nel Carso triestino, corrisponde al "Membro di Opicina" descritto da CUCCHI *et al.* per il Carso triestino (1989).

La giacitura degli strati in tutto il settore ha una direzione media NW-SE e con immersione a NE con inclinazioni variabili tra 15° e 45°.

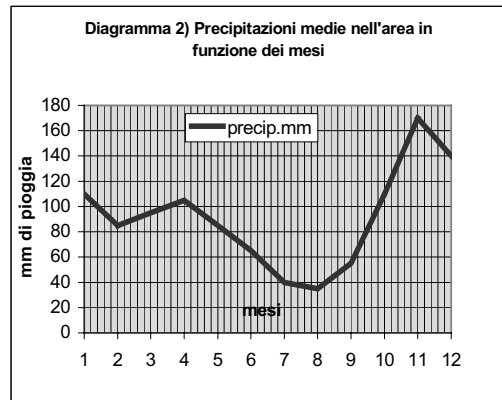
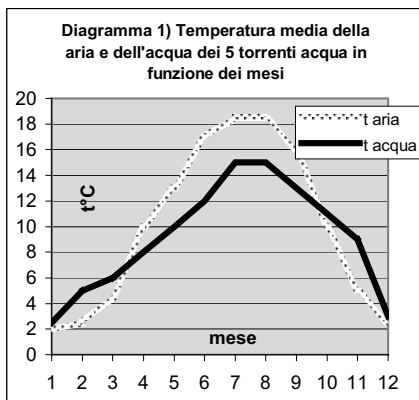
L'intera struttura fa parte della cosiddetta "sinclinale del Timavo".

Caratteristiche climatiche e idrologiche del settore

Le caratteristiche climatiche dei colli Birchini sono riconducibili al tipo continentale prealpino con una temperatura media inferiore ai 10°C e con un ammontare di precipitazioni annue di circa 1600 mm.

Nei diagrammi 1) e 2) sono riportati i dati medi indicativi e relativi alle precipitazioni ed alle temperature medie ricavate da più fonti negli anni 50-90 (stazioni meteorologiche di Basovizza, Postojna, Podgorje, S. Canziano) integrati con i dati forniti da Zupančič (1995). La piovosità è superiore a quella media rilevata sul Carso triestino ed è simile a quella riscontrata nella valle superiore del Timavo presso Ilirska Bistrica (Kovačič, 2003).

I 5 corsi d'acqua studiati sono caratterizzati da un regime torrentizio in assenza di emergenze di sorgenti e di rapporti con falde acquifere. Le temperature dei singoli torrenti sono strettamente legate alla temperatura dell'aria. Si raggiungono, nei periodi di maggior freddo e durante le ore del primo mattino, temperature molto basse non rilevabili in altre acque della regione (per il torrente di Dane nel mese di gennaio del 2000 sono state misurate temperature di 0,5 °C). Diversamente in estate si possono raggiungere, valori di 18,5 °C, difficilmente riscontrabili in altre acque della regione. Ciò è interessante in quanto nell'idrologia carsica le brusche variazioni di temperatura alle sorgenti e risorgive possono rappresentare un parametro di valutazione di provenienze e miscele e cioè un marker naturale. Un concetto simile è stato esposto da Forti e Tommasini (1966) nelle indagini termometriche alle risorgive del Timavo che presentano, unitamente alle acque dell'abisso di Trebiciano, forti escursioni termiche.



Questo è il meccanismo di arretramento progressivo del corso che interessa tutti i 5 torrenti.

Da un punto di vista di bilancio idrico si può ritenere che su un'area complessiva di 16 Km² e per una portata complessiva annua di circa 17×10^6 mc i cinque corsi d'acqua perdano per infiltrazioni sotterranee almeno 7×10^6 mc annui prima degli inghiottitoi finali. Si potrebbe supporre che la destinazione di queste acque sia quella degli inghiottitoi conosciuti, ma le ricerche speleologiche e le scoperte avvenute negli ultimi anni nell'area non confermano queste ipotesi. È possibile che sul fondo di ogni singola valle chiusa, sotto le alluvioni, siano presenti più sistemi carsici sviluppati progressivamente o in cicli diversi, ed attraverso i quali le vie d'acqua sotterranee possono prendere destinazioni diverse tra loro anche nell'ambito dello stesso bacino.

Caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei colli birchini nord-occidentali

La ricerca, è stata basata sulle analisi chimiche e chimico-fisiche in funzione del tempo, della temperatura e delle portate. Le analisi e le misure sono state effettuate mensilmente per oltre due anni. Per i cinque torrenti sono state eseguite in loco le misure di pH, conducibilità, temperatura. In laboratorio sono state eseguite le analisi con determinazione della durezza totale, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, solfati, silice, alcalinità, nitrati, fosfati e ione ammonio.

pH

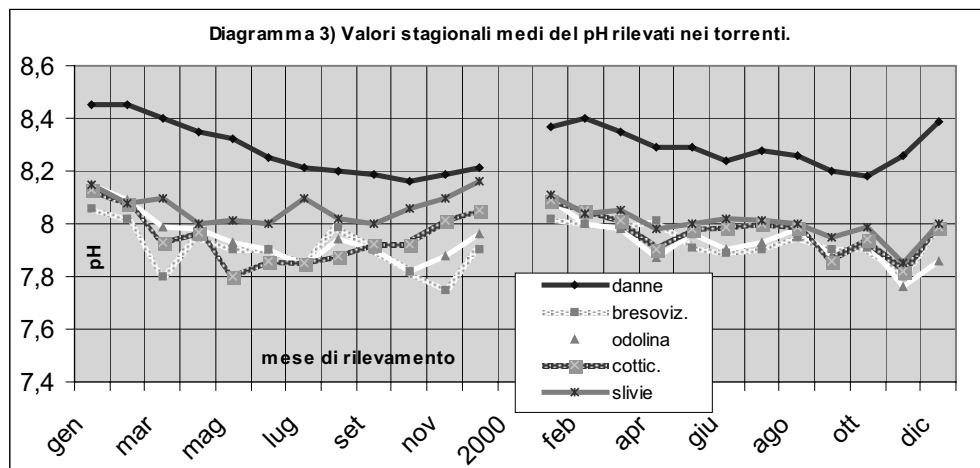
Le misure di pH sono state eseguite sul posto previa taratura con soluzioni standard portate alla temperatura simile a quella dell'acqua dei torrenti al fine di evitare errori nella compensazione automatica strumentale delle temperature e nel calcolo dei potenziali residui di giunzione e di flusso.

Per ogni campione d'acqua è stato calcolato il pH di saturazione teorico del carbonato di calcio, $pH_{sat.}$, ovvero il pH dell'acqua all'equilibrio calcio-carbonico.

Il calcolo del $pH_{sat.}$ è stato qui sviluppato seguendo i suggerimenti formulati dall'American Water Work Association (A.W.W.A.) e già applicati da Gemiti-Merlak per le acque carsiche (1999, 2001).

È stato quindi calcolato l'indice di saturazione (SI) come indicatore di tendenza dell'acqua all'asporto o al deposito di carbonato di calcio ($SI = pH - pH_{sat.}$).

In diagramma 3) sono riportati i valori di pH rilevati nel periodo 1999-2000.



Conducibilità elettrolitica

La misura è stata eseguita in loco. Il conduttimetro è stato tarato con soluzioni di calibrazione a 84 uS/cm e 1413 uS/cm mantenute alla temperatura presunta dell'acqua da testare. Durante le piene invernali con valori di mineralizzazione molto bassi (80 mg/l), è stata eseguita la taratura sulla sola soluzione di calibrazione a 84 uS/cm per ottenere una maggior precisione.

La determinazione della conducibilità si è rivelata fondamentale per la verifica di qualità delle analisi chimiche oltre che per la determinazione del rapporto tra conducibilità a 25°C e solidi totali disciolti (K_{25}/TDS). La situazione è espressa in tabella 2). I torrenti di Bresovica, Odolina, Hotična e Slivje presentano, durante le piene, un rapporto medio $TDS/K_{25} = 0,66$. Tale rapporto tende a raggiungere il valore medio di 0,80 nelle fasi di magra. Per il torrente di Dane il rapporto medio è costante in piena e magra (0,75). Da ciò è possibile la determinazione indicativa in loco dei TDS nei 5 torrenti.

Bacini idrografici:	Dane	Bresovica	Odolina	Hotična	Slivje
Perimetro(m)	6700	12550	12850	7250	7550
Superficie(Km)	1,07	5,77	5,25	2,30	2,30
Sviluppo asta princ.(m)	1560	4080	3060	1850	1520

Tabella 2 - Valori del rapporto K_{25} / TDS nei 5 torrenti in funzione dei regimi di piena e magra.

Temperatura

La temperatura delle acque dei torrenti è stata rilevata con termometro a mercurio con definizione di 0,1 °C.

Alcalinità

In queste acque l'alcalinità è costituita dallo ione bicarbonato HCO_3^- che è prevalente sulle altre specie ioniche. Dovendo utilizzare il dato di alcalinità più reale possibile per il calcolo dell'indice di saturazione dell'acqua, è stato impiegato il metodo di determinazione per via elettrometrica che consente di ottenere buona precisione.

Per evitare scambi gassosi ed alterazione dei dati l'alcalinità è stata misurata entro 24 ore dal prelievo mantenendo i campioni d'acqua a temperature accettabili durante il trasporto.

Portate dei torrenti

Le portate sono state stimate, per ogni torrente, dalla media di 2 sezioni poste a distanza di circa 5 metri con misura della velocità media di un galleggiante. Il metodo dà risultati indicativi sufficienti allo scopo della ricerca con approssimazioni dell'ordine del 20%.

Analisi chimiche

Il controllo del bilancio cationi-anioni è stato eseguito attraverso il calcolo teorico e strumentale della conducibilità elettrolitica seguendo il metodo suggerito da ROSSUM (1975) e basato sull'equazione limite di FUOSS-ONSAGER (1932) metodo già applicato nello studio del chimismo delle acque carsiche (GEMITI-MERLAK, 2001. MERLAK, 1998-2001).

Composizione chimica delle acque dei torrenti

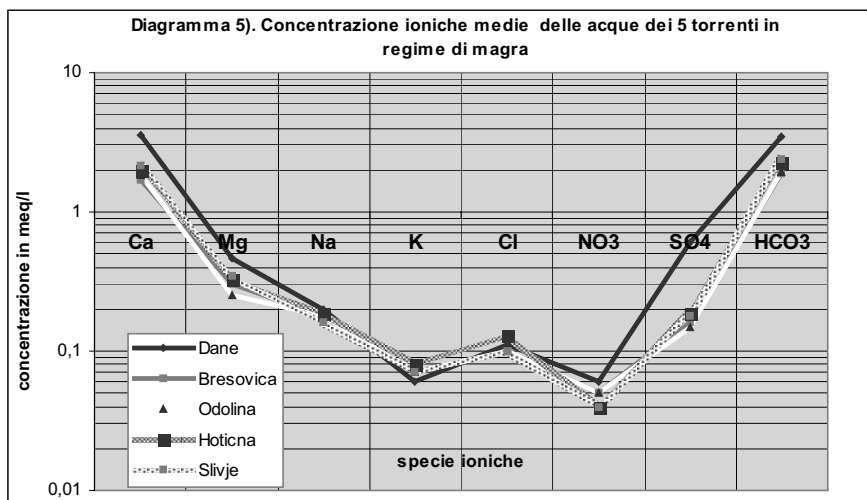
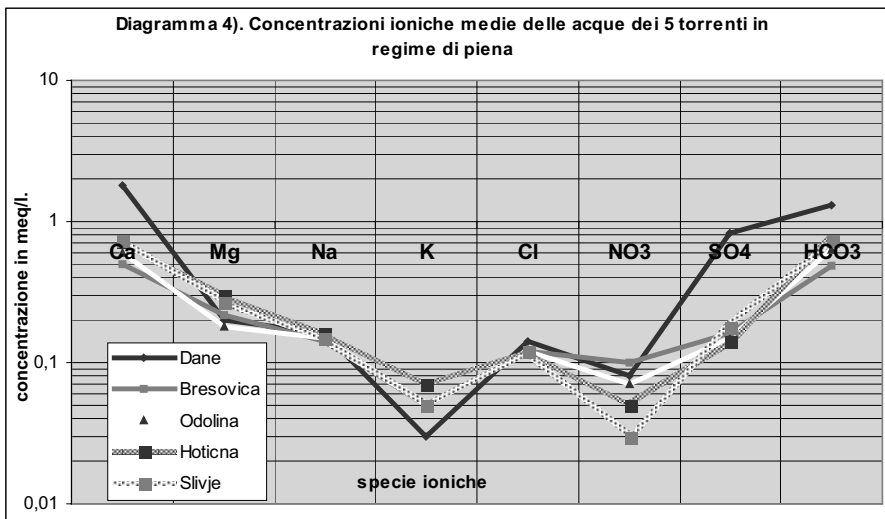
Le acque dei torrenti studiati presentano una composizione fortemente variabile al variare delle portate e quindi delle precipitazioni stagionali. A seguito di intense precipitazioni l'acqua assume una mineralizzazione bassa. Sono stati accertate concentrazioni minime di 74 mg/l di solidi totali disciolti (TDS). Tra una piena e l'altra, in regime di magra o normale, la mineralizzazione è più intensa con valori medi accertati di 190 mg/l di TDS. Fa eccezione il torrente di Dane le cui acque sono costantemente più mineralizzate delle altre quattro.

Una particolarità del torrente di Dane è l'elevato contenuto di solfati, presenti in quantitativi dell'ordine di 40 mg/l rispetto al contenuto medio di 5-10 mg/l degli altri torrenti.

Nei diagrammi 4) e 5) sono riportate le concentrazioni ioniche medie rilevate nei 5 torrenti rispettivamente nei periodi di piena e magra negli anni 1999, 2000 e 2001. Ogni diagramma riporta la media delle analisi complete effettuate mensilmente. In ascisse sono indicate le specie ioniche, in ordinate sono riportati i valori delle concentrazioni espressi in milliequivalenti. È stata utilizzata la raffigurazione semi-logaritmica in quanto consente l'evidenza delle quantità delle specie ioniche minori che altrimenti, su scala normale, sarebbero poco leggibili rispetto alle quantità prevalenti di Ca^{2+} ed HCO_3^- .

Il contributo delle piogge al carico ionico è minimo e riguarda soprattutto Na^+ , Cl^- e SO_4^{2-} . Non si conosce quantitativamente il contributo legato alle attività antropiche ma certamente non è trascurabile data l'attività agricola presente nell'area.

Si descrivono di seguito le variazioni di concentrazione delle principali specie ioniche:



Calcio: le concentrazioni variano tra circa 10 mg/l in regime di piena e circa 40 mg/l in magra con eccezione di Dane che presenta concentrazioni più elevate (40-70 mg). Ca^{2+} deriva essenzialmente dalla dissoluzione del cemento presente nelle arenarie e nelle marne.

Magnesio: le concentrazioni oscillano tra 2 e 6 mg/l. Non si osservano differenze di concentrazioni tra regimi di magra e di piena. Deriva in parte dal cemento delle arenarie ed in parte dall'alterazione di biotiti e cloriti ferro-magnesiache.

Sodio: in quantità variabili tra 1,5 e 4 mg/l con alcune eccezioni di 5-6 mg/l. Deriva da piogge e da inquinamenti antropici come cloruro e dall'alterazione dei feldspati e dei fillosilicati.

Potassio: in quantità variabili tra 0,5 e 3 mg/l con qualche eccezione di 6-7 mg/l. Deriva dall'alterazione di feldspati e fillosilicati e da inquinamenti antropici.

Cloro: è presente in concentrazioni variabili tra 2 e 4 mg/l e deriva da piogge ed inquinamenti antropici.

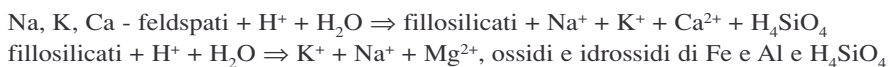
Ione nitrato NO_3^- : in concentrazioni tra 0,5 e 6 mg/l. È presente particolarmente nel suolo. Deriva in parte da inquinamento antropico in parte dall'attività biologica del suolo.

Ione solfato SO_4^{2-} : in concentrazioni variabili tra 5 e 10 mg/l con eccezione di Dane dove raggiunge livelli di 40 mg/l. Deriva in parte dalle pirite presenti nel flysch, in parte da inquinamento atmosferico ed antropico.

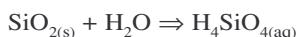
Altri ioni: nei periodi aprile-settembre sono state riscontrate concentrazioni massime di NH_4^+ e PO_4^{3-} dell'ordine di 0,4 mg/l o meno.

Silice SiO_2 : in tutte le acque dei 5 torrenti è stata rilevata silice (in soluzione come H_4SiO_4) in concentrazioni variabili tra i 0,5 e i 6 mg/l.

La silice, presente nelle acque nella forma idrata H_4SiO_4 , deriva in minima parte dalla dissoluzione del quarzo e per la maggior parte dall'alterazione di feldspati e miche delle arenarie e dalla degradazione dei fillosilicati delle marne secondo una serie di reazioni così schematizzate:



Trascurabile è invece la dissoluzione del quarzo che avviene attraverso la seguente reazione:



BALLARIN *et al.* (1994) per acque derivanti dal flysch della Val Rosandra hanno accertato concentrazioni di SiO_2 in soluzione variabili tra 3 e 10 mg/l.

La concentrazione di SiO_2 nelle acque è più elevata nel periodo estivo.

Durante alcune piene dei torrenti è stata riscontrata la presenza di circa 0,5-0,8 grammi/litro di quarzo in sospensione.

Indice di saturazione

Per tutti i torrenti e per ogni ciclo di analisi è stato calcolato l'indice di saturazione delle acque (SI).

Il calcolo per la determinazione dell'indice di saturazione dell'acqua dei singoli campioni è stato elaborato dall'A. con un programma semplificato (GEMITI F., MERLAK E., 2001) che segue i suggerimenti approvati dall'A.W.W.A. e si rivela adatto per acque contenenti minime quantità di solfati e magnesio.

Si è utilizzato il seguente calcolo:

$$\text{pH}_{\text{sat}} = \text{pK}_2 - \text{pK}_s + \text{p}(\text{Ca}^{2+}) + \text{p}(\text{HCO}_3^-) + 5 \text{p}f_m$$

dove:

$K_2 = 2^a$ costante di dissociazione dell'acido carbonico alla temperatura $t^\circ\text{C}$

K_s = Prodotto di solubilità della calcite alla temperatura $t^\circ\text{C}$

(Ca^{2+}) = concentrazione totale di ioni Ca^{2+} espressa in moli/l

(HCO_3^-) = concentrazione totale di ioni HCO_3^- espressa in moli/l

$-f_m$ = coefficiente medio di attività per le specie monovalenti alla temperatura $t^\circ\text{C}$

Risulta che le acque dei torrenti sono aggressive nei periodi di piena con indici di saturazione variabili tra $-0,1$ e $-0,5$. In piena, a parità di portate, sono più aggressive nei mesi freddi. Nei periodi di scarse precipitazioni, con fasi normali e di magra, le acque sono in equilibrio calcio-carbonico con valori di SI dell'ordine di $0,1-0,5$. Fa eccezione l'inghiottitoio di Dane con acque sempre sature o leggermente sature.

Differenti sono le composizioni medie delle sorgenti del Risano, nei regimi di magra e di piena. I torrenti studiati presentano un contenuto di solidi totali disciolti (TDS) variabile tra 74 e 190 mg/l contro i $250-360$ mg/l del Risano.

Le differenze nello spettro chimico tra i torrenti studiati ed il Risano non costituiscono indici di provenienza in quanto, mentre per i primi si tratta di acque torrentizie scorrenti su flysch, parzialmente insature e con uno spettro chimico complesso, le acque del Risano, in equilibrio, sono risorgive carsiche con prevalente bicarbonato di calcio conseguente ai lunghi percorsi e ai periodi di permanenza nei terreni calcarei e dolomitici della Čičarija, sebbene alcuni parametri rivelino un apporto dei terreni marnosi e arenacei. Il contenuto in cloruri è simile, indice questo dell'apporto meteorico comune, i nitrati ed il potassio sono presenti in concentrazioni maggiori nei torrenti della Birchinia, salvo qualche eccezione, e ciò è probabilmente dovuto agli inquinamenti antropici locali, in particolare da fertilizzanti, nei bacini dei torrenti a partire dai tratti superiori dei corsi. Rispetto ai torrenti birchini il Risano si differenzia per una ridotta concentrazione di solfati e silice. Di seguito vengono riportati i dati delle analisi (in mg/l) eseguite dal Geološki Zavod di Ljubljana con la contemporanea raccolta dei campioni d'acqua ad Odolina ed al Risano (rapporto interno del 16.10.1980 e relativo ai prelievi eseguiti il 16.9.1980 – dati gentilmente forniti da M. Galli):

Bacino	Superf. Km ² .	Portata annua stimata in mc	Perdita stimata in percent.	Perdita annua stimata in mc
Dane	1,07	$1,3 \times 10^6$	30%	$0,39 \times 10^6$
Bresovica	5,77	$7,3 \times 10^6$	40%	$2,9 \times 10^6$

Concentrazioni in mg/l - SI calcolato dall'autore

L'erosione esogena del flysch dei colli birchini

Riguardo l'attuale erosione dei terreni composti dal flysch, va precisato che si tratta di rocce appartenenti alla fascia di erodibilità medio-alta.

La determinazione teorica dell'intensità della degradazione superficiale di questi terreni è possibile attraverso le analisi chimiche delle acque.

Tenuto conto di una precipitazione annua locale di 1600 mm si ricava un indice di denudazione media dell'ordine di circa $0,11$ millimetri / anno valore questo che concorda con quello rilevato per altre zone in cui è presente la formazione del flysch. Il calcolo viene così derivato:

– Precipitazioni al netto dell'evapo-transpirazione (calcolata con il metodo del Turc per 10°C di temperatura media)	1070 mm
– Asporto medio in soluzione calcolando Ca ²⁺ e HCO ₃ ⁻ come CaCO ₃	60 mg/l
– Asporto di silice in sospensione (sabbia) per ogni 60 mg/l di TDS asportati in soluzione calcolando SiO ₂ come il 70% del totale	140mg/l
– Asporto totale di flysch per litro d'acqua piovana (60+140)	200 mg/l
– Asporto totale per m ² /anno = 200 mg/l × 1070 litri	214 g
– Peso specifico medio dei litotipi del flysch	2 g / l
– Asporto totale di flysch in cm ³ / m ² anno (214/2)	107 cm ³
– Asporto superficiale in mm/anno (valore teorico arrotondato)	0,11 mm

L'asporto superficiale annuo calcolato per il flysch è quindi circa 5 ÷6 volte superiore a quello calcolato per gli affioramenti calcarei della regione (circa 0,02 mm/anno).

Il calcio che costituisce il cemento del flysch sotto forma di calcite entra in soluzione rapidamente accelerando il processo di degradazione della roccia che può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

- a) corrosione del cemento calcitico con messa in soluzione di Ca²⁺ e HCO₃⁻,
- b) inizio dell'alterazione di feldspati, plagioclasti, biotite, pirite, etc., con messa in soluzione di Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ e formazione iniziale dei minerali delle argille quali clorite, illite e caolinite,
- c) demolizione della struttura dell'arenaria con asporto, in sospensione, dei granuli di quarzo che, essendo scarsamente solubili, tendono ad accumularsi in banchi di sabbia.

Il processo di degradazione sembrerebbe essere più veloce per l'arenaria che per il litotipo marnoso nonostante la non elevata differenza di contenuto in carbonati. Comunque l'entità della degradazione del flysch dipende essenzialmente dall'intensità delle precipitazioni meteoriche e dal grado di acidità delle piogge stesse. Piogge particolarmente violente ed acide (pH = 5,0-5,5) al primo impatto con il terreno accelerano il processo di disfacimento del flysch in proporzione nettamente superiore a quello che avviene per la formazione calcarea e calcareo-dolomitica, con formazione abbondante dei residui sabbiosi ed argillosi che vengono in parte sedimentati ed in parte allontanati in sospensione e risedimentati in più fasi ed in più cicli a diverse distanze. Il fenomeno si incrementa attraverso l'erosione continua dei pendii, con ampliamento della superficie esposta. È probabile che l'indice teorico di erosione di 0,11 mm/anno sia maggiore in alcuni aree.

Attraverso un rimaneggiamento continuo si formano depositi di sabbie silicee ed argille. Con esclusione delle sabbie, composte prevalentemente da quarzo, i prodotti secondari sono rappresentati essenzialmente da illite, clorite, caolinite, gibbsite e ghoetite, come stadi intermedi e finali della alterazione e desilicificazione del flysch. Testimonianze di questa evoluzione del flysch sono visibili anche in terreni attualmente distanti dal fronte del flysch stesso ed a varie profondità (MIHEVC A., ZUPAN HAJNA N., 1996). Per una migliore lettura del fenomeno si citano i lavori di SINKOVEC (1974), LENANZ (1993), LENANZ *et al.*(1996) e CANCIAN *et al.* (2000).

Risultati della ricerca

Nel corso del monitoraggio si sono determinate le caratteristiche fisico-chimiche di queste acque in funzione delle temperature e delle precipitazioni. Durante le fasi di piena con forti precipitazioni le acque assumono una mineralizzazione molto bassa (minima accertata alla fine delle aste fluviali: 74 mg/l in TDS) e presentano un indice di saturazione tale da considerarle chimicamente aggressive e quindi con elevato potenziale corrosivo nei confronti del

calcare. Durante le fasi normali e di magra, conseguenti a scarsità o assenza di precipitazioni, aumenta notevolmente la mineralizzazione delle acque con livelli dell'ordine di 190 mg/l. In questo caso le acque diventano sature rispetto all'equilibrio calcio-carbonico. Fa eccezione il torrente di Dane le cui acque sono generalmente sature tutto l'anno per la presenza di maggiori quantità di bicarbonati e per un costante elevato tenore di solfati.

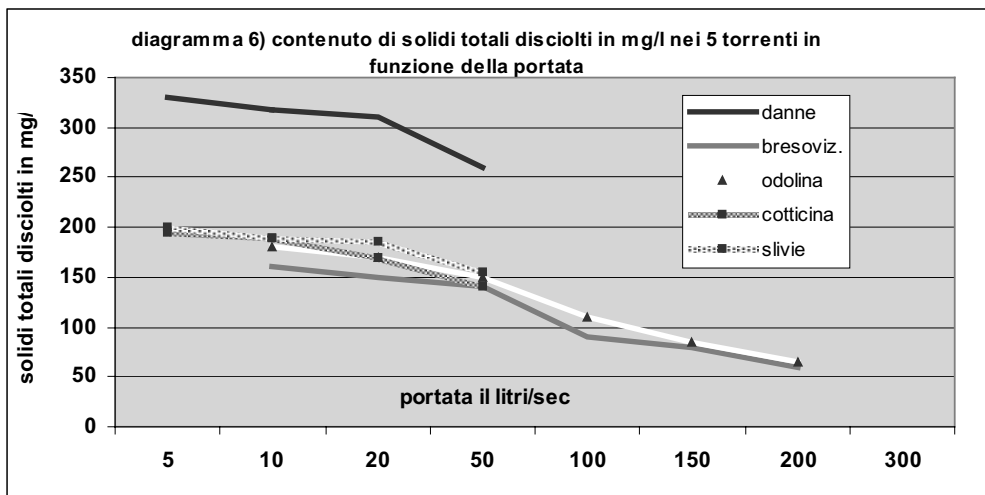
È possibile individuare il valore dei rapporti tra solidi totali disciolti e conducibilità elettrolitica a 25°C (TDS/ $K_{25^{\circ}\text{C}}$). Per i torrenti di Bresovica, Odolina, Hotična e Slivje questi rapporti sono rispettivamente di 0,66 durante le piene e di 0,80 in condizioni di regime normale o di magra. Per Dane il rapporto è costante sia in piena che in magra ed è mediamente uguale a 0,75. Ciò consente di programmare il monitoraggio in loco di queste acque definendo sul posto il grado di mineralizzazione con la misura di conducibilità in quanto gli ioni caratteristici (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) proporzionalmente variano poco e le differenze nella misura di conducibilità sono imputabili soprattutto al contenuto in Ca^{2+} e HCO_3^- .

In diagramma 6) sono riportati i valori medi dei solidi totali disciolti (TDS) in mg/l rilevati nel corso della ricerca nei 5 torrenti in funzione delle portate idriche.

La temperatura dei torrenti è fortemente condizionata dalla temperatura ambiente. Sono frequenti temperature invernali di 0,5°C e temperature estive di 18,5 °C.

Durante le piene invernali, nelle quali si verifica la combinazione di basse temperature ed elevata diluizione delle acque, i torrenti nord-occidentali della Birchinia possono presentare caratteristiche di traccianti naturali indiretti, utili per lo studio dell'idrografia sotterranea del territorio circostante.

Da un punto di vista di bilancio idrico si può stimare che i 5 torrenti contribuiscano all'idrografia sotterranea con circa 17 milioni di metri cubi/anno di cui almeno 7 vengono drenati nel sottosuolo prima di raggiungere l'inghiottitoio finale. Questo aspetto è interessante in quanto negli inghiottitoi carsici esplorati non si sono rinvenute vie d'acqua secondarie attribuibili alle perdite che avvengono a monte in superficie. Le perdite d'acqua a monte possono costituire vie idriche indipendenti rispetto ai sistemi principali degli inghiottitoi conosciuti. Il caso più evidente è costituito dal bacino di Bresovica che presenta una portata importante (5,7 milioni di mc/anno). L'inghiottitoio originale al contatto con i calcari non è più raggiunto dall'acqua. Tutto il corso è stato inghiottito 250 metri a monte. Un terzo inghiottitoio, apertosi 700 metri più a monte, è stato chiuso per favorire le coltivazioni a valle e tutta l'acqua è attualmente assorbita dall'inghiottitoio intermedio ma già all'ingresso nella conca alluvionale, 1000 metri più a monte, il torrente perde circa il 40% delle acque provenienti dai ri-



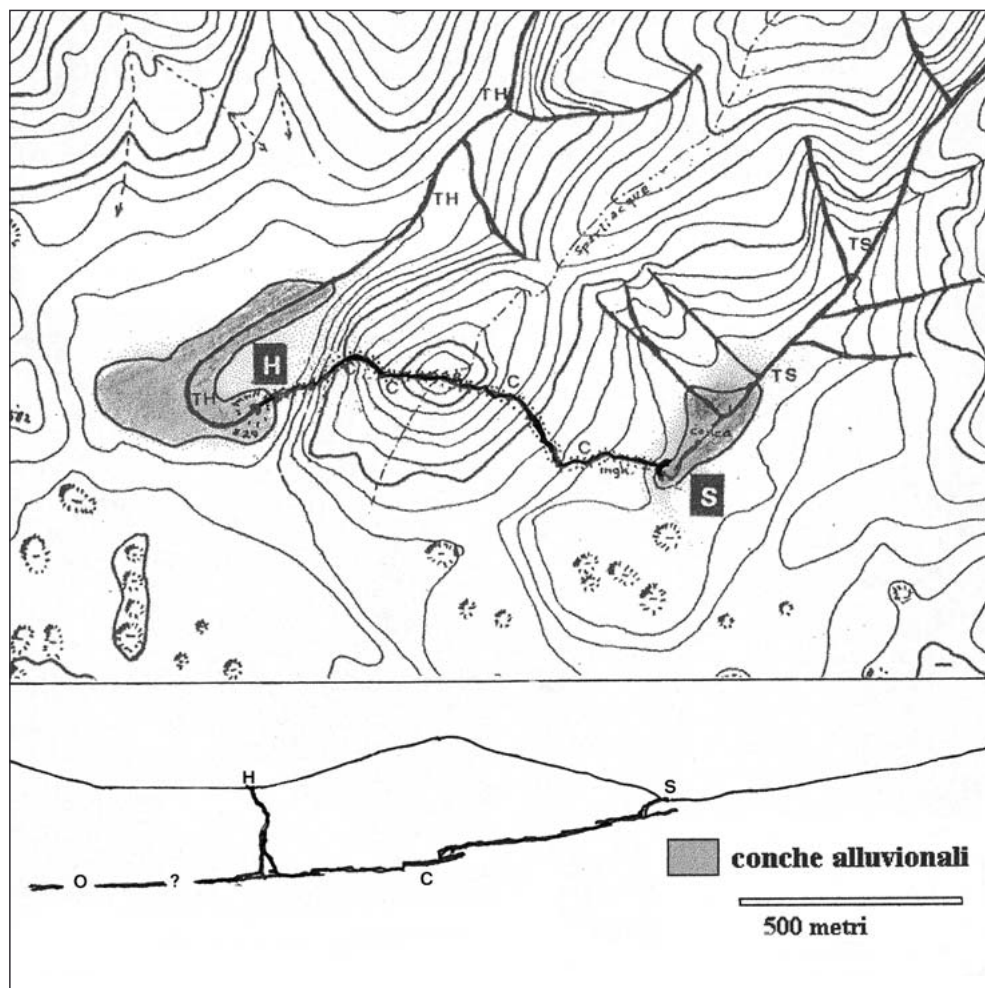


Figura 4 - Parte terminale dei bacini di Slivje e Hotična:

TS - Torrente Slivje	TH - Torrente Hotična
S - Inghiottitoio di Slivje	H - Inghiottitoio di Hotična
C - Collegamento sotterraneo	O - Collegamento presunto con Odolina

lievi. L'inghiottitoio di Slivje riceve l'acqua del torrente solamente durante le fasi di piena, il che significa che per oltre 300 giorni /anno tutta l'acqua si infiltra nei 600-700 metri a monte seguendo percorsi ignoti non rintracciabili nell'inghiottitoio.

Nel bacino di Dane (torrente Golobert), l'acqua del torrente è per gran parte inghiottita circa 400 metri prima dell'inghiottitoio principale costituito dalla grotta Mejame.

Fenomeni analoghi avvengono in tutti gli altri bacini esaminati ed è quindi evidente che lo studio dei tracciamenti e dei bilanci idrici passati e futuri deve tenere conto di questo fenomeno.

Le osservazioni, le misure ed i rilievi eseguiti nel corso degli ultimi anni in superficie ed in profondità consentono di ipotizzare una tendenza ad uno scorrimento idrico in direzione nord-ovest (verso il Carso triestino) favorito da un particolare sistema di fratture che ha con-

sentito la comunicazione diretta tra Slivje e Hotična. Alcuni palesi indizi materiali testimoniano una comunicazione tra Hotična e Odolina (notizia fornita dallo speleologo esploratore triestino Stojan Sancin). Esiste quindi una canalizzazione idrica sotterranea tra il bacino di Slivje e quelli di Hotična ed Odolina.

Per i colli birchini è stato calcolato un indice di denudazione media non inferiore 0,11 millimetri /anno. Il processo di denudazione è strettamente correlato all'attività di corrosione del carbonato di calcio presente nei litotipi del flysch. Per ogni mq di superficie in un anno vengono mediamente asportati 220 grammi di flysch di cui circa tre quarti sono rappresentati da sabbia silicea che entra in sospensione e si rideposita a valle in più fasi per entrare poi nei sistemi idrici profondi.

Esiste nei colli birchini una proporzionalità inversa tra solidi totali disciolti e portate idriche: maggiore è la portata idrica, minore è la mineralizzazione e viceversa e ciò risulta in accordo con tutte le osservazioni fatte in scala maggiore su terreni silico-clastici e calcarei (APPELO *et al.*,1999). Tale dato, per il flysch, configura l'importanza del fattore cinetico ovvero dei tempi di permanenza dell'acqua nel bacino di drenaggio. Durante le piene e quindi con il massimo deflusso idrico sotterraneo, l'acqua presenta, unitamente ad una bassa mineralizzazione, un indice di saturazione negativo tale da considerarla aggressiva nei confronti dei sottostanti calcari. Ciò incide sullo sviluppo del fenomeno carsico a valle del reticolo idrografico dei colli Birchini, sia nelle conche alluvionali, dove avvengono le abbondanti perdite per drenaggio verticale, sia negli inghiottitoi visibili al contatto con i calcari.

Ringraziamenti

Ringrazio Franco Cucchi, Fabio Forti, Mario Galli, Fabio Gemiti e Stojan Sancin per la discussione critica del tema in oggetto e per i consigli prestati nel corso dell'elaborazione del testo.

BIBLIOGRAFIA

- APPELO C.A.J.,POSTMA D, 1999 - *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema. Brookfield Rotterdam, p.536.
- BALLARIN L., GEMITI F., SEMERARO R.,1994 - *Studio geoidrologico, idrochimico e speleogenetico del Versante occidentale del M. Carso*. Ipogea, 1, 49-131.
- BREZNIK M., 1998 - *Storage Reservoirs and Deep Wells Karst*. Reg. A. Balkema. Rotterdam. Brookfield, 182-183.
- CANCIAN G., PRINCIVALLE F., 2000 - *Le "Argille e sabbie gialle" della grotta Regina (Carso Goriziano)*. Atti Mus. Civ. Stor. Nat. Trieste. 48, 59, 68.
- CANCIAN G., 2000 - *The Yellow Silty Sands in the Cave Fill deposits of the Trieste Karst: granulometry, mineralogy and geochemistry*. Ipogea 3, 39-55.
- CUCCHI F., PUGLIESE N., ULCIGRAI F.,1989 - *Il Carso triestino: note geologiche e stratigrafiche*. Int. Journ. of Speleol. 18. 1,2, 49-64.
- FORTI F., TOMMASINI T., 1966 - *Prime notizie su di una indagine termometrica sistematica alle risorgive del Timavo a S. Giovanni di Duino e alle sorgenti del Vallone di Moschenitze (Carso Triestino)*. Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 5, 1965, 93-106.
- FORTI F., 1998 - *Condizionamenti idrogeologici tra calcare e flysch*. Da "Il carsismo nel flysch". Sopra e sotto il Carso. 4, 30-35.

- FUOSS R.M., ONSAGER L., 1932 - *Irreversible processes in electrolytes, diffusion, conductance and viscous flow in arbitrary mixtures of strong electrolytes*. Journ. Physic. Chem. 36, 2689-2778.
- GALLI M., 1999 - *Timavo-Esplorazioni e studi*. Suppl. 23 ad Atti e Memorie della Comm. Grotte E. Boegan.
- GALLI M., 2000 - *Il Timavo. Una sintesi idrogeologica*. In alto. Cronaca della Società Alpina Friulana., LXXXII, 55-90.
- GEMITI F., MERLAK E., 1999 - *Indagine sull'equilibrio carbonatico nelle acque di percolazione di una cavità del Carso triestino*. Atti VIII Convegno regionale di speleologia del Friuli Venezia Giulia.151-160.
- GEMITI F., MERLAK E., 2001 - *Determination of pH saturation, Langelier index and chemical composition in the percolating waters of the Trieste Karst*. Ipogea, Trieste,3, 73-88.
- HABIC P., GOSPODARIC R.,1972 - *Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge unterirdischer Wasser im Karst der Nord-West-Dinariden*. Geol. Jb. C2- S 213-226. 5 abb. 1 tab. Hannover.
- KOVAČIČ G., 2003 - *The protection of karst aquifers: the example of the Bistrica Springs (SW Slovenia)*. Acta carsologica, Ljubljana. 32, 219-234.
- KRIVIČ V., 1980 - *Rapporto interno: da Geološki Zavod, Ljubljana, dd. 16.10.1980*.
- KRIVIČ P., PEZDIC J., 1986 - *Natural and Artificial Trace Investigations of the Catchment Area of the Rizana Spring (SW Slovenia, Yugoslavia)*. Proceedings of the 5th International Symposium on Underground Water Tracing. Athens , 459-460.
- KRIVIČ P., BRICELJ M., ZUPAN M., 1989 - *Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre (Underground water connection in Čičarija region and in middle Istria)*. Acta carsologica, Ljubljana, 18, 8, 265-295.
- LENANZ D., 1993 - *Le terre rosse del Carso triestino orientale*. Tesi di laurea. Università degli studi di Trieste.
- LENANZ D., DE MIN A., LONGO SALVADOR G., PRINCIVALLE F., 1996 - *Caratterizzazione mineralogica della terra rossa di dolina del Carso triestino*. Bollettino della Soc. Adriatica di Scienze LXXVII, 59-67.
- MAUCCI W.,1953 - *Inghiottoi fossili e paleoidrografia ipogea del Solco di Aurisina*.- Congr. international speleol. Paris. 2,155-199.
- MERLAK E., 1976 - *L'inghiottitoio di Slivie di Castelnuovo*. Atti del X Congr. Naz.di Speleologia, Roma 1968.Memorie Speleo Club Chieti, 2, 37-56.
- MERLAK E., 1998 - *La misura della conducibilità elettrolitica nello studio delle acque del Carso triestino* - Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione XXX Ottobre - Sezione di Trieste del Club Alpino Italiano - Trieste. X, 77-92.
- MERLAK E., 2001 - *Determination of electrical conductance in the study of karst waters*. Ipogea, Trieste, vol. 3, 89-115.
- MERLAK E., 2003 - *La silice nelle acque del territorio triestino (Carso triestino e aree adiacenti)*. Hydrores. Anno XIX. 23, 41-49.
- MIHEVC A., 1989 - *Contact karst near Kacice and ponor cave Mejame*. Acta Carsologica Ljubljana ,18, 171-195.
- MIHEVC A., 1994 - *Birchini contact karst*. Acta Carsologica XXIII. Ljubljana, 99-109.
- MIHEVC A., ZUPAN HAJNA N., 1996 - *Clastic sediments from dolines and caves found during the construction of the motorway near Divaca, on the classical Karst*. Acta carsologica. XXV, 169-189.
- PLACER L., 1981 - *Geologic structure of southwestern Slovenia*. Geologija 24, Ljubljana, 27-60.

- ROSSUM J.R., 1975 - *Checking the accuracy of Water Analysis through the use of conductivity*. Journ. Am. Water Work Assoc., 67, 204-205.
- SIEVER R., 1962 - *Silica solubility and diagenesis of siliceous sediments*. The Journal of Geology, 70, 2, 127-150.
- SIKIČ D., PLENIČAR M., ŠPARICA M., 1967 - *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Ilirska Bistrica L 33-89*. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- SIKIČ D., PLENIČAR M., 1975 - *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač lista Ilirska Bistrica L 33-89*. Zvezni geološki zavod, Beograd, 15-17.
- SINKOVEC B., 1974: *The origin of terra rossa in Istre*. Geol.Vjesnik, 27, 227-237.
- TIMEUS G., 1910 - *Studi in relazione al provvedimento d'acqua per la città di Trieste. Comune di Trieste. Stab. Art. Tip. G. Caprin*, 82 p.
- VERBOVŠEK T., 2003 - *Cave forms and origin of the cave pečina v Zjatih (Matarsko Podolje, Slovenia)*. Acta carsologica. 32/ 1, 131-142.
- ZUPANČIČ B., 1995 - *Klimatogeografja Slovenije, Pavadine 1961-1990*. MOP- Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana, 366 p.