

ONELIO FLORA (\*), GIANPAOLO GALLI (\*\*), LUISA NEGRINI (\*),  
ANTONIO LONGINELLI (\*)

## STUDIO GEOCHIMICO-ISOTOPICO DI ALCUNE SORGENTI CARSICHE: UN NUOVO MODELLO IDROLOGICO

### RIASSUNTO

Una serie di sorgenti carsiche esistenti presso Trieste e tra Trieste e Monfalcone sono state studiate per diversi anni (Novembre 1984 - Luglio 1988) principalmente da un punto di vista geochimico-isotopico. Scopo di questo studio era ottenere un quadro il più rappresentativo possibile della circolazione idrologica ipogea nell'area classica del Carso triestino sfruttando il tracciamento naturale delle acque (rapporti isotopici  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ). Contemporaneamente a questo studio, è stata tenuta sotto controllo la composizione isotopica delle precipitazioni atmosferiche nella zona, in modo da poter valutare con buona approssimazione sia i valori medi annui ponderati delle precipitazioni stesse, sia i gradienti isotopici verticali dell'area in esame. Per un certo periodo è stata pure misurata sistematicamente la temperatura dell'acqua di numerose sorgenti sia per valutare le variazioni stagionali di tale parametro, sia per confrontare nuovi dati con quelli a suo tempo rilevati da altri studiosi (Forti e Tommasini, 1965; Tommasini, 1968; Tommasini, 1969). I risultati delle misure effettuate sono riportati nel testo in forma grafica per evidenziare le variazioni rilevate. Il dato più evidente è la quasi sistematica inversione dei valori isotopici stagionali. Abitualmente tutte le sorgenti mostrano  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$  più negativi nel semestre freddo e meno negativi nel semestre caldo, a causa di analoghe variazioni che si registrano nelle precipitazioni atmosferiche legate al variare dei fattori di frazionamento  $\text{H}_2\text{O}$  vapore /  $\text{H}_2\text{O}$  liquida con le diverse temperature stagionali. Nel caso delle acque carsiche, invece, l'andamento è completamente rovesciato dato che i  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$  più negativi si riscontrano spesso verso la fine dell'estate. Sulla base di questi dati e di altre considerazioni che vengono sviluppate nel testo, si è giunti a formulare un nuovo modello di circolazione idrologica nell'area del Carso triestino. Questo nuovo modello si basa sulla evidenza di un continuo processo di mixing tra due riserve di acqua isotopicamente molto diverse tra loro. La prima riserva ("locale") è costituita dalle piogge che cadono sulla fascia costiera del Carso (quota media circa 400 m s.l.m.,  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$  medio ponderato circa  $-7,5$ ); la seconda ("regionale") è costituita dalle acque meteoriche che cadono sull'altipiano carsico interno (quota media 800-900 m s.l.m.,  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$  medio ponderato tra  $-8,5$  e  $9,5$ ). Nel corso del semestre invernale, le piogge locali, a causa dell'elevata pressione idraulica, fluiscono direttamente dalle sorgenti costiere. All'inizio della primavera, al decrescere della piovosità e quindi della pressione idraulica, la seconda componente comincia a diventare percentualmente più importante fino a divenire dominante verso la fine del semestre estivo. Le prime piogge autunnali determinano un nuovo diretto apporto di acque "locali" ed il ciclo ricomincia ripetendo di anno in anno il medesimo andamento. Si deve rilevare che, in occasione delle piene primaverili del fiume Isonzo (fusione delle nevi nell'alto bacino montano), le perdite in lato sinistro (quasi al contatto con il complesso calcareo del Carso) forniscono un contributo, anche se parziale e limitato, al sistema idrologico carsico come è chiaramente rilevabile nel caso di diverse sorgenti, ivi comprese le tre sorgenti del Timavo. Negli anni con piovosità anomala il sistema risente pesantemente di tali anomalie e l'andamento delle curve isotopiche risulta nettamente disturbato.

(\*) Istituto di Mineralogia e Petrografia - Università di Trieste Italia

(\*\*) Vincitore del Premio Carlo Finocchiaro 1987-1988

## ABSTRACT

Several Karst springs in the area of Trieste (Italy) have been studied for the isotopic composition of water for about four years. During the same period the isotope composition of meteoric water has also been systematically studied, for basic information on environmental water. The curves obtained from the springs generally show a marked seasonal inversion. In most of the studied springs the results obtained from winter samples are the most positive of the whole year. In contrast, summer samples normally show quite negative results, the most negative ones often referring to the late summer months. The data obtained are considered the results of variable mixing of waters from two main reservoirs. The less negative of the two may be fed by «local» meteoric waters falling on the westernmost section of the Karst area, whose mean elevation is about 400 m.a.s.l.. The more negative of the two is probably fed by meteoric water falling on the Slovenian section of the Karst highland, whose mean elevation is 800-900 m.a.s.l.. A third water system, basically fed by the Isonzo river flowing north of the Karst area, may interfere with the previously mentioned reservoirs, partially controlling the outflow of some of these springs.

## Introduzione

La nota dominante dei paesaggi carsici è data dalla mancanza di un vero e proprio reticolo idrografico superficiale e da un marcato sviluppo ipogeo dello stesso. Già da lungo tempo sono stati realizzati studi di diverso tipo sia sull'idrologia ipogea del Carso triestino che sulla morfologia tipica di questo ambiente, per cui è lecito identificare questo sistema come il sistema carsico per eccellenza. I presupposti fondamentali per l'innescò del processo di carsogenesi sono essenzialmente l'estesa presenza di rocce carbonatiche ed un ragionevole apporto di precipitazioni meteoriche. Accanto a questi fattori dominanti si deve comunque tener presente una serie di parametri geografico-strutturali che condizionano, in vario modo, il processo di dissoluzione per quanto si riferisce all'entità delle forme prodotte ed ai tempi necessari per il loro sviluppo. Tra questi parametri ricorderemo le variazioni temporali del livello della falda, i movimenti tettonici, le variazioni climatiche, l'inclinazione degli strati, la carsificabilità dei diversi litotipi, la presenza e la potenza di coperture più o meno permeabili, le oscillazioni eustatiche, ecc.

Gli studi di tipo idrologico sul Carso dell'area giuliana iniziarono circa un secolo e mezzo fa con il Lindner che cercò di esplorare a fondo la grotta di Trebiciano e nel 1841, dopo due anni di ingenti lavori per l'epoca, riuscì a raggiungere il fondo. Tali studi furono proseguiti poi, con maggiore o minore interesse e con risultati non sempre positivi, da numerosi autori. La difficoltà di studiare percorsi idrologici ipogei fu affrontata con una nutrita serie di esperimenti di marcatura delle acque, condotti purtroppo, nella maggior parte dei casi, in maniera impropria. Timeus (1911) iniziò questi studi utilizzando sali di litio e composti radioattivi, Boegan (1938) continuò servendosi di uranina e diversi altri ricercatori utilizzarono microorganismi cromogeni. Si giunse quindi al più significativo esperimento di Eriksson et alii (1963) realizzato usando Tritio e fluoresceina ed a quello di Gemiti (1982) che ha utilizzato tetracloruro di carbonio. Questi studi (o la maggior parte di essi) tendevano a provare l'esistenza di un dato che, nelle condizioni normali di una formazione carbonatica intensamente fratturata e carsificata, è di per sé ovvio: il collegamento tra i diversi circuiti di alimentazione delle sorgenti ed in particolare quello tra il sistema costituito dal fiume Reka (Timavo superiore) che sprofonda nelle grotte di S. Canziano, e le varie sorgenti costiere esistenti tra Trieste e Monfalcone con maggior riguardo a quelle indicate come risorgive del Timavo.

Anche nel caso di studi ben più precisi e quantitativi (elementi maggiori, minori o in tracce) si è mirato a caratterizzare presunti bacini di alimentazione trascurando il fatto che, almeno potenzialmente, la stessa acqua di partenza può variare considerevolmente la sua composizione chimica attraversando pacchi di sedimenti diversi o, ancora più semplicemente, seguendo percorsi attraverso materiali analoghi ma con velocità variabile a seconda della fessurazione. È possibile ottenere dati fuorvianti anche sulla base di misure quantitative

estremamente accurate. Questa banale considerazione ci ha spinto a sviluppare questo studio che si basa essenzialmente sulla determinazione dei rapporti isotopici  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  nell'acqua stessa. La composizione isotopica dell'acqua è infatti un carattere conservativo in quanto ben difficilmente una certa massa di acqua meteorica (già di per sé isotopicamente marcata) cambia la sua composizione isotopica una volta immessa in un determinato circuito idrologico. Il solo processo che può far variare anche drasticamente tale valore è il mescolamento con un'acqua a composizione isotopica diversa e quindi di diversa origine o provenienza. Questa semplice considerazione ha fatto, del metodo isotopico, il metodo principale per ricerche idrologiche, universalmente accettato e di attendibilità elevatissima.

Il principio sul quale poggia l'utilizzabilità della tecnica isotopica in idrologia è riferibile ai processi di condensazione delle piogge, a partire da una certa massa di vapor d'acqua atmosferico. Infatti, a parità di altre condizioni, la composizione isotopica di una pioggia (o neve) è legata quantitativamente alla temperatura di condensazione del vapore. Più bassa la temperatura, minore il contenuto in molecole isotopicamente pesanti ( $\text{HD}^{16}\text{O}$  e  $\text{HH}^{18}\text{O}$ ); più alta la temperatura di condensazione, maggiore il contenuto di molecole pesanti nella fase liquida formatasi. Da ciò consegue un tracciamento isotopico naturale delle acque (valido sia per gli isotopi dell'ossigeno che per quelli dell'idrogeno) a causa del quale, per esempio, le piogge invernali di una certa zona sono sistematicamente più negative rispetto alle piogge estive o, a parità di periodo dell'anno, le piogge che cadono a quote più elevate risultano più negative di quelle che cadono a quote inferiori.

Lo studio da noi effettuato sulle acque delle sorgenti carsiche e di alcuni fiumi della zona, è stato impostato su tali presupposti e si è sviluppato per un periodo di circa quattro anni durante i quali sono state tenute sotto controllo anche le precipitazioni della zona per poter definire, in maniera attendibile, sia i valori medi annui delle piogge sia i gradienti isotopici verticali. Scopo ultimo di tale studio era ottenere sufficienti informazioni per poter proporre un modello attendibile per la circolazione ipogea del Carso triestino, modello basato, appunto, sulla pura e semplice interpretazione dei dati isotopici.

## Campioni studiati

Tra le numerosissime possibilità esistenti è stato scelto un certo numero di sorgenti e di fiumi che, durante il periodo di studio, sono stati campionati sistematicamente almeno una volta al mese e, in qualche particolare periodo, ogni quindici giorni. I vari punti di campionamento presi in esame sono i seguenti (Fig. 1):

- Sorgenti* — lago di Doberdò: all'estremità occidentale del lago presso i ruderi della vecchia stazione di sollevamento;
- lago di Pietrarossa: campione medio di tutte le acque del lago all'inizio del canale di scarico verso Sablici;
  - Moschenizze Nord: la sorgente più a nord-ovest della serie esistente lungo il canale;
  - Sardos (Randaccio): nel bacino di presa della sorgente utilizzata per l'alimentazione dell'acquedotto di Trieste;
  - Lisert 1: la sorgente più a est nel gruppo esistente ai piedi del terrapieno della statale Trieste-Monfalcone;
  - Lisert 2: la sorgente più a ovest dello stesso gruppo;
  - Timavo 1: la sorgente più prossima alla chiesa di S. Giovanni in Tuba;
  - Timavo 2: la sorgente più prossima alla costruzione eseguita a suo tempo per le prese;



- Timavo 3: una delle numerose polle salienti all'estremità est del ramo più meridionale;
  - Aurisina: alle prese dell'acquedotto presso la stazione di filtrazione;
  - Antro delle sorgenti, località Bagnoli della Rosandra:
    - a) sorgente Lavatoio Nord
    - b) sorgente Lavatoio Sud, una quarantina di metri a sud della precedente.
  - Fiumi* — Isonzo: in località Savogna, a monte della confluenza col Vipacco;
  - Isonzo: a valle della confluenza col Vipacco, immediatamente prima delle prese per il canale Dottori;
  - Vipacco: presso il ponte di Rupa;
  - Torrente Rosandra: presso la fonte Oppia.
  - Pluviometri* — Pluviometro situato presso la stazione meteorologica dell'Istituto Talassografico del CNR, Trieste;
  - Pluviometro situato a Basovizza (circa 400 m s.l.m.) presso l'Osservatorio Astronomico.
- Nel caso dei pluviometri i campioni raccolti sono campioni medi mensili delle precipitazioni in modo da poter poi calcolare i valori medi annui ponderati per le diverse stazioni.

Sono state effettuate misure periodiche anche su altri corsi d'acqua (p.es. Judrio e Natisone) nel quadro di una migliore conoscenza dell'idrologia della zona. Tali misure non vengono qui riportate non essendo di alcun interesse nel quadro della circolazione ipogea dell'area carsica.

## Tecnica di preparazione e misura

I campioni di acqua sono stati preparati per la misura isotopica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  secondo la tecnica introdotta da Epstein e Mayeda (1953) che prevede l'equilibratura isotopica a  $25^\circ\text{C}$  di  $\text{CO}_2$  a composizione isotopica nota, con l'acqua in esame, l'estrazione e purificazione della  $\text{CO}_2$  e la sua misura allo spettrometro di massa, contro una  $\text{CO}_2$  standard già calibrata contro gli standard internazionali correntemente usati. Nel nostro caso abbiamo calibrato lo standard di laboratorio contro tre acque standard fornite dall'International Atomic Energy Agency di Vienna (V-SMOW, GIPS e SLAP). Le misure sono state effettuate, almeno in doppio su ogni campione, per mezzo di uno spettrometro di massa Finnigan Delta E a doppio collettore. I valori isotopici ottenuti vengono qui riportati in termini di unità  $\delta$  per mille, essendo  $\delta$  definito dalla relazione:

$$\delta = \frac{{}^{18}\text{O} / {}^{16}\text{O} \text{ camp.} - {}^{18}\text{O} / {}^{16}\text{O} \text{ stand.}}{{}^{18}\text{O} / {}^{16}\text{O} \text{ stand.}} \times 1000$$

Lo standard di riferimento è il V-SMOW (Standard Mean Ocean Water) come definito da Gonfiantini (1978). La riproducibilità media delle misure è assai buona: il valore medio della deviazione standard è  $\pm 0,04$  per mille ( $1 \sigma$ ).

I risultati ottenuti dalle acque carsiche vengono riportati essenzialmente in forma grafica per meglio evidenziare, per ognuno degli acquiferi, l'andamento nel tempo della variabile studiata. Infatti, più che i valori singoli, vedremo essere di decisiva importanza proprio l'evoluzione nel tempo di questi valori.

## Risultati ottenuti e loro discussione

Iniziamo l'esposizione dei risultati ottenuti riportando per primi i dati relativi alla composizione isotopica delle piogge. Questi dati sono di grande rilievo per l'interpretazione della situazione idrologica del Carso. I due pluviometri (Trieste e Basovizza) che rivestono maggior importanza da questo punto di vista sono stati (e sono tutt'ora) in funzione rispettivamente dal 1984 e 1987. I valori medi ponderati annui che sono stati calcolati sono i seguenti: Trieste (livello del mare)  $-6,8$  per mille; Basovizza (400 m s.l.m.)  $-7,6$  per mille. Il gradiente isotopico verticale che si può così valutare è di circa  $0,2$  per mille per cento metri di quota. Non è stato possibile, per ovvie ragioni, eseguire una analoga serie di misure sulla parte più interna dell'altipiano carsico, a quote medie dell'ordine di 850-900 m s.l.m. Tuttavia tenendo conto del gradiente rilevato, dei valori indicati dall'Isonzo e dal normale effetto di continentalità che si verifica allontanandosi dalla linea di costa, si può valutare, con ottima attendibilità, un valore medio annuo ponderato di circa  $-9,0 \pm 0,2$  per mille per l'altipiano carsico sloveno (area 1200 km<sup>2</sup> circa).

Fermi restando tali valori come valori medi annui nell'area in studio, esaminiamo i grafici relativi alle sorgenti ed ai fiumi.

### SORGENTI:

#### Timavo

Il prelevamento dei campioni mensili è iniziato alla fine del 1984 ed è proseguito senza interruzioni fino al 1988 coprendo quindi un intervallo di circa quattro anni. Il grafico in Fig. 2 riporta i dati di composizione isotopica per le tre sorgenti del Timavo (1, 2 e 3) dal novembre 1984 al luglio 1988. L'andamento di tale grafico è decisamente anomalo rispetto a quanto si verifica normalmente nel caso di una qualsiasi sorgente (carsica o no) in quanto la variabilità stagionale dei valori isotopici viene drasticamente e sistematicamente rovesciata. Infatti, si hanno nel periodo invernale i valori isotopici meno negativi e nel periodo estivo i valori isotopici

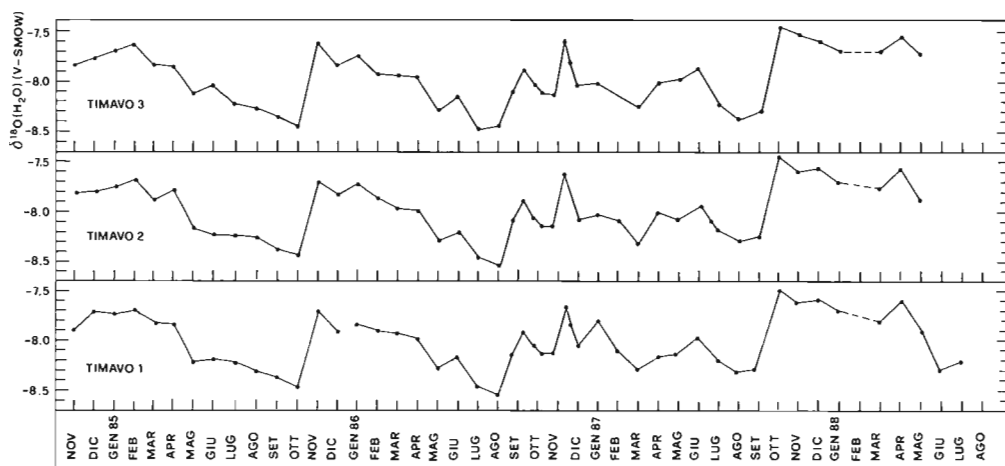


Fig. 2 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati alle tre sorgenti principali del Timavo.

più negativi. Ciò a prescindere da "eventi particolari" come ad esempio quelli del periodo autunno 1986-primavera 1987 che poi cercheremo di interpretare. Inoltre, a un andamento che, grosso modo, dovrebbe essere sinusoidale, si sostituisce qui un andamento particolarmente bizzarro che, in maniera estremamente chiara nel biennio '85-'86, parte dal valore meno negativo nell'autunno-inverno per poi evolvere in maniera pressochè lineare fino all'estate-autunno successivo quando, toccato il  $\delta^{18}O$  più negativo, si ha un brusco salto dei valori che, nel giro di qualche settimana, raggiungono di nuovo i massimi stagionali per poi riprendere l'evoluzione verso i minimi estivi. I "denti di sega" relativi al periodo settembre '86-gennaio '87 si possono riferire all'andamento meteorologico stagionale e, in particolare, a due episodi di precipitazioni estremamente violente che hanno determinato una grossa turbativa nell'evoluzione normale dei valori e che, pur con modalità e valori diversi, si ritrovano in numerose altre sorgenti della zona. Tali eventi, pur avendo alterato e mascherato la normale evoluzione dei valori, sono di grande importanza in quanto dimostrano la rapidità con la quale apporti particolarmente elevati di acqua piovana si immettono nel circuito carsico (evidentemente in questo caso a carattere locale e quindi con percorsi di modesto sviluppo) venendo a giorno nel giro di ore o, al più, di qualche giorno rispetto alle precipitazioni stesse.

Si devono far notare alcune particolarità nelle spezzate relative alle tre sorgenti del Timavo.

La prima è che i valori, sia presi singolarmente, sia nel loro insieme, risultano praticamente identici l'uno all'altro provando quindi che tutto il complesso delle risorgive del Timavo è alimentato dallo stesso acquifero.

La seconda, apparentemente un dettaglio di modesta entità, è che nella primavera (maggio 1985 e 1986, marzo-maggio 1987) si osserva sistematicamente una negativizzazione più o meno marcata nelle acque del Timavo. Di ciò terremo conto più avanti cercando di spiegare tale particolarità nell'ambito del modello da noi proposto.

#### *Doberdò e Pietrarossa*

Anche in questo caso la campionatura ha avuto inizio alla fine del 1984 ed è proseguita fino al luglio del 1988 con periodicità almeno mensile. Nonostante si tratti nel primo caso di campioni da singola polla e nel secondo caso di campioni medi di tutte le sorgenti che alimentano il laghetto di Pietrarossa, è evidente una rimarchevole similitudine tra i relativi grafici (Fig. 3). Ciò non è certo sorprendente anche sulla base di osservazioni di altri autori (Mosetti, 1963; Mosetti et al., 1967; D'Ambrosi et al., 1972; Gemiti et al., 1977) che già avevano ipotizzato una alimentazione comune correlando alcuni parametri chimico-fisici (temperatura, calcio, magnesio, bicarbonati, solfati, cloruri). Da un confronto dei grafici di Fig. 3 con quelli di Fig. 2 si possono rilevare notevoli analogie ed alcune differenze che, nel complesso, indicano per queste sorgenti un comportamento piuttosto simile a quello del Timavo pur con diverse particolarità. In sostanza, anche in questo caso si evidenzia l'inversione isotopica stagionale già rilevata per le sorgenti del Timavo che quindi diventa un fattore caratterizzante per queste sorgenti carsiche nonostante il fatto che la distanza tra i due gruppi di sorgenti (Timavo da un lato e Doberdò e Pietrarossa dall'altro) comincia ad essere piuttosto rilevante (circa 5 km in linea d'aria).

Le differenze di comportamento che caratterizzano il secondo gruppo di sorgenti sono le seguenti:

- 1) i valori più negativi raggiunti ogni anno nel colmo del periodo estivo (prossimi o uguali a —9 per mille) sono sensibilmente più elevati (in valore assoluto) rispetto a quelli raggiunti dalle sorgenti del Timavo (intorno a —8,5 per mille) e ciò è tanto più importante in quanto valori intorno a —9 per mille sono dello stesso ordine di grandezza di quelli che, presumibilmente, si possono attribuire alle precipitazioni medie annue sull'altipiano carsico sloveno, a quote medie di circa 900 metri;

- 2) l'evoluzione dai valori massimi invernali ai minimi estivi avviene (ad eccezione del 1985) in maniera meno lineare che non nel caso del Timavo;
- 3) l'episodio "anomalo" verificatosi nell'autunno 1986 mostra il picco più positivo (novembre-dicembre 1986) drasticamente più marcato, non per il valore massimo raggiunto (circa  $-7,5$  per mille contro  $-7,6$  nel caso del Timavo), quanto per l'ampiezza della variazione che in questo caso parte da circa  $-8,6$  contro  $-8,2$  circa del Timavo;
- 4) i valori relativi all'inverno 1986-'87 sono più negativi ( $-8,3$  :  $-8,4$ ) rispetto a quelli del Timavo ( $-7,7$  :  $-7,9$ ) nello stesso periodo.

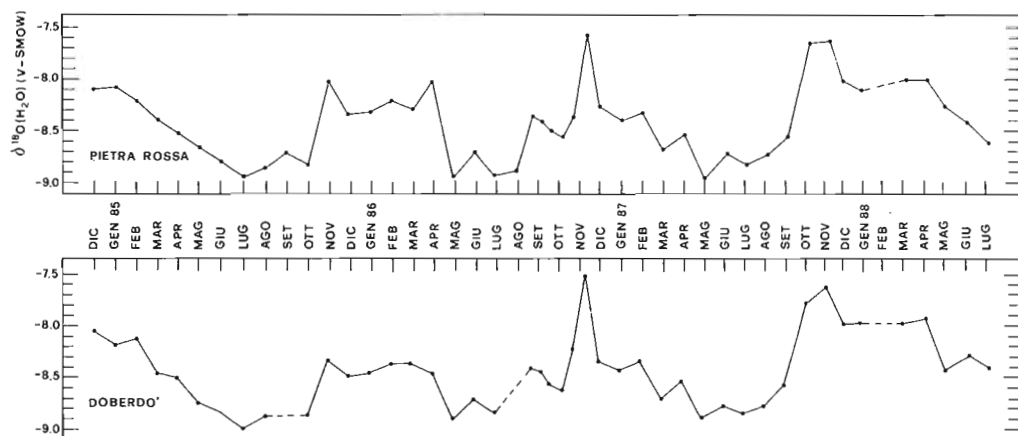


Fig. 3 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati ai laghi di Doberdò e Pietrarossa.

#### Moschenizze N e Moschenizze S

La campionatura è cominciata, in questo caso, all'inizio del 1985, con alcuni mesi di ritardo rispetto alle sorgenti considerate precedentemente. I dati ottenuti sono riportati nei grafici di Fig. 4 che evidenziano una rilevante similitudine tra le due sorgenti nonostante la distanza che le separa. Un primo confronto con i grafici di Fig. 3 e Fig. 2 sembra mostrare marcate differenze di comportamento che, ad un esame più attento, si mostrano meno evidenti e sostanziali di quanto potrebbe sembrare. L'evoluzione dal valore iniziale verso i minimi di fine estate è segnata in entrambe le sorgenti da una violenta negativizzazione che determina una variazione di circa uno per mille nel giro di poche settimane. La successiva positivizzazione dei valori estivi fino a quelli dell'inverno 1985-'86 è in questo caso piuttosto lenta e quasi lineare. Una analoga evoluzione in direzione opposta si verifica dall'inverno al luglio '86, mentre tra la fine estate e l'inverno 1986-'87 si possono di nuovo rilevare le brusche puntate verso valori più positivi, alternate a sensibili negativizzazioni, come nel caso delle altre sorgenti. Qua tuttavia esiste un piccolo sfasamento dei picchi rispetto a quanto visto precedentemente. Esso consiste principalmente in un leggero anticipo nel tempo del valore massimo del primo picco, anticipo che non sappiamo se attribuire più ad una particolarità del circuito idrologico o ad un semplice artefatto in quanto, per esempio, il vero massimo potrebbe essere sfuggito alla misura se fosse localizzato verso i primi di settembre.

Ampie oscillazioni dei dati caratterizzano quasi tutto il 1987, esasperando le variazioni già rilevate, in maniera assai più contenuta, sia nel caso del Timavo che di Doberdò e Pietrarossa.



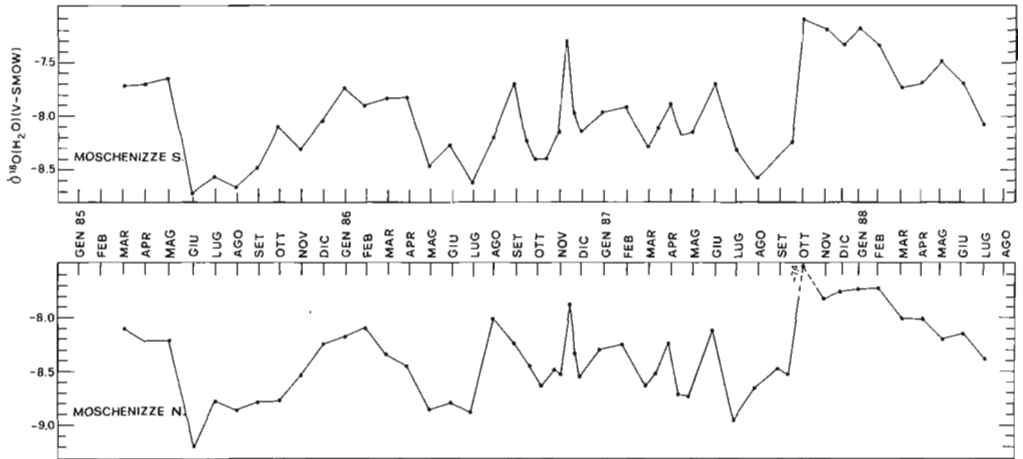


Fig. 4 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati alle sorgenti Moschenizze N. e Moschenizze S.

#### Lisert 1 e Lisert 2

A proposito di queste sorgenti è opportuno ricordare che la costruzione dei raccordi tra il casello autostradale e la nuova sezione della statale Trieste-Monfalcone ha sicuramente influito su queste sorgenti, come senz'altro hanno influito rinnovate, recenti manomissioni di tutta l'area del Lisert. Comunque, indipendentemente da ciò e dalle eventuali condizioni pregresse, lo studio di queste due sorgenti (Fig. 5) ha evidenziato una notevole analogia di comportamento sia tra di esse sia con le sorgenti di Doberdò e Pietrarossa.

Le similitudini sono senz'altro rilevanti ed anche in questo caso sembrano in buon accordo con quanto ipotizzato da precedenti autori (Gemiti et al., 1977) che avevano proposto un'alimentazione dallo stesso acquifero. Si deve riconoscere che sia l'andamento delle curve, sia i singoli valori isotopici (o gruppi di valori) sono molto vicini gli uni agli altri, anche se alcune particolarità caratterizzano le sorgenti del Lisert e non consentono, almeno per ora, di accomunarle con quelle di Doberdò e Pietrarossa al punto da considerarle tutte alimentate da un medesimo acquifero.

Un punto di grande rilievo è che anche in questo caso, indipendentemente dalle particolarità delle curve e da dettagli più o meno importanti, viene evidenziata la caratteristica già rilevata in tutte le altre sorgenti e cioè la netta inversione dei valori isotopici stagionali, i dati più negativi riferendosi sempre al semestre estivo e quelli meno negativi al semestre invernale.

#### Sardos (Randaccio)

Anche per questa sorgente la campionatura è iniziata con qualche mese di ritardo (marzo 1985) ed è poi continuata per un periodo di circa tre anni. Vari autori avevano considerato questa sorgente come diversa rispetto alle altre mentre, almeno dal punto di vista delle misure isotopiche (Fig. 6), si devono rilevare analogie sia con le sorgenti di Doberdò e Pietrarossa, sia con le sorgenti del Lisert, sia con quelle di Moschenizze. È infatti abbastanza singolare che, suddividendo in tronconi diversi la spezzata relativa ai valori di questa sorgente, si evidenzino nel 1985 notevoli analogie particolarmente con Pietrarossa, nel 1986 con Moschenizze S e, nella seconda parte dell'anno, particolarmente con Lisert 1 e infine, di nuovo con Moschenizze S.

Fermo restando il segno caratteristico dell'inversione stagionale dei valori isotopici, queste analogie potrebbero indicare che l'acqua che alimenta questa sorgente non ha un proprio particolare circuito di alimentazione costante nel tempo ma, a seconda del periodo e dei diversi valori della pressione idraulica, può ricevere parziali contributi da diversi acquiferi che possono combinarsi o venir esclusi in maniera diversa al variare delle condizioni.

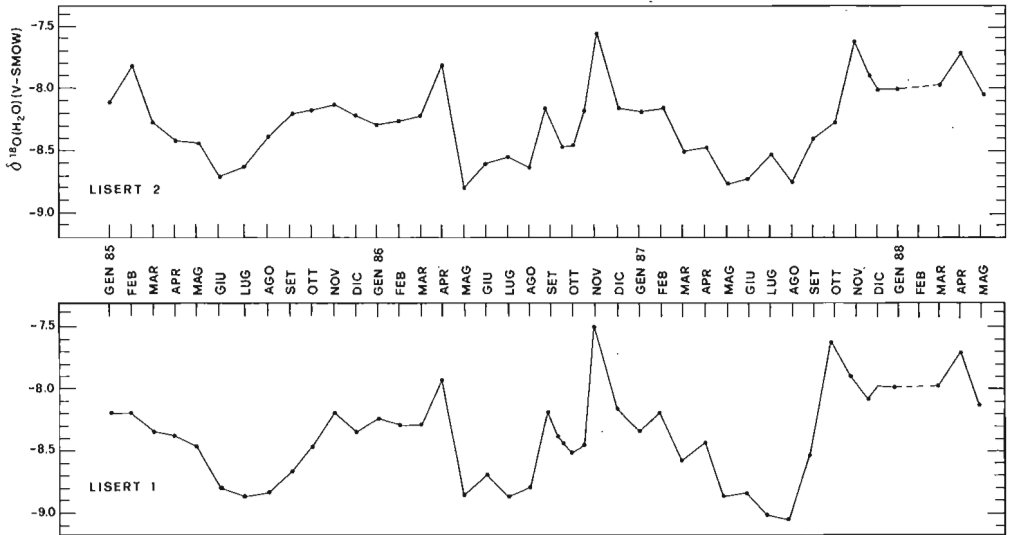


Fig. 5 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati alle sorgenti Lisert 1 e Lisert 2.

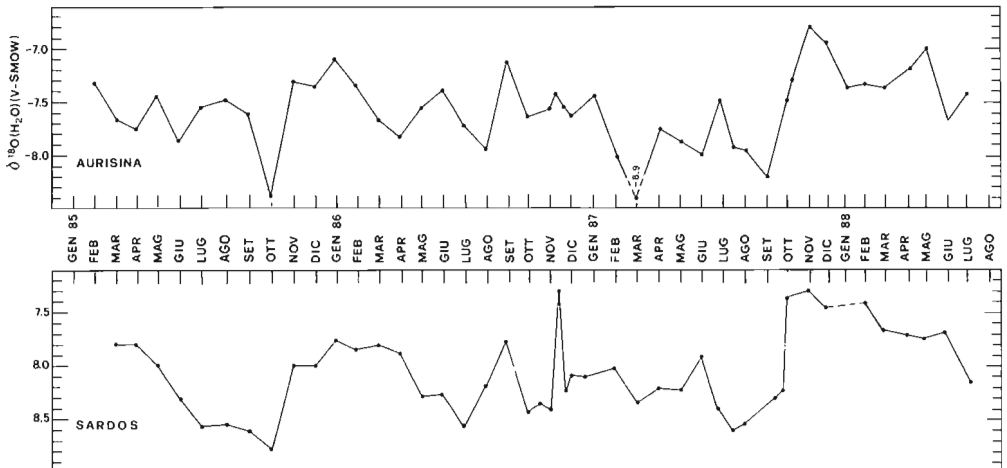


Fig. 6 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati alle sorgenti Sardos e Aurisina.

### *Aurisina*

Questa sorgente, piuttosto isolata dalle altre anche geograficamente, mostra (Fig. 6) un andamento del tutto particolare che, a prescindere da alcune trascurabili analogie con altre sorgenti, la caratterizza staccando nettamente il suo comportamento. Infatti, se non si prendono in considerazione un paio di picchi particolarmente negativi (ottobre 1985 e marzo 1987), ma di per sé non molto significativi, i valori di  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\text{H}_2\text{O}$ ) risultano sensibilmente omogenei con variazioni non molto ampie e, comunque, non legate ad andamenti stagionali intorno al valore medio che risulta essere dell'ordine di  $-7,7$  più o meno qualche decimo di unità delta.

Questo valore è piuttosto vicino a quello della composizione isotopica dell'acqua piovana raccolta al pluviometro di Basovizza e che, come già detto, dovrebbe essere assai vicina alla media ponderata delle precipitazioni su tutta la "fascia costiera" del Carso. Non è quindi possibile, in questo caso, individuare un trend particolare, neppure quello, comune a tutte le altre sorgenti fin qui prese in considerazione, della inversione isotopica stagionale che qui non compare assolutamente. D'altro canto, non si può neppure rilevare un qualche accenno al comportamento "normale" delle sorgenti (carsiche o non carsiche) con valori isotopici più positivi in estate e più negativi in inverno. Sembra quasi che questa sorgente rappresenti una sorta di "punto neutro" o, in altri termini, abbia funzione di cerniera tra il gruppo delle sorgenti più settentrionali (con marcata inversione isotopica stagionale) e le sorgenti molto più meridionali, nell'area della Val Rosandra, con comportamento del tutto normale dal punto di vista isotopico. È evidente che questa sorgente non ha, con tutte le altre della zona, che collegamenti limitati tali cioè da non caratterizzare in qualche modo il sistema. Ne consegue che qualsiasi modello venga proposto per il sistema idrologico carsico che alimenta le altre sorgenti, Aurisina sfuggirà comunque a tale modello e rimarrà come esempio di comportamento a sé stante.

### *Bagnoli - Lavatoio Nord e Lavatoio Sud*

Lo studio di queste sorgenti è iniziato con oltre un anno di ritardo rispetto alle altre, i primi campioni risalendo al febbraio 1986. Il periodo durante il quale il sistema è stato tenuto sotto controllo (sempre con prelievi mensili) è di circa due anni. I risultati delle misure effettuate sono riportati in Fig. 7. L'andamento dei valori, pur con oscillazioni assai ampie, forse un po' più ampie di quanto si potesse prevedere, ricalca quanto abitualmente è dato osservare in sorgenti alimentate direttamente dalle precipitazioni atmosferiche. Infatti, l'unica peculiarità di queste spezzate è un leggero ritardo sia nella comparsa del valore minimo (febbraio-marzo), sia nella comparsa del valore o dei valori massimi (settembre-novembre 1986 e dicembre 1987 al Lavatoio Sud). Ciò è abbastanza normale ed è legato alle dimensioni del circuito, al volume delle riserve d'acqua e all'entità degli apporti. Uno sfasamento dell'ordine di qualche mese rientra comunque nella norma anche per sorgenti non carsiche. Si può evidenziare la presenza dei due picchi positivi già ripetutamente notati (autunno 1986) e la differenza tra le due sorgenti per quanto concerne l'ampiezza delle oscillazioni nell'estate-autunno 1987.

Quindi, in questi due casi, la situazione è drasticamente diversa rispetto a quanto visto precedentemente e gli acquiferi che alimentano questi circuiti idrologici sono del tipo normale ad alimentazione direttamente collegata alle precipitazioni atmosferiche.

### *FIUMI:*

#### *Isonzo*

La campionatura è stata eseguita, come precedentemente indicato, in due località rispettivamente a monte e a valle della confluenza con il Vipacco per ottenere un quadro generale del comportamento del fiume ma anche dati precisi sull'eventuale interazione Vipacco-Isonzo (Fig.

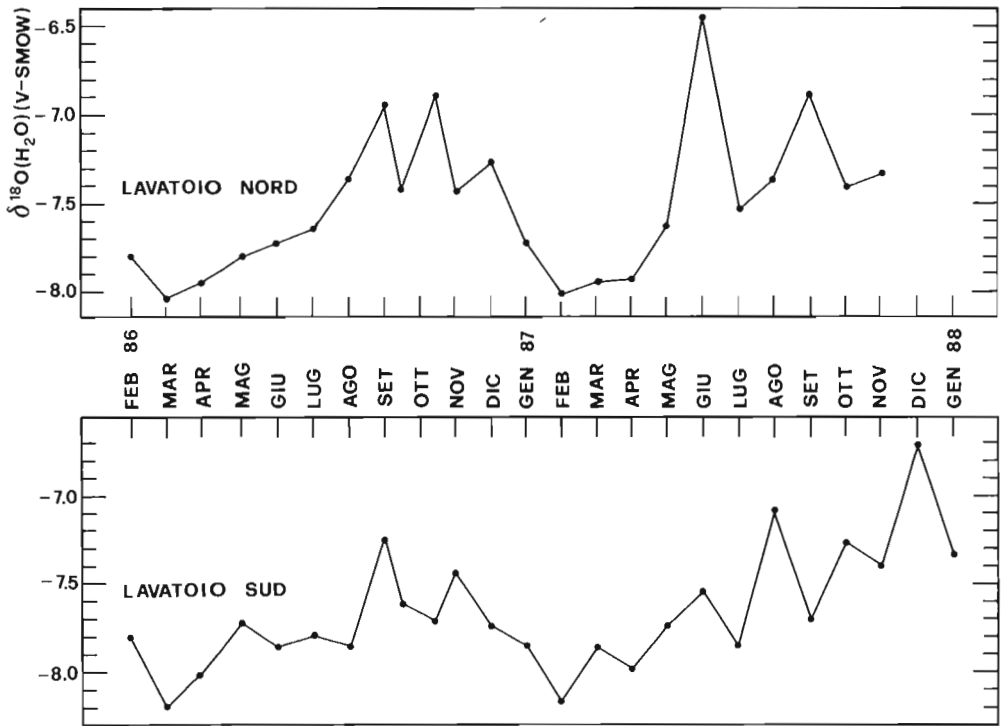


Fig. 7 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati alle sorgenti Lavatoio N. e Lavatoio S.

1). Come risulta dai dati riportati in forma grafica in Fig. 8 tale interazione è del tutto trascurabile almeno dal punto di vista isotopico. Risulta invece di notevole importanza l'andamento stagionale dei valori isotopici in quanto questi valori caratterizzano in maniera decisa le acque isontine (cosa questa di notevole rilievo per evidenziare eventuali interazioni tra il sistema carsico *latu sensu* ed il sistema idrologico isontino).

Dalle spezzate di Fig. 8 risulta chiaramente che l'andamento dei valori isotopici dell'Isonzo nel corso dell'anno non si discosta drasticamente da quello di un "normale" fiume pur presentando notevoli peculiarità. Si rilevano chiaramente le variazioni, grossolanamente sinusoidali, del  $\delta^{18}\text{O}$  ma, in questo caso, i valori massimi e minimi sono notevolmente spostati rispetto alla norma. Infatti, nel periodo autunnale o invernale si ottengono i valori meno negativi mentre i minimi assoluti (dell'ordine di  $-9,5$  per mille o ancora più negativi) si registrano nella tarda primavera insistendo particolarmente sul mese di maggio. Questo regime è abbastanza facilmente spiegabile tenendo conto del fatto che, normalmente, le precipitazioni invernali sull'alto bacino dell'Isonzo sono preferenzialmente nevose (quote piuttosto elevate, anche superiori ai 2500 m) e quindi non contribuiscono in modo diretto e immediato all'alimentazione del fiume. Tale alimentazione è affidata essenzialmente alle piogge che cadono sulla parte media-inferiore del bacino a quote medie assai più modeste, dell'ordine degli 800-1000 metri. Tali precipitazioni vengono, almeno in parte, "immagazzinate" a causa della presenza di una serie di sbarramenti e di piccoli bacini di ritenuta la cui funzione, nel caso dei valori isotopici, è quella di omogeneizzare in maniera sensibile valori diversi.



ci, limitando così il range totale dei valori nel corso dell'anno. Il secondo motivo è probabilmente da ricercarsi nel fatto che le precipitazioni invernali sull'alto bacino di alimentazione, almeno nel caso di condizioni climatiche "normali", sono in buona parte nevose e che il contributo diretto di tali acque si fa risentire solamente a primavera, nella fase di piena dovuta appunto alla fusione delle nevi. Anche in questo caso è particolarmente marcato l'effetto di positivizzazione delle acque nell'autunno 1987.

### Rosandra

Il torrente Rosandra (Fig. 1), formato dalla confluenza di due corsi d'acqua minori, il rio Griza ed il torrente Bottazzo, scorre per il primo tratto in una serrata valle carsica dalla struttura molto complessa. Il suo alveo attraversa in rapida successione terreni flyschoidi, calcarei ed alluvionali. Nel tratto intermedio il Rosandra accusa perdite in alveo per carsismo, fenomeno questo particolarmente evidente nel tardo periodo estivo durante il quale l'acqua spesso non riesce a trascinare dalle varie pozze formate nel suo corso superiore. In regime di magra il letto del torrente si presenta abbastanza frequentemente asciutto all'altezza dell'abitato di Bagnoli. Tali perdite vengono tuttavia almeno in parte compensate dagli apporti di risorgive esistenti lungo il suo alveo, per la gran parte in riva sinistra. La più importante è la così detta Fonte Oppia, situata in corrispondenza della faglia del Crinale; in questo punto il Rosandra riceve le acque provenienti dal monte Carso che trovano, nella pizzicatura marnoso-arenacea del Crinale un valido sbarramento al loro deflusso. Acque provenienti dall'altipiano di Basovizza vengono invece raccolte alla destra idrografica del torrente in corrispondenza dell'Antro delle Ninfe e di altre sorgenti minori.

I dati isotopici sono stati raccolti in questo caso lungo l'arco di due anni, dal febbraio 1986 al gennaio 1988 (Fig. 9). L'andamento dei valori è assai regolare con un minimo alla fine dell'inverno (febbraio) ed uno o più massimi alla fine dell'estate (settembre-ottobre). È questo il classico andamento sinusoidale mostrato abitualmente da sorgenti la cui area di ricarica sia di limitata entità ed il cui circuito di alimentazione sia relativamente breve e superficiale. Nulla quindi in comune con le sorgenti carsiche più settentrionali (precedentemente esaminate) né dal punto di vista isotopico, né dal punto di vista di modelli di circolazione, ma piuttosto un regolare andamento del tutto analogo a quello di molliissime sorgenti di zone non carsiche.

Per quanto concerne i valori isotopici minimi, massimi e medi essi confermano in pieno un'area di alimentazione locale, a quota media molto modesta (300 metri o poco più) ed un circuito di alimentazione breve e diretto.

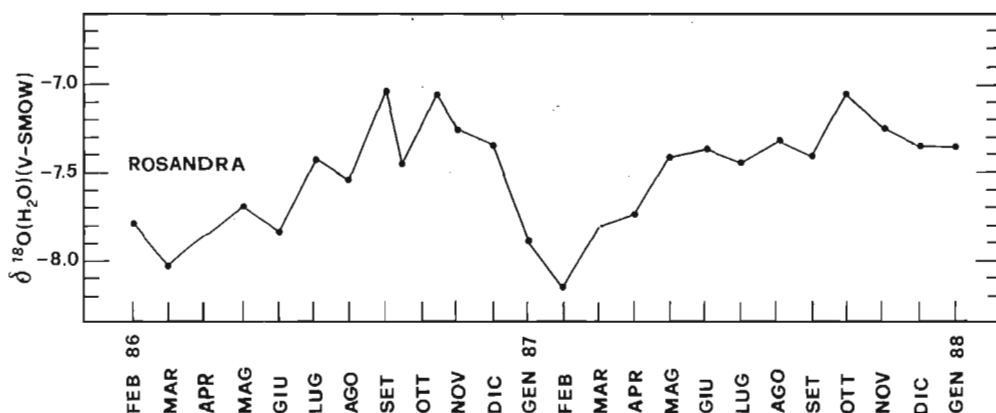


Fig. 9 Composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua di campioni mensili prelevati dal torrente Rosandra.

## Discussione dei risultati e conclusioni

Prima di tutto è necessario separare completamente (e non solo dal punto di vista geografico) le sorgenti situate nell'area nord-occidentale da quelle dell'area sud-orientale. Queste ultime, come già detto, risultano "banali" nel loro comportamento isotopico, con un andamento indistinguibile da quello di una normale sorgente non carsica.

Al contrario, il gruppo di sorgenti nord-occidentali è contrassegnato da una spiccata atipicità che le caratterizza, a quanto è dato sapere, come uniche in questo genere. Tale atipicità è essenzialmente legata all'inversione stagionale del comportamento isotopico.

Il valore medio della composizione isotopica delle piogge di Trieste, calcolato su un intervallo di tempo di oltre quattro anni, è dell'ordine di  $-6,8$  per mille, mentre quello ottenuto dalle misurazioni delle acque del pluviometro di Basovizza (in funzione dal 1987) è dell'ordine di  $-7,6$  per mille; questi dati consentono di calcolare il gradiente isotopico verticale che viene quindi valutato in circa  $0,2$  per mille per cento metri di quota, in ottimo accordo, sia sperimentale che teorico, con le conoscenze di meteorologia isotopica. Tale valore si accorda in pieno con quello rilevato nel periodo invernale, coincidente con la fase di massime precipitazioni, in diverse delle sorgenti studiate. La considerazione più logica in presenza di circuiti carsici e quindi di rocce fratturate che consentono un rapido scorrimento delle acque ed una rilevante omogeneizzazione delle medesime, è che le acque che fuoriescono in inverno (novembre-febbraio), dalle sorgenti studiate (esempio tipico le tre sorgenti del Timavo), siano il frutto di una diretta alimentazione dei circuiti carsici da parte delle precipitazioni locali. L'elevata pressione idraulica e l'ampia area di alimentazione (non certo inferiore ai  $1000 \text{ km}^2$  come ordine di grandezza) fanno sì che in questo periodo l'acqua delle precipitazioni locali sia la componente dominante (sostanzialmente 100%) dei vari circuiti.

A questo punto è essenziale notare che in diverse sorgenti (ed in quelle del Timavo in particolare) l'evoluzione dal massimo invernale al minimo estivo avviene in maniera pressoché lineare. Ciò non può avvenire se non siamo in presenza di un processo di mescolamento di due acque con composizioni isotopiche sostanzialmente diverse fra di loro. Avendo considerato l'acqua invernale come acqua meteorica locale (praticamente al 100%) è ovvio che dovremo considerare l'estremo opposto (acque estive con  $\delta^{18}\text{O}$  dell'ordine di  $-8,5$  per mille) come seconda componente il cui mescolamento con la prima, in proporzioni variabili, fornisce i valori intermedi dall'inverno a fine estate. In tal modo si viene a prospettare un sistema a due componenti: una "riserva" di acqua rappresentata dagli apporti meteorologici locali, dominanti nel periodo invernale ed una seconda "riserva" che può essere costituita, con ogni evidenza, da apporti provenienti dalla parte più interna del Carso (Carso sloveno) ed alimentata dalle precipitazioni su tale zona. La quota media dell'area interna del Carso ( $800-900$  metri) è in ottimo accordo con i valori estivi rilevati nelle sorgenti studiate e l'estensione di tale zona è più che sufficiente per giustificare non solo i modesti apporti estivi alle nostre sorgenti, ma anche un ben più sostanziale apporto ai sistemi idrologici confluenti nei bacini più orientali.

Se così non fosse, sarebbe impossibile spiegare l'inversione stagionale dei valori isotopici, inversione che invece costituisce la caratteristica dominante e pressoché costante della maggior parte delle sorgenti studiate.

Si deve anche rilevare che abbiamo una diretta dimostrazione del fatto che le precipitazioni sulla fascia carsica costiera fanno risentire il loro effetto sul sistema idrologico ipogeo in tempi assai brevi e che, quindi, l'alimentazione delle sorgenti nel periodo estivo deve essere legata ad un sistema regionale, più profondo e di sviluppo nettamente maggiore rispetto al sistema locale. Infatti, diverse tra le sorgenti studiate mostrano nel periodo settembre-dicembre 1986 due violente e marcate alternanze di valori isotopici "a denti di sega". Tali alternanze non possono che essere collegate a due eccezionali eventi meteorologici estesi a tutta l'area e che hanno

preceduto le puntate isotopiche di un paio di settimane circa determinando, in un periodo relativamente brevissimo, un enorme apporto dovuto a piogge torrenziali di intensità assolutamente anomala.

Ecco quindi delinearsi per tutto il sistema idrologico carsico, un modello di per sé assai semplice e capace di giustificare in pieno non solo le nostre misure isotopiche, pur nell'anomalia dei risultati conseguiti, ma anche i risultati ottenuti da Eriksson et alii (1963) che, mediante tracciamento con isotopi radioattivi dimostrarono come l'apporto alle sorgenti del Timavo a Duino delle acque dell'Alto Timavo (luglio 1963), fosse assolutamente trascurabile rimanendo nell'ordine di grandezza di circa il 2 per cento. Nell'estate infatti, come dimostrato dai dati isotopici, circa il 100% dell'acqua delle sorgenti studiate deve provenire da un circuito molto diverso, alimentato da acque meteoriche cadute a quote sensibilmente maggiori e quindi su un'area più interna.

A questo modello, apparentemente semplice ed incontrovertibile, sembra opporsi, in realtà, una serie di misure di temperatura effettuate molti anni fa da altri autori (Forti e Tommasini, 1965; Tommasini, 1968; Tommasini, 1969) e in questi anni (1986-1988) anche da noi. I dati di Forti e Tommasini per esempio (Fig. 10) mettevano in evidenza, sia per le sorgenti di S. Giovanni di Duino che per quelle del Vallone di Moschenizze, temperature minime invernali dell'ordine di 10°C circa e temperature massime estive dell'ordine di 13°C o poco più. Tali dati si accorderebbero in pratica con le normali variazioni stagionali che si registrano abitualmente per la temperatura di qualsiasi sorgente. Non altrettanto si accordano invece con il fenomeno dell'inversione estiva dei valori isotopici. Infatti, se da un lato la composizione isotopica di circa -7,5 per mille e la temperatura media di 10°C per l'acqua invernale delle sorgenti sono in perfetto accordo con il  $\delta^{18}O$  medio delle precipitazioni atmosferiche e la temperatura media annua sulla fascia litorale del Carso triestino, ad una composizione isotopica assai più negativa dell'acqua delle sorgenti durante l'estate, dovrebbe corrispondere una temperatura di 6-8°C per giustificare la sua provenienza dall'altipiano carsico sloveno a quote di 800-900 metri s.l.m. Ora, le misure termometriche da noi effettuate alle bocche del Timavo (Fig. 11) alle sorgenti di Doberdò e Pietrarossa (Fig. 12) e alle sorgenti del Lisert (Fig. 13) hanno sostanzialmente confermato le misure precedenti e quindi sottolineato l'apparente incongruenza tra il dato isotopico e quello termometrico.

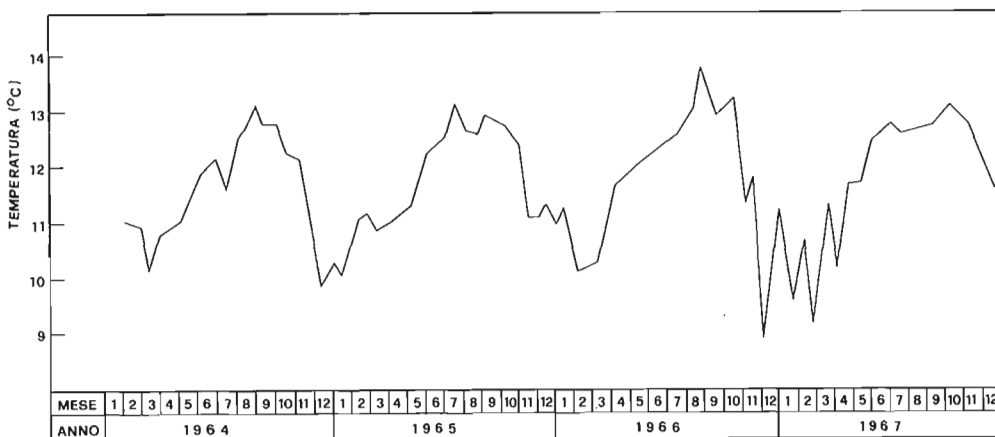


Fig. 10 Variazioni termiche dell'acqua delle risorgive del Timavo a S. Giovanni di Duino. (da Forti e Tommasini, 1965; Tommasini, 1968).



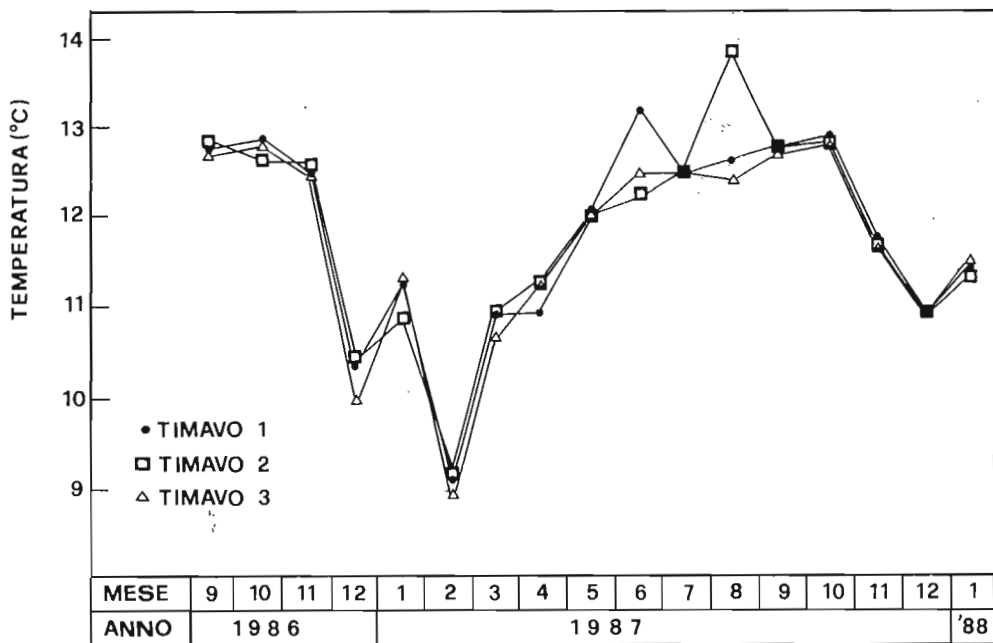


Fig. 11 Variazioni termiche dell'acqua delle tre sorgenti principali del Timavo a S.Giovanni di Duino.

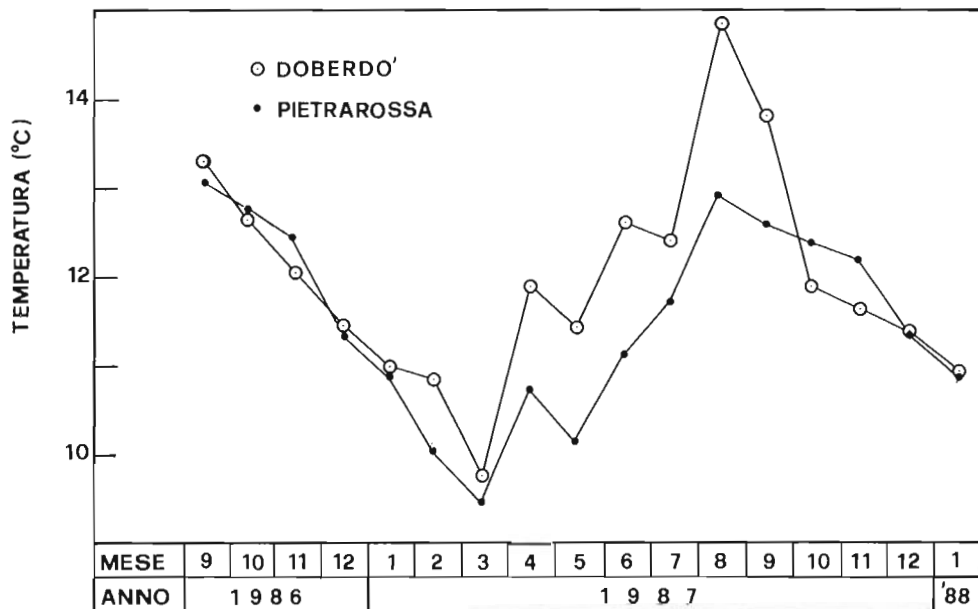


Fig. 12 Variazioni termiche dell'acqua delle sorgenti di Doberdò e Pietrarossa

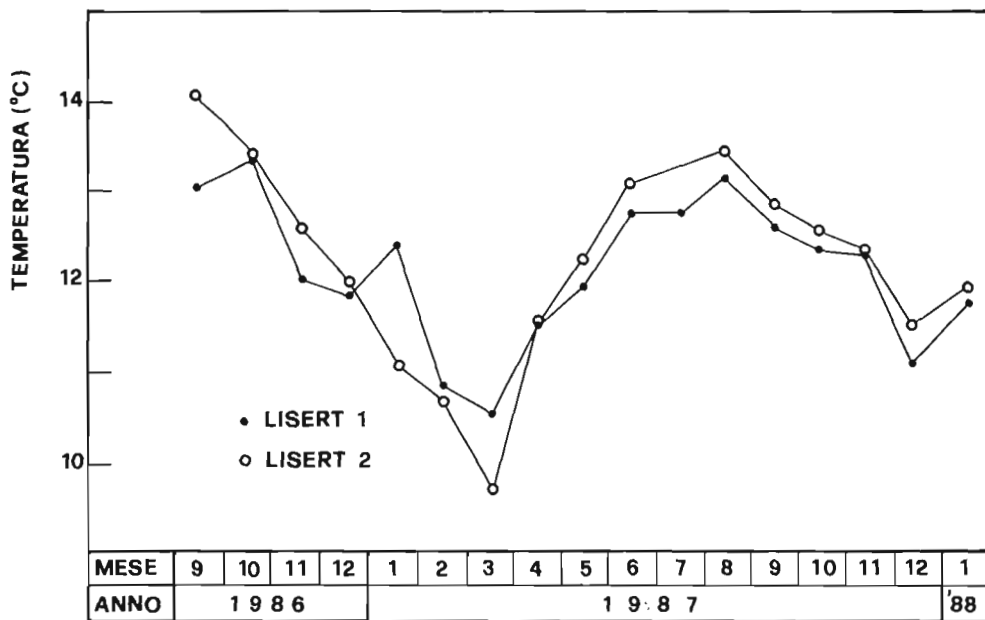


Fig. 13 Variazioni termiche dell'acqua delle sorgenti Lisert 1 e Lisert 2.

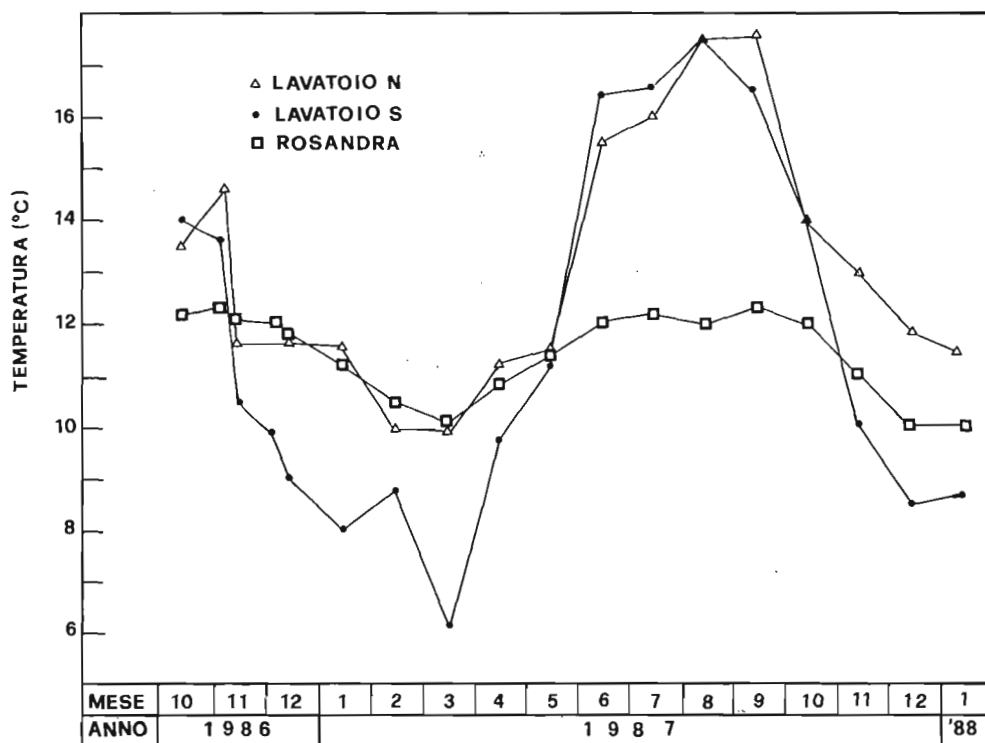


Fig. 14 Variazioni termiche dell'acqua delle sorgenti Lavatoio Nord, Lavatoio Sud e del torrente Rosandra.

Noi riteniamo invece che proprio la piccola differenza rilevata sia, pur indirettamente, una conferma dell'attendibilità del nostro modello. Infatti, i gradienti termici tra inverno ed estate per acque di circuiti locali (vedi per es. le variazioni termiche delle acque del Rosandra e della sorgente Lavatoio Nord [Fig. 14]) sono chiaramente assai maggiori, raggiungendo e superando i 10°C. Questo ci fa ritenere che le temperature estive dell'acqua delle sorgenti esaminate siano, in realtà, la conseguenza del modello di circolazione da noi proposto. Se infatti le acque estive sono alimentate da un circuito regionale di notevole sviluppo e profondità, è più che logico che tali acque possano subire un modesto ma rilevabile effetto di riscaldamento tenendo conto che la profondità del circuito può raggiungere e superare i 1000 metri. Un innalzamento termico dai 6-8°C presumibili come iniziali, ai 13°C circa in uscita è ben poca cosa per un circuito delle dimensioni di quello da noi ipotizzato.

È qui opportuno ricordare l'esistenza, nota fin dall'epoca romana, di acque termali, con ogni evidenza di origine carsica, nei pressi di Monfalcone, con temperature largamente superiori ai 40°C, nonché l'esistenza delle Terme di S. Stefano in Istria.

Quindi una serie di osservazioni concorrono a rendere attendibile il modello di circolazione e di alimentazione delle sorgenti carsiche da parte delle acque di due diversi "reservoirs". Gli andamenti delle curve isotopiche ottenute per le diverse sorgenti indicano quanto complesso possa essere un sistema idrologico in rocce fratturate, sistema che, pur rispettando un modello abbastanza generalizzato (sistematicità dell'inversione isotopica stagionale) mostra chiaramente, per ogni sorgente o gruppo di sorgenti, delle particolarità che le caratterizzano anche rispetto ad altre talvolta addirittura attigue.

Prima di concludere queste osservazioni si ritiene opportuno evidenziare un'altra peculiarità delle curve isotopiche ottenute, peculiarità che sembra fornire ulteriori, preziose informazioni.

Nell'esposizione dei risultati ottenuti dal fiume Isonzo, è risultata evidente la caratteristica "chiave" di questo fiume e cioè la costanza e la ripetitività nel tempo del valore minimo isotopico (primavera di ogni anno) legato alla fusione delle nevi nell'alto bacino del fiume.

Se si osservano con molta attenzione i grafici relativi alle altre sorgenti esaminate, si può rilevare che in diversi di essi, ma più marcatamente nel caso del Timavo 1, 2, 3, nei mesi di maggio 1985 e 1986 esiste una modesta ma chiara negativizzazione dei valori nel corso della loro evoluzione dai massimi invernali ai minimi estivi. Non sembra esistere, per questa circostanza, altra plausibile spiegazione che quella di una diretta interferenza del sistema idrologico dell'Isonzo con quello del Carso. È noto infatti che, nel tratto a valle di Gorizia e della confluenza col Vipacco, dove il corso dell'Isonzo sfiora il contatto tra le formazioni carbonatiche mesozoiche e le alluvioni della pianura isontina, esistono sostanziali perdite in sponda sinistra. Si può facilmente ipotizzare che nel corso delle piene primaverili, le perdite si accentuino sensibilmente ed almeno una parte di tali acque possa entrare nel sistema carsico determinando una leggera ma rilevabile negativizzazione delle acque con le quali esse vengono a miscelarsi. Mentre le acque del circuito carsico sembrano infatti mostrare in quel periodo  $\delta^{18}O$  dell'ordine di  $-7,7 : 7,8$  per mille, il  $\delta^{18}O$  delle acque dell'Isonzo è sensibilmente più negativo di  $-9,5$  per mille. In questo caso, per esempio, un apporto di acque isontine dell'ordine del 10% è sufficiente a giustificare la negativizzazione rilevabile nei valori del Timavo.

È ovvio che tutte queste considerazioni, pur logiche ed in ottimo accordo con i dati ottenuti, attendono una conferma definitiva che, con ogni probabilità, potrà venire da una nutrita serie di misure di attività Tritio che ci proponiamo di realizzare al più presto. Comunque, sulla base dei dati fino ad ora in nostro possesso, il modello proposto (a due componenti o "reservoirs" principali, più un terzo componente di entità minore e probabilmente variabile nel tempo a seconda delle pressioni nei relativi circuiti) sembra non trovare critiche sostanziali e risponde ragionevolmente sia ai risultati qui riportati, sia a tutti i dati sperimentali che sono stati fino ad oggi raccolti, nessuno dei quali contrasta sostanzialmente col modello da noi proposto.

## BIBLIOGRAFIA

- BOEGAN E., 1938 - *Il Timavo. Studio sull'idrografia carsica subaerea e sotterranea*. Mem. Ist. Ital. Speleol. Serie Geol. e Geof., Mem. II, Trieste, 1938: 1.
- D'AMBROSI C., MOSETTI F., 1971 - *Il conoide isontino e le sue falde acquifere nel loro stato attuale e con riferimento alle influenze carsiche collaterali*. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 11:19-36, Trieste 1972.
- EPSTAIN S., MAYEDA T., 1953 - *Variation of  $^{18}O$  content of waters from natural sources*. Geochim. Cosmochim. Acta, 4: 213-224.
- ERIKSSON E., MOSETTI F., HODOSCEK K., OSTANEK L., 1963 - *Some new results on the carstic hydrology with the employ of tritiated water as a tracer*. Boll. Geof. Teor. Appl., 5:18-32.
- FORTI F., TOMMASINI T., 1965 - *Prime notizie di una indagine termometrica sistematica alle risorgive del Timavo a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del vallone di Moschenizze (Carso Triestino)*. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 5:93-106.
- 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 Ottobre, Trieste, 6:43-60.
- GEMITI F., 1982 - *Nuova e originale prova di marcatura delle acque del Timavo*. Annali Gruppo Grotte Ass. XXX Ottobre, Trieste, 7:43-63.
- GONFIANTINI R., 1978 - *Standards for stable isotopes in natural compounds*. Nature (London), CCLXXII: 534-536.
- MOSETTI F., 1963 - *Nuove vedute sull'idrologia del Carso e sul fiume Timavo*. Adriatico, 10 (9-10): 11-14, Trieste 1963.
- MOSETTI F., POMODORO P., 1967 - *Nuove indagini con traccianti naturali sulla provenienza delle acque carsiche del sistema del Timavo*. L'Acqua, Anno 45(4):3-9, 1967.
- TIMEUS G., 1911 - *Il litio e la radioattività quali mezzi di indagine nell'idrologia sotterranea. L'origine del fiume Timavo*. Atti Soc. Ital. Progr. Sc., CXVI:751-771, 1911.
- TOMMASINI T., 1967 - *Indagine termometrica alle risorgive del Timavo a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del vallone di Moschenizze (Carso triestino)*. Biennio 1966-67. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 7:63-73, Trieste 1968.
- TOMMASINI T., 1968 - *Indagine termometrica alle risorgive del Timavo a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del vallone di Moschenizze (Carso triestino)*. Anno 1968. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 8:53-68, Trieste 1969.