

GIANCARLO BORTOLAMI (\*), BRUNO RICCI (\*),  
GIANFRANCO SUSELLA (\*\*), GIAN MARIA ZUPPI (\*)

## IDROGEOLOGIA DEL SISTEMA CARSIKO DI BOSSEA (Val Corsaglia, Alpi Marittime, Italia)

**ABSTRACT** — The underground water system feeding Bossea spring is formed, essentially, by strongly karstified mesozoic carbonate rocks. The latter are tectonically wedged into impermeable rocks mainly composed of Permian metaporphyrries and Permo-Eotriassic quartzites.

Several underground flow directions have been determined by colorimetric method. Thus it was possible to define the extension of the infiltration area as far as the shallow hole of Prà Nevoso in Maudagna Valley.

Environmental isotopes ( $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$ ) have been used between 1974 and 1976 to determine the altitude of recharge and the replay to the seasonal variations of the input in Bossea spring water.

### PREMESSA

Da diversi anni Ricercatori dell'Istituto di Geologia dell'Università di Torino si interessano di idrogeologia carsica ed hanno trovato uno splendido campo di applicazione nel Massiccio Marguareis-Mongioie (Alpi Marittime).

Sino ad ora sono stati oggetto di studio i bacini idrografici dell'alto Tanaro (FAZIO 1982), del Corsaglia (SUSELLA 1976), dell'Ellero-Maudagna (AMBROGIO 1975) e del Pesio (ZAULI 1979).

I futuri programmi di studio riguarderanno il completamento dell'area restante, in modo da arrivare ad una conoscenza dei vari bacini carsici in cui è frazionato il Massiccio Marguareis-Mongioie e, in ultima analisi, ad una sintesi dell'intero massiccio.

---

(\*) Istituto di Geologia dell'Università di Torino, Via Accademia delle Scienze, 5,  
10123 Torino.

(\*\*) Regione Piemonte, Servizio Geologico.



Fig. 1 - Ubicazione della Valle Corsaglia.  
Nel tratto medio della valle è compresa l'area di studio.

Parte degli studi risultano ancora inediti; i contributi dati alle stampe riguardano le carte idrogeologiche e della vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche delle valli Corsaglia, Ellero-Maudagna e Pesio (AMBROGIO et al. 1979; BORTOLAMI et al. 1979 a,b) e l'assetto idrogeologico della Val Corsaglia, ricavato tramite l'impiego della idrogeochimica tradizionale (BORTOLAMI et al. 1979 c) ed isotopica (BORTOLAMI et al. 1979 d).

### INQUADRAMENTO GEOIDROLOGICO

La Valle del Corsaglia è la più orientale di una serie di valli del Monregalese, simili per caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche, impostate nel Massiccio Marguareis-Mongioie (Alpi Marittime) e rivolte a Nord verso la pianura cuneese (fig. 1).

La superficie del bacino con chiusura in corrispondenza dell'abitato di Molline, laddove il Torrente Roburentello confluisce nel Torrente Corsaglia, è di 110 Km<sup>2</sup>.

L'entità della *lama media affluita* nel periodo 1921-1950, ricavata tenendo conto della relazione tra altitudine e precipitazioni sull'intero

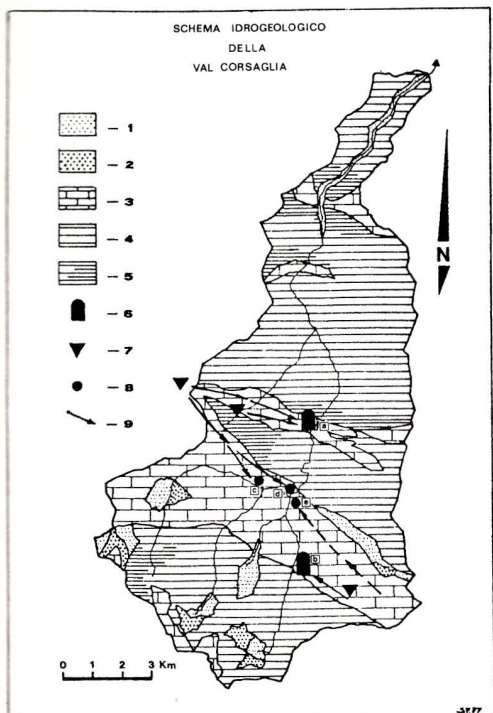


Fig. 2 - Schema geoidrologico e ubicazione delle principali emergenze carsiche nel bacino idrografico della Val Corsaglia.

- 1: Depositi morenici e alluvionali: permeabilità per porosità primaria da elevata a media
- 2: Depositi detritici: permeabilità per porosità primaria elevata
- 3: Calcarei Mesozoici del Brianzone: permeabilità per carsismo molto elevata
- 4: Complesso dei Calcescisti con Pietre verdi, porfiroidi permo-carboniferi e quarziti permoeotriassici del Brianzone: generalmente impermeabili
- 5: Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi, porfiroidi permo-carboniferi e quarziti permoeotriassici del Brianzone: locale, modesta permeabilità per fessurazione
- 6: principali grotte carsiche
- 7: doline ed inghiottitoi
- 8: sorgenti carsiche con portata media annua superiore a  $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ : (a) Grotta di Bossea, (b) Grotta della Mottera, (c) Stalla Buorch, (d) Ponte Murao, (e) Captazione Borello
- 9: andamento del deflusso sotterraneo determinato mediante colorazioni

versante meridionale delle Alpi Marittime, è stata di 1748 mm. Il regime pluviometrico, simile a quello appenninico, presenta un massimo primaverile accentuato ed uno autunnale più attenuato.

Sotto il profilo geologico, la valle è costituita, andando da Sud verso Nord, dalla successione di litotipi della «Zona del Flysch ad Helminoides» limitati alla testata del bacino, dai termini Mesozoici e Permo-Carboniferi della Zona Brianzone nell'alta e media valle e dal Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi nella parte bassa, prospiciente la pianura. Tale successione è riassunta nello schema geoidrologico di fig. 2.

L'assetto geologico-strutturale obbedisce a direttrici dominanti e costantemente dirette WNW-ESE ed è chiaramente responsabile di quello geoidrologico. La Serie Brianzone, calcarea ed abbondantemente incarsita, risulta suddivisa in diverse fasce ad andamento trasversale alla valle, formanti vari «sottobacini carsici» separati tra loro, del tutto indipendenti dal bacino geografico (es: sottobacino carsico di Bossea, della Verzera, ecc.) e caratterizzati da emergenze anche di notevole portata media, superiore a  $50 \text{ dm}^3/\text{s}$  (es.: Bossea, Mottera, ecc.).

Gli altri termini, essenzialmente impermeabili, sono interessati, soprattutto laddove la tettonica ha agito con particolare intensità, da una certa circolazione idrica guidata dal reticolato di fratture (SUSELLA 1976; BORTOLAMI et al. 1979 a,c,d).

## GENERALITÀ SULL'APPLICAZIONE DELLE TECNICHE ISOTOPICHE ALLA IDROGEOLOGIA

In tutti gli studi idrogeologici è di interesse fondamentale determinare la zona di ricarica ed il tempo di rinnovamento di un determinato circuito idrico sotterraneo e questo problema trova un'ottima risposta nell'utilizzazione degli isotopi ambientali.

I maggiori contributi nell'applicazione delle tecniche nucleari alla Idrologia sono soprattutto raggruppati in varie pubblicazioni edita a cura dell'International Atomic Energy Agency (IAEA) di Vienna.

### Relazioni tra Deuterio ed Ossigeno 18, con riferimenti alla situazione delle Alpi Marittime

Si richiamano brevemente i principi su cui si basa l'utilizzazione delle tecniche isotopiche all'Idrologia.

Nel corso delle precipitazioni, il contenuto isotopico in D (Deuterio) e in  $^{18}\text{O}$  (Ossigeno 18) mostrano una buona correlazione con la temperatura di condensazione, la quale a sua volta risulta legata da una relazione di tipo lineare con il valore della temperatura al suolo.

Da questo principio risulta l'interdipendenza del contenuto dei due isotopi pesanti e che tale contenuto in una data regione (a parità di latitudine, quindi) è legato al fattore altitudine, al cui effetto si deve essenzialmente il valore della temperatura media al suolo.

A scala mondiale le precipitazioni obbediscono alla seguente relazione:

$$\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} + d \quad (1)$$

Poiché la condensazione è un fenomeno che avviene sempre all'equilibrio, e cioè in condizioni di saturazione, l'inclinazione della retta espressa dall'equazione (1) rimane costante e prossima, come valore, a 8.

Il parametro «d», designato «eccesso in deuterio», risulta in genere vicino a + 10‰ specialmente per le masse d'aria umida di provenienza oceanica (CRAIG 1961). Se una parte significativa delle masse di vapore proviene da un bacino chiuso, il parametro «d» cambia. Nella zona più orientale del bacino mediterraneo, ad esempio, la composizione isotopica



delle precipitazioni obbedisce alla relazione (NIR 1967):

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 22 \quad (2)$$

Nel contesto delle Alpi Marittime (BORTOLAMI et al. 1979 d) la retta di correlazione ottenuta dai valori in  $\delta^{18}O$  e in  $\delta D$  delle precipitazioni distribuite in altitudine e campionate nei mesi di aprile '76 e ottobre '74 sono comprese tra la retta di CRAIG (equaz. 1) e quella di NIR (equaz. 2):

$$\text{Aprile} \quad \delta D = (8.00 \pm 0.11) \delta^{18}O + (12.08 \pm 1.29)$$

$$\text{Ottobre} \quad \delta D = (7.91 \pm 0.22) \delta^{18}O + (13.43 \pm 2.57)$$

La posizione intermedia è dovuta al fatto che le perturbazioni in questo tratto delle Alpi risentono di contributi mediterranei e possono quindi, come origine, essere definiti «misti». L'influenza delle masse d'aria umida mediterranee è maggiormente sentita nel periodo invernale (BORTOLAMI et al. 1979 c, d).

### Altitudine isotopica dell'area di ricarica

Dalla composizione isotopica di una emergenza qualsiasi è possibile risalire alla *altitudine media dell'area di ricarica* in base alla relazione altitudine-contenuto isotopico o, in altri termini, in base alla conoscenza del gradiente di frazionamento isotopico in altitudine.

Ciò presuppone che nell'area di ricarica le acque meteoriche si infiltrino senza essere state prima sottoposte ad evaporazione, in quanto questo fenomeno porta alla modificazione del contenuto isotopico originario.

In effetti, tale ipotesi difficilmente può verificarsi in zone caratterizzate da elevata permeabilità in grande, quali le zone carsiche, in corrispondenza delle quali l'infiltrazione delle acque meteoriche è quasi diretta e, comunque, molto rapida.

Le equazioni che esprimono i contenuti isotopici in funzione dell'altitudine nell'ambito delle Alpi Marittime sono leggermente differenti per i mesi di aprile e ottobre, in quanto risentono dell'effetto stagionale:

$$\text{ottobre} \quad \delta^{18}O\text{‰} = - (3.17 \pm 0.08) \cdot 10^{-3}h - (7.83 \pm 0.11)$$

$$\text{aprile} \quad \delta^{18}O\text{‰} = - (3.10 \pm 0.14) \cdot 10^{-3}h - (8.21 \pm 0.18)$$

I valori dell'altitudine isotopica di ricarica, con riferimento al sottobacino carsico di Bossea sono riportati in fig. 3. L'errore statistico nel calcolo dell'altitudine media di ricarica è di circa 70 m per il gradiente legato all'Ossigeno 18 e 40 m per quello al Deuterio.

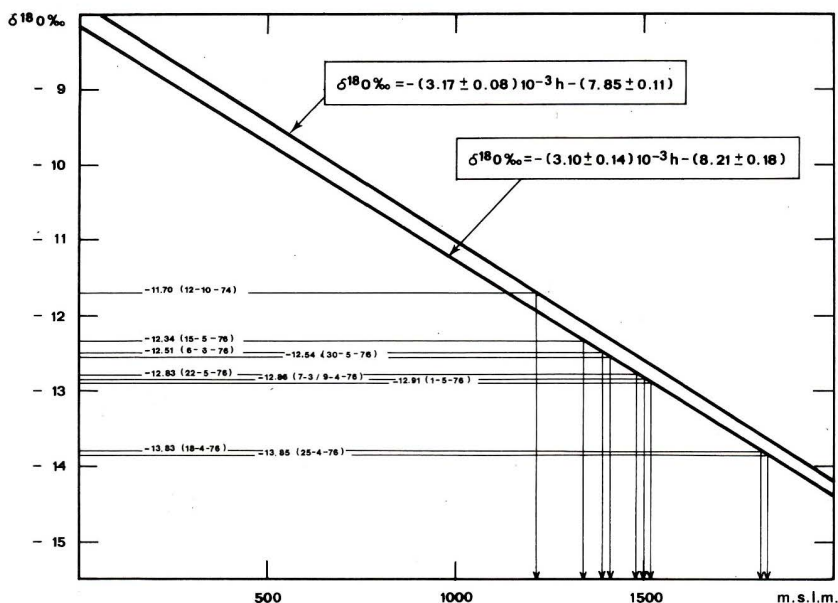


Fig. 3 - *Variazione del contenuto in Ossigeno 18 in funzione dell'altitudine nell'ambito delle Alpi Marittime. Le due rette sono state calcolate sulla base di campionature mensili delle precipitazioni raccolte a quote diverse. Riportando la composizione isotopica dell'emergenza è possibile risalire alla altitudine media della zona di ricarica del sistema idrico considerato.*

## IL SOTTOBACINO CARSICO DI BOSSEA

### Caratteristiche geomorfologiche

È il più settentrionale tra i grandi sottobacini carsici della valle; l'altitudine media è di circa 1300 metri.

È impostato nella fascia di scaglie tettoniche che attraversa la media valle con direzione WNW-ENE, parallelamente alla maggior parte delle strutture della zona.

I limiti del sottobacino sono chiaramente di natura meccanica: una fascia continua di quarziti a Nord, di quarziti e porfiroidi a Sud.

Le sequenze del Brianzonele entro le quali è impostato il bacino carsico sono rappresentate da: calcari arenacei del Cretaceo, calcari del

Giurese e, per la maggior parte, calcari dolomitici del Trias medio; esse formano una fascia di rocce che a partire dal Torrente Corsaglia si prolunga verso Ovest fino oltre lo spartiacque con la Val Maudagna (figg. 2,4,5).

La lunghezza è di almeno 5 km, se si assume come limite occidentale la zona di Prà Nevoso, in Val Maudagna, anch'essa direttamente legata al sistema carsico di Bossea; la larghezza della fascia carbonatica da poco meno di un chilometro si restringe fino a circa 100 metri, in corrispondenza della Colla del Prel.

Esattamente a metà del sottobacino, trasversalmente allo stesso, scorre il Rio Roccia Bianca, un affluente del Corsaglia che prende il nome da una alta costolatura di calcari del Trias, che sovrasta il corso d'acqua sulla destra idrografica.

Il Rio Roccia Bianca (figg. 4,5) nasce dal Pian dei Gorgi, attraversa la fascia di quarziti di M. Merdenzone, e, in corrispondenza della serie calcarea brianzonese, all'altezza di Tetti Formaggio, inizia a scorrere incassato. In questo tratto si realizza la perdita progressiva delle acque, le quali scompaiono completamente nello spazio di 200 metri entro una serie di inghiottitoi.

L'ingresso alla Grotta di Bossea è situato a 830 metri s.l.m., in corrispondenza di una vecchia emergenza, ora non più attiva, del circuito idrico sotterraneo il quale, attualmente, viene a giorno a livello del Corsaglia, circa 30 metri più in basso.

Per quanto riguarda le caratteristiche geo-morfologiche della grotta, si è fatto riferimento ai dati di varie esplorazioni speleologiche.

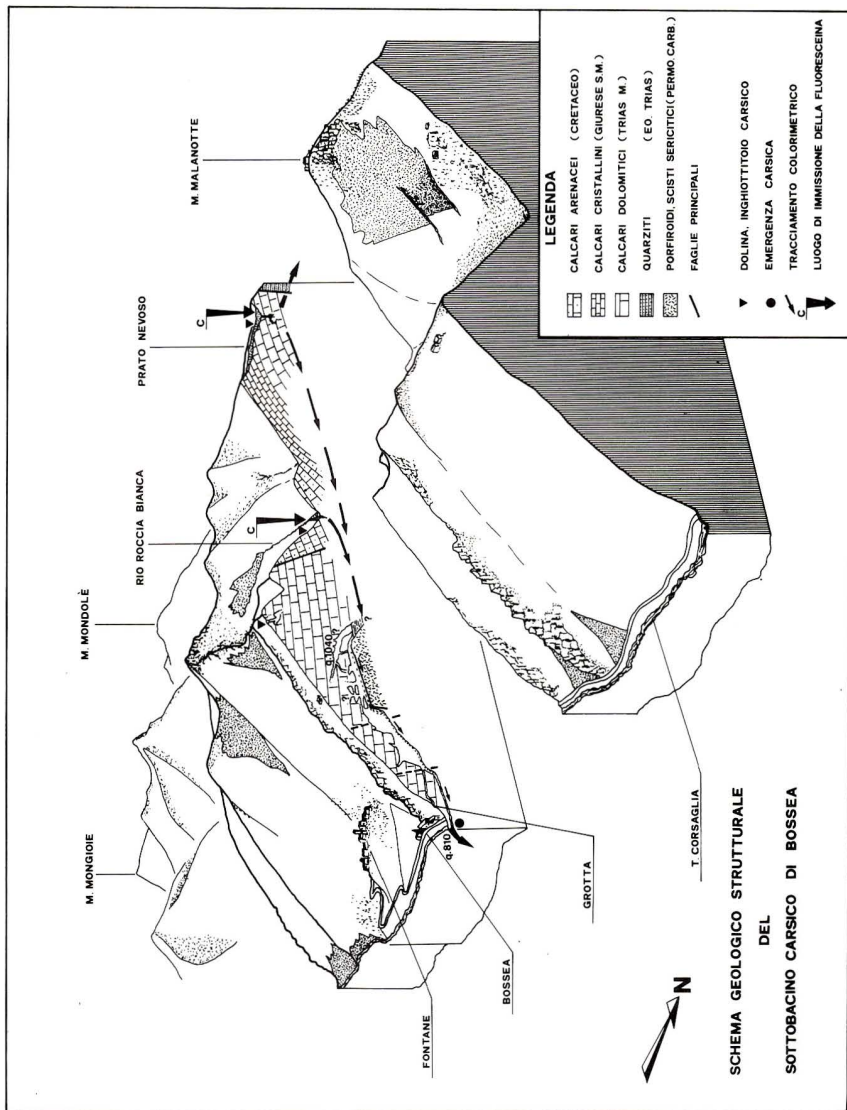
Le note tecniche che seguono sono state desunte da una pubblicazione del CAI UGET TORINO (1966).

Il sistema carsico della Grotta di Bossea (fig. 4) risulta sinora esplorato per uno sviluppo complessivo di circa 2000 metri; la direzione della cavità è, grosso modo, E-W nella prima metà e WNW-ESE nel secondo tratto; il dislivello massimo, finora misurato, è di + 204 metri rispetto alla quota di ingresso.

Tutta la grotta, salvo il ramo di uscita, è percorsa da un torrente perenne; nella parte più bassa del sistema sotterraneo le acque percorrono due grandi cameroni formati per crolli successivi durante il graduale fenomeno di approfondimento del circuito carsico, legato all'abbassamento del livello di base dei corsi d'acqua superficiali e sotterranei delle Valli Monregalesi.

La parte più alta della grotta si sviluppa su di un piano perfettamente orizzontale, per una lunghezza di circa 350 metri e si raccorda, tramite la cascata del Lago Ernestina, ad una serie di cameroni della

Fig. 4 - Schema geologico-  
co-strutturale del sottobacino  
carsico di Bossea. Le sequenze  
del Brianzone e entro le quali è  
impostato il bacino carsico di  
Bossea sono rappresentate da:  
calcarei arenacei del Cretaceo,  
calcarei del Giurassico e, per la  
maggiore parte, calcari dolomitici  
del Trias medio. Il sistema  
carsico di Bossea risulta sinora  
esplorato per uno sviluppo  
complessivo di circa 2000 me-  
tri.





parte bassa.

Il tratto superiore della grotta non riesce, per mezzo di fenomeni di erosione e di soluzione, ad abbassarsi e ad allinearsi al tratto inferiore a causa della presenza di rocce impermeabili e scarsamente solubili. Queste rocce, visibili sulla paretina che sovrasta il suddetto Lago Ernestina, sono di varia appartenenza (:miloniti del Complesso dei Porfiroidi (?) accanto a litotipi sicuramente del Permo-Carbonifero Assiale rappresentati da scisti sericitici molto laminati).

Nell'alveo del torrente ipogeo, nella parte alta, è frequente la presenza di ciottoli di quarziti, litotipi che più a monte evidentemente devono risultare intaccati dal sistema sotterraneo.

Uno dei principali problemi per gli speleologi, che in vari gruppi si sono avvicendati nell'esplorazione della grotta, è stato quello di ricostruire, almeno a grandi linee, il percorso sotterraneo delle acque a partire dalle zone di assorbimento fino all'emergenza.

La zona di Tetti Formaggio sembrava mostrare le caratteristiche cercate: scomparsa di un corso d'acqua superficiale sulla direttrice di un circuito carsico sotterraneo. In effetti, nel giugno del 1965, furono immessi 2 kg di fluoresceina da parte del G.S.P. (1975) entro le acque della succitata zona di perdita ed il colorante fu ritrovato, quattro giorni dopo, alla risorgenza di Bossea distante, in linea d'aria, 2,5 km.

Per quanto riguarda la dolina di Prà Nevoso, situata oltre lo spartiacque con la Valle Maudagna, già nel 1952 CAPELLO aveva prospettato la possibilità che tale inghiottitoio appartenesse al sistema carsico di Bossea. Tale ipotesi sembrava difficile da sostenere in quanto sul fondovalle del Maudagna, presso Case Bergamino, esiste una risorgenza che corrisponde per portata e regime alle perdite d'acqua nel sovrastante inghiottitoio. Prove di colorazione, entro la dolina di Prà Nevoso, effettuate dal G.S.A.M. di Cuneo, nel maggio 1975, hanno invece permesso di stabilire che l'acqua assorbita in quel punto fuoriesce sia all'emergenza di Case Bergamino, in Valle Maudagna, sia a quella di Bossea, in Val Corsaglia.

Ciò conferma la continuità dei circuiti carsici sotterranei tra Val Maudagna e Val Corsaglia e la indipendenza, quindi, del bacino idrogeologico da quello idrologico.

L'emergenza di Bossea risulta attrezzata di idrometrografo; le portate variano da un minimo invernale ( $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ad un massimo primaverile ( $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con periodi di magra anche in agosto-settembre e piene autunnali.

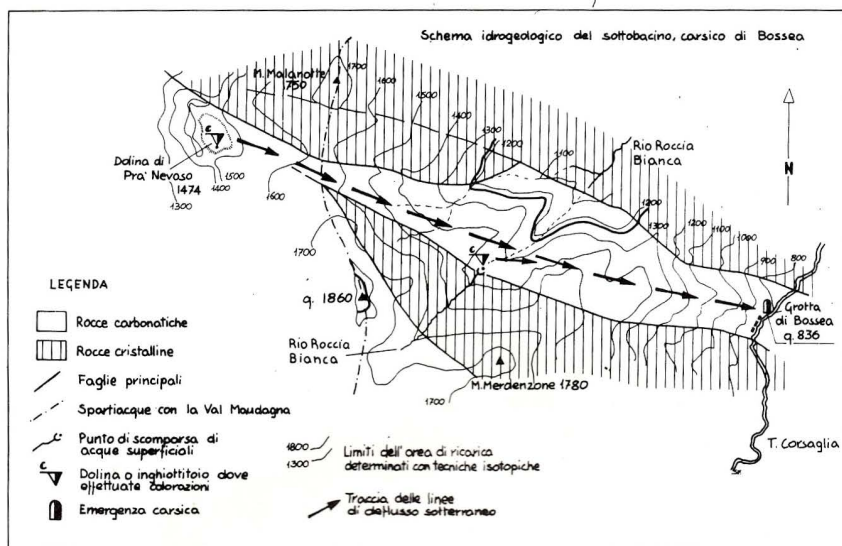


Fig. 5 - Schema geoidrologico del sottobacino carsico di Bossea. Sono riassunte le caratteristiche geoidrologiche: i limiti geologici, i punti di maggior assorbimento utilizzati per le prove di colorazione, l'andamento del deflusso sotterraneo da esse ricavato e i limiti altimetrici estremi di ricarica del sottobacino quali risultano dai dati isotopici: le quote limite sono comprese tra 1250 e 1850 metri s.l.m.

### Idrogeologia del sottobacino carsico di Bossea

Nel corso dei mesi primaverili del 1976 è stata effettuata una serie di campionamenti settimanali sui quali sono state eseguite analisi chimiche, a livello degli elementi maggiori, e isotopiche. I valori ottenuti (tab. I) hanno evidenziato sia gli sfasamenti che di regola intercorrono in ogni circuito sotterraneo tra l'epoca di immissione di un segnale meteorico e la ricomparsa dello stesso all'emergenza, sia a quale tipo di contributo idrico sembrano legati regime e caratteristiche geochemiche dell'emergenza.

Risulta chiaramente che il nesso tra apporti meteorici e deflusso può essere l'effetto di rapidi temporali locali, dello scioglimento del manto nevoso invernale, eventualmente differenziato per progressive fasce altimetriche o, più semplicemente, il contributo dell'acqua di base.

Data	Portata (dm <sup>3</sup> /s.)	Conduc. ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	pH	pCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	Cl <sup>-</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	Ca <sup>2+</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	Mg <sup>2+</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	Na <sup>+</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	K <sup>+</sup> (ppm) 10 <sup>-3</sup> × $\alpha$	IS cal	IS dol	$\delta D$ ‰ SMOW	$\delta^{18}O$ ‰ SMOW	d‰	h s.l.m. (m)
13-10-74	0,072	137	8,3	3,28	132 2,2	1,3 3,2	7,0 5,7	43,5 1,0	2,1 6,7	0,6 2,3	0,4 1,0	+0,30	-0,50	-81,4	-11,70	+12,2	1210
07-03-76	0,132	180	7,6	2,67	111 1,6	2,6 6,6	6,9 5,7	33,5 0,8	3,0 9,8	3,0 8,9	0,4 1,0	-0,60	-2,08	-88,4	-12,86	+14,5	1500
09-04-76	0,368	212	7,8	2,73	151 2,3	2,0 4,9	4,8 3,9	44,9 0,9	1,8 1,2	1,7 6,0	0,5 1,0	-0,20	-1,10	-89,4	-12,86	+13,5	1530
18-04-76	0,238	200	7,9	2,83	156 2,3	2,0 4,8	5,2 4,2	43,5 0,9	4,0 1,3	1,5 5,6	0,5 1,0	-0,10	-1,00	-97,3	-13,83	+13,3	1840
25-04-76	0,446	204	7,9	2,83	151 2,3	1,7 4,4	5,3 4,3	46,5 0,9	3,1 10	1,4 5,3	0,4 1,0	-0,10	-1,00	-97,6	-13,85	+13,2	1850
01-05-76	0,316	170	7,8	2,66	177 2,7	1,9 4,5	5,4 4,3	56,1 1,1	2,4 7,9	1,6 5,8	0,5 0,7	0,00	-1,00	-90,2	-12,91	+13,1	1550
14-05-76	0,464	195	8,0	2,93	148 2,3	1,6 4,0	9,6 7,7	46,0 0,9	1,9 1,2	1,9 4,9	0,8 0,9	0,00	-0,75	-85,8	-12,34	+12,9	1570
23-05-76	0,391	190	8,0	2,93	150 2,3	1,9 4,6	9,6 7,7	47,0 1,0	3,4 1,1	1,4 5,7	0,6 0,9	0,00	-0,75	-89,6	-12,83	+13,0	1530
30-05-76	0,225	185	7,9	2,75	180 2,5	1,6 3,8	10,1 7,9	59,8 1,2	3,1 9,5	1,0 4,0	0,8 0,9	+0,10	-0,70	-87,6	-12,54	+12,8	1440
06-06-76	0,243	185	8,0	2,93	148 2,3	1,5 3,4	9,5 7,6	47,0 1,0	3,5 1,2	1,0 3,9	0,5 0,7	+0,15	-0,70	-87,5	-12,51	+12,6	1440

TAB. I

Altitudine della sorgente s.l.m.: 810 m

a = attività ionica

IS = Indice di saturazione rispetto alla calcite ed alla dolomite:  $IS = \log PAI - \log K_s$ , ove  $PAI = aMe^{+} \cdot aCO_3^{-} \cdot eK_s$  = prodotto di solubilità.

d = eccesso in deuterio:  $d = \delta D - \delta D^{18}O$

h $\delta$  = altitudine isotopica di ricarica, in metri

pCO<sub>2</sub> = Logaritmo negativo, in base 10, della pressione parziale di CO<sub>2</sub>.

Le quote di ricarica, ottenute portando i valori isotopici sul diagramma «composizione isotopica in funzione dell'altitudine» (fig. 3) sono comprese, all'incirca, tra i valori 1250 e 1800 m (fig. 5). Per la conversione del valore isotopico riscontrato nell'ottobre 1974 nel corrispondente valore altimetrico si è usata la retta ricavata dalle precipitazioni durante lo stesso mese (BORTOLAMI et al. 1979 d).

I valori estremi: 1210 m (13 ottobre) e 1850, 1840 m (18 e 25 aprile) possono essere così spiegati:

- nel primo caso il tenore isotopico è caratteristico dell'«acqua di base» del sistema e va riferito ad un gradiente estivo. In altri termini si tratta di un campione medio del serbatoio idrico, dal quale deriva un valore in altitudine di ricarica pari, più o meno, al valore dell'altitudine media del sottobacino carsico di Bossea;
- nel secondo caso il tenore isotopico va riferito ad un gradiente invernale, poiché il circuito è alimentato da acque provenienti dalla fusione della neve stoccata in quota durante il periodo invernale.

Risulta comunque che le quote limite del bacino di assorbimento, comprese all'incirca tra 1250 e 1800 metri, delimitano chiaramente il bacino di ricarica del circuito di Bossea, comprendendovi anche la zona di Prà Nevoso, e quindi in perfetta concordanza con i dati delle colorazioni (figg. 4,5).

#### **Comportamento isotopico della sorgente di Bossea in funzione della differente evoluzione del serbatoio carsico**

Se nessuna interazione geochimica interessa le acque di un circuito nel loro percorso sotterraneo, un determinato «segnale di entrata» tende a riapparire alla emergenza, sia pure con un certo ritardo rispetto alla immissione; se invece queste interazioni si verificano, il «segnale» risulta mascherato oppure cancellato.

I parametri chimici ed isotopici che meglio si prestano ad illustrare le caratteristiche della circolazione sotterranea sono:

- il contenuto in cloruri e l'eccesso in deuterio, in quanto riflettono le variazioni stagionali dei contributi meteorici;
- il contenuto in ossigeno 18 e deuterio come indicatori dell'altitudine media della zona di ricarica e delle variazioni stagionali;
- la conducibilità, il pH, il contenuto in solfati, l'indice di saturazione rispetto alla calcite, per definire le interazioni acqua-roccia serbatoio (: e, quindi, indirettamente il tempo di soggiorno entro il circuito).



In fig. 6 sono riportate, per l'emergenza di Bossea, le variazioni nel tempo di vari parametri, tra i quali i sopra citati; esse consentono alcune importanti osservazioni in chiave idrologica:

- andamento parallelo tra portata, conducibilità e composizione isotopica con tendenza verso un valore costante, rappresentativo dell'acqua di base (base flow);
- andamento di pH, indice di saturazione verso calcite e dolomite, attività in cloruri, eccesso in deuterio, in modo indipendente dalla portata, con tendenza di tipo esponenziale verso un valore costante nel corso della stagione estiva.

Questi differenti comportamenti nel corso del ciclo annuale sono dovuti alla *transizione da una circolazione primaverile non dispersiva e non omogenea (piston flow) ad una circolazione dispersiva ed omogenea nel periodo successivo*.

a) Nel caso di circolazione non dispersiva e non omogenea si è osservato che «il segnale meteorico» arriva non mascherato all'emergenza: la composizione dell'acqua indica una ridotta interazione acqua-roccia serbatoio; il pH e l'indice di saturazione con la calcite sono lontani dall'equilibrio acqua-carbonati; le differenze di «imput meteorologico» all'ingresso sono mantenute all'emergenza nella fase primaverile (marzo-aprile).

Durante questo periodo conducibilità, deuterio e ossigeno 18 seguono l'andamento nel tempo della portata; l'attività in cloruri, l'eccesso in deuterio mostrano valori prossimi a quelli delle precipitazioni sia indirette (scioglimento del manto nevoso invernale) sia dirette che si verificano in questo periodo sull'area di alimentazione.

*Il segnale meteorico risulta così preservato*

b) Alla fine della primavera-inizio estate il deflusso sotterraneo diventa omogeneo e dispersivo in quanto le caratteristiche del segnale meteorico non sono più riscontrabili all'emergenza. La conducibilità, il contenuto in ossigeno 18 e in deuterio assumono valori abbastanza costanti ed indipendenti dalle variazioni di portata; l'attività in cloruri e l'eccesso in deuterio si allontanano dai valori primaverili fino a raggiungere (13/10/74) valori propri della media ponderata annuale; pH e indice di saturazione con la calcite indicano che l'equilibrio con le rocce carbonatiche è stato raggiunto. In questa situazione le caratteristiche idrogeologiche dell'acqua all'emergenza sono tipiche dell'acqua di base (base flow), nella quale ogni segnale meteorico risulta omogeneizzato e disperso.

Simili considerazioni sono emerse anche per altre sorgenti della Val Corsaglia (BORTOLAMI et al. 1979 c, d) e delle finitime valli Pesio (ZAU-LI 1979) ed Ellero-Maudagna (AMBROGIO 1975).

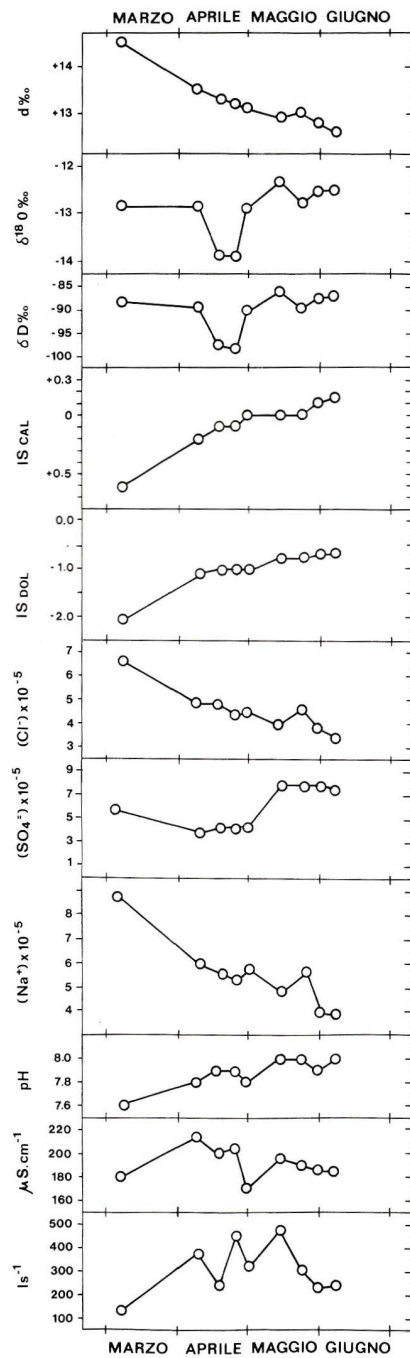


Fig. 6 - Variazione temporale della portata, della conducibilità, del pH, dell'attività degli ioni sodio, solfato e cloruro, degli indici di saturazione rispetto alla calcite e alla dolomite, del deuterio, dell'ossigeno 18 e dell'eccesso in deuterio dell'emergenza di Bossea.

## CONCLUSIONI

Risulta fondamentale l'abbinamento della geochimica isotopica con quella tradizionale nello studio idrogeologico dei bacini carsici. Grazie a questo apporto sono stati evidenziati due differenti sistemi di circolazione:

a) uno profondo, chimicamente omogeneo ed in equilibrio con la roccia serbatoio, rappresentativo dell'acqua di base;

b) una circolazione più superficiale e veloce, chimicamente variabile, in accordo con l'evolvere delle condizioni meteorologiche nell'area di alimentazione.

Il sottobacino carsico di Bossea ha rappresentato uno splendido esempio di applicazione di queste tecniche geochimiche.

Oltre alle caratteristiche dei due tipi di circolazione sotterranea, è stata ben definita, grazie all'apporto degli isotopi stabiliti ambientali ( $^2\text{H}$  e  $^{18}\text{O}$ ) le quote altimetriche estreme (1250 e 1800 metri) che definiscono i contorni del bacino di alimentazione di questo importante circuito carsico delle Alpi Marittime.

## BIBLIOGRAFIA

- AMBROGIO C., 1975 — *Studio idrogeologico delle Valli Ellero e Maudagna, Alpi Marittime*. Tesi Università di Torino (inedito).
- AMBROGIO C., BORTOLAMI G.C., RICCI B., 1979 — *Carta idrogeologica e della vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche delle Valli Ellero e Maudagna (Provincia di Cuneo)*. Tip. Bona, Torino.
- BORTOLAMI G.C., SUSELLA G.F., RICCI B., 1979a — *Carta idrogeologica e della vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche della Val Corsaglia (Provincia di Cuneo)*. Tip. Bona, Torino.
- BORTOLAMI G.C., RICCI B., ZAULI M., 1979b — *Carta idrogeologica e della vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche della Valle Pesio (Provincia di Cuneo)*. Tip. Bona, Torino.
- BORTOLAMI G.C., RICCI B., SUSELLA G.F., ZUPPI G.M., 1979c — *Hydrogeochemistry of the Corsaglia Valley, Maritime Alps, Piedmont, Italy*. J. Hydrol., 44: 57-79.
- BORTOLAMI G.C., RICCI B., SUSELLA G.F., ZUPPI G.M., 1979d — *Isotope Hydrology of Corsaglia Valley, Maritime Alps, Piedmont, Italy*. Isotope Hydrology (1978), IAEA, Vienna, 1:327-350.
- CAI UGET TORINO, 1966 — *Colorazione fatta dal Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET presso T. Formaggio, uscita a Bossea tra 4 e 18 giorni*. Rassegna Speleologica Italiana, Mem. 9, Speleologia del Piemonte, parte II, Il Monregalese.

- CAPELLO C.F., 1952 — *Il fenomeno carsico in Piemonte: le Alpi liguri*. Centro Studi Geogr. Fis. Ric. Morf. Idrogr. Carsica, CNR, Bologna.
- CRAIG H., 1961 — *Isotopic variations in meteoric waters*. Science, 133: 1833-1834.
- FAZIO G., 1982 — *Studio idrogeologico dell'Alta Val Tanaro, Alpi Marittime*. Tesi Università di Torino (inedito).
- GRUPPO SPELEOLOGICO ALPI MARITTIME, 1975 — *Colorazione fatta dal Gruppo Speleologico Alpi Marittime, CAI Cuneo, presso la dolina di Prato Nevoso in torrente con portata 30-40 l/s, 5 kg di fluoresceina, uscita a Bossea, Rio Sbornina, Case Bergamino*. Montagne nostre, Vol. Cent. 1975 CAI, Sez. Cuneo, PEANO G.: *Il Fenomeno carsico nel Cuneese*: 225-267.
- NIR A., 1967 — *Development of isotopic methods applied to groundwater hydrology*. Am. Geophys. Union, Monograph. 11: 109-116.
- SUSELLA G.F. 1976 — *Studio idrogeologico della Val Corsaglia, Alpi Marittime*. Tesi Università di Torino (inedito).
- ZAULI M., 1979 — *Studio idrogeologico della Valle Pesio, Alpi Marittime*. Tesi Università di Torino (inedito).