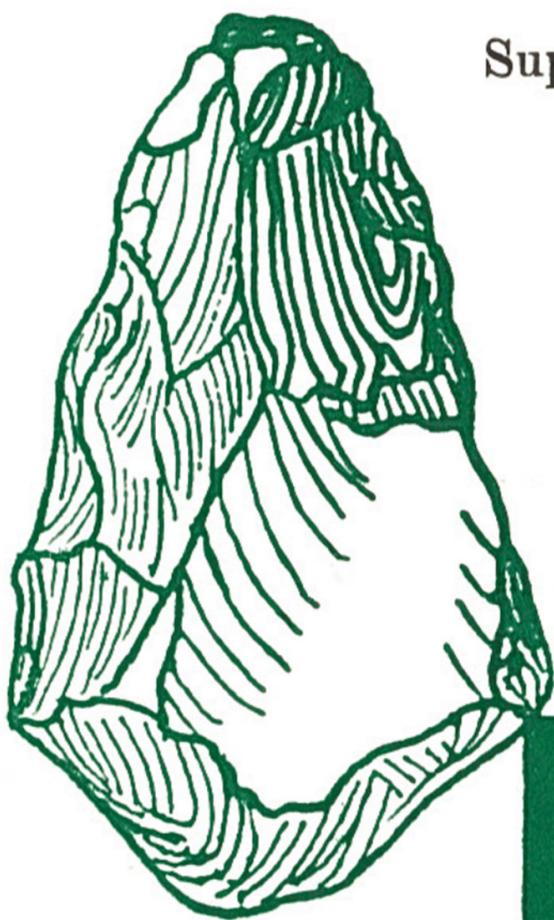


GUIDA DIDATTICA N. 4  
Supplemento alle "Memorie dello Speleo Club Chieti,,

C. BALBIANO D'ARAMENGO  
(Società Speleologica Italiana)

**Modalità d'impiego  
dei Traccianti Colorati in Speleologia**



CHIETI 1983



GUIDA DIDATTICA N. 4

Supplemento alle "Memorie dello Speleo Club Chieti,,

C. BALBIANO D'ARAMENGO

(Società Speleologica Italiana)

**Modalità d'impiego  
dei  
Traccianti Colorati in Speleologia**

CHIETI 1983

*Tip. Teate - Via Cauta, 11 - Chieti - Tel. 63654*

- Tutti i diritti sono riservati
- NUMERO UNICO  
in attesa di autorizzazione

## PRESENTAZIONE

*La presente memoria affronta una delle tematiche più interessanti, ricca di risvolti applicativi, offerta dalla speleologia scientifica ed esplorativa. L'autore ne ha curato ogni particolare con chiarezza, che gli è consueta, trasmettendo quei suggerimenti che solo una diretta e significativa esperienza nel settore può fornire.*

*Alla Società Speleologica Italiana va il ringraziamento per avere scelto questa sede che arricchisce con un nuovo ed interessante contributo la collana delle Guide Didattiche dello Speleo Club Chieti.*

*Alla Cassa di Risparmio della Provincia di Chieti va il nostro più sentito ringraziamento per l'interesse mostrato e il contributo alla realizzazione di uno stampato molto atteso, non solo dagli speleologi.*

Chieti, Aprile 1983



## Premessa

Il presente articolo ha essenzialmente lo scopo di fornire agli speleologi le informazioni pratiche per eseguire un'esperienza con traccianti, ovvero per stabilire il collegamento fra due corsi d'acqua.

E' noto che in idrogeologia i traccianti permettono di effettuare studi anche molto più complessi, ad esempio misure di permeabilità, di portata, calcolo dei volumi delle falde, ecc., ma si tratta solitamente di studi effettuati da specialisti. Il problema che si presenta allo speleologo è quasi sempre quello di collegare una perdita con una risorgenza e pertanto solo di questo parlerò in quest'articolo, rimandando, per gli altri studi, a un mio precedente lavoro che molti dei miei lettori già conoscono (16) e a molti lavori citati in bibliografia.

Traccianti idrogeologici ne esistono un'infinità ma, per motivi che verranno esposti oltre, da più di 100 anni la fluoresceina è il più impiegato in speleologia e pertanto questo lavoro verterà essenzialmente sull'uso della fluoresceina, accennando però all'impiego di altri traccianti, che talvolta è più opportuno usare.

## Il tracciante ideale

Nello studio di una circolazione di tipo carsico (quindi in speleologia), il tracciante ideale è quello che risponde ai requisiti seguenti:

- 1) alla concentrazione usata non deve essere velenoso o comunque dannoso per gli uomini, la flora e la fauna, dentro o fuori la grotta;
- 2) deve funzionare bene con acque acide o alcaline e non subire interferenze da parte di qualsiasi sostanza contenuta nell'acqua;
- 3) dev'essere una sostanza non presente naturalmente nella zona in istudio;
- 4) deve permettere misure quantitative;

- 5) non deve essere adsorbito da rocce, sabbia, argilla e detriti organici;
- 6) deve essere chimicamente stabile nel tempo;
- 7) deve essere molto solubile in acqua e scorrere con la stessa velocità dell'acqua, e non essere frenato meccanicamente da eventuali fiti naturali;
- 8) deve permettere di eseguire la stessa esperienza contemporaneamente su più corsi d'acqua;
- 9) il tracciante e il metodo per rilevarlo devono essere molto sensibili in modo da fornire risultati sicuri anche con piccole quantità;
- 10) il metodo di rilevamento dev'essere automatico o semiautomatico;
- 11) i materiali da impiegare devono essere di basso costo e di facile reperibilità;
- 12) il metodo deve poter essere eseguito con facilità e senza eccessivo impiego di tempo.

Naturalmente non esiste nessun tracciante ideale. Lo sperimentatore dovrà decidere, caso per caso, qual'è il più adatto per una certa esperienza, tenuto conto delle proprie possibilità. P. es. il punto 12), apparentemente privo d'importanza e certo di nessun significato scientifico, è purtroppo il fattore che vincola tante esperienze; gli speleologi italiani sono sempre dei dilettanti e per loro occorrerà un metodo che possa essere eseguito in uno o più week end, evitando prolungate soste alle risorgenze.

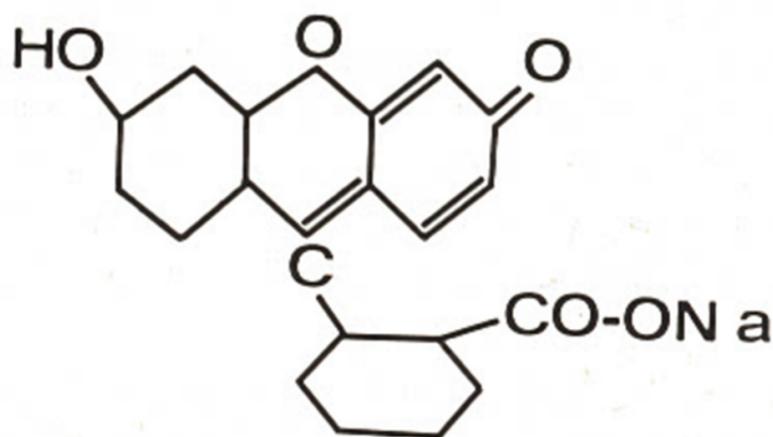
Nei miei precedenti lavori (15) e (16) ho elencato tutte le categorie di sostanze impiegabili. Fra queste le sostanze coloranti sono quelle di più semplice impiego e, nel loro ambito, la *fluoresceina* è la più pratica. Infatti:

- 1) alle concentrazioni solitamente usate non è dannosa per nessun essere vivente (lo stesso anche per concentrazioni molto più alte);
- 2) funziona bene con acque alcaline ma può essere anche impiegata con acque acide, con qualche accorgimento;
- 3) non è mai presente naturalmente nella zona in studio;
- 4) permette misure semiquantitative (anche se, a lato pratico, non si fanno quasi mai);

- 5) è poco adsorbita da rocce e sabbie, molto invece da argilla e sostanze organiche (questo è uno dei punti critici);
- 6) la stabilità chimica è, nel complesso, buona: infatti la fluoresceina è sensibilissima alla luce (ma sottoterra questo non è un problema) ed è poco influenzata dalla temperatura;
- 7) è solubilissima in acqua, scorre praticamente con la stessa velocità dell'acqua e non è arrestata da filtri naturali;
- 8) non permette la misura contemporanea su più corsi d'acqua;
- 9) la sensibilità è elevatissima;
- 10) il metodo di rilevamento è praticamente automatico;
- 11) il costo sembra alto per chi inizia a fare queste esperienze, ma in pratica è dello stesso ordine di tanti altri traccianti;
- 12) il metodo si esegue con facilità e in poco tempo.

### La fluoresceina

La fluoresceina ha la formula seguente:



Si tratta, come si vede, del sale sodico della resorcinaftaleina, detto *uranina*; ma poiché il termine fluoresceina è ormai entrato nell'uso comune, almeno fra gli speleologi, continuerò in questo lavoro, a chiamarla così.

Appartiene alla categoria delle sostanze fluorescenti, quelle cioè che assorbono la luce di una determinata lunghezza d'onda

e la emettono ad un'altra, generalmente superiore. Per la fluoresceina le lunghezze d'onda sono:

emissione:  $\lambda = 514 \text{ nm}$

assorbimento:  $\lambda = 491 \text{ nm}$  (\*)

Dal punto di vista pratico le conseguenze della fluorescenza sono:

- la soluzione acquosa della fluoresceina appare *verde per riflessione e gialla per trasparenza*; questo doppio colore si osserva benissimo in provetta e permette di distinguere, senza possibilità di equivoco, la fluoresceina da eventuali altre sostanze di colore simile;
- in caso di soluzioni molto diluite, invisibili ad occhio nudo e al colorimetro, è possibile, utilizzando lo *spettrofotometro a fluorescenza*, eccitare la sostanza con la sola luce di lunghezza pari a quella assorbita e analizzare la sola luce emessa. Ciò permette di raggiungere sensibilità elevatissime.

La fluoresceina, allo stato solido, è una polvere di color rosso scuro e ha lo stesso colore in soluzione molto concentrata. E' solubilissima in alcool ma anche molto solubile in acqua (e pertanto ritengo superfluo usarla in soluzione alcoolica, come alcuni consigliano).

Come accennato in precedenza, la fluoresceina è rilevabile in concentrazioni bassissime: fino a  $10^{-8}$  a occhio nudo e fino a  $10^{-11}$  con analisi strumentale; nessun altro tracciante fluorescente raggiunge questa sensibilità. A lato pratico è possibile rilevare concentrazioni ancora più basse, mediante l'uso dei fluorocaptori.

La fluoresceina è adatta per la marcatura di qualsiasi acqua, ma le acque molto acide (rarissime del resto, almeno nei nostri climi) ne provocano un certo decoloramento. Viene anche trat-

---

(\*) Questi valori sono desunti dal lavoro di Charrière (22). Su altri testi, e così a seguito di esperienze personali, altri potranno trovare valori leggermente diversi. In realtà queste lunghezze d'onda non sono rigorosamente assolute, ma anzi ci possono essere delle modeste variazioni in rapporto a numerosi parametri che sono stati analizzati molto dettagliatamente dal Charrière stesso.

tenuta e/o decolorata da molte sostanze organiche, quindi non è adatta per esperienze in terreni torbosi e acque ultra-inquinata da scarichi organici, ma è raro che questa eventualità si verifichi in modo determinante. Viene un po' decolorata dall'alta temperatura, ma la cosa non ha importanza in speleologia, a meno che non si abbia a che fare con acque termali molto calde (30).

Qualsiasi filtro naturale, il più comune dei quali è la sabbia quarzosa, trattiene un po' la fluoresceina, ma la restituisce dopo un certo tempo, risultando praticamente solo una diluizione, cosa che ha molta importanza per le osservazioni visuali ma scarsa se si usano fluocaptori, i quali accumulano la fluoresceina da soluzioni anche molto diluite.

Le argille invece costituiscono un serio inconveniente, in quanto, avendo reazione acida, fissano la fluoresceina in modo abbastanza stabile, nel senso che la restituiscono dopo un tempo che può essere anche di settimane e mesi. Per far fronte a questo inconveniente è stato proposto di aggiungere ammoniacca per rendere fortemente basica la soluzione; la quantità di ammoniacca occorrente è enorme, con un sicuro grave inquinamento dell'acqua e risultati comunque incerti. Consiglierei invece di ovviare in uno dei modi seguenti:

- usare quantità molto grandi di fluoresceina;
- non utilizzare fluoresceina in grotte che si presume attraversino terreni fortemente argillosi;
- osservare i fluocaptori dopo un tempo molto lungo (ovvero usarli accoppiati e prelevarne uno dopo un tempo breve e, se negativo, l'altro dopo un tempo molto lungo).

### **Impiego della fluoresceina**

Molti autori si sono sforzati di stabilire la quantità di fluoresceina necessaria per un esperimento. Martel propose la formula seguente:

$$K = LP$$

ove K = chilogrammi di fluoresceina necessaria

L = lunghezza supposta del percorso sotterraneo, in chilometri

P = portata del torrente alla risorgenza, in mc/sec.

Altri autori proposero formule più complicate, basate anche sul tempo di transito. La verità è che di solito prima di compiere l'esperienza non si hanno, ma solo si suppongono i dati inerenti alla formula, ed è gioco-forza andare per tentativi, prendendo le formule come puramente indicative. Del resto l'uso dei fluocaptori oramai generalizzato, le ha invalidate, essendo sufficiente una quantità più piccola di colorante.

Può essere eventualmente presa in considerazione una formula empirica proposta recentemente da Aley (11) e adatta, secondo l'autore, per esperienze con fluoresceina adsorbita da fluocaptori, operando con acque non acide ( $\text{pH} > 5,5$ ) e purché non siano presenti nel tragitto dei filtri naturali:

$$K = 1,5 \sqrt{D.P/v}$$

ove K = Kg di fluoresceina necessaria

D = distanza in Km, supposta rettilinea fra perdita e risorgenza

P = portata alla risorgenza, in  $\text{m}^3/\text{sec}$

v = velocità del corso sotterraneo, in m/h, supposta rettilinea fra perdita e risorgenza.

Con la fluoresceina viene fatta una soluzione acquosa utilizzando un secchio da 5-20 litri, e poi la si getta tutta in un colpo nell'acqua da marcare.

E' opportuno far notare che il torrente da marcare può avere anche una portata bassissima, magari solo dell'ordine di un litro al minuto. A volte, mancando qualsiasi perdita superficiale visibile, si può ricorrere a un giornata di pioggia per riscontrarla. Al limite, è anche possibile abbandonare la fluoresceina all'imbocco di un inghiottitoio: se l'acqua non c'è, verrà prima o poi. Naturalmente operando in tal modo la probabilità di riuscita dell'esperienza è un po' minore, ma a volte può essere opportuno correre qualche rischio piuttosto che perdere la giornata.

Nel colorare le acque si raccomandano queste precauzioni:

- a) Prima di gettare la fluoresceina bisogna avvisare gli abitanti del luogo, ed eventualmente anche gli enti pubblici, delle esperienze che si stanno compiendo, assicurando che la fluoresceina è assolutamente innocua per uomini, animali, vegetali e cose.
- b) Evitare che i propri indumenti e gli attrezzi speleologici che si hanno seco vengano a contatto con la fluoresceina secca o in soluzione, perché ciò porterebbe ad avere falsi risultati, anche in esperienze future. Infatti la fluoresceina secca è una polvere finissima e volatile; se maneggiata senza particolare attenzione, si crea un "fumo" che si attacca ai vestiti e alla pelle con molta facilità. Nel maneggiare la fluoresceina sarà bene indossare dei guanti, da usarsi una sola volta; molto pratici sono quelli di politene usati dai medici. E' anche opportuno avere con sé un sacco di plastica ove mettere i contenitori vuoti della fluoresceina ed altri materiali sporchi, che non devono essere lasciati sul posto, ma nemmeno inquinare ciò che si ha nello zaino.

E veniamo ora al sistema di rilevamento.

Per osservazioni visuali è importante considerare che, in generale, il colorante è visibile per un tempo grosso modo pari alla metà del tempo necessario al transito. Ad esempio, se la fluoresceina non è apparsa dopo 2 giorni, è sufficiente fare un'osservazione dopo 24 ore, un'altra dopo 36 ore, e via di seguito.

Per molti anni si è osservata la fluoresceina a vista; ora si è diffuso ovunque il metodo dei fluocaptorii (Dunn, 1959) che consiste nel far adsorbire la fluoresceina dal carbone attivato. Di questo metodo occorrerà parlare molto in dettaglio.

### **Caratteristiche dei fluocaptorii e messa in posa**

Il fluocaptore è una cartuccia contenente carbone granulare attivato ("charcoal") nel quale scorre l'acqua da studiare. Secondo il metodo originale (32) il carbone dev'essere di noce

di cocco, ma vanno bene anche altri tipi di carbone (vedi appendice).

A parità di altre condizioni la sensibilità di un fluocaptore è in rapporto diretto col volume di acqua che l'attraversa.

Quindi, nella sua forma più semplice, essa è un tubo di plastica chiuso alle estremità da reticella di plastica (tipo per mosche, o, se si desidera una maglia più fine, tipo per bomboniere; le maglie sono comunque in rapporto con la granulometria del carbone utilizzato). La reticella è tenuta in posizione da nastro adesivo per uso elettrico, in PVC.

Più il tubo è corto e più acqua vi passa; ritengo che un tubo con  $\varnothing = 2$  cm e pari lunghezza vada benissimo. Aumentando il diametro del tubo, senza variarne la lunghezza, non si ottiene un grande aumento di sensibilità e viceversa la costruzione è più fastidiosa. E' invece assai pratico fare dei sacchetti interamente di reticella così che il 100% della superficie possa essere attraversato da acqua; non consiglio l'uso delle calze di nylon perché la maglia troppo fine impedisce il passaggio dell'acqua. Sembra poi che dei contenitori per fluocaptori già pronti si possano trovare in commercio, utilizzando filtri per stufe a cherosene. Ciascuno potrà apportare dei piccoli vantaggi costruttivi; l'essenzialità è, ripeto, che il fluocaptore venga attraversato da un grande volume d'acqua.

Dopo accurato esame della zona compiuto con l'aiuto della carta topografica e della carta geologica, i fluocaptori vanno collocati in tutti i possibili punti di risorgenza delle acque, legandoli a delle grosse pietre con un cordino robusto e resistente all'acqua. I fluocaptori vanno nascosti dai raggi del sole perché la fluoresceina è fotosensibile (è sufficiente coprirli con una pietra) e nascosti alla vista di eventuali curiosi; ci si dovrà accertare che risultino sempre immersi in acqua anche prevedendo delle diminuzioni di portata, e che restino sempre fermi anche prevedendo aumenti enormi di questa; nei torrenti molto freddi non devono essere collocati presso il bordo, perché potrebbero essere incorporati dal ghiaccio che si può formare; inoltre non devono essere collocati sul fondo del torrente perché facilmente possono venir intasati da sabbia e neppure a pelo d'acqua perché possono venir intasati da detriti galleggianti. Se sono a forma di tubo, bisogna disporli parallelamente ai

filetti d'acqua e, in ogni modo, è preferibile una zona con forte corrente.

Man mano che un fluocaptore viene posato, si avrà cura di segnare su un taccuino: località, numero del fluocaptore (che deve essere inciso sul fluocaptore stesso), portata approssimativa del torrente, giorno e ora, eventuali osservazioni. Nell'eventualità che a raccogliere i fluocaptori non sia la stessa persona che li ha posati, sarà opportuno eseguire sul taccuino uno schizzo della zona di posa, e magari anche un segno di riconoscimento sul posto (ometto di pietre, incisione su tronco d'albero, ecc.) però non visibile al punto di destare la curiosità dei passanti.

Poiché le acque sotterranee possono fare degli scherzi imprevedibili, è opportuno controllare anche i torrentelli che sembrano avere probabilità minime di essere collegati con l'acqua in istudio. Si tenga presente che, se esiste una diffluenza sotterranea, una perdita superficiale di 20 litri al secondo può benissimo essere collegata con una risorgenza di 10 litri al secondo; che inoltre una sorgente può essere subalveare e quindi invisibile (in questa eventualità è bene controllare, a valle della zona in istudio, tutti i torrenti che possono farci nascere qualche sospetto; al limite, tutti in senso assoluto); che infine non si può escludere categoricamente l'esistenza di circolazione idrica sotterranea in nessun tipo di roccia.

Secondo la logica, tutti i fluocaptori dovrebbero venir posati prima di colorare il torrente. Dirò invece che chi ha una certa pratica può benissimo fare le due operazioni con l'ordine che gli è più comodo (purché — di norma — nello stesso giorno). Infatti è ben raro che il colorante gettato al mattino possa uscire il giorno stesso. Se ciò avviene significa che abbiamo a che fare con distanze brevissime, oppure con un corso sotterraneo eccezionalmente libero e veloce. In entrambi i casi si vedrebbe uscire il colorante, si da rendere superfluo l'uso del fluocaptore. E' invece molto importante che, prima di iniziare l'esperienza, si studi accuratamente la zona sì da sapere quanti fluocaptori andranno collocati, e dove. E' chiaro che se si dovessero interrompere le operazioni per mancanza di tempo o perché si sia rimasti privi di fluocaptori, e la fluoresceina fosse stata già gettata, tutto il lavoro rischierebbe di essere compromesso.

## Esame dei fluocaptori

Se ne apre uno e si mettono in una provetta alcuni granuli di carbone, p. es. 100 - 300 mg; si aggiunge qualche cc di soluzione di potassa alcoolica al 5-10% (cioè dell'alcool in cui si siano sciolte delle pastiglie di idrato di potassio (\*)) e si agita. Se il carbone conteneva fluoresceina lo si riconosce dopo alcuni secondi (o al massimo qualche minuto) senza possibilità di dubbio poiché la soluzione acquista una colorazione caratteristica, gialla per trasparenza e verde per riflessione.

Se la reazione è negativa, possono manifestarsi delle tenui colorazioni fra il giallo e il grigio, ma che non danno possibilità di equivoco. In questo caso si dovrà richiudere il fluocaptore ed esaminarlo nuovamente dopo alcuni giorni. Qualora la colorazione verde fosse di scarsa intensità, tanto da lasciare dei dubbi, si può esaminarla con lo spettrofotometro a fluorescenza, che fornisce una maggiore sensibilità. Ogni volta che si preleva un fluocaptore si abbia cura di segnare sul taccuino le notizie analoghe a quelle segnate durante la posa.

Qualora un fluocaptore sia risultato chiaramente positivo non si deve dichiararsi già soddisfatti, ma bisogna effettuare la stessa ricerca anche sugli altri, perché è sempre possibile una diffluenza sotterranea, e ciò vale soprattutto durante le piene. E' frequente infatti il caso di falde idriche che, al di sopra di un certo livello, possono scaricarsi da due o più risorgenze, anche molto distanti fra loro. A questo proposito osserviamo per inciso come spesso due esperienze con traccianti, eseguite sullo stesso sistema ma in condizioni idriche differenti, possano fornirci utili indicazioni sulle caratteristiche del sistema stesso.

---

(\*) La soluzione, se fatta con alcool etilico, deve essere usata entro pochi giorni; è meglio farla con alcool metilico perché si conserva indefinitamente; può, dopo qualche mese, assumere una tinta giallognola che però scompare per filtrazione. E' anche possibile sostituire la potassa alcoolica con dimetilformamide, che si acquista già pronta, ma la sensibilità è leggermente minore.

## Cause di falsi negativi

Qualora invece tutti i fluocettori siano negativi, pur essendo trascorso un tempo sufficiente, si deve presumere che la concentrazione di fluoresceina fosse al di sotto dei limiti di sensibilità. In tal caso si può migliorarla in uno dei modi seguenti:

- estrarre tutto il carbone in poco alcool;
- osservare la soluzione alcoolica attraverso un tubo di vetro stretto e lungo, paragonandola con altra soluzione sicuramente senza fluoresceina ("bianco");
- osservare l'estratto alla luce ultravioletta;
- osservare l'estratto con uno spettrofotometro a fluorescenza, utilizzando le due lunghezze d'onda caratteristiche della fluoresceina (assorbimento  $\lambda = 491$  nm; emissione  $\lambda = 514$  nm).

Strumenti di questo tipo non possono certo essere posseduti da un gruppo speleologico, ma si trovano generalmente presso gli Istituti di chimica analitica delle Università ed altri laboratori ove si eseguano analisi basate sulla fluorescenza.

Mentre i primi sistemi sono poco più che dei palliativi, quest'ultimo permette di migliorare la sensibilità di un fattore che può arrivare anche fino a  $10^3$ . Sconsiglio invece l'uso di un normale spettrofotometro il quale, anche se permette di operare alla lunghezza d'onda desiderata, non consente un gran miglioramento. Ovviamente, se dopo tutti questi accorgimenti permnessero dei dubbi, l'esperienza deve essere rifatta con una maggiore quantità di tracciante.

Abbiamo parlato dei falsi negativi dovuti a insufficiente quantità di tracciante, essendo questo il caso più frequente; è bene però fare un cenno alle altre possibili cause, che sono:

- non è stata controllata la risorgenza giusta;
- il tracciante è stato fissato lungo il percorso da sostanze adsorbenti (argille, sostanze organiche) o è stato decomposto dalla luce o da acidi;
- esame prematuro della risorgenza;
- il colore del tracciante è mascherato da altre colorazioni (è

un'eventualità molto rara, possibile in pratica solo per acque fortemente inquinate);

- il fluocaptore non è più al suo posto per la violenza dell'acqua o per interventi di uomini o animali; per ovviare a questo possibile inconveniente è bene che, almeno nelle risorgenze più importanti, di fluocaptori ce ne siano almeno due, e non troppo vicini gli uni agli altri;
- errori di laboratorio.

Nonostante le cause di falsi negativi siano molteplici, vorrei rassicurare chi si accinge a compiere le esperienze la prima volta; queste esperienze non sono affatto difficili, e riescono positivamente quasi sempre.

Per chi non ha molta esperienza, un errore relativamente frequente è l'esame prematuro delle risorgenze. Ciò può avvenire soprattutto quando si colora l'acqua di stillicidio nei pozzi d'alta montagna; ovviamente la portata è bassissima e può capitare che l'acqua colorata, prima di raggiungere il collettore sotterraneo, permanga a lungo in un lago ove il flusso è minimo. Quindi, ad evitare errori di questo tipo, è bene che in ogni risorgenza resti sempre sul posto almeno un fluocaptore, fin tanto che l'esperienza non ha dato un risultato sicuramente positivo.

### **Cause di falsi positivi**

Non sono affatto frequenti, ma pur sempre possibili.

I falsi positivi possono ricondursi a tre casi:

- contaminazione di reagenti, apparecchi, mani dell'operatore;
- errori di laboratorio;
- residuo del tracciante di un'esperienza precedente nel condotto sotterraneo.

Il buon senso suggerisce come ovviare agli inconvenienti descritti nei primi due casi, mentre per il terzo occorre spendere due parole.

Verrebbe da dire che, nel dubbio che un po' di tracciante dovuto a un'esperienza precedente sia ancora presente nel reticolo carsico, basti, prima della nuova esperienza, tenere per un certo tempo un fluocaptore alla risorgenza, e assicurarsi che sia negativo. Non sempre è così, perché un aumento di portata, e quindi del livello idrico, può rimettere in movimento la fluoresceina che era adsorbita sui terreni attraversati, ma sopra il pelo libero dell'acqua. Quindi, per far fronte a questa eventualità con certezza assoluta, bisogna cambiare tracciante.

## Conclusioni

Da tutto quanto si è detto, consegue che l'uso della fluoresceina e dei fluocaptori costituisce il metodo di gran lunga più semplice, economico e sicuro per gli speleologi che utilizzano il tempo libero per le proprie ricerche, ma che di solito non hanno da risolvere problemi troppo complessi.

E' il tracciante ideale per la circolazione in terreni carsici, mentre è meno valido per la circolazione in terreni porosi. Così pure è ottimo per accertare il collegamento fra due punti, ma poco si presta per reticoli idrici complessi e per misure quantitative.

Sono soprattutto evidenti gli enormi vantaggi dei fluocaptori. Una sola persona, utilizzando poche domeniche, può compiere un'esperienza per la quale un tempo erano necessarie alcune persone impiegate per diversi giorni. Questa metodica permette poi di utilizzare minori quantità di fluoresceina che non con l'osservazione visuale.

L'esame dei fluocaptori può essere fatto dopo un tempo lunghissimo. Infatti essi, posti in acqua corrente dopo aver adsorbito la fluoresceina, hanno dimostrato che in due settimane la quantità di sostanza colorante si dimezza, dopo di che la perdita è molto più lenta, tanto che dopo due mesi il quantitativo di fluoresceina contenuto è circa 1/3 di quello iniziale.

Per contro i fluocaptori hanno lo svantaggio di non rilevare l'epoca del passaggio della fluoresceina. A ciò si può in parte

ovviare conducendo l'esperienza in due tempi. Prima si ricerca la risorgenza in questione, scoprendo anche, entro un certo intervallo, la durata del percorso sotterraneo. Quindi si controlla visualmente l'epoca di uscita del colorante, ma osservando una sola risorgenza.

Faccio notare fra parentesi, anche se l'argomento è fuori dagli scopi di quest'articolo, che la durata di un percorso sotterraneo è un dato quanto mai variabile in relazione alla portata del momento; essa costituisce un dato utile per lo studio della circolazione idrica sotterranea, però è un valore da interpretarsi con molto spirito critico.

### Uso di altri traccianti

La fluoresceina è impiegata da oltre 100 anni, ma continua ad essere, come detto, il tracciante ideale per speleologi. Ma quando si devono effettuare nello stesso massiccio carsico due o più esperienze contemporanee o comunque in tempi ravvicinati, è utile poter disporre di altri traccianti.

Nei lavori (15) e (16) ho elencato diversi altri traccianti, colorati e non colorati. Resto sempre dell'idea che in speleologia i traccianti più pratici siano quelli colorati, e fra essi quelli fluorescenti (del tipo appunto a cui appartiene la fluoresceina). Pertanto farò un breve cenno a queste sostanze, rimandando, per ulteriori dettagli, ai lavori citati e ad altra bibliografia specifica. Aggiungo però che c'è qualche difficoltà ad avere in Italia alcune di queste sostanze, pur trovandosi sui cataloghi di produttori molto importanti.

Tutte le sostanze elencate qui di seguito possono essere adsorbite dal charcoal, come la fluoresceina, ma non sempre l'alcool metilico è l'estraente ideale. Vedi nelle righe seguenti.

#### *Rodamina B*

Le lunghezze d'onda di assorbimento ed emissione sono rispettivamente di 554 e 576 nm. La sensibilità, per osservazioni visuali, sembra essere di poco inferiore a quella della fluore-

sceina. Viene usata da molti anni ma da taluno è stato riferito che è cancerogena.

#### *Rodamina WT*

Le lunghezze d'onda di assorbimento ed emissione sono rispettivamente di 554 e 572 nm. La sensibilità è di  $10^{-10}$  lavorando con spettrofotometro a fluorescenza in condizioni ultrafavorevoli (questo dato e gli altri per le sostanze che seguono sono desunti da Bauer (9)).

Funziona bene con charcoal; come estraente sembra che l'alcool propilico sia più adatto di quello etilico e quello metilico. E' molto stabile alla luce e la fluorescenza è maggiore in ambiente acido che basico. Può quindi essere un buon complemento della fluoresceina.

#### *Rodamina FB*

La sensibilità è di circa  $10^{-10}$ . Funziona bene con charcoal ma deve essere estratta con dimetilformamide, secondo il metodo descritto da Perlega (9).

#### *Amidorodamina G extra (= solforodamina G extra)*

La sua sensibilità è di  $10^{-11}$ , appena di poco inferiore a quella della fluoresceina. Funziona bene con charcoal ma deve essere estratta con dimetilformamide.

Rispetto alla fluoresceina ha una migliore stabilità alla luce ma certi terreni l'adsorbono di più. La sua fluorescenza dipende strettamente dalla temperatura. E' difficile distinguerla dalla fluoresceina se sono entrambe presenti nella stessa soluzione.

#### *Eosina*

La sua sensibilità è di  $10^{-10}$ . Funziona bene con charcoal e potassa alcoolica. E' difficile distinguerla dalla fluoresceina se sono entrambe presenti nella stessa soluzione.

## APPENDICE

### Produttori di materiali

#### 1. *Traccianti*

Fluoresceina	Carlo Erba (e altri produttori esteri)
Eosina	idem
Amidorodamina G extra	Hoechst, Germania
Rodamina FB	BASF, Germania
Rodamina WT	Du Pont De Nemours, USA
Rodamina B	C. Erba

#### 2. *Carbone attivo*

Ne esistono molti tipi e tutti funzionano. I migliori sembrano essere quelli della Merck (rif. catal. Merck 2514) e della Norit (rif. Catal. Norit PKST).

La Merck è rappresentata in Italia dalla Bracco, mentre per la Norit ci si deve rivolgere a Milano: Norit Italia SpA, via A. da Giussano 23, 20145 Milano.

3. Alcool metilico, dimetilformamide e idrato di potassio si trovano con facilità presso ogni rivenditore di prodotti chimici.

C. BALBIANO D'ARAMENGO

## BIBLIOGRAFIA

1. Autori vari: Radioisotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1963.
2. Autori vari: Symposium on the Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1966.
3. Autori vari: Selected techniques in Water Resources Investigations. U.S. Geological Survey Water Supply paper 1892, 1966-67.
4. Autori vari: Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1967.
5. Autori vari: Symposium on Cave Hydrology and Water Tracing. Trans. CRG of G.B. 10, 2, 1968.
6. Autori vari: Guide book on Nuclear Techniques in hydrology, IAEA, Vienna, 1968.
7. Autori vari: Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1970.
8. Autori vari: Isotopes techniques in groundwater hydrology, IAEA, Vienna, 1974.
9. Autori vari: 3rd Int. Symp Undergr. Water Tracing, Ljubljana-Bled, 1976.
10. Autori vari: 4th Int. Symp. Undergr. Water Tracing, Bern, 1981.
11. Aley T., Fletcher M.W.: The Water tracer's Cookbook, Missouri Speleology, 16, 3, 1, 1976.
12. Apel R.: Karsthydrologische Untersuchungen in Malm der Südlichen und mittleren Frankenalb. Diss. Univ. München 1970 und Geologica Bavarica, ds Bd; 1971.
13. Balbiano d'Aramengo C.: L'impiego del carbone attivato quale adsorbente della fluoresceina nello studio della circolazione idrica sotterranea. Le Grotte d'Italia, 4, II, 203, 1968-69.
14. Balbiano d'Aramengo C.: Possibilité de différer l'analyse des fluo-capturs dans les expériences avec fluoréscéine comme traceur. Atti V Congr. Int. Spel., Stuttgart, 1969.
15. Balbiano d'Aramengo C.: Attuali disponibilità e possibilità dei traccianti idrologici in speleologia. R.S.I., IV, 2, 157, 1972.
16. Balbiano d'Aramengo C.: Qualche novità sui traccianti idrogeologici, Notiz. SSI, 5-6, 1977.

17. Batsche H.: Karsthydrologische Untersuchungsmethoden. *Geologica Bavarica*, 64, 132, 1971.
18. Bertuccioli M., Reichenbach G., Salvatori F.: Relation between Monte Cucco underground hydrography and Scirca spring. *Ann. Spél.*, 30, 4, 733, 1975.
19. Brown M.C., Ford D.C.: Quantitative tracer methods for investigation of karst hydrologic systems. *Trans. CRG of G.B.*, 13, 1, 37, 1971.
20. Buchtela K., Mairhofer J., Maurin V., Papadimitropoulos T., Zötl J.: Comparative investigations into recent methods of tracing subterranean water. *Bull. Nat. Spel. Soc.*, 30, 3, 55, 1968.
21. Castany G.: *Traité pratique des eaux souterraines*, Dounod, Paris, 1967.
22. Charrière R.: Perfectionnement à la mesure des traceurs fluorescents. Applications à l'hydrogéologie, thèse; juin 1974, Grenoble.
23. Chochon N.: Utilisation des filtre-temoins au carbon actif. *Spéléologie*, 36, 11, 1963.
24. Cotecchia V., Pirastru E.: Sull'impiego di traccianti radioattivi, analisi per attivazione e tecniche di frazionamento isotopico in idrogeologia. *L'Acqua*, I, XLIV, 1966.
25. Cotecchia V., Pantanetti F.: I radioisotopi nell'idrologia e nella geologia applicata. *Atti XI Congr. Nucl. Int. CNEN*, Roma, 1966.
26. Cotecchia V., Pirastru E.: Nuove prospettive per la misura nucleare di traccianti stabili (cadmio, boro) nelle acque sotterranee. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, IV, 149, 1969.
27. De Santis L., Mosetti F.: Alcuni ragguagli sulle ricerche idrologiche con traccianti. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, III, 10, 1, 1961.
28. Drogue C.: Réflexions sur les possibilités offertes par les traceurs, pour la mesure de la vitesse d'écoulement dans les roches calcaires fissurées. *Bull. B.R.G.M.*, 2, III, 4, 21, 1971.
29. Erikson E., Mosetti F.: Sur l'emploi du tritium comme traceur dans des problèmes d'hydrologie souterraine. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, IV, 16, 357, 1962.
30. Fabriol R., Pouzancre H.: Evolution de la fluoréscéine en milieu thermique jusqu'à 200 °C. *Hydrogéologie, Géologie de l'Ingénieur*, bull. BRGM, s. 2, III, 3, 249 1980-81.
31. Giammona Ch.: Fluorescent dye determinations of groundwater movement and contamination in permeable rock strata. *Int. J. Speleol.*, 5, 3/4, 201, 1973.
32. Granier C., Vila G.: Nouveau procédé de detection da la fluoréscéine

- (tradotto da un articolo di Dunn su *Speleo Digest*), *Spelunca*, 1, 26, 1961.
33. Haas J.L.: Evaluation of ground water tracing methods used in speleology. *Nat. Spel. Soc. Bull.*, 21, 2, 67, 1959.
  34. Haubert M.: Utilisation des méthodes isotopiques dans l'étude du comportement de l'eau en milieu karstique. XI Congr. Rhône, Alpes, Thonon Les Bains, 31/3, 1/4, 1973.
  35. Mägerlein S.D.: A liquid chromatographic technique for improving fluorescein dye tracing test. *CDS Newsletter*, 29, aug. 1975.
  36. Mangin A.: Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Ann. Spéléol.*, 29, 3, 283, 1974; 29, 4, 495, 1974; 30, 1, 21, 1975.
  37. Martin R., Thomas A.: An example of the use of bacteriophage as a groundwater tracer. *J. Hydrol.* 23, 1/2, 73, 1974.
  38. Molinari J., Rochat J.: Synthèse bibliographique sur la toxicité des substances fluorescentes utilisées en hydrologie. *Int. J. Spel.*, 10, 3/4, 269, 1978.
  39. Molinari J.: Le traceurs isotopiques en hydrogéologie. *Ann. des Mines*, 13, 1969.
  40. Molitvin P.V.: Study of the relationship between surface and subsurface fissure-karst waters in the Ay River Basin. *Soviet Hydrology*, 6, 557, 1968.
  41. Mosetti F.: Su alcuni nuovi sviluppi nelle ricerche idrologiche con traccianti. *Osserv. Geofis. Speriment., Relazioni su ricerche e studi promossi dall'Anidel, Trieste*, 1962.
  42. Mosetti F.: Nuova interpretazione di un esperimento di marcatura radioattiva del Timavo. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 7, 27, 218, 1965.
  43. Pease C.R.: Ground water tracers. *Arizona Caver*, 4, 4, 1967.
  44. Pirastru E., Carlin F., Dai Pra G.: Prime applicazioni di sonde a neutroni per la rivelazione di un tracciante stabile (cadmio) in idrogeologia. *Geol. Appl. Idrogeol.* I, 123, 1966.
  45. Pollack V.A., Perkovic J., Hribar F., Bidovec F.: Absortive Ultramikromethode zur Bestimmung des Fluoreszein im Wasser. *Steir. Beitr. Hydrogeol.*, 4, 159, 1966-67.
  46. Pouchan P.: La possibilité de mesures infrarouge en spéléologie. *Spelunca Mém.*, 5, 74, 1967.
  47. Quinlan J.F., Rowe D.R.: Hydrology and water quality in the Central Kentucky Karst: phase I. Manag. Rep. 12, Nat. Park Serv., Uplands Field Research Lab., Mammoth Cave, 1977.

48. Robinson T.W., Donaldson D.: Pontacyl brilliant pink as a tracer dye in the movement of water in phreatophytes. *Water Resources Research*, 3, 1, 203, 1967.
49. Rochat J., Alary J., Molinari J., Charrière R.: Séparation physicochimique de colorants xanthéniques utilisés comme traceurs en hydrologie. *J. Hydrol.*, 26, 277, 1975.
50. Rochat J., Alary J., Fourneau J.C.: Comportement des traceurs fluorescents xanthéniques. Influence des principaux composants du sol sur la rétention du traceur. *Spélunca*, 3, 22, 1981.
51. Salbidegoitia J.M.: Trazadores, Kobie (Bilbao). *Bull.*, 2, 25, 1970.
52. Sargeant K.: The deep culture of bacteriophage. In: Norris J.R., Ribbons D.W. eds, *Methods in Microbiology*, 1, 505, Academic Press, 1969.
53. Scanlan J.W.: Evaluation and application of dye tracing in a karst terrain. Thesis, Univ. Missouri at Rolla, 1968.
54. Smart P.L.: The use of optical brighteners for water tracing. *Trans. B.C.R.A.*, 3, 2, 62, 1976.
55. Schnitzer W.A.: Die Anwendung von Alkylbenzosulfonaten zur Markierung unterirdischer Wasserwege. Mem. I. AH-Kongress 7, 217, 1967.
56. Schnitzer W.A.: Achallimpulse und ihr Verlauf in Karst. *Geol. Bl. NO-Bayern*, 17, 13, 1967.
57. Schöller N.: *Les eaux souterraines*. Masson, Paris, 1972.
58. Stepphun H., Meiman J.R.: Automatic detection of waterborne fluorescent tracers. *Int. Ass. Sci. Hyd. Bull.*, 16, 4, 83, 1972.
59. Turner G.K., Associates: Fluorometry in studies of pollution and movement of fluids, *Fluorometry Review*, Acc. No. 9941A, 1970.
60. Villinger E.: Karsthydrologische Untersuchungen auf der Reutlinger Alb. *J. Geol. Landesamt Baden Württemberg*, 11, 201, 22 Abb., Freiburg, 1969.
61. Weiss M.: Sea and earth surface temperature measurement using infrared. 2nd Symp. Remote Sensing Envir. Proc. Univ. Michigan, Ann. Arbor, 343, 1963.
62. White W.B.: Modification of fluorescein dye groundwater tracing techniques. *Steir. Beitr. Hydrogeol.*, 151, 1967.
63. Wilson J.F., Jr.: Fluorometric Procedures for dye tracing, U.S. Geol. Survey, *Techn. Water Resources Invest.*, 3, A12, 1968.

