| Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan" | Vol. 40 (2004) | pp. 45-61 | Trieste 2005 |
|---|---|---|---|

FABIO GEMITI (*) – ENRICO MERLAK (**)

# INTERPRETAZIONE DELL'ESPERIMENTO DI MARCATURA CON TETRACLORURO DI CARBONIO DELLE ACQUE DI FONDO DELLA GROTTA A.F. LINDNER (3988 VG)

**RIASSUNTO**

*Sul fondo della grotta A.F.Lindner avvengono periodici innalzamenti dell'acqua di fondo a cui corrispondono fenomeni di piena alle Foci del Timavo.*

*Negli anni settanta venne installata dall'Associazione XXX Ottobre CAI di Trieste una stazione automatica che garantiva la registrazione costante dei livelli. Tale stazione era uno dei primi impianti sperimentali costruiti in Italia per questo uso e funzionò regolarmente fino al settantanove.*

*Nel maggio 1982, nel corso di una piena successiva alla caduta di circa 100 mm di pioggia, furono immessi sul fondo della grotta 2,4 Kg di $CCl_4$. Il tracciante comparve dopo 9 giorni quasi contemporaneamente alle Foci del Timavo (III ramo) e alle sorgenti del Sardos con concentrazioni simili e si esaurì quasi contemporaneamente al Timavo e al Sardos dopo circa sessanta ore.*

*Attraverso il monitoraggio costante delle acque fu possibile stabilire che la quantità di tracciante fuoriuscita a Duino era la stessa immessa nella grotta Lindner e quindi l'esperimento si poteva considerare di notevole importanza in quanto ben riuscito e ben definito, caso raro se non unico negli episodi di marcatura delle acque del territorio carsico.*

*Nel 1999 fu installata sul fondo una nuova strumentazione in continuo a cura del Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università degli Studi di Trieste.*

*Utilizzando i dati forniti dalla nuova strumentazione per gli anni 1999-2002, dati rivelatisi importanti per definire i tempi di immissione del tracciante nella falda, gli autori descrivono i risultati dell'esperimento proponendo un modello idrologico nuovo che interessa soprattutto la zona delle risorgive di S.Giovanni di Duino.*

**ABSTRACT**

*The bottom of the A.F. Lindner Cave is characterised by periodic rises in the water level, linked with river flood episodes at the Timavo springs.*

*In the 1970's, the XXX Ottobre Association of the Italian Alpine Club installed an automatic station to constantly record water level data. This station was one of the first experimental measurement sites built in Italy to this aim and was regularly in use until 1979. In May 1982, during a river flood following rainfall amounting to approximately 100mm, 2.4Kg $CCI_4$ were introduced into the cave bottom. After 9*

(*) Chimico, Via Tedeschi 3, I-34123 Trieste, gemiti@tin.it

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

*days, the tracer was found almost simultaneously at the Timavo springs (3rd branch) and at the Sardos springs in similar concentrations and became no longer visible almost simultaneously at both sites after approximately 60 hours.*

*Constant monitoring of waters highlighted that the quantity of tracer that emerged in Duino was the same as the quantity that had been introduced in the Lindner Cave, which means that the experiment had been successful and could thus be considered a unique achievement in the field of water tracing in karst areas.*

*In 1999, the Department of Geological, Environmental and Marine Sciences of the University of Trieste installed a new device on the bottom of the Cave.*

*The analysis of the data recorded by the new station between 1999 and 2002 — data that were deemed of utter importance to define when to introduce the tracer into the aquifer — enabled us to present the results of the experiment and propose a new hydrogeological model, basically concerning the S.Giovanni di Duino spring area.*

**POVZETEK**

*Na dnu jame A.F. Lindner ( Lisičja jama) se ciklično ponavlja dvigovanje talne vode s posledičnimi poplavami ob izlivu Timave.*

*V sedemdesetih letih prešnjega stoletja je društvo XXX Ottobre CAI iz Trsta postavilo avtomatično merilno postajo, ki zagotavlja stalni monitoring nivoja vode. Ta je bila ena izmed prvih sperimentalnih postaj, ki so jih nastavili v Italiji in je delovala brezhibno do leta 1979.*

*Med porastom vodnatosti, ki jo je maja 1982 povzročilo 100 mm padavin, so na dnu jame spustili 2,4 Kg $CCl_4$. Indikator se je pojavil po devetih dneh skoraj istočasno ob izlivu Timave (tretja veja) in ob izviru Sardosa v podobnih koncentracijah, po 60-ih urah pa je ravno tako skoraj sočasno zvodenel.*

*S stalnim opazovanjem vod so lahko določili, da je izlita količina v Devinu enaka doliti količini v jami Lindner. V kolikor je preizkus povsem uspel, je zagotovo dosegel izredno važnost; gre namreč za preizkus izrednega pomena, saj je dobro uspel in bil dobro definiran, kar predstavlja redko če še ne edinstveno izjemo pri markacijah kraških voda.*

*Leta 1999 je oddelek za geološke vede, okolje in morja tržaške univerze postavil novo postajo. Z uporabo v obdobju 1999-2002 nabranih podatkov, ki so zelo važni za določanje časa spuščanja indikatorja v vodnoprepustno plast, lahko avtorji vpišejo izsledke preizkusa in predložijo nov prikaz hidrološkega stanja, ki zadeva predvsem področje studencev pri Štivanu.*

## Introduzione

La scoperta della grotta A.F.Lindner (3988 VG), avvenuta nel 1967 (Skilan, 1976), ha consentito di superare alcune delle difficoltà di base riscontrate nello studio del sistema idrico sotterraneo del Carso triestino, le cui acque di fondo emergono e defluiscono copiosamente principalmente nell'area di S. Giovanni di Duino (foci del Timavo e risorgive del Randaccio o Sardos) dove sono state utilizzate per molti decenni per l'approvvigionamento idrico della provincia di Trieste.

I due punti più profondi della cavità Lindner, situati rispettivamente a 1,90 metri s.l.m. nel pozzo finale e a 9,40 metri s.l.m. nella galleria discendente (Rucavina, 1998) e ad una distanza di circa 7 km dalla zona delle risorgive, sono periodicamente interessati da innalzamenti e riempimenti d'acqua (fig.1).

Nel 1972 venne installato dall'Associazione XXX Ottobre CAI di Trieste un impianto di registrazione automatica in continuo del livello delle acque ad intervalli di un'ora. Nel periodo dicembre 72 – gennaio 75 furono registrati 18 fenomeni di piena. Lo studio delle curve (Favretto, Milani 1972 e Gemiti, Milani, 1977) ha consentito di definire in modo inequivocabile che:

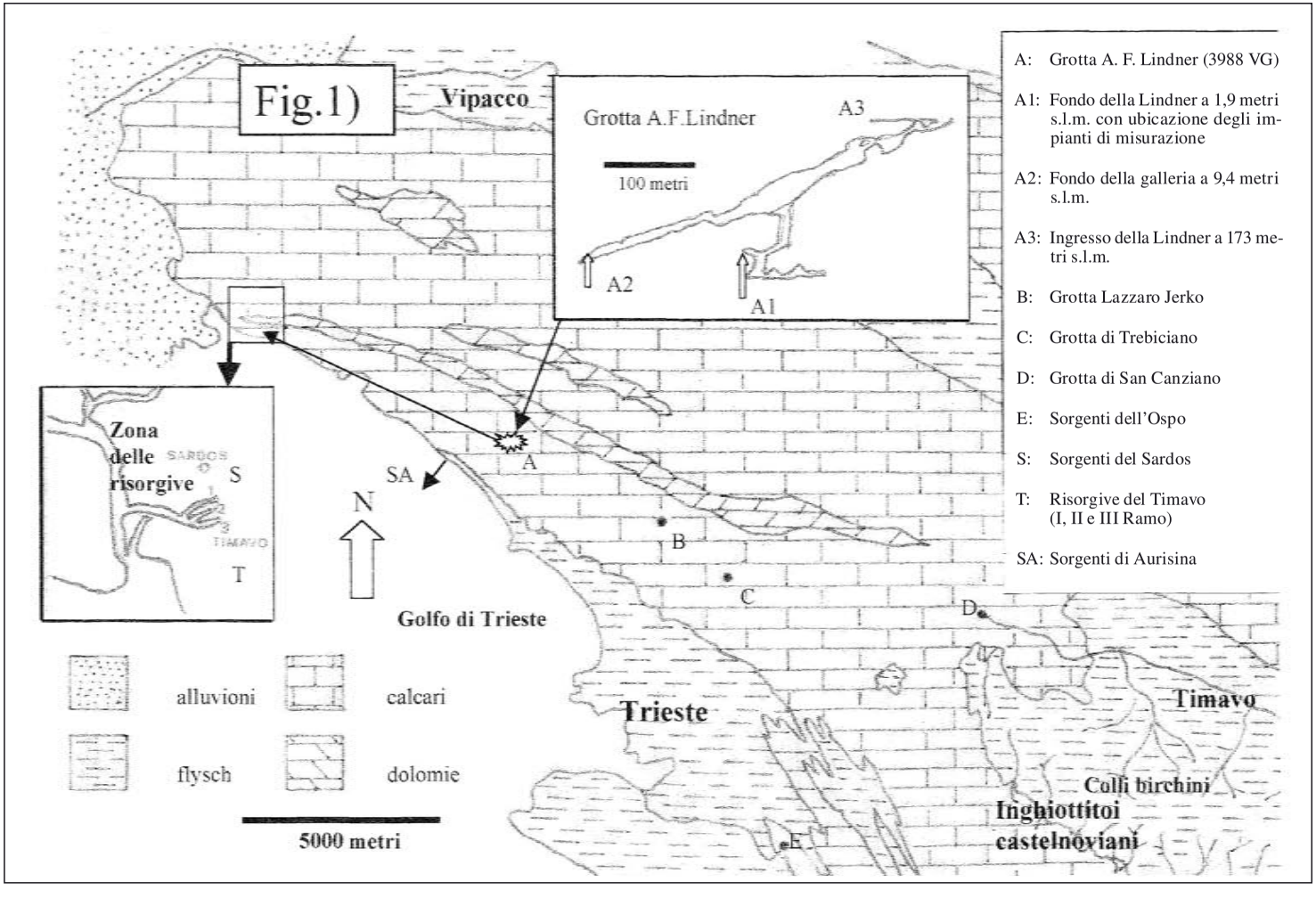


Fig.1)
Vipacco
Grotta A.F.Lindner
A3
100 metri
A2
A1
Zona delle risorgive
SARDOS
S
TIMAVO
T
SA
A
N
B
C
D
E
Golfo di Trieste
Trieste
Timavo
Colli birchini
Inghiottitoi castelnoviani
alluvioni
calcari
flysch
dolomie
5000 metri
A: Grotta A. F. Lindner (3988 VG)
A1: Fondo della Lindner a 1,9 metri s.l.m. con ubicazione degli impianti di misurazione
A2: Fondo della galleria a 9,4 metri s.l.m.
A3: Ingresso della Lindner a 173 metri s.l.m.
B: Grotta Lazzaro Jerko
C: Grotta di Trebiciano
D: Grotta di San Canziano
E: Sorgenti dell'Ospo
S: Sorgenti del Sardos
T: Risorgive del Timavo (I, II e III Ramo)
SA: Sorgenti di Aurisina

— tra i livelli registrati alla Lindner e alle foci del Timavo esiste una stretta correlazione che può essere dimostrata per livelli del III ramo del Timavo superiori a 2 metri rispetto allo 0 dell'I.G.M. (218 cm rispetto allo zero Mueller).
— le acque di fondo della Lindner non sono un temporaneo accumulo, originato da precipitazioni locali, ma sono il risultato di strette connessioni con il regime delle acque di fondo del Carso triestino.

Utilizzando i dati idrometrici del sistema di registrazione venne stabilito un preciso rapporto tra la quota dell'acqua di fondo della Lindner ed il livello del III ramo superiore ai 2 metri con una curva teorica di andamento parabolico indicante le relazioni tra i due fenomeni (Gemiti, Milani, 1977). Tale relazione, espressa con una funzione matematica, è indicata in fig.2). Nel corso delle registrazioni si definirono anche le correlazioni temporali del fenomeno accertando un ritardo nell'innalzamento delle acque della Lindner rispetto alle foci del Timavo ed uno sfasamento di qualche ora tra il massimo sollevamento delle acque in cavità ed il picco di livello del III ramo del Timavo.

Nel maggio del 1982, nel corso di una piena, venne eseguito un esperimento di marcatura delle acque della Lindner utilizzando un tracciante di sicuro rilevamento, il tetracloruro di carbonio ($CCl_4$), precedentemente impiegato, con successo, in due esperimenti di marcatura delle acque del Timavo (Gemiti, 1984-2). Nel corso di un episodio di piena il tracciante fu immesso nel pozzo finale dallo speleologo Aldo Fedel, circa 9 ore dopo l'inizio della discesa del livello dell'acqua. Dopo 9 giorni e 12 ore il $CCl_4$ comparve alle risorgive del Timavo e del Sardos (acquedotto del Randaccio) e la sua presenza fu rilevata per 67 ore fino all'estinzione completa.

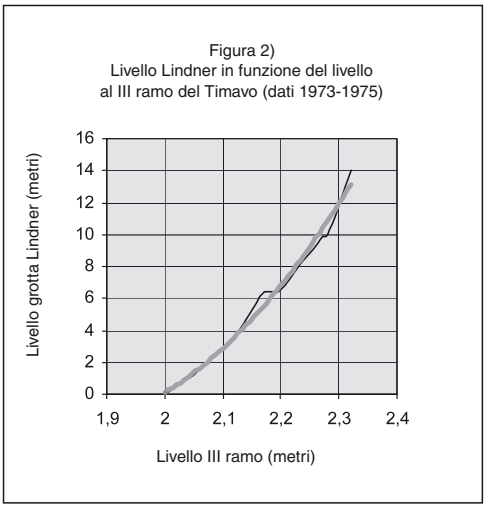
Al momento della marcatura, la stazione idrometrica automatica della Lindner era fuori uso e non fu possibile ricostruire l'andamento della discesa del livello dell'acqua.

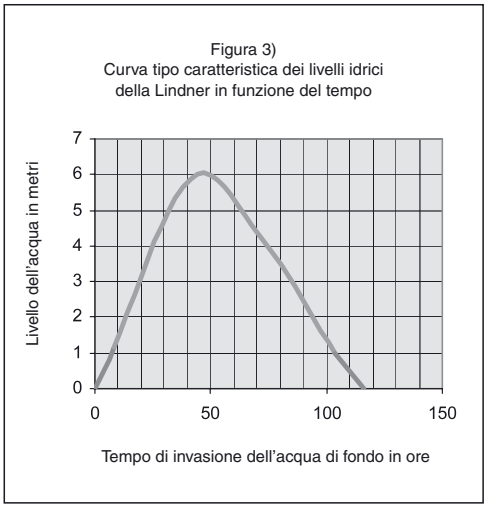
Un ulteriore passo in avanti nello studio del sistema idrico sotterraneo nel tratto Lindner –Foci del Timavo è stato compiuto da Gemiti (1984-1) stabilendo un relazione quantitativa tra il livello al III ramo e la portata del Timavo. È fuori discussione l'importanza dell'aver definito tale funzione in quanto la stessa rappresenta l'unico parametro disponibile per un controllo costante delle portate alle foci e ha consentito, e consente tuttora, di mettere in relazione la portata del Timavo stesso con i livelli idrici rilevabili in profondità nel Carso triestino.

**Ulteriori sviluppi nella ricerca**

Nel 1999 il Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine dell'Università degli studi di Trieste, in collaborazione con il Gruppo Grotte dell'Associazione XXX Ottobre, ha installato sul fondo della cavità (1,90 m s.l.m.) un misuratore di pressione con data-logger, con un range di misura tra 0,00 e 10,00 metri che consente quindi di acquisire con continuità i dati del livello da 2 a 12 metri s.l.m. Dal 1999 al 2002 sono stati rilevati quindici episodi di presenza d'acqua, tutti corrispondenti a relative piene alle foci del Timavo. Per alcune di queste piene i valori dei livelli misurati hanno superato il fondo scala strumentale alla Lindner (valori superiori ai 12 m s.l.m.). Nella ricerca dell'Università sono stati inoltre utilizzati i dati giornalieri di livello del II ramo del Timavo messi a disposizione dell'ACEGAS di Trieste per il periodo 1999-2000 e quelli ricavati da uno strumento registratore automatico installato per il successivo periodo 2001-2002.

I nuovi dati, integrati con quelli forniti dalla precedente stazione idrometrica della Ass. XXX Ottobre (che registrava livelli fino a 30 metri circa), consentono di definire con maggiore precisione l'idrodinamica delle piene che avvengono alla grotta Lindner con picchi massimi di una decina di metri.




In particolare è oggi possibile calcolare il tasso di decremento (metri/ora) dell'acqua alla Lindner in funzione del livello massimo di innalzamento raggiunto in tale cavità, ma anche in funzione del livello del Timavo e quindi della sua portata.

Viene quindi proposta l'interpretazione dell'esperimento di marcatura (unico finora eseguito tra la Lindner e le foci del Timavo) ed i risultati ottenuti, fino ad ora inediti, vengono integrati con i nuovi dati disponibili.

## Idrologia della grotta A.F.Lindner

I primi rilevamenti diretti e completi delle piene della Lindner risalgono agli anni 1967 e 1968. Successivamente, con l'installazione della prima stazione idrometrica (Favretto-Milani, 1975), si riscontrò che a tutte le manifestazioni di piena delle foci del Timavo con livelli del III ramo superiori a 2 metri rispetto allo zero dell'I.G.M. corrispondono risalite dell'acqua rispetto al fondo della grotta.

Poiché il fondo della cavità, base delle misure, è posto a 1,9 metri s.l.m., per avere la quota assoluta del livello dell'acqua è necessario aggiungere a tutte le misure idrometriche la quota di base di 1,9 metri (qui arrotondata a 2 metri).

I massimi picchi riscontrati sono dell'ordine di circa 25 metri s.l.m. con le maggiori frequenze comprese tra i 7 ed i 14 metri s.l.m. anche se esistono tracce evidenti di piene maggiori.

Nel periodo compreso tra il 5.11.2000 e l'1.12. 2000 il livello d'acqua alla Lindner ha superato i limiti di registrazione strumentale (> 12 metri s.l.m.). Per 26 giorni il fondo della cavità è stato invaso dall'acqua oltre i 12 metri s.l.m con un picco massimo misurato direttamente in 27,5 metri corrispondenti a 29,5 metri s.l.m. (comunicazione di Paolo Slama, speleologo del Gruppo Grotte dell'Associazione XXX Ottobre). A questo livello corrispondeva alle foci del Timavo una portata superiore ai 120 mc/sec.

Le curve di piena della grotta Lindner presentano tutte una forma costante indipendente dall'entità e dalla durata della piena stessa e sono caratterizzate da un gradiente di salita relativamente elevato ed un gradiente di discesa più lento.

La forma tipica della curva è illustrata in fig. 3. I gradienti di salita variano mediamente tra 5 e 40 cm/ora, quelli di discesa tra i 4 ed i 15 cm/ora. Le variazioni dei gradienti sono legate a fattori diversi ( entità ed estensione temporale ed areale delle piogge a monte e nei bacini di

carico, entità della piena e frequenza temporale di piene precedenti). I gradienti variano anche in funzione del tempo di salita e discesa presentando il valore massimo in corrispondenza della parte centrale di risalita della curva. La peculiarità della curva idrica della Lindner è comunque quella di presentare sempre, ed indipendentemente dell'entità delle piene, un gradiente di scarico più lento rispetto al gradiente di carico, analogamente a quanto avviene, in scala diversa, alle risorgive. Per picchi compresi tra i 7 ed i 10 metri s.l.m. i gradienti di carico (velocità di salita delle acque) sono mediamente di 16 cm/ora ed le velocità di discesa (scarico delle acque) sono dell'ordine di 10 cm/ora.

## Metodologia usata per la marcatura

*Tracciante*

Come tracciante è stato utilizzato il tetracloruro di carbonio che aveva dato ottimi risultati nel duplice esperimento di marcatura delle acque del Timavo effettuato sul fondo dell'abisso di Trebiciano nell' ottobre 1982 (Gemiti, 1984/2). Questa sostanza è praticamente assente nelle acque sotterranee carsiche, comunque sono state fatte numerose analisi preliminari per accertare il valore di fondo che è risultato pari a 0,002 µg/l per le acque del Sardos e 0,005 µg/l per le acque del Timavo.

Per favorire la solubilizzazione in acqua è stato preparata una soluzione alcolica: nel caso specifico una miscela di 1,5 litri di tetracloruro di carbonio (corrispondenti a 2,4 kg) e di 1,5 litri di alcool etilico a 90°. La soluzione così ottenuta , che presenta un valore di densità di 1,22 rispetto all'acqua, è stata versata a spruzzi sulla superficie dell'acqua presente nel pozzo finale. La maggiore densità della soluzione ha probabilmente garantito la diffusione del marcante nella massa idrica presente nel pozzo finale fino al livello di fondo (1,9 metri s.l.m.).

*Prelievo dei campioni d'acqua*

I campioni d'acqua sono stati prelevati al Sardos e al Timavo dal personale del laboratorio di analisi dell'ACEGA e, durante le ore notturne, da parte del personale di turno agli impianti di Randaccio. Le bottiglie di vetro, contenenti i campioni di acqua, sono state conservate in frigorifero e poi trasportate in recipiente refrigerato al laboratorio di Trieste. Successivamente i campioni d'acqua sono stati travasati in boccette di vetro, adatte per l'analisi dello spazio di testa e preventivamente trattate con un flusso di azoto di purezza gas-cromatografica. Si tratta di fiale di vetro, da 50 ml, riempite per 30 ml di acqua e chiuse con tappo a vite, provvisto di un foro e di un setto di gomma teflonata nella parte interna.

*Analisi del tetracloruro di carbonio nei campioni d'acqua*

È stata effettuata l'analisi gascromatografica dello spazio di testa (fase vapore) dell'acqua contenuta nella fiala, dopo due ore di termostatazione in stufa a 50°C. Come rivelatore è stata utilizzata la cattura di elettroni, particolarmente sensibile ai composti alogenati. Iniettando nel gas–cromatografo 250 µl della fase vapore (spazio di testa), il limite di rivelazione del tetracloruro di carbonio è risultato migliore di 0,001 µg/l, utilizzando le condizioni gas-cromatografiche sotto elencate:

— *Colonna:* in vetro, diametro interno 2mm, lunghezza 6 piedi, riempita di DC 550 al 2% su Chromosorb G, AW, DMCS, 60 – 80 mesh.
— *Temperature:* forno = isoterma a 40°C, iniettore = 200°C, rivelatore = 200°C.
— *Gas di trasporto:* azoto, 25 ml/min.
— *Tempo di analisi:* 7 minuti.

Gli standards di taratura sono stati preparati con acqua esente da solventi, addizionata di tetracloruro di carbonio solubilizzato in alcool isopropilico. Per il calcolo delle aree e della concentrazione è stato utilizzato un integratore automatico.

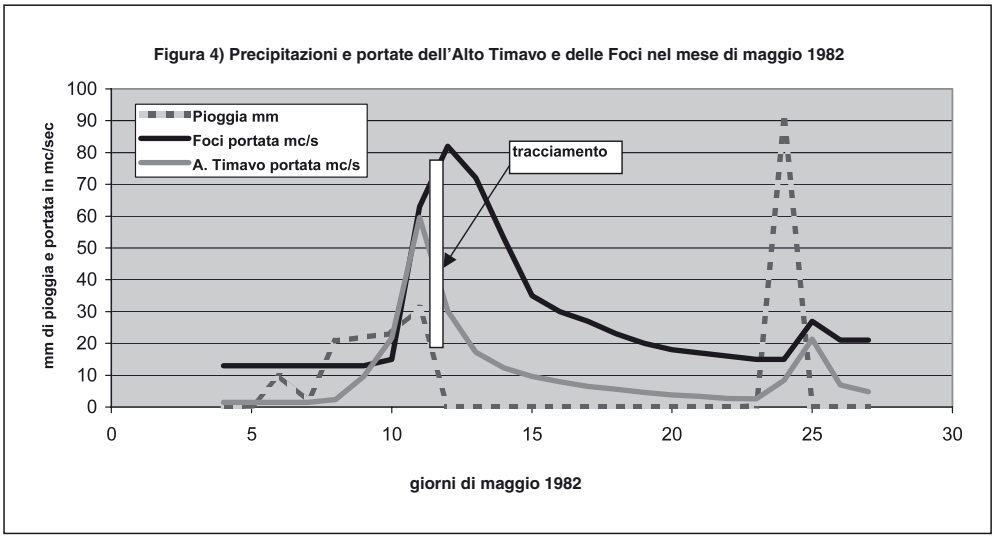
## La marcatura delle acque di fondo della grotta Lindner

Il momento più adatto per la prova di marcatura doveva essere rappresentato da una piena di sufficiente entità, possibilmente distanziata da altro episodio precedente, e tale da provocare un innalzamento del livello dell'acqua rispetto al fondo della grotta di alcuni metri. Era quindi necessario aspettare, sulla base dell'esperienza, che al 3° ramo del Timavo il livello dell'acqua superasse almeno i 220 cm (rispetto allo "0" Mueller)[1].

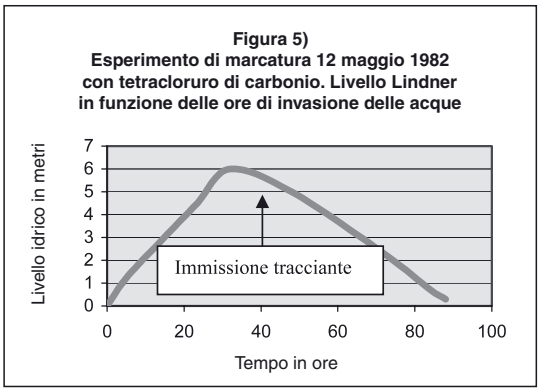
Inoltre era quanto mai opportuno effettuare la marcatura durante la fase di discesa dell'acqua al fine di assicurare il più possibile la diffusione e l'inserimento progressivo e costante del tracciante nel circuito sotterraneo.

L'occasione si è presentata nella seconda settimana del maggio 1982 quando tra il giorno 6 e il giorno 11 sono caduti complessivamente sul Carso triestino (dati rilevati dalla stazione di Borgo Grotta Gigante) circa 100 mm di pioggia. L'andamento delle precipitazioni è raffigurato in fig.4 e si possono osservare le strette correlazioni temporali tra l'accumulo di acqua sul fondo della grotta Lindner, la piena del Timavo superiore (A.T.) e le portate alle foci; il rettangolo allungato indica il momento del tracciamento, eseguito alla fine delle precipitazioni dei primi giorni di maggio

L'immissione del tracciante venne effettuata dallo speleologo Aldo Fedel del gruppo XXX Ottobre di Trieste il giorno 12 maggio 1982, alle ore 17, perché quello stesso giorno, alle ore 7, si era riscontrato per il terzo ramo del Timavo un livello di 233 cm con tendenza alla diminuzione.




[1] ad un livello di 220 cm s.l.m. del III ramo corrisponde, in via generale, un livello di circa 7 metri d'acqua sul fondo della Lindner come indicato in fig.2).




Il tracciante fu quindi immesso durante la fase di discesa quando l'altezza era di 7,4 metri s.l.m., circa nove ore dopo il raggiungimento dell'altezza massima (calcolata in circa 8 metri s.l.m. sulla base della curva in fig.3).

Le condizioni idrologiche erano quindi ottimali.

In base al gradiente di discesa stimato in circa 10 cm/ora, che è il valore medio per episodi di piena della Lindner dell'ordine di 7-10 metri si poteva valutare in poco meno di una sessantina di ore il tempo di vuotatura della cavità (fig.5). La curva in figura 5) riporta la velocità teorica di discesa dell'acqua ottenuta elaborando tutti i dati in possesso. Nello stesso giorno veniva predisposto il prelievo — ogni 4 ore — delle acque del Sardos e del Timavo, il trasporto giornaliero dei campioni a Trieste e l'analisi quotidiana nel laboratorio dell'ACEGA.

Fino al giorno 22 tutti i campioni raccolti presentavano livelli di tetracloruro bassissimi, riconducibili alle interferenze di fondo.

*Il giorno 22 alle ore 6 è iniziata la fuoriuscita quasi contemporanea del tracciante alle foci del Timavo e alle sorgive del Sardos.*

L'andamento delle concentrazioni di tetracloruro di carbonio è risultato molto simile per le due sorgenti, il valore massimo rilevato è stato di 1,3 µg/l , quindi bene al di sotto del limite di 3 µg/l, previsto per acque utilizzate costantemente a scopo potabile.

Il fenomeno si è esaurito il giorno 24/5, alle ore 14 per il Timavo e alle ore 24 per il Sardos, con un tempo di fuoriuscita di circa 56 ore per il Timavo e 66 ore per il Sardos.

L'intervallo di tempo tra l'immissione del tracciante nell'acqua della Lindner e la sua comparsa alle foci è risultato essere di 9 giorni e 12 ore su una distanza teorica in linea d'aria di circa 7 Km.

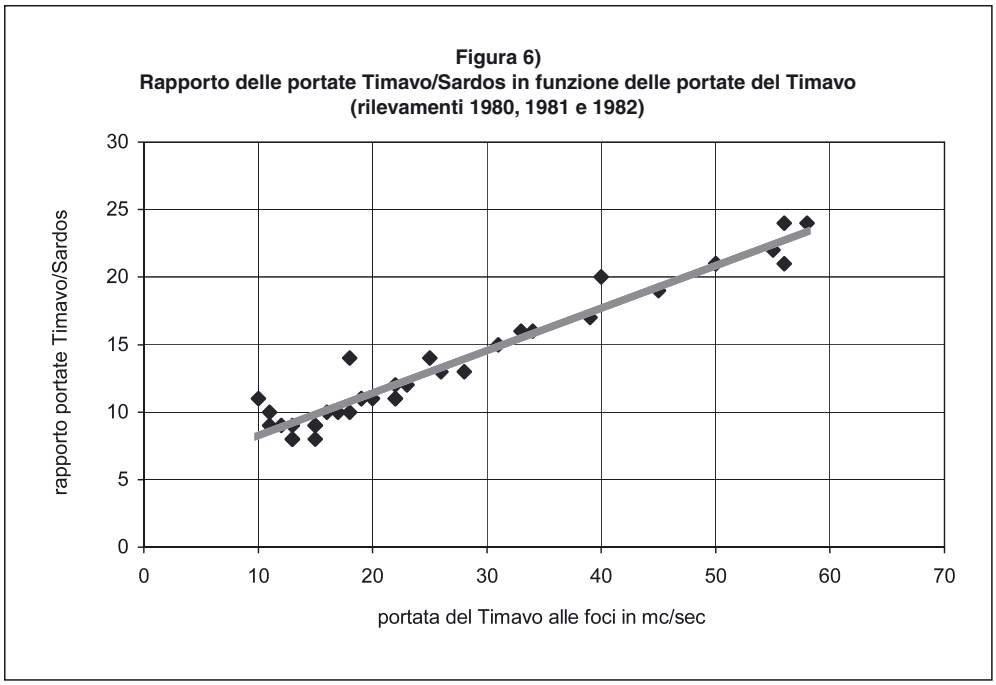
**Calcolo della quantità di tracciante restituito**

La portata del Timavo è stata calcolata dal livello del 3° ramo utilizzando le funzioni già definite da Gemiti (1984-1) e precisamente:

1) per $h \leq 185$ $\quad Q = 0{,}994 \times h^{0{,}479}$
2) per $h > 185$ $\quad Q = 0{,}123 \times (h - 185)^{1{,}604} + 0{,}994 \times h^{0{,}479}$

con:
h = livello dell'acqua in cm, riferito allo "0 Mueller", rilevato all'idrometro a monte dello stramazzo del 3° ramo del Timavo.
Q = portata del Timavo alle foci in metri cubi / secondo

In mancanza di dati di archivio, la portata delle sorgenti Sardos è stata valutata in base al rapporto medio esistente con la portata del Timavo. Dai valori di portata media mensile relativi al 1980, 1981, 1982, è stato dedotto un rapporto di portate medio tra Timavo e Sardos




prossimo a 10. In figura 6) è riportato il valore dei rapporti tra le portate del Timavo e del Sardos in funzione delle portate del Timavo alle foci. Per portate alle risorgive del Timavo variabili tra 12 e 16 mc/sec (portate rilevate successivamente alla marcatura) tale rapporto oscilla tra 9 e 11 con una media di 10.

L'approssimazione introdotta dovrebbe essere ininfluente sulla quantità di tracciante complessivamente restituito dalle due sorgenti.

Disponendo quindi di tutti i dati sopra descritti è stato possibile calcolare, per i giorni in cui sono stati fatti i controlli, la quantità di tracciante restituita in grammi/ora. Per estrapolazione ed attraverso calcolo integrale sono stati ricavati tutti gli altri dati orari relativi ed è stata quindi calcolata la quantità di tracciante restituito, che è risultata di 2375 grammi.

In fig.7) sono riportati i diagrammi relativi alla restituzione del $CCl_4$ al Timavo ed al Sardos.

*Complessivamente il tracciante fuoriuscito risulta pari a 2,38 Kg e quindi praticamente eguale alla quantità immessa (2,39 Kg).*

Si tratta di un risultato che va oltre le più ottimistiche aspettative, tenuto conto dell'approssimazione adottata nel calcoli delle portate e dei possibili errori analitici.

In definitiva la marcatura risulta completa e ben definita, caso non comune, se non raro, nel tracciamento di acque dei complessi carsici.

## Risultati della marcatura

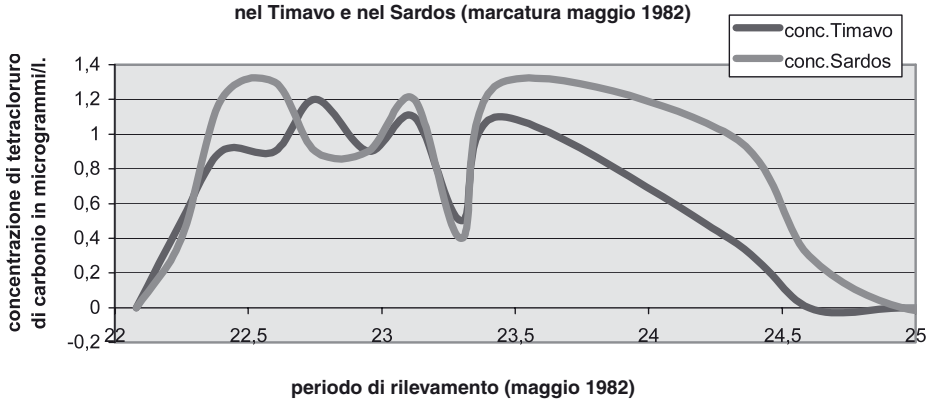
L'analisi delle curve idrometriche rilevate alla stazione sperimentale della Lindner negli anni 1972-1977 aveva consentito di accertare uno stretto collegamento tra le acque di fondo

della cavità e le foci del Timavo. Erano state escluse le possibilità di attribuire il fenomeno a precipitazioni locali ed era stata individuata una funzione tra il livello idrico alla Lindner ed il livello al III ramo del Timavo. L'andamento di tale funzione è stato confermato anche dalle successive rilevazioni in continuo eseguite dall'Università degli Studi di Trieste accertando inoltre la dipendenza dei livelli dal regime idrico profondo del Carso con precise correlazioni con le portate del Timavo.

Con l'esperimento di marcatura del maggio 1982 è venuto a cadere ogni dubbio interpretativo riguardo il collegamento.

Questo esperimento, utilizzando a distanza di anni i nuovi dati disponibili, sia sui livelli idrometrici registrati alla Lindner a tutto il 2002, sia sull'effettiva consistenza delle portate in funzione dei livelli del III ramo, è un nuovo risultato sull'interpretazione delle modalità di deflusso delle acque sotterranee profonde nel tratto nord-occidentale del Carso, tra Aurisina e le foci. L'interpretazione parte dai seguenti dati:

**Figura 7)**
**Concentrazione in microgrammi/l di tetracloruro di carbonio nel Timavo e nel Sardos (marcatura maggio 1982)**




a) Le piene rilevate alla Grotta Lindner, che raggiungono picchi compresi tra i 7 ed i 9 metri, presentano una velocità di discesa dell'acqua (gradiente di scarico) di circa 10 cm/ora. Tale gradiente si mantiene costante nel tratto centrale della curva di discesa per poi ridursi a 3-4 cm/ora nella parte finale. La costanza di tale comportamento è provata dai diversi rilevamenti compiuti ed è possibile determinare una funzione di calcolo.
b) Sotto questo profilo il tracciamento del maggio 1982, effettuato appena dopo il raggiungimento del picco di 8 metri s.l.m., ha avuto come conseguenza lo scarico di tutto il tetracloruro di carbonio in profondità nella falda (sotto il livello di 1,90 metri s.l.m.) entro un tempo di circa 60 ore.
c) Presupposto per la conferma del punto b) e di tutte le altre successive considerazioni è che il tracciante immesso abbia marcato, anche se non in modo omogeneo, tutta la colonna d'acqua presente sul fondo della cavità, grazie alla maggiore densità della soluzione usata rispetto all'acqua.
d) Il tracciante è comparso alle foci del Timavo (III ramo) ed al Sardos quasi contemporaneamente dopo 9 giorni e 13 ore circa (229 ore) dal momento dell'immissione e la fuoriuscita del tracciante è stata registrata per 56 ore al III ramo e per 66 ore al Sardos. In questo intervallo di tempo non si sono avute precipitazioni sul Carso triestino o nelle aree adiacenti.

Come indicato in fig. 4) le precipitazioni sono avvenute tra il 6 e il giorno 11 di maggio e sono riprese il giorno 24, dopo l'esaurimento della prova di tracciamento. È importante notare come sia stato importante il contributo di circa 100 mm di pioggia diffusa sul territorio e distribuita in 5 giorni per innestare un processo di piena rilevante e continuata.

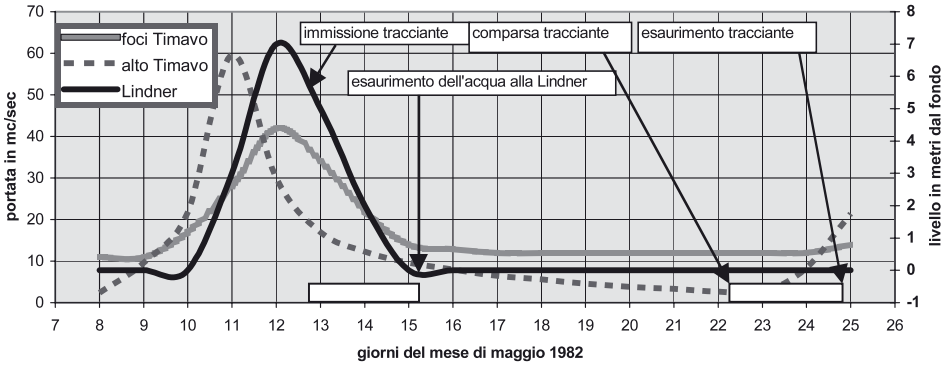
e) Calcolando in circa 7000 metri la distanza teorica (in linea d'aria) tra il fondo della Lindner e le foci del Timavo, la velocità di trasferimento del tracciante, dalla sua immissione alla comparsa alle risorgive, è stata di circa 30 metri/ora. Si tratta di una velocità inferiore a quella rilevata con i precedenti esperimenti di marcatura effettuati direttamente sulle acque del Timavo lungo la direttrice S. Canziano-Trebiciano-S.Giovanni di Duino dove sono state riscontrate velocità apparenti medie da 83 a 344 metri/ora.

f) Il tempo di restituzione del tracciante alle risorgive di Sardos e Timavo è straordinariamente identico a quello di scarico della Lindner (dal momento dell'immissione del tracciante alla scomparsa dell'acqua sul fondo, e cioè a 2 metri s.l.m.). Dal punto di vista analitico ciò significa che la curva di immissione del tracciante in falda e quella di restituzione alle risorgive hanno la stessa lunghezza, come graficamente indicato in fig.8 con i due rettangoli bianchi, e cioè non vi è stata dispersione del tracciante nel tratto Lindner-risorgive di San Giovanni di Duino.

g) Dai calcoli integrali effettuati sulla base delle concentrazioni di $CCl_4$ rilevate nelle acque del III ramo e del Sardos e delle rispettive portate risulta che tutto il tracciante è stato restituito.

h) Il tracciante è comparso contemporaneamente al III ramo del Timavo ed al Sardos e, durante il periodo di restituzione, si è mantenuto in concentrazioni simili tra le due risorgive (vedi fig. 7) esaurendosi poi contemporaneamente.

**Figura 8)**
**Portate dell'alto Timavo e del Timavo alle foci ed altezza delle acque nella Lindner in funzione del tempo di durata dell'esperimento di marcatura**




## I risultati della prova di marcatura correlati con le caratteristiche delle acque del sistema idrico del Timavo

*1) Analisi chimico-fisiche delle acque del sistema idrico Lindner-Sardos-Timavo*

In tabella 1) sono riportati i dati relativi alle analisi effettuate sulle acque carsiche della zona di interesse, prelevate nel giorno dell'immissione del tracciate (12.05), in corrispondenza del passaggio dell'onda di piena del Timavo.[2]

**Tabella 1) Analisi chimico-fisiche delle acque di sorgenti e cavità**

| data del prelievo | | 12.05 | 12.05 | 12.05 | 12.05 | 12.05 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L | F | C | T | S |
| Temperatura | °C | | | | 11,4 | 12,1 |
| Torbidità | FTU | limp. | limp. | torb. | 12 | 2,4 |
| COD (ossidabilità) | mg/l | | | | 2,0 | 0,3 |
| Ossigeno | mg/l | | | | 6,0 | 7,4 |
| Conducibilità a 18°C | uS/cm | 370 | 357 | 368 | 367 | 360 |
| Durezza totale | °F | 23,2 | 20,9 | 21,8 | 21,9 | 20,6 |
| Durezza temporanea | °F | 19,6 | 17,4 | 18,6 | 18,3 | 16,2 |
| Calcio | mg/l | 91 | 72 | 78 | 78 | 70 |
| Magnesio | mg/l | 1,3 | 7,1 | 5,4 | 5,8 | 7,7 |
| Sodio | mg/l | 1,8 | 4,2 | 3,5 | 3,5 | 5,4 |
| Potassio | mg/l | 0,3 | 1,5 | 2,1 | 2,1 | 1,2 |
| Cloruri | mg/l | 2,7 | 6,5 | 5,4 | 4,7 | 8,0 |

Con L = Lindner, F = Pozzo della Ferrovia, C = Pozzo dei Colombi, T = Timavo, S = Sardos (per le ubicazioni vedi fig. 8).

Oltre che al Timavo e al Sardos sono state effettuate campionature d'acqua nella cavità Lindner prima dell'immissione del tracciante, effettuando il prelievo in prossimità della superficie dell'acqua che in quel momento presentava una profondità di 5,5 metri. Venivano inoltre effettuati dei campionamenti anche in due cavità situate molto vicino alle risorgive del Timavo e cioè il Pozzo della Ferrovia, situato circa 500 nord est dalle risorgive e presumibilmente collegato con le risorgive del Sardos in base alle prove di marcatura effettuate nel passato (Boegan, 1938) e il Pozzo dei Colombi, immediatamente collegato con le risorgive del Timavo (vedi figura 9).

Dall'analisi dei dati riportati in tabella si evidenziano i seguenti punti:

a) la minore concentrazione di magnesio nelle acque della Lindner rispetto al Sardos, al Timavo ed alle altre acque esaminate e la maggiore concentrazione di calcio con un rapporto

(2) Le indagini chimiche disponibili del Timavo e del Sardos sono numerosissime. Migliaia di dati sono conservati negli archivi Acegas di Trieste e centinaia di lavori riguardano il chimismo di queste acque. In particolare le campagne di analisi condotte dal '70 dal Laboratorio di Analisi dell'Acegas sotto la guida di F. Gemiti consentono di disporre di un quadro complessivo preciso sia in funzione delle portate e delle stagioni.

calcio/magnesio elevato, circa 70, tipico di acque che scorrono essenzialmente a contatto di rocce calcaree.

b) il differente rapporto calcio/magnesio tra le acque del Timavo e quelle del Sardos con valori medi di 12 per il Timavo e 8 per il Sardos. È verosimile che l'abbondanza relativa di $Mg^{2+}$ nel Sardos possa essere attribuita al fatto che queste acque sono interessate dal contatto con importanti formazioni di dolomie in misura maggiore rispetto alle acque delle risorgive del Timavo (Merlak, 1977).

c) All'inizio della piena (12 maggio) le acque della Lindner, del Pozzo della Ferrovia e del Sardos sono limpide a differenza di quelle del Pozzo dei Colombi e del Timavo, che sono torbide (vedi fig.9). In analogia il COD risulta già elevato al Timavo e moderatamente basso al Sardos.

In definitiva la composizione chimico-fisica delle acque esaminate porta alla seguente lettura:

1. Timavo e Sardos presentano una composizione relativamente diversa, in particolare durante i periodi di regime normale o di piena.
2. L'affinità nella composizione chimica delle acque del Pozzo della Ferrovia con le sorgenti Sardos, conferma anche dal punto di vista idrochimico i risultati dell'esperimento di marcatura citato dal Boegan (1938). Vedi fig.9).

Le acque della Lindner durante le piene sono diverse da quella che fuoriescono a S. Giovanni di Duino e appartengono probabilmente a un corpo idrico scorrente in terreni prettamente calcarei.

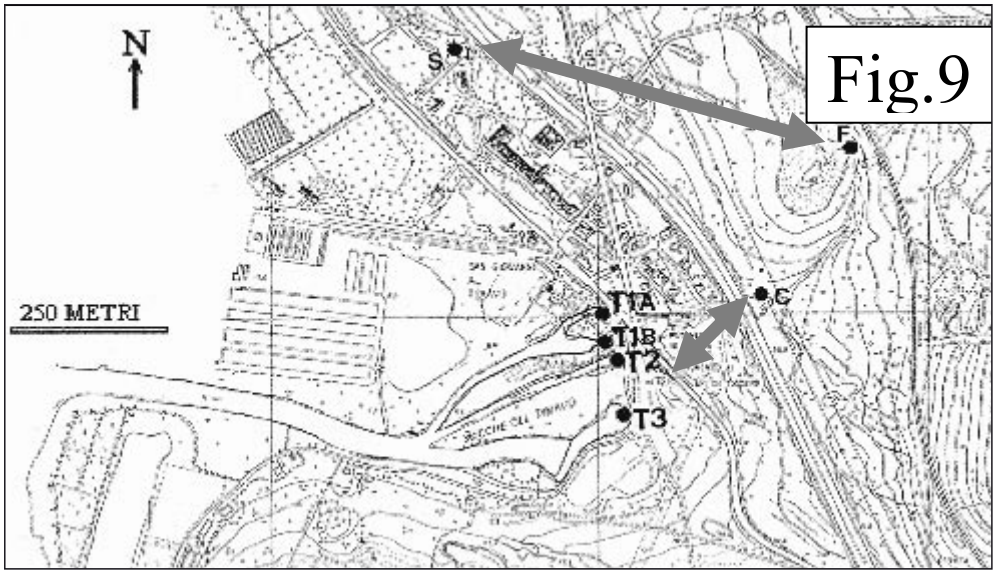



Fig.9). Zona delle risorgive di San Giovanni di Duino. Le frecce indicano: a) l'affinità idrochimica tra il Pozzo dei Colombi e le risorgive del Timavo; b) l'affinità idrochimica tra il Pozzo della Ferrovia ed il Sardos.
S: Sardos, F: Pozzo della ferrovia, C: Pozzo dei Colombi, $T_{1A, 1B, 2, 3}$ : Risorgive del Timavo.

## 2) Monitoraggio delle acque del Sardos e del Timavo nel maggio 1982

Nella tabella 2) sono riportati i dati più significativi sulle caratteristiche di qualità delle acque del Sardos e del Timavo per il periodo che va dal giorno 8 al 28 maggio 1982, cioè comprensivo del momento dell'immissione del tracciante e della sua fuoriuscita a S. Giovanni di Duino.

Si tratta di dati raccolti dagli archivi ACEGAS e riferiti alle analisi di routine, svolte giornalmente dal personale del laboratorio di analisi, per un controllo delle acque destinate all'approvvigionamento idrico della città di Trieste.

I parametri riportati riguardano la temperatura, la torbidità, il COD (ossidabilità al permanganato), l'ossigeno disciolto. Al fine di una correlazione dei dati chimico-fisici con la situazione idrologica nella stessa tabella sono riportate anche la portata del Timavo, la portata dell'alto Timavo (dati medi giornalieri forniti all'ACEGA dall'Hydrometeorološki Zavod di Lubiana) e il livello dell'acqua alla Lindner, ricavato dalla fig. 2.

Per la corretta interpretazione dei dati è utile ricordare le fasi temporali classiche che accompagnano le piene del Timavo (Gemiti, 1998):

— aumento della portata e diminuzione dell'ossigeno disciolto;
— ulteriore incremento di portata e aumento deciso di COD, $O_2$, torbidità e, nella stagione fredda, notevole riduzione della temperatura per l'arrivo dell'onda inquinata di piena proveniente direttamente dall'alto Timavo.

L'episodio di piena conseguente alle precipitazioni verificatesi nel periodo che va dal 6 all'11 maggio 1982, per un totale di 109 mm, è stato di moderata intensità, con una portata massima alle foci del Timavo di 47 mc/s, rilevata alle ore 7 del 12 maggio.

La portata massima dell'alto Timavo si è avuta invece il giorno 11 con 59 mc/s. Il giorno 12 era già scesa a 30 mc/s e il giorno successivo a 17, cioè a poco più del 25 % rispetto a quella del Timavo. Fino alla completa restituzione del tracciante il contributo dell'alto Timavo alle risorgive si è ulteriormente ridotto fino ad un minimo del 20% .

Al Timavo l'aumento di torbidità e COD ha iniziato a manifestarsi il 10 maggio ed ha raggiunto il culmine tra il 13 e il 14 maggio.

Al Sardos la qualità delle acque non ha avuto sostanziali cambiamenti e quindi si presume che non siano avvenuti sostanziali travasi dal Timavo al Sardos.

## Il modello idrologico proposto – Conclusioni

I dati sperimentali raccolti con la prova di marcatura delle acque di fondo della grotta Lindner e con le indagini idrometriche e idrochimiche svolte sulle acque sotterranee e quelle che vengono alla luce tra S. Pelagio e S. Giovanni di Duino sono sinteticamente i seguenti:

a) Le acque di fondo della grotta Lindner sono risultate, come nel passato, decisamente diverse da quelle del Timavo e del Sardos in quanto si tratta di acque caratterizzate da prevalenti scorrimenti su calcari. Queste acque sono comunque collegate ad un circuito sotterraneo in diretto collegamento con le risorgive del Timavo come risulta dalla stretta e comprovata correlazione tra livelli nella cavità e livelli al 3° ramo del Timavo.
b) I tempi di scarico del tracciante alla Lindner e di fuoriuscita alle risorgive di S. Giovanni di Duino sono risultati praticamente identici e tutto il tracciante immesso è uscito. Di conseguenza non vi è stata dispersione di tracciante per cui è da ritenere che il movimento delle acque avvenga in canalizzazioni di tipo a pressione, al di sotto del livello del medio mare, e quindi verrebbero escluse circolazioni a pelo libero tra Lindner e risorgive di San Giovanni di Duino.

**Tabella 2) Dati idrologici e qualità delle acque nel mese di maggio 1982**

| Giorno | Lindner | | Alto Timavo | Timavo | | | | | | Sardos | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ora del rilevam. | Altezza acqua in metri | Portata mc/sec | Ora prelievo | Temp. °C | Torb. FTU | COD mg/l | Ossigeno mg/l | Portata mc/sec | Temp. °C | Torb. FTU | COD mg/l | Ossigeno mg/l |
| 8 | | | 2 | 7 | 11,3 | 1,1 | 0,4 | 6,6 | 11 | 11,7 | 0,9 | 0,2 | 7,8 |
| 9 | | | 9 | | | | | | 11 | | | | |
| 10 | | | 21 | 7 | 11,5 | 1,3 | 0,6 | 6,2 | 12 | 11,8 | 1,0 | 0,2 | 7,8 |
| 11 | 8 | 1,8 | 59 | 7 | 11,5 | 4 | 0,8 | 6,3 | 55 | 11,7 | 2,5 | 0,2 | 8,1 |
| 11 | 16 | 3,2 | | 15 | 11,3 | 6 | 1,1 | 6,0 | | 11,9 | 1,8 | 0,3 | 8,0 |
| 12 | 8 | 6,0 | 30 | 7 | 11,4 | 12 | 2 | 6,0 | 74 | 12,1 | 2,4 | 0,3 | 7,4 |
| 12 | 17 | 5,5 | | 18 | 11,3 | 12 | 2,2 | 6,0 | | 12,2 | 2,8 | 0,4 | 8,0 |
| 13 | | 1,3 | 17 | 7 | 11,4 | 12 | 3,3 | 6,0 | 64 | 12,0 | 2,3 | 0,4 | 8,0 |
| 13 | | | | 20 | 11,3 | 13 | 4,0 | 6,3 | | 12,1 | 1,9 | 0,2 | 8,7 |
| 14 | | | 12 | 8 | 11,2 | 9 | 4,0 | 6,5 | 46 | 12,0 | 1,7 | 0,3 | 8,3 |
| 15 | | | 9 | 7 | 11,5 | 6 | 2,0 | 7,0 | 31 | 12,0 | 1,5 | 0,4 | 8,0 |
| 16 | | | 7 | 9 | 11,3 | 5 | 1,8 | 6,8 | 27 | 12,0 | 2,0 | 0,3 | 8,3 |
| 17 | | | 6 | 7 | 11,4 | 4,6 | 1,6 | 7,8 | 25 | 12,0 | 1,5 | 0,3 | 8,0 |
| 18 | | | 5 | 7 | 11,5 | 3,5 | 1,6 | 7,5 | 21 | 11,9 | 1,4 | 0,4 | 8,3 |
| 19 | | | 4 | | | | | | 17 | | | | |
| 20 | | | 3 | 7 | 11,7 | 2,5 | 0,7 | 7,4 | 15 | 12,0 | 1,0 | 0,3 | 8,5 |
| 21 | | | 3 | 7 | 12,0 | 2,0 | 0,6 | 7,3 | 14 | 12,0 | 1,0 | 0,3 | 8,2 |
| 22 | 5 | | 2 | 7 | 12,0 | 2,0 | 0,5 | 7,4 | 13 | 12,1 | 2,0 | 0,3 | 8,0 |
| 23 | | | 2 | | | | | | 12 | | | | |
| 24 | 19 | | 8 | 7 | 11,9 | 2,0 | 0,45 | 7,4 | 12 | 12,1 | 2,0 | 0,3 | 8,0 |
| 25 | | | 21 | 7 | 12,0 | 3,5 | 0,9 | 7,3 | 46 | 11,8 | 1,3 | 0,3 | 8,0 |
| 26 | | | 6 | 7 | 12,0 | 4,5 | 0,7 | 7,4 | 25 | 11,8 | 1,2 | 0,3 | 8,0 |
| 27 | | | 4 | 7 | 11,9 | 5,0 | 0,7 | 7,0 | 20 | 11,8 | 1,1 | 0,3 | 8,2 |
| 28 | | | 3 | 7 | 12,0 | 3,5 | 0,6 | 7,0 | 19 | 12,3 | 1,2 | 0,3 | 8,0 |

c) La velocità apparente di trasmissione del tracciante dalla Lindner alle foci, pari a 30 m/ora, è tipica di un flusso lento come potrebbe essere quello di un corpo idrico secondario che affluisce, verso S. Giovanni di Duino, in un corpo idrico principale. La bassa velocità di scorrimento potrebbe essere riconducibile sia alla grande diffusione dei vani allagati, sia alle enormi masse d'acqua in movimento durante una piena, masse d'acqua che trovano nel punto di confluenza con il ramo principale un "ingorgo" causato dal restringimento di sezione che avviene poco più a valle del punto di risorgenza.
d) Il Timavo, nel periodo di tempo compreso tra immissione del tracciante nella cavità e la fuoriuscita ed esaurimento alle risorgive di S. Giovanni di Duino era alimentato per un 20-25 % dall'alto Timavo (valori di COD e torbidità più elevati che al Sardos) e per il resto da "acque carsiche"come risulta dall'analisi dei dati della tab. 2).
e) Il Sardos, privo di torbidità e con poco COD, nello stesso periodo di tempo veniva alimentato essenzialmente da "acque carsiche", di composizione relativamente diversa da quelle del Timavo.
f) Non vi sono stati apprezzabili travasi di acque dal Timavo al Sardos in quanto la piena è stata nel complesso modesta come portata e quindi a monte delle risorgive non si sono verificati quei livelli idrici particolarmente elevati che rendono possibile questo fenomeno.
g) Il tracciante, recuperato nella sua totalità, è comparso contemporaneamente al Timavo e al Sardos e il suo esaurimento è avvenuto press'a poco nello stesso momento alle due risorgive. Questo nuovo ed eccezionale dato sperimentale fa ritenere che la miscelazione dell'acqua marcata proveniente dalla Lindner con le acque che alimentano rispettivamente Sardos e Timavo è avvenuta poco a monte delle risorgive stesse.
h) La concentrazione del tracciante è risultata mediamente eguale alle due risorgive, ciò significa che il flusso dell'acqua marcata si è ripartito tra le due sorgenti in modo proporzionale alle rispettive portate.

Il modello idrologico proposto, per fornire una spiegazione plausibile ai riscontri sperimentali precedentemente indicati, è il seguente:

Il fondo della Lindner si trova in collegamento con una canalizzazione in pressione, probabilmente di notevole entità, che convoglia "acque carsiche" sia nel sistema Sardos che in quello del Timavo. E' pertanto escluso che la Lindner si trovi collegata direttamente alla canalizzazione principale che convoglia le acque dell'alto Timavo e le acque carsiche alle foci, in caso contrario le concentrazioni del tetracloruro non sarebbero state simili data la sproporzione tra le portate dei sistemi Sardos e Timavo (1:10). L'immissione nei due sistemi avviene a breve distanza dalle risorgive; per una situazione idrologica sotterranea del tutto fortuita la ripartizione dei flussi è stata tale che al Timavo e al Sardos le concentrazioni di tracciante sono risultate mediamente eguali.

Sarebbe auspicabile verificare i risultati in altre situazioni idrologiche, e quindi ripetere la marcatura, approfittando di un periodo di forte piena essendo oggi disponibili nuovi e più affidabili traccianti e sistemi di rivelazione, anche in continuo. Esiste la necessità di approfondire le conoscenze sull'idrologia sotterranea della zona nell'eventualità di opere di viabilità ferroviaria che dovrebbero essere realizzate a non grande distanza dalle risorgive di S. Giovanni di Duino.

In questi ultimi 20 anni sono state fatte sensazionali scoperte sia da parte italiana che slovena sui corsi sotterranei tra S. Canziano e Percedol ma in prossimità delle risorgive di S. Giovanni di Duino, oggetto peraltro di importantissime esplorazioni subacquee negli anni '80 e '90, le conoscenze sull'idrologia sotterranea sono ancora limitate.

*Gli autori ringraziano il Laboratorio di Analisi e Controllo dell'ACEGAS-APS per aver messo a disposizione tutti i dati di archivio relativi alle analisi chimiche e misure idrometriche effettuate nel 1982 e il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università degli Studi di Trieste per le registrazioni dei livelli d'acqua alla Lindner per gli anni 1999-2002.*

*Un ringraziamento allo speleologo Paolo Slama del Gruppo Grotte dell'Associazione XXX Ottobre CAI che ha eseguito periodicamente i prelievi dello strumento registratore per la trascrizione dei dati.*

## BIBLIOGRAFIA

Boegan E., 1938 – *Il Timavo. Studio sull'idrologia carsica subaerea e sotterranea,* Memorie dell'istituto Italiano di speleologia, Postumia-Trieste, 1-251.

Cucchi F., Forti P., Marinetti E., Zini L., 2000 – *Recent developments in knowledge of the hydrogeology of the "Classic" Karst.* "Acta Carsologica", 29/1-4: 55-78.

Cucchi F., Zini L., 2002 – *Underground Timavo river monitoring (Classic Karst).* "Acta Carsologica", 31/1: 75-84.

Favretto D., Milani G., 1975 – *Rilievi idrometrici nella Grotta A.F.Lindner 3988 VG2.* "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 5: 7-14.

Favretto D., Milani G., 1972 – *Misura dei livelli d'acqua nella grotta A. F. Lindner 3988 VG* "Atti del I Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia", Trieste: 121-124.

Gemiti F., Milani G., 1977 – *Correlazione tra i livelli d'acqua della grotta A. F. Lindner ed il fiume Timavo.* "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, VI: 23-30

Gemiti F., 1984 */1 – La portata del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino.* "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, VII: 23-41.

Gemiti F., 1984 */2 – Nuova e originale prova di marcatura delle acque del Timavo.*"Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, VII: 43-62.

Gemiti F., 1994 – *Indagini idrochimiche alle risorgive del Timavo.* "Atti e Memorie della Commissione Grotte E.Boegan", Trieste, 31/1992-93: 73-83.

Gemiti F., 1995 – *Portata liquida e portata solida del Timavo alle risorgive di San Giovanni di Duino,* "Hydrores-Annuario 1995", Trieste, 13: 74-88.

Gemiti F., 1998 – *Marcatura delle acque del Timavo a seguito di un versamento di idrocarburi nella Valle della Recca e interpretazione dell'evento mediante l'utilizzo di dati meteorologici, idrologici, idrochimici.*"Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, X: 93-104.

Gemiti F., 2004 – *Le sorgenti Sardos e l'approvvigionamento idrico della provincia di Trieste.* Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan". 39: 67-80.

Merlak E., 1977 – *Distribuzione della durezza delle acque nel "Complesso Dolomitico" del Carso triestino.* "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, VI: 9-22.

Reisenhofer E., Adami G., Barbieri P., 1998 – *Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic fresh waters (Timavo River, North-Eastern Italy): a chemometric approach.* Water Res. 32, 4: 1193-1203.

Rucavina P.,1998 – *La grotta A.F. Lindner trent'anni dopo.* "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 10: 70-76.

Skilan C., 1976 – *L'importanza della grotta A.F.Lindner- 3988 VG per lo sviluppo delle acque carsiche al livello di base.* Atti del 10° Congresso Nazionale di Speleologia, Roma 1968. "Memorie dello Speleo Club Rieti", 2: 78-84.