

**40 anni di esperienze
con traccianti
in Provincia di Verona
(Monti Lessini
e Monte Baldo)
e in alcune aree carsiche
dell'Asia Sud-orientale**

a cura di Roberto Zorzin



© Copyright 2021 - Comune di Verona

ISSN 0392-0089

online 2974-6167

ISBN 978-88-89230-22-0

Tutti i diritti sono riservati.

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in qualsiasi forma, sia meccanica che elettronica, senza il permesso scritto dell'editore e degli autori.

Direttore responsabile

Angelo Brugnoli

Impaginazione, ottimizzazione immagini e stampa

Pierrestampa - Roma

www.pierrestampa.it

**40 anni di esperienze
con traccianti
in Provincia di Verona
(Monti Lessini
e Monte Baldo)
e in alcune aree carsiche
dell'Asia Sud-orientale**

a cura di Roberto Zorzin

A CURA DI
Roberto Zorzin

AUTORI DEI CONTRIBUTI

Guido Rossi
Fabio Tottola
Alessandro Zorzin
Roberto Zorzin

IMPAGINAZIONE
Pierrestampa

IN COPERTINA
Grotta Tanella: tracciamento con fluoresceina (foto A. Ceradini)

CITAZIONE DEL VOLUME

Roberto Zorzin (ed.), 2021. 40 anni di esperienze con traccianti in Provincia di Verona (Monti Lessini e Monte Baldo) e in alcune aree carsiche dell'Asia Sud-orientale. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2. serie. Scienze della Terra 10.

ESEMPIO DI CITAZIONE DI UN SINGOLO CONTRIBUTO

Zorzin R., Tottola F., Rossi G., Zorzin A., 2021. I traccianti: cosa sono, come e perché si utilizzano. In: Roberto Zorzin (ed.), 2021. 40 anni di esperienze con traccianti in Provincia di Verona (Monti Lessini e Monte Baldo) e in alcune aree carsiche dell'Asia Sud-orientale. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2. serie. Scienze della Terra: 9-19.

INDICE

Roberto Zorzin, Fabio Tottola,
Guido Rossi, Alessandro Zorzin
**I traccianti: cosa sono,
come e perché si utilizzano**

pag. 9

Roberto Zorzin, Fabio Tottola,
Guido Rossi, Alessandro Zorzin
**Esperienze con traccianti
in Provincia di Verona**

pag. 21

Roberto Zorzin, Guido Rossi,
Alessandro Zorzin
**Esperienze con traccianti
in Cina**

pag. 69

Guido Rossi
**Esperienze con traccianti
nelle Filippine**

pag. 81

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Francesca Rossi e Leonardo Latella, rispettivamente Direttore dei Musei Civici di Verona e Conservatore della Sezione di Zoologia del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, per la stampa del presente volume e il Ministero degli Affari Esteri italiano per aver co-finanziato il progetto “Qualità dei principali acquiferi carsici e degli ambienti ipogei del Guizhou”.

Grazie anche all'Istituto Geografico Militare per aver concesso l'utilizzo della cartografia IGM.

Inoltre, si ringrazia Andrea Ceradini per le informazioni sul tracciamento della risorgenza di San Zeno dell'Oselet e per aver fornito alcune immagini della cavità, Bernardo Dino e Simone Zannotti rispettivamente per aver fornito foto e disegni.

Nel 1995, Ismail Serageldin, vicepresidente della Banca Mondiale, fece una previsione sulle guerre del futuro che ebbe una grande risonanza: "... se le guerre del ventesimo secolo sono state combattute per il petrolio, quelle del ventunesimo secolo avranno come oggetto il contendere l'acqua..." (Vandana, 2003). L'acqua dolce di buona qualità, infatti, è un bene sempre più raro e ricercato. Nella maggior parte dei Paesi industrializzati, e non solo, l'eccessivo e incontrollato sfruttamento delle falde idriche ha portato a una riduzione dell'acqua disponibile; contemporaneamente, l'inquinamento sempre più massiccio delle falde superficiali sta portando alla perforazione di pozzi progressivamente più profondi. Inoltre, la considerevole pressione antropica sugli acquiferi di pianura, intensamente sfruttati e, molto spesso, con valori di chimismo prossimi al limite della potabilità, ha amplificato e reso non differibile l'interesse sulle potenzialità idrogeologiche dei rilievi montuosi al fine di quantificarne le risorse e riserve idriche, nonché la vulnerabilità.

Le montagne costituite da rocce calcaree e, più in generale le aree carsiche, contengono "serbatoi" naturali di acqua; per questo motivo, rappresentano ambienti che necessitano di particolare tutela e salvaguardia. Gli acquiferi carsici risultano molto fragili a causa della facilità e della velocità con cui eventuali sostanze inquinanti che percolano dalla superficie riescono a diffondersi a grandi distanze, su ampie superfici e volumi di roccia.

I cambiamenti nella destinazione d'uso del territorio, insieme al suo crescente sfruttamento ai fini agricoli, stanno causando estesi e inten-

si fenomeni erosivi dei suoli con la conseguente desertificazione di vaste superfici in gran parte del mondo, tra cui anche in Italia. Ciò comporta una notevole riduzione delle superfici coltivabili, l'affioramento del substrato roccioso e, persa l'azione filtrante del terreno, la possibile diffusione di eventuali sostanze inquinanti direttamente nel circuito carsico.

In molti casi, per individuare la fonte di inquinamento vengono utilizzati traccianti naturali o artificiali, cioè sostanze non presenti nelle acque da indagare che, una volta immesse nelle stesse, le "marcano" fornendoci informazioni sul loro percorso.

Le prime esperienze sull'utilizzo moderno dei traccianti artificiali in campo idrogeologico vennero eseguite in Europa agli inizi degli anni '70 e negli Stati Uniti verso la metà degli anni '70. In Italia, invece, l'impiego dei traccianti è più recente. Per questo motivo e soprattutto per la diffidenza nell'applicazione di tali metodi da parte delle autorità sanitarie o dei responsabili delle reti acquedottistiche, non sono molti i dati sperimentali e ancora meno quelli ufficiali. Le prime applicazioni dei traccianti in Italia sono state effettuate in ambito prettamente speleologico, finalizzate alla verifica di eventuali connessioni idrologiche tra diverse cavità carsiche. Numerose e importanti sperimentazioni sono state condotte nel Carso Triestino per verificare il collegamento sotterraneo tra il punto in cui il Fiume Timavo Superiore si inabissa nella Grotta di San Canziano (Slovenia) e la foce (Timavo Inferiore) a San Giovanni di Duino, in provincia di Trieste. Le pionistiche ricerche sul percorso sotterraneo del

Timavo risalgono alla metà dell'800 per poi riprendere tra gli anni '60 e '80 del secolo scorso. Dopo un altro lungo periodo di stasi, solo da alcuni anni sono riprese le indagini con sostanze fluorescenti per opera di alcune realtà speleologiche e istituti di ricerca italiani.

La passione per la speleologia e l'attività professionale di alcuni degli autori ha contribuito non poco a stimolare e incrementare il loro interesse verso l'ambiente ipogeo e le problematiche a esso collegate. In oltre 50 anni di attività esplorativa R.Z. e G.R. hanno potuto verificare numerosi episodi di contaminazione dell'ambiente sotterraneo dovuti ad attività antropiche, prevalentemente legate all'allevamento, all'attività di cava e agli impianti di depurazione.

Gli autori, impegnati da lungo tempo in test con traccianti sia in Italia, sia all'estero (Sud-Est asiatico), in questo volume presentano i risultati di alcune loro esperienze in campo idrogeologico condotte nel Veronese (Monti Lessini e Monte Baldo), in Cina (Provincia del Guizhou) e nelle Filippine (Isola di Luzon).

Roberto Zorzin
*Conservatore Emerito
della Sezione di Geologia e Paleontologia
Museo Civico di Storia Naturale di Verona*

I TRACCIANTI: COSA SONO, COME E PERCHÉ SI UTILIZZANO

Roberto Zorzin^{1,2}, Fabio Tottola³, Guido Rossi⁴, Alessandro Zorzin⁵

¹ Museo di Storia Naturale di Verona

² Geologo, libero professionista, Verona

³ IPSIA E. Fermi, Verona

⁴ Geologo, Verona

⁵ Ingegnere Ambientale, C.R.N. Monti Lessini (VR)

ABSTRACT

Tracers are often a useful tool for studying groundwater. The main substances commonly used as tracers, their characteristics, the quantities used in hydrogeology and the methods of survey are presented.

Key-words: Tracers, use, input, analysis.

RIASSUNTO

I traccianti sono spesso un utile strumento per lo studio delle falde acquifere. Vengono presentate le principali sostanze comunemente impiegate nei tracciamenti, le loro caratteristiche, i quantitativi utilizzati in idrogeologia e le modalità di rilievo.

Parole chiave: Traccianti, utilizzo, immissione, analisi.

UTILIZZO DEI TRACCIANTI IN IDROGEOLOGIA

L'utilizzo dei traccianti artificiali nel campo idrogeologico e, in particolare, nello studio degli acquiferi carsici è un valido aiuto per comprendere la circolazione delle acque e il funzionamento di un dato sistema, elementi indispensabili per un corretto sfruttamento idropotabile e per la salvaguardia degli acquiferi stessi.

Esaminando le modalità di restituzione dei traccianti, le concentrazioni e le velocità di flusso nelle diverse condizioni idrodinamiche, è possibile risalire all'organizzazione della rete di drenaggio e ottenere utili informazioni riguardanti la vulnerabilità di un dato acquifero.

Numerose sono le sostanze utilizzabili con ottimi risultati, ma poche sono quelle che possono essere facilmente impiegate nello studio degli acquiferi carsici per problematiche sia fisiche relative al tipo di tracciante stesso, sia di ordine pubblico. Infatti, molto spesso, le autorità sanitarie o i responsabili delle reti acquedottistiche che emungono acque di origine carsica per scopi idropotabili vietano l'uso di queste sostanze considerate eccessivamente impattanti (colorano in-

tensamente l'acqua) o potenzialmente tossiche (Figura 1).

Le sostanze che possono essere utilizzate come traccianti devono presentare caratteristiche prossime a quelle del tracciante ideale (Vigna, 2001), ossia:

- un'altissima solubilità in acqua che si realizzi in tempi molto brevi al fine di poter considerare istantanea l'immissione;
- essere chimicamente inerte, non subire, quindi, fenomeni di adsorbimento o reazioni chimiche che ne diminuiscano la concentrazione;
- essere fisicamente neutro, quindi non separarsi per gravità o rimanere intrappolato nei pori della matrice litologica;
- non modificare le caratteristiche dinamiche dell'acqua (viscosità, densità);
- possedere un limite di rilevazione molto basso;
- essere facilmente analizzabile con metodi rapidi e poco costosi;
- possedere una tossicità nulla, anche a basse concentrazioni.

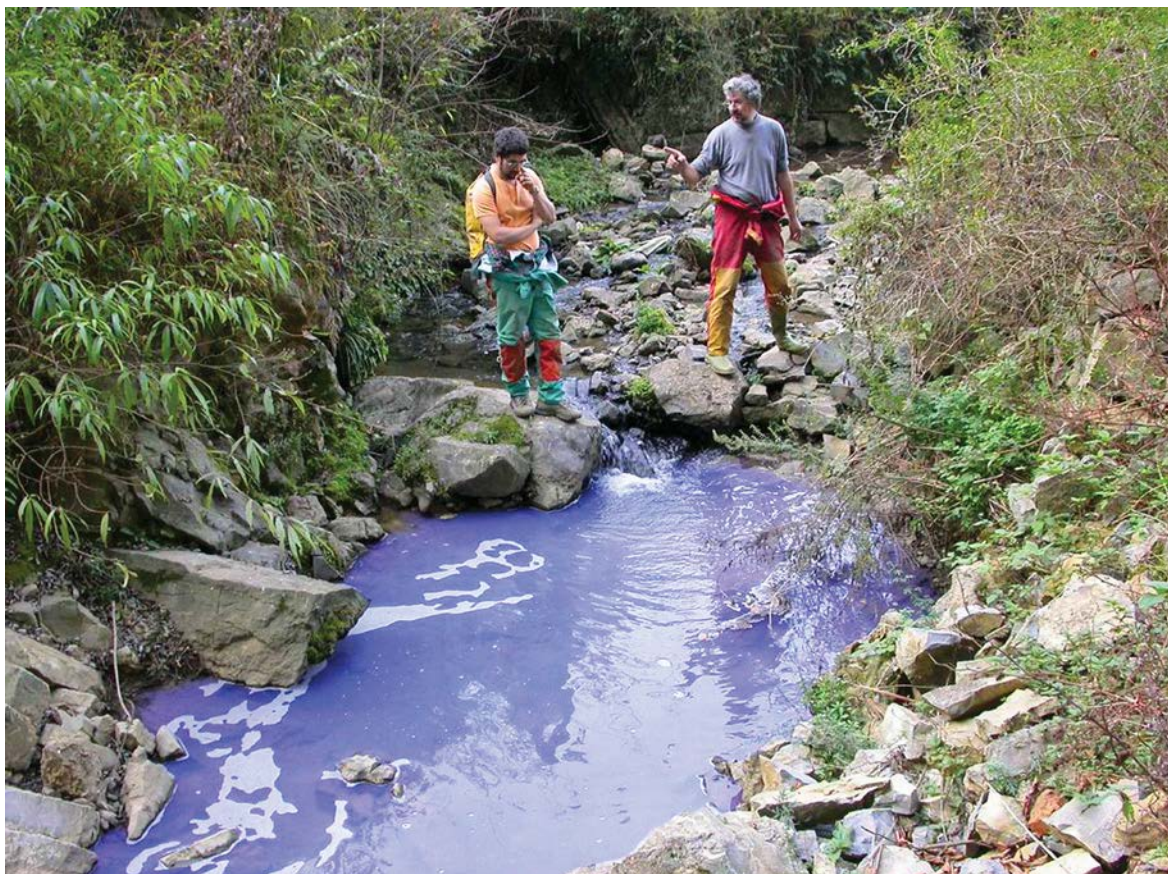


Fig. 1 – Progetto Guizhou 2003 (Cina). Tracciamento di un corso d'acqua superficiale in località Honglin per verificare il collegamento idrogeologico con una sorgente carsica (foto L. Latella)

Quando si eseguono tracciamenti è sempre molto importante acquisire il maggior numero di informazioni possibili sull'area in studio (geologia, idrogeologia, tettonica, ecc.) senza avere fretta di concludere il test. Infatti, una non completa conoscenza del comportamento dell'acquifero in esame o una interpretazione superficiale dei primi risultati possono portare a errori talvolta molto pesanti. Infine, è sempre indispensabile una verifica dello stato dei luoghi, ossia effettuare uno o più sopralluoghi nell'area dove si intende eseguire il tracciamento e in quella dove verranno posizionati i fluocaptorii. Per essere certi dei risultati delle prove che si andranno a realizzare è necessario anche preventivamente informarsi se sono in atto o sono programmati altri studi simili in luoghi adiacenti, ed eventualmente recuperare informazioni sul tipo e i quantitativi di tracciante utilizzato nonché sui tempi d'indagine previsti.

I TRACCIANTI PIÙ COMUNEMENTE UTILIZZATI

Le sostanze che più comunemente vengono utilizzate nei test di tracciamento, in funzione delle loro caratteristiche, sono:

- sostanze in soluzione riconoscibili per il loro colore anche in quantità molto piccole (traccianti fluorescenti e biologici);
- sostanze in soluzione riconoscibili per via chimica anche a dosi molto piccole (traccianti chimici);
- sostanze in soluzione riconoscibili per via elettrica anche in dosi molto piccole (traccianti fluorescenti e chimici);
- sostanze radioattive che provocano un aumento della radioattività dell'acqua (traccianti radioattivi).

Questi tipi di traccianti artificiali hanno un comportamento che si avvicina a quello ideale, ma ognuno di loro presenta alcune controindi-

cazioni per l'impiego specifico in acquiferi captati per uso idropotabile (Vigna, 2001):

- i traccianti fluorescenti tradizionali, largamente impiegati e con ottimi risultati, presentano inconvenienti legati alla sospetta tossicità di alcune sostanze e, più in particolare, a una loro eccessiva visibilità anche in concentrazioni molto basse. Spesso le autorità competenti ne vietano l'utilizzo soltanto per evitare un allarmismo, peraltro ingiustificato, nell'utenza;
- i traccianti biologici sono di difficile reperibilità, costosi e di complicato utilizzo;
- i traccianti chimici alterano le caratteristiche dell'acqua e inoltre necessitano di grossi quantitativi;
- gli isotopi radioattivi sono molto validi, ma richiedono uno stretto controllo da parte delle autorità sanitarie, tale da risultare poco pratico il loro impiego.

Traccianti coloranti e fluorescenti

Le sostanze coloranti e fluorescenti riconoscibili per la loro tinta, o per via chimica, più comuni e principalmente utilizzate sono analizzate qui di seguito.

Fluoresceina ($C_{20}H_{12}O_5$)

È una sostanza in polvere di colore rosso purpureo che, una volta diluita in acqua, fornisce una tipica colorazione verde fluorescente (Figura 2). Va impiegata in soluzione alcolica (1 kg di fluoresceina in 5 litri di alcool etilico) e quindi diluita in 50 litri d'acqua. A occhio nudo è ancora riconoscibile nelle proporzioni di 1 g per 10-40 m³ d'acqua e col fluoroscopio nella misura di 1 g per più di 1.000 m³ d'acqua. La fluoresceina può essere riconosciuta anche in diluizioni molto maggiori facendo attraversare la soluzione dalla luce elettrica usando dei fili di lana bianca che, immersi in soluzioni diluitissime, assumono una tinta arancione più o meno intensa (Salmoiraghi, 1905). Occorre tenere presente che la fluoresceina è sensibile ai raggi solari in presenza di acidi humici e di acido carbonico (H_2CO_3), per cui va usata in acque a reazione alcalina (Desio, 1973).

Fluoresceina sodica o uranina ($C_{20}H_{10}Na_5O_2$)

È un derivato sodico della fluoresceina che possiede caratteristiche analoghe ad essa, così pure l'*eosina* e la *metileosina* (quest'ultima non fluorescente). La fluoresceina sodica va impiega-

ta nella misura di circa 1-2 g per 100 m³ d'acqua o 100 g per distanze di alcune centinaia di metri, mentre 1-2 kg per distanze di alcuni chilometri (Desio, 1973). La fluoresceina sodica è una sostanza innocua tanto che, sfruttando la sua fluorescenza, viene utilizzata nella fluoroangiografia, soprattutto per indagini delle patologie retiniche. È, senza dubbio, uno dei migliori coloranti per acqua che si conoscano, ma a causa della sua presenza in molti prodotti igienizzanti possiede un valore di background relativamente elevato (Smart & Laidlaw, 1977).

Sulforodamina G ($C_{25}H_{25}N_2NaO_7S_2$)

È una sostanza in polvere di colore variabile dal rosso al marrone-rossastro scuro, ben solubile in acqua. È conosciuta anche come Amido-Rodamina G. I coloranti appartenenti a questa famiglia sono generalmente sostanze fluorescenti la cui risposta varia in funzione del pH e della temperatura. A differenza della Rodamina B e della Rodamina WT, la Sulforodamina G non risulta essere tossica (Flury & Wai, 2003).

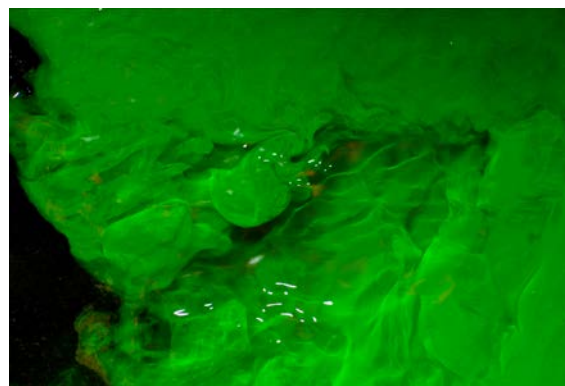


Fig. 2 – Diluizione della fluoresceina in soluzione alcolica (foto R. Zorzin)

Candeggianti ottici

In questa tipologia di traccianti sono comprese numerose sostanze fluorescenti, atossiche, incolori se diluite in acqua, di corrente uso industriale che vengono impiegate come sbiancanti nei comuni detersivi. Tra i numerosi candeggianti presenti sul mercato, quelli più indicati da impiegare nello studio degli acquiferi carsici sono il *Tinopal OMS-X* e il *CBS-X*, il *Leucophor B*, il *BCF* e il *Blancolux*. Tra questi, il più utilizzato è certamente il *Tinopal*

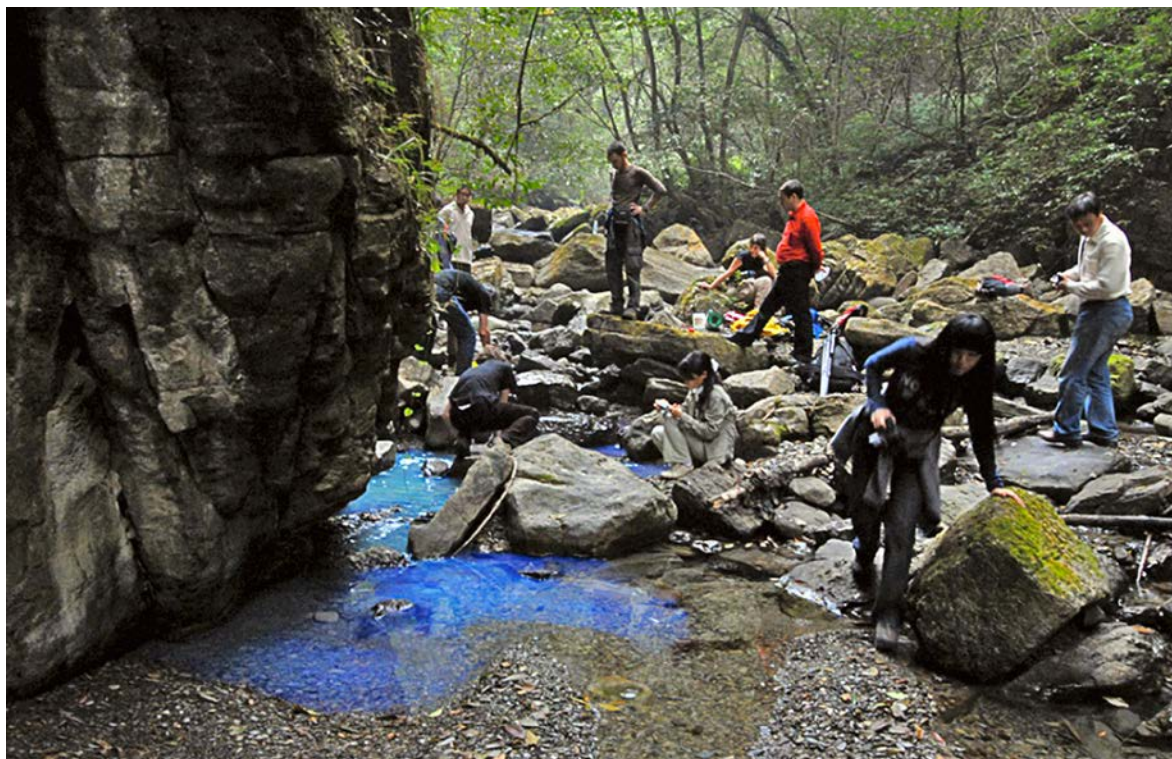


Fig. 3 – Caratteristica colorazione azzurra di Tinopal utilizzato in Cina nel 2006 per un tracciamento di un corso d'acqua della Contea di Shigian (foto A. Zorzin)

CBS-X ($C_{28}H_{20}Na_3O_6S_2$) che si presenta come una polvere di colore giallo chiaro. Ha una lunghezza d'onda (nm = nanometri) di emissione di 440 nm e una lunghezza d'onda ottimale di 365-370 nm (Uggeri & Vigna, 1990). Una volta immesso in acqua fornisce un'opalescenza azzurrina di intensità piuttosto elevata (Figura 3) ed è facilmente rilevabile con un comune fluorimetro. In generale, il limite di rilevazione dei candeggianti ottici è pari a 1 $\mu\text{g/l}$ (Uggeri & Vigna, 1990). I test di tossicità effettuati dalle case produttrici indicano che queste sostanze sono prodotti non mutageni e non cancerogeni e con limitati effetti sulla flora nelle concentrazioni prevedibili durante le esperienze di tracciamento. I test di irritazione dell'occhio e della cute indicano che queste sostanze possono essere maneggiate senza pericolo mantenendo le usuali precauzioni (utilizzo di guanti e occhiali di protezione). I dati di tossicità forniti dalle diverse ditte sono confermati da uno studio (Barbreau *et al.*, 1988) che, confronta dal punto di vista sanitario ed ecologico alcuni traccianti fluorescenti comunemente usati nel campo idrogeologico, concludendo che soltanto la fluoresceina sodica e

il *Tinopal CBS-X* posseggono caratteri tali da essere adeguati all'utilizzo previsto.

Traccianti biologici

Tra queste sostanze, affini alle precedenti, ma dotate di minore potere colorante per l'acqua, ricordiamo la *fuchsina* o rosso d'anilina, che colora le soluzioni acquose di rosso e il *blu di metilene* ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot H_2O$), che le tinge di azzurro. Altro composto utilizzato è il *permanganato potassico* ($KMnO_4$) che determina una colorazione rosso amaranto delle acque.

Traccianti chimici

Le sostanze più comunemente impiegate, incolori e riconoscibili esclusivamente per via chimica sono le seguenti.

Cloruro di sodio ($NaCl$) o di calcio ($CaCl_2$) o d'ammonio (NH_4Cl)

È riconoscibile facilmente nella misura di 1 cg per litro d'acqua provocando un precipitato bianco caseoso con una soluzione di nitrato d'argento. Ha un comportamento di tipo conservativo e non

è sensibile alle variazioni del pH (Rieckermann *et al.*, 2005). Viene utilizzato preferibilmente per misure di velocità della falda freatica.

Cloruro di litio (LiCl)

La sua presenza è rivelata dall'analisi spettroscopica in emissione per una riga rossa molto caratteristica. È riconoscibile nella misura di $3,8 \times 10^{-4}$ mg/m³ d'acqua. Oltre al cloruro di litio vengono anche utilizzati il *cloruro di stronzio* (SrCl₂) e il *cloruro di cesio* (CsCl) che hanno proprietà analoghe ma righe di emissione diverse.

Caffeina (C₈H₁₀N₄O₂)

Da alcuni anni si studia la possibilità di utilizzare la caffeina come tracciante nella contaminazione delle acque superficiali e sotterranee da parte di acque reflue di origine urbana e domestica. Infatti, la presenza della caffeina è un chiaro indicatore delle acque reflue domestiche, essendo ingerita solo dagli esseri umani. Le principali fonti di immissione della caffeina nell'ambiente sono costituite dalle acque nere urbane, dai reflui delle fosse settiche e dal percolato di discarica di rifiuti solidi urbani. La metodica analitica consente, inoltre, un limite di rivelabilità molto basso, dell'ordine dei nanogrammi/litro d'acqua, a costi relativamente bassi (Bazzoli *et al.*, 2005).

Benzoilecgonina (C₁₆H₁₉NO₄)

Un'altra sostanza, non propriamente utilizzata come tracciante, ma che è indice univoco di inquinamento domestico è la *cocaina* che, nell'organismo, induce la produzione di un metabolita, la benzoilecgonina, particolarmente stabile e quindi facile da rintracciare. Nell'estate del 2005, infatti, nel Fiume Po è stata fatta una ricerca che ha rilevato la presenza in tracce della benzoilecgonina. Questo particolare esempio ha evidenziato come qualsiasi sostanza non presente naturalmente in un determinato ambiente può fungere da tracciante.

Chinino solfato (C₂₀H₂₄N₂O₂)

È un alcaloide naturale ricavato da Cinchona, una pianta che vive nelle Ande, un tempo utilizzato come principio attivo antimalarico, ora sostituito dalla cloroquina, e presente in piccole quantità in alcune bevande (acqua tonica, bitter al limone, ecc.). Come tracciante ha il difetto di essere troppo costoso per le quantità comunemente utilizzate in idrogeologia.

Traccianti radioattivi

Poiché i traccianti tradizionali presentano spesso inconvenienti tali da renderli inutilizzabili per indagini su lunghi percorsi sotterranei, da alcuni anni a questa parte vengono, sempre più spesso, utilizzati i traccianti radioattivi che presentano il vantaggio di essere facilmente individuabili nelle acque anche in minime quantità. Il loro tenore può altresì essere facilmente misurato con comuni contatori Geiger.

Esclusi i radioisotopi che possono essere più facilmente assorbiti dal terreno (composti di Ba, Fe, Na, K), i rimanenti si possono dividere in isotopi a vita media, lunga e breve. Solo questi ultimi, visto che vengono prodotti in natura e decadono in tempi brevi, possono venire utilizzati come traccianti.

Il *trizio* (³H o T), che ha una emivita di 12,3 anni, è uno dei radioisotopi più usati. Per le sue caratteristiche può essere utilmente impiegato anche nelle acque dotate di bassa velocità e su lunghi percorsi. La marcatura delle acque col trizio può consentire di determinare anche la quantità d'acqua triziata che passa fra due località e conseguentemente la percentuale di acqua di provenienza estranea che affluisce nell'intervallo fra esse (Desio, 1973).

Con le comuni apparecchiature di misura della radioattività possono essere identificati 5 µC (microcurie) per litro d'acqua in misura significativa rispetto al fondo. La concentrazione del trizio nelle acque meteoriche registrata precedentemente alle esplosioni termonucleari del 1952 era compresa tra 5 e 15 Unità Trizio (UT) mentre, successivamente, è aumentata fino al 1963, raggiungendo valori di circa 10.000 UT in primavera alle alte latitudini dell'emisfero Nord. Al giorno d'oggi le concentrazioni nelle precipitazioni sono ritornate ai valori precedenti i test termonucleari.

Il trizio viene tuttavia fissato dagli organismi che vivono nell'acqua, ma in quantità minore di quella di altri traccianti radioattivi. Per evitare pericoli all'Uomo, si dosa accuratamente la quantità di tracciante da impiegare adeguandola alla portata del corso d'acqua in modo da evitare concentrazioni nocive per la salute (Mosetti, 1968).

Burdon (1963) ha impiegato il trizio per accertare l'esistenza di comunicazioni tra le falde acquifere raggiunte da alcune perforazioni a Tripoli (Grecia) e le acque di alcune sorgenti sotterranee situate a 30 km dalla costa. Unitamente al trizio era stata immessa nell'acqua anche

fluoresceina; le analisi compiute alle sorgenti, hanno rivelato che la fluoresceina era stata completamente assorbita dalla roccia calcarea, mentre il trizio era rimasto in quantità apprezzabile nell'acqua delle scaturigini (Desio, 1973).

Un altro radioisotopo a vita breve utilizzato è lo *iodio-131*, che ha una emivita di 8,05 giorni. Esso può venire utilizzato su brevi distanze per acque lente e su distanze maggiori per acque veloci. Questo isotopo può essere impiegato anche in tracce, data la sua elevata radioattività.

TINOPAL E FLUORESCINA: CONDIZIONI DI UTILIZZO

Tra i numerosi traccianti utilizzabili, quelli maggiormente impiegati nei test eseguiti nel Veronese (Figura 4), in Cina e nelle Filippine da parte di A.Z., R.Z. e G.R., sono il Tinopal e la fluoresceina. La scelta di questi traccianti per le indagini idrogeologiche deriva anche dalla lunga esperienza dei tre autori nonché dal loro costante aggiornamento e confronto con altri colleghi sia italiani sia stranieri.

Per evitare spiacevoli perdite di tempo e denaro è importante conoscere le principali caratteristiche di queste sostanze. L'impiego di tali traccianti, infatti, è condizionato da (Vigna, 2001):

- la presenza di scarichi: le acque dei corsi d'acqua superficiali e quelle carsiche possono essere contaminate da scarichi fognari che spesso sono caratterizzati da una fluorescenza di background abbastanza elevata;
- il decadimento fotochimico: questo parametro riguarda la sensibilità alla luce dei traccianti fluorescenti. Nelle prove a lungo termine i risultati sottolineano, dopo una elevata caduta iniziale, una più blanda e progressiva diminuzione dei valori di fluorescenza che possono anche annullarsi del tutto in funzione della concentrazione iniziale. Il decadimento fotochimico è relativamente basso per la fluoresceina che, solo a piccolissime concentrazioni e in tempi molto lunghi, mostra una diminuzione del valore della fluorescenza. Il Tinopal è, invece, altamente fotosensibile per cui occorre prendere le necessarie precauzioni. In primo luogo, i campioni d'acqua prelevati devono essere custoditi in contenitori opachi mentre i fluocaptori devono essere posizionati in zone al riparo dalla luce diretta. Inoltre, i

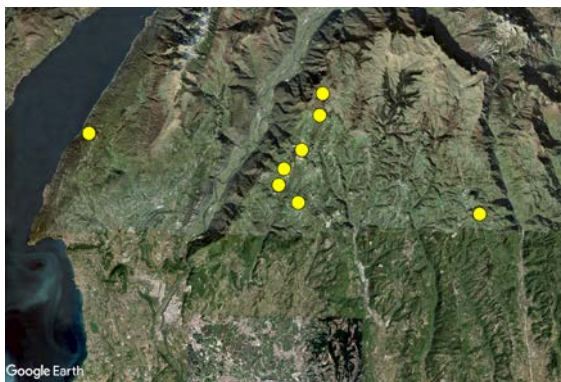


Fig. 4 – Ubicazione dei principali test con traccianti eseguiti in Provincia di Verona e descritti nel presente volume (Google Earth, Image Landsat / Copernicus)

traccianti effettuati in corsi d'acqua superficiali devono essere preferibilmente eseguiti nelle ore serali. Il limite di rilevazione del Tinopal è pari a 1 µg/l (Uggeri & Vigna, 1990) mentre secondo Gaspar & Oresanu (1987) è compreso tra 1 e 100 pg/l;

- il pH: nelle acque carsiche è in genere vicino alla neutralità. La fluoresceina è molto sensibile solo a valori bassi del pH, mentre il Tinopal è meno disturbato da possibili scostamenti di tale parametro;
- la filtrazione da parte dei sedimenti argillosi: viene spesso considerata come parametro dominante per la negatività di certi traccianti. In effetti, qualsiasi sostanza fluorescente viene in parte trattenuta dai depositi argillo-siltosi e il Tinopal, rispetto alla fluoresceina, presenta un più elevato adsorbimento da parte dei sedimenti fini. In realtà, in un sistema carsico, non si verifica mai una situazione in cui il deflusso idrico percorra sezioni piuttosto lunghe colme di questi depositi, se non nei primi tratti delle cavità ove ci può essere una circolazione effimera. In tali condizioni è sconsigliabile effettuare qualsiasi tracciamento con i quantitativi di tracciante comunemente utilizzati/calcolati;
- la solubilità in acqua: è una caratteristica molto differente per la fluoresceina e il Tinopal. La fluoresceina è piuttosto solubile, anche se a concentrazioni elevate tende a formare dei coaguli, mentre il Tinopal presenta valori di solubilità piuttosto bassi con sedimentazione della sostanza a partire da concentrazioni superiori ai 100 mg/l.



Fig. 5 – Cina: Progetto Guizhou 2003. Tracciamento con Tinopal spargendo manualmente e in piccole quantità la polvere del tracciante direttamente nel corso d'acqua (foto L. Latella)



Fig. 6 – Preparazione della fluoresceina in varie concentrazioni da conservare in taniche non trasparenti per evitare/limitare il decadimento fotochimico (foto A. Zorzin)

Immissione del tracciante e quantitativi

Solitamente, prima di effettuare l'immissione del tracciante è bene fare la cosiddetta "prova in bianco" (background). Questa prova consiste nel prelevare un campione di acqua, analizzarlo in laboratorio e verificare l'effettiva assenza, oppure la concentrazione di base, del tracciante scelto per eseguire le indagini. In abbinamento/alternativa si possono lasciare dei fluocaptori nelle acque/sorgenti da monitorare che saranno controllati a distanza di alcuni giorni/una settimana. È una prova indispensabile poiché sia gli sbiancanti ottici sia le sostanze fluorescenti si possono trovare nei comuni detersivi utilizzati dall'uomo e pertanto sono potenzialmente presenti nelle acque reflue domestiche.

In genere l'immissione del tracciante viene considerata puntuale, ovvero effettuata in tempi relativamente brevi. Essendo queste sostanze sotto forma di polveri, possono essere immesse direttamente in acqua spargendole manualmente (Figura 5), poco alla volta per evitare coaguli, o, meglio, preparando una soluzione che viene poi sversata (Figura 6). Si sconsiglia di effettuare test in zone con scorrimenti idrici molto bassi, perché una notevole quantità del tracciante può rimanere intrappolata in zone stagnanti o in tratti in cui sono presenti sedimenti fini. Il Tinopal, a causa della bassa solubilità, deve essere utilizzato unicamente con portate superiori a 1 l/s. Per quanto riguarda, invece, la fluoresceina, data la sua elevata solubilità, questo problema non si pone (Vigna, 2001).

La quantità di tracciante da utilizzare è condizionata da diversi fattori: la portata alla sorgente e la distanza che il tracciante dovrà percorrere sembrano i parametri determinanti. In realtà, anche il volume d'acqua interessato al tracciamento è uno dei valori importanti da considerare per calcolarne il quantitativo ideale.

In letteratura esistono alcune formule empiriche per calcolare quanto tracciante utilizzare in un test (Uggeri & Vigna, 1991):

– Martel & Fournier

$$\text{kg} = L \times Q$$

kg = quantità di tracciante da utilizzare

L = lunghezza in km del percorso sotterraneo

Q = portata della sorgente (m^3/s);

– Aley & Fletcher

$$\text{kg} = 1.478 (L \times Q/v)^{1/2}$$

v = velocità del deflusso ipogeo (m/s).

Dalle esperienze descritte in bibliografia, risulta che i valori calcolati con la formula Martel & Fournier sono troppo bassi, mentre per la formula Aley & Fletcher è difficile stimare la velocità del flusso ipogeo prima del test.

Vigna (2009), per valutare la quantità di fluoresceina da impiegare in un tracciamento, tiene in considerazione la portata e la tipologia della rete di drenaggio del sistema carsico. Per una sorgente con una portata di circa 100 l/s calcola indicativamente i seguenti quantitativi:

- 0,5 kg - 1,0 kg in un sistema a dreno dominante;
- 2,0 kg - 4,0 kg in un sistema a dreni interconnessi;
- 5,0 kg - 10,0 kg in un sistema dispersivo.

Zorzin R. e Zorzin A., tenuto conto che la portata media delle sorgenti del Veronese è inferiore a 1 l/s, ritengono validi per tale territorio i seguenti quantitativi medi, in funzione della distanza:

- fino a 0,5 km da 0,01 kg a 0,1 kg;
- tra 0,5 km e 2,0 km da 0,1 kg a 1,0 kg;
- tra 2,0 km e 10,0 km da 1,0 kg a 5,0 kg.

Raccolta dei fluocaptori alle emergenze

I punti d'uscita e le modalità di restituzione dei traccianti vengono determinati recuperando i fluocaptori precedentemente posizionati e/o campionando periodicamente le acque delle emergenze potenzialmente in collegamento con il punto di immissione e anche quelle periferiche all'ipotetico bacino idrogeologico.

In genere, i fluocaptori vengono posizionati prima di eseguire un test con traccianti, soprattutto per evitare facili contaminazioni. Tale rischio si riduce se la soluzione con il tracciante viene preparata prima e poi portata sul luogo dell'iniezione.

Infatti, è sconsigliabile che la persona che ha appena seguito il tracciamento, seppur dotata di tuta e guanti di protezione, vada a collocare i fluocaptori. Per questo motivo è sempre meglio che tali operazioni vengano fatte da persone differenti. Al contrario, è auspicabile che sia sempre la stessa persona a provvedere al recupero e alla sostituzione dei fluocaptori poiché è l'unica che può ritrovarli facilmente a distanza di giorni dal posizionamento visto che vanno sempre collocati al riparo dalla luce e in punti poco visibili per evitare che siano raccolti e asportati da estranei.

I fluocaptori impiegati nei test con fluoresceina, possono essere autocostituiti usando una rete plastica o metallica, a piccole maglie, utilizzata come contenitore, che viene colmata con carbone attivo generalmente granulare. In alternativa, come contenitore del carbone si può utilizzare un pezzo di tubo di plastica chiuso lateralmente da una reticella. I fluocaptori per il Tinopal, come del resto per tutti i candeggianti ottici, vengono realizzati inserendo all'interno di due reticelle di plastica o in metallo delle garze in cotone "non trattate", del tipo di quelle utilizzate in chirurgia (Figura 7).

Una volta individuati i punti di posizionamento dei fluocaptori, questi vengono ben ancorati, per impedire che siano strappati dalla corrente.



Fig. 7 – Fluocaptori auto-costruiti utilizzando tubi di plastica contenenti carbone attivo e reticelle con inserite garze in cotone. A sinistra i fluocaptori appena recuperati dalla sorgente, a destra quelli ancora da utilizzare (foto R. Zorzin)

Generalmente, la persona che posiziona i fluocaptori provvederà anche al loro recupero, sostituendoli con altri nuovi per una o più volte. La frequenza con cui vengono recuperati i fluocaptori è variabile. All'inizio si procede con prelievi ravvicinati (pochi giorni), poi a scadenze settimanali e infine a intervalli sempre più lunghi. Tempi troppo lunghi, però, portano a una degradazione delle garze tale da compromettere le analisi di laboratorio.

Per quanto riguarda, invece, il campionamento delle acque, questo viene effettuato anche con l'ausilio di dispositivi automatici che prelevano campioni di acqua a intervalli regolari (Blin-Lacroix *et al.*, 1988).

Le precauzioni da osservare in questo tipo di campionamento, data l'elevata fotosensibilità delle sostanze, sono la conservazione al buio assoluto dei campioni tra la raccolta e l'analisi di laboratorio.

Un altro strumento utilizzato per tracciare inequivocabilmente la curva di restituzione del tracciante è un acquisitore automatico, che fornisce direttamente le concentrazioni del tracciante a intervalli di tempo dell'ordine di alcuni minuti, e ha una lunga autonomia di lavoro (Vigna, 2001).

Analisi in laboratorio

I fluocaptori (solitamente carbone attivo per la fluoresceina e cotone per il Tinopal) raccolti alle emergenze devono essere analizzati utilizzando metodologie differenti a seconda del tracciante utilizzato/ricercato.

– *Carbone attivo*

Parte del carbone attivo viene immerso entro una provetta contenente una soluzione di potassa alcolica preparata con KOH al 10% in alcol etilico. Tale soluzione favorisce l'estrazione della fluoresceina assorbita dal carbone attivo. Successivamente il campione viene osservato utilizzando la lampada di Wood posizionata dietro la provetta. La presenza del tracciante è evidenziata da una certa opalescenza/fluorescenza della soluzione, più o meno marcata in funzione della concentrazione. Per ottenere risultati inequivocabili bisognerebbe analizzare la soluzione con uno spettrofluorimetro che restituisce valori precisi sulla concentrazione di tracciante. Tale operazione, però, richiede costi molto più elevati.

– *Cotone*

Le garze vengono analizzate direttamente con la lampada di Wood che permette di evidenziare le zone venute a contatto con il Tinopal (Figura 8).

La positività dei fluocaptori è la dimostrazione dell'esistenza del collegamento tra il punto d'immissione del tracciante e la risorgenza/punto di monitoraggio. Un risultato negativo, tuttavia, non costituisce prova dell'assenza di tale collegamento.

I campioni d'acqua prelevati con campionatori automatici possono essere invece direttamente analizzati o con la lampada di Wood o con lo spettrofluorimetro.

La curva di restituzione del tracciante in un dato punto viene ricostruita analizzando in batteria tutti i campioni prelevati o confrontando

i dati sulle concentrazioni rilevate dallo spettrofluorimetro.

Elaborazione dei dati ottenuti

Il tracciante rappresenta un segnale che viene introdotto in un acquifero nel quale subisce variazioni più o meno marcate a seconda della complessità del sistema e delle condizioni idrodinamiche presenti. Infine, viene restituito alle emergenze in diverse concentrazioni e ad intervalli di tempo più o meno lunghi (Vigna, 2001).

Le velocità di flusso, calcolate sulla base dell'uscita del tracciante, forniscono dati non sempre determinanti per comprendere il funzionamento di quel dato sistema. I risultati ottenuti sono, infatti, strettamente correlati all'andamento idrodinamico del sistema durante l'operazione di tracciamento, con valori di velocità che variano a seconda dei carichi idraulici presenti al momento del test.

Negli acquiferi carbonatici si possono riconoscere tre diversi modelli concettuali relativi all'organizzazione della rete di drenaggio; pertanto altrettante e diversificate saranno le risposte dei sistemi al tracciante immesso.

Nelle "reti a dreno dominante", una serie di importanti collettori (ampi condotti o grosse fratture) sono in grado di drenare rapidamente le acque circolanti nel sistema, senza l'esistenza di una zona satura effettiva, limitata esclusivamente a tratti di gallerie sifonanti. La restituzione del tracciante introdotto è a "impulso unico", con un tempo di arrivo più o meno ritardato e con una curva più o meno ampia a seconda delle condizioni idrodinamiche presenti durante le fasi del tracciamento.

Durante periodi con portate basse, è possibile una limitata diffusione e dispersione del tracciante nei laghi sotterranei o nei grossi condotti sifonanti.

Nelle "reti a dreni interdipendenti" la circolazione profonda avviene lungo una serie di condotti e fratture più o meno interconnesse, con l'esistenza di una zona satura effettiva o più spesso con diversi "serbatoi semi-dipendenti" (Sersem), con livelli piezometrici diversi (Figura 9). La restituzione del tracciante è caratterizzata da "impulsi multipli", dovuti ai percorsi nei diversi condotti, ognuno dei quali presenta differenti caratteristiche, con proprie velocità di flusso e di dispersione idrodinamica.



Fig. 8 – Fluocaptore positivo (sx) e negativo (dx) osservati alla lampada di Wood (foto R. Zorzin)

Nei sistemi caratterizzati da una “rete a circolazione dispersiva” non esistono vie di drenaggio preferenziali. Il flusso avviene uniformemente nella complessa rete di fratture, tra loro interconnesse, con una zona satura e una circolazione assimilabile a quella dei mezzi porosi. Il tracciante immesso subisce una “restituzione dispersiva” causata da una velocità molto lenta e da un’elevatissima diffusione e dispersione nel reticolo di fratture.

UTILIZZO DEI TRACCIANTI IN FUNZIONE
DEL D.LGS. N. 31 DEL 2 FEBBRAIO 2001
“QUALITÀ DELLE ACQUE
DESTINATE AL CONSUMO UMANO”

Quando si effettuano indagini con traccianti su sorgenti utilizzate da acquedotti, si immettono nel sottosuolo sostanze che, come affermato, non sono presenti naturalmente alterando, pertanto, il chimismo della falda stessa.

Il Decreto Legislativo del 2 febbraio 2001 è il decreto attuativo della Direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano che intende proteggere la salute delle persone, stabilendo requisiti di salubrità e pulizia cui devono soddisfare le acque potabili nell’Unione Europea.

Le finalità del Decreto Legislativo, come si legge nell’articolo 1, prevedono la disciplina della qualità delle acque destinate al consumo umano “... al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque...”. Per quanto riguarda gli obblighi generali, l’articolo 4 comma 2 lettera a) recita che le acque “... non devono contenere microrganismi e parassiti, né altre sostanze, in quantità o concentrazioni tali da rappresentare un potenziale pericolo per la salute umana...”. Inoltre, l’articolo 4 comma 3 riguardo alle direttive di tale decreto, dice che l’applicazione dello stesso “... non può avere l’effetto di consentire un deterioramento del livello esistente della qualità delle acque destinate al consumo umano tale da avere ripercussioni sulla tutela della salute umana, né l’aumento dell’inquinamento delle acque destinate alla produzione di acqua potabile”.

A una prima lettura degli articoli del D.Lgs. 2 febbraio 2001 si evince che l’utilizzo di traccianti non è altro che una contaminazione delle acque

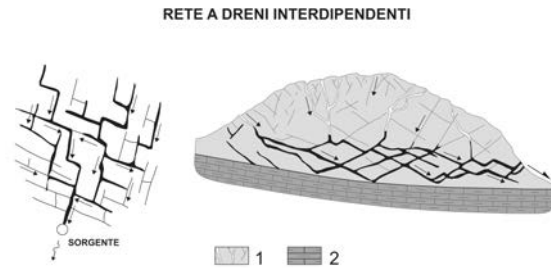


Fig. 9 – Particolare circolazione carsica caratterizzata da variazioni di portata determinate da impulsi multipli (da Vigna, 2001 – modificato da R. Zorzin)



Fig. 10 – Test con fluoresceina realizzato durante le fasi di segazione di calcari lastrolari per verificare la corretta sigillatura delle fratture beanti al fine di evitare l’infiltrazione nel sottosuolo delle acque utilizzate (foto A. Zorzin)

con delle sostanze che, alterandone le componenti chimiche, le deteriorano e ne aumentano l’inquinamento.

Bisogna però considerare che i traccianti solitamente vengono utilizzati per delimitare i bacini idrogeologici di acquiferi fruibili dal punto di vista idropotabile, oppure in acque inquinate proprio per poter determinare l’origine dell’inquinamento stesso (Figura 10).

In primo luogo, quindi, andando a determinare il bacino idrogeologico, non si fa altro che delimitare un’area per poterla salvaguardare e preservare da eventuali inquinamenti antropici. In secondo luogo, proprio la determinazione dell’origine dell’inquinamento ci permette di

poter intervenire e sanarlo rendendo nuovamente pulite e salubri le acque.

In conclusione, è vero che tali sostanze vanno a modificare la naturale composizione di un'acqua, ma se il fine del loro utilizzo è quello di preservare o migliorare la qualità della stessa, non possono essere considerate agenti inquinanti. Infatti le concentrazioni impiegate nei test non sono considerate nocive per la salute umana.

BIBLIOGRAFIA

- BARBREAU A., DURAND E., FEUGA B., PEAUDERCERF P., CACAS M. C., LEDOUX E., DE MARSILY G., 1988. Identification des paramètres d'écoulement et de transport dans un milieu fissuré décrit de façon stochastique. *Coll. Int. Hydrogéologie et sûreté des dépôts de déchets radioactifs et industriels toxiques*, Doc. BRGM. 160.
- BAZZOLI G., VISINTAINER M., ARMAN S., GOTTARDI C., 2005. La caffeina come indicatore di contaminazione antropogenica delle acque sotterranee. Possibilità di applicazione nei bacini montani. *Geologia tecnica & ambientale*, Rivista trimestrale dell'Ordine dei Geologi, Roma, 4.
- BLIN-LACROIX J.L., THOMAS A., 1988. La géométrie fractale: un outil particulier adapté à la modélisation des réseaux de fractures karstifiées. *Quatr. Coll. d'Hydrogéologie en pays calcaire et en milieu fissuré*, Besançon.
- BURDON D.J., ERIKSSON E., PAPADIMITROPOULOS T., PAPAKIS N., PAYNE B.R., 1963. The use of Tritium in Tracing Karst Groundwater in Greece. *Radioisotopes in Hydrogeology, Proceedings of the Symposium on the application of radioisotopes in hydrology*, International Atomic Agency, Vienna: 309-320.
- DESIO A., 1973. Geologia applicata alla ingegneria – Mezzi e metodi d'esplorazione del sottosuolo, Idrogeologia, Geomorfologia applicata, Geologia delle costruzioni, Geologia mineraria. Hoepli, terza edizione, Tip. U. Allegretti di Campi, Milano: 1193 pp.
- FLURY M., WAI N.N., 2003. Dyes as tracers for vadose zone hydrology. *Rev. Geophys.*, 41(1): 2.1-2.37.
- GASPAR E., ORESEANU I., 1987. Natural and artificial tracers in the study of the hydrodynamics of karst. *Theoretical and applied karstology* 3: 31-107.
- MOSETTI F., 1968. Problemi di tracciamento di idrologia. *L'acqua*, Roma, 46: 97-103.
- RIECKERMANN J., BORSUK M., REICHERT P., GUJER W., 2005. A novel tracer method for estimating sewer exfiltration. *Water Resources Research*, 41(5), W05013 (11 pp.), <https://doi.org/10.1029/2004WR003699>.
- SALMOIRAGHI F., 1905. Sulla continuità sotterranea del Timavo. *Atti Soc. Ital. Sc. Nat.*, Milano, XLIV: 115-152.
- SMART P.L., LAIDLAW I.M.S., 1977. An evaluation of some fluorescent dyes for water tracing. *Water Resources Research*, 13 (1): 15-33.
- UGGERI S., VIGNA B., 1990. Un tracciante alternativo nello studio degli acquiferi carsici: il Tinopal. *Le Grotte d'Italia*, Atti del XVI Congresso Nazionale di Speleologia: 289-302.
- UGGERI S., VIGNA B., 1991. Nuovi traccianti ed esperienze di valutazione delle velocità di flusso negli acquiferi carsici. *Proc. Congr. Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose*, Brescia: 29-51.
- VANDANA S., 2003. Le guerre dell'acqua. Edizioni Feltrinelli, Milano.
- VIGNA B., 2001. Gli acquiferi carsici. *Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana*, 12, Genova.
- VIGNA B., 2009. Traccianti artificiali. *Teaching resources for Speleology and karst 2009*, Powerpoint, Società Speleologica Italiana.

ESPERIENZE CON TRACCIANTI IN PROVINCIA DI VERONA

Roberto Zorzin^{1,2}, Fabio Tottola³, Guido Rossi⁴, Alessandro Zorzin⁵

¹ Museo di Storia Naturale di Verona

² Geologo, libero professionista, Verona

³ IPSIA E. Fermi, Verona

⁴ Geologo, Verona

⁵ Ingegnere Ambientale, C.R.N. Monti Lessini (VR)

ABSTRACT

The main results of survey with tracers carried out in a karst environment in the Province of Verona are presented. The tests described refer to studies performed to prevent the pollution of underground water and rivers in the areas effected by quarrying activities. In some cases, the tracing allows to delimit the hydrogeological basin of the polypate sources with a certain precision.

Key-words: Monte Baldo, Monti Lessini, tracing, quarrying, pollution.

RIASSUNTO

Vengono presentati i principali risultati di indagini con traccianti eseguite in ambiente carsico in Provincia di Verona. I test descritti si riferiscono a studi eseguiti per prevenire l'inquinamento dei corpi idrici sotterranei e superficiali nelle aree interessate da attività di cava. In alcuni casi, i traccianti hanno permesso di delimitare con una certa precisione il bacino idrogeologico della sorgente inquinata.

Parole chiave: Monte Baldo, Monti Lessini, tracciamento, attività di cava, inquinamento.

PREMESSA

Le recenti indagini eseguite sul territorio baldense e lessineo in occasione di alcuni progetti di ricerca (Annichini *et al.*, 2013; Ceradini *et al.*, 2015; Zorzin & Tottola, 2020), di lavori professionali e di successivi approfondimenti, hanno permesso di recuperare una grande quantità di dati relativi alla direzione di deflusso della falda carsica, dell'idrodinamica di alcuni acquiferi e della geometria degli stessi.

Di seguito sono presentati alcuni dei più importanti tracciamenti eseguiti da A.Z., R.Z. e G.R. nel territorio collinare e montano veronese, spesso collegati a eventi di inquinamento di sorgenti locali (Zorzin A. & Zorzin R., 2010). In alcuni casi sono state eseguite prove di tracciamento multiplo utilizzando contemporaneamente due o tre traccianti iniettati in altrettanti punti diversi, rilevando il passaggio in ogni sorgente/punto di campionamento mediante fluocaptori o fluorimetri da campo.

Complessivamente, in circa 40 anni di attività sul territorio veronese, gli autori hanno effettuato almeno una cinquantina di test con traccianti, di cui trenta di una certa rilevanza. Di questi, sedici sono stati eseguiti utilizzando fluoresceina, quattordici Tinopal, tre cloruro di sodio e uno chinino. La maggior parte di queste indagini hanno interessato il territorio lessineo e solo raramente quello baldense. Oltre 1.000 fluocaptori sono stati posizionati alla scaturigine di sorgenti/grotte-sorgenti, opere di presa o lungo corsi d'acqua/sponde lacustri. I test con traccianti descritti in questo volume non riportano dati e descrizioni omogenee poiché nel tempo le metodologie di documentazione si sono evolute (cartografia più dettagliata, macchine fotografiche digitali, ecc.). Per questo motivo, alcune prove saranno descritte in modo sommario mentre altre saranno più ricche di particolari anche in funzione della finalità delle



Fig. 1 – Panoramica del Monte Baldo e del Lago di Garda visti da Cima Telegrafo (foto B. Dino)

colorazioni. Inoltre, spesso i test sono stati accompagnati dal prelievo di campioni d'acqua per le analisi chimiche e microbiologiche per distinguere acquiferi diversi e, pertanto, dare utili informazioni per la delimitazione di bacini idrogeologici.

La descrizione delle varie prove eseguite nel Veronese avverrà, ove possibile, procedendo da Ovest verso Est e da Nord verso Sud. I test presentati saranno preceduti da una breve descrizione dell'area o della sorgente oggetto di monitoraggio e, ove possibile, da un commento dei dati.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO

Gran parte del territorio collinare e montano veronese appartiene ai Monti Lessini e al Monte Baldo, rilievi costituiti prevalentemente da rocce carbonatiche situati a ridosso della Pianura veneta. Essi sono disposti tra il Lago di Garda (Figura 1) e la Valle d'Alpone e risultano separati

dalla profonda incisione fluvio-glaciale della Valle dell'Adige. I Monti Lessini veronesi hanno un'estensione di circa 800 km² e si elevano fino alla quota di 1.865 m s.l.m. Sono delimitati in senso orario dalle valli dell'Adige e dei Ronchi a Ovest e Nord, a Est dalla dorsale che separa la Val d'Alpone dalla Valle di Chiampo e a Sud dall'alta Pianura Padana.

Il Monte Baldo, invece, con i suoi 2.218 m s.l.m. di Cima Valdritta è la più alta montagna del Veronese e domina il settore orientale del Lago di Garda interponendosi con la Val d'Adige. Il Monte Baldo e i Monti Lessini sono costituiti da un articolato sistema di dorsali, altipiani e ripiani allungati – coerentemente con le strutture tettoniche locali – prevalentemente in direzione NNE il primo e tra NNO e NNE i secondi. I Lessini formano un altipiano leggermente immergente verso la Pianura Padana. L'altipiano è disseccato da un sistema di profonde valli disposte a ventaglio, convergenti a Nord nella porzione più elevata di altipiano.

Il paesaggio dei Monti Lessini non è quello tipico delle aree carsiche. Esiste, infatti, un apparente contrasto tra la morfologia carsica superficiale e la presenza di forme fluviali prive di una circolazione idrica degna di nota. Per questo motivo il carsismo dei Monti Lessini può essere definito come un “fluviocarso” (Mietto & Sauro, 1989), ma anche “tectocarso” (Sauro, 1973), per la presenza di un fitto reticolo di fratture e faglie su cui si sono impostate le principali valli che drenano l’acqua verso le porzioni più profonde del massiccio carbonatico.

Il Monte Baldo si differenzia sostanzialmente dalla struttura tabulare dei Lessini essendo formato da una catena lunga circa 30 km e relativamente stretta. Il versante occidentale si immerge nel Lago di Garda con una pendenza elevata, che segue la stratificazione inclinata di circa 25-30°, favorendo importanti fenomeni di frana. Tale versante è inciso da canali e forre le cui testate sono costituite da un allineamento di circhi glaciocarsici localizzati lungo la cresta del rilievo. Il versante orientale – in prevalenza sviluppato lungo faglia e ancora più precipite – viene interrotto da una fascia ad altopiano interposto con la Val d’Adige, segmentato dai suoi affluenti. La morfologia è fluviale, ma ampie aree sono modellate in campi di doline e tutto il rilievo è soggetto a una circolazione di tipo carsico.

La storia geologica del Veronese è essenzialmente legata all’orogenesi alpina, ovvero a quei movimenti tettonici che hanno visto strutturarsi la catena alpina. In particolare, mentre i Monti Lessini risentono in misura minore delle prime fasi tettoniche di sollevamento delle Alpi, quella Eoalpina e Mesoalpina, la catena del Monte Baldo invece ne viene più coinvolta, essendo posta nel fascio di faglie di tipo trascorrente che dalle Valli Giudicarie arriva fino al Lago di Garda. La monoclinale dei Monti Lessini viene considerata come l’avampaese non deformato della placca adriatica costituita principalmente dalla catena appenninica (Bigi *et al.*, 1990).

La successione di rocce sedimentarie e vulcaniche che costituiscono i rilievi veronesi ha uno spessore di quasi 2.000 metri e un’età compresa fra il Triassico Superiore e il Miocene Medio (da circa 225 a 11 milioni di anni). Queste litologie poggiano su di un basamen-

to scistoso cristallino paleozoico che nell’area non affiora.

La formazione più antica, rappresentata dalla Dolomia Principale, affiora prevalentemente in corrispondenza delle creste di Cima Valdritta, in Val d’Adige e nella porzione centro-settentrionale della Val d’Illasi. A seguito di una tettonica distensiva, durante il Giurassico Inferiore, la grande piattaforma della Dolomia Principale si smembrò in un’area di limitate dimensioni, nota come Piattaforma di Trento. Essa costituì un’area sopraelevata rispetto ai bacini laterali lombardo e bellunese fino al Giurassico Medio, quando sprofondò completamente assumendo, fino al Paleocene, le caratteristiche di un plateau pelagico interessato dalla deposizione di sedimenti bacinali. Durante l’orogenesi alpina l’area rispose in maniera abbastanza rigida agli sforzi tettonici cui fu sottoposta e si frammentò in blocchi che in parte si sollevarono, fino a trovarsi in condizioni di mare poco profondo. Fu su questi blocchi che attecchirono piccole piattaforme carbonatiche che diedero origine in seguito a un’unica ampia piattaforma, chiamata *Lessini Shelf* (Bosellini, 1989).

Le deformazioni tettoniche, prevalentemente fragili, che si determinarono nel Paleocene e nell’Eocene Inferiore e Medio favorirono l’emissioni di grandi quantità di lave basiche, seguite nell’Eocene Superiore, da un periodo di quiete eruttiva mentre l’attività si spostava a oriente nell’area euganea (Beccalova *et al.*, 2007; Brombin *et al.*, 2019). L’attività vulcanica fu particolarmente intensa nell’Est veronese dove, a oriente della Faglia di Castelvetro, si accumularono oltre 400 m di prodotti vulcanici nel cosiddetto Graben dell’Alpone-Agno, un’area tettonicamente depressa e subsidente (Barbieri *et al.*, 1991). Le rocce di origine marina più recenti, dell’Oligocene e del Miocene, affiorano presso il Monte Moscal, la Rocca di Garda e i rilievi di Verona (Torricelle). In generale le unità cenozoiche formano una fascia lungo il margine meridionale dei Lessini.

In superficie sono presenti coperture quaternarie di vario tipo, rappresentate da sedimenti alluvionali e colluviali, con di deiezione, depositi di versante, morene e accumuli di frana.

In ordine stratigrafico, dal più antico al più recente (Figura 2), sono di seguito elencati i tipi litologici principali che costituiscono la serie stratigrafica del Veronese:

- Formazioni e unità stratigrafiche informali mesozoiche e cenozoiche:
 - Dolomia Principale (Carnico Superiore-Retico);
 - Gruppo dei Calcari Grigi (Hettangiano-Pliensbachiano);
 - Formazione di Tenno (Toarciano);
 - Oolite di San Virgilio (Toarciano-Aaleniano Inferiore);
 - Rosso Ammonitico Veronese (Baiociano-Titoniano);
 - Complesso Dolomitico Indifferenziato (Giurassico Inferiore-Cretaceo Inferiore);
 - Maiolica (Titoniano-Aptiano Inferiore);
 - Scaglia Variegata Alpina (Aptiano Inferiore-Cenomaniano);
 - Scaglia Rossa (Cenomaniano-Maastrichtiano);
 - Formazione di Chiusole (Paleocene-Eocene Inferiore);
 - Calcari di Spilecco (Paleocene-Eocene Inferiore);
 - Calcare di Malcesine (Eocene Medio);
 - Calcari Nummulitici (Luteziano-Bartoniano);
 - Calcare di Nago (Eocene Medio-Eocene Superiore);
 - Formazione di Priabona (Priaboniano);
 - Marne di Bolognano (Oligocene Inferiore);
 - Acquenere (Oligocene Inferiore-Oligocene Medio);
 - Calcare di Incaffi (Oligocene Superiore);
 - Arenarie di Cavalo (Oligocene);
 - Arenarie, calcareniti e marne delle Torricelle, Monte Moscal e della Rocca di Garda (Miocene Inferiore);
- Vulcaniti cenozoiche:
 - Tufi e ialoclastiti basaltici, lave basaltiche (Paleocene-Eocene);
 - Tufi e ialoclastiti varicolori (Eocene);
 - Basalti colonnari, filoni (Eocene-Oligocene);
 - Breccie di esplosione di necks e argille derivanti da alterazioni di vulcaniti (Paleocene-Miocene Inferiore?).

LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Le aree collinari e montane del Veronese sono caratterizzate dalla presenza di pochi corsi d'acqua perenni e il deflusso in superficie è saltuario, spesso effimero, attivandosi in occasione di significativi eventi piovosi o, in quota, nei periodi di sensibile disgelo del manto nevoso. Più in generale, la scarsità di acque superficiali, nonostante l'evidente sviluppo del reticolo idrografico, è l'espressione di una combinazione di processi di tipo fluviale e di tipo carsico (Mietto & Sauro, 1989). L'infiltrazione in entrambi i rilievi è diretta per lo più verticalmente attraverso una profonda zona vadosa, anche per mezzo di cavità di tipo alpino di cui la Spluga della Preta con circa 800 m di dislivello è l'esempio più conosciuto.

Le differenti caratteristiche litostrutturali delle varie unità stratigrafiche modificano la circolazione vadosa. Alcune formazioni contengono livelli marnosi e argillosi che possono fungere da locali acquiclude facilmente resi inefficaci dalla tettonica come nelle formazioni dei Calcari Grigi, della Maiolica e della Scaglia Variegata Alpina. Nel caso della Maiolica, l'acquiclude è accompagnato dall'estrema frammentazione tettonica dell'unità che favorisce una circolazione lenta, dispersa in una rete di fratture, che inibisce la formazione di condotti carsici. Gli acquiclude possono determinare limitate falde pensili e, se intercettano la superficie, originare modeste sorgenti in quota le cui acque generalmente rientrano nel circuito carsico dopo limitati percorsi superficiali. Numerosi esempi nelle formazioni cretacee vengono descritti in questo lavoro.

Le coperture quaternarie, seppur discontinue e di spessore molto variabile, rappresentano dei "serbatoi di acque epicarsiche" che vengono cedute lentamente alle sottostanti rocce carbonatiche o possono originare limitate emergenze. La direzione di deflusso degli acquiferi è profondamente condizionata dagli elementi strutturali locali (faglie, fratturazione, giacitura degli strati, ecc.) e la circolazione di fondo avviene prevalentemente nei litotipi mesozoici. Per quanto riguarda l'altopiano lessineo, l'alimentazione avviene prevalentemente da NNE verso le sorgenti situate al margine meridionale dell'altopiano. La più importante si trova a Montorio, vicino a Verona, ha una portata media di 5 m³/s.

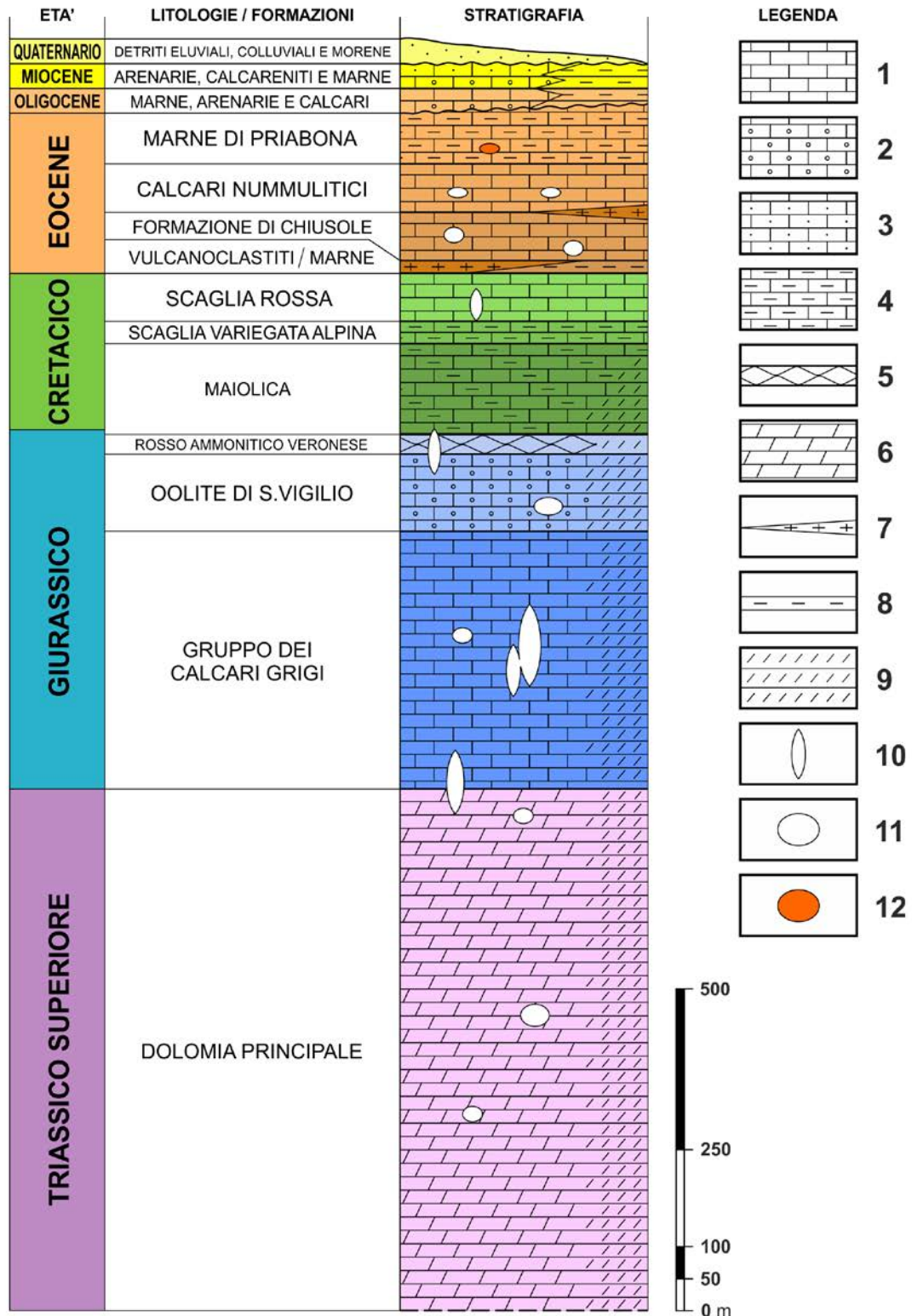


Fig. 2 – Colonna litostratigrafica del Monte Baldo e dei Monti Lessini centro-occidentali. Legenda: 1. Calcari, 2. Calcareni e calcareniti oolitiche, 3. Arenarie, 4. Calcari marnosi, 5. Calcari nodulari, 6. Dolomie, 7. Epiclastiti basaltiche, 8. Marne, 9. Dolomie cristalline, 10. Cavità carsica a prevalente sviluppo verticale, 11. Cavità carsica a prevalente sviluppo orizzontale, 12. Condotti paleocarsici prevalentemente sigillati da ocre (da Zampieri D. & Zorzin R., 1993 – disegno di S. Zannotti, modificato da R. Zorzin, 2021)

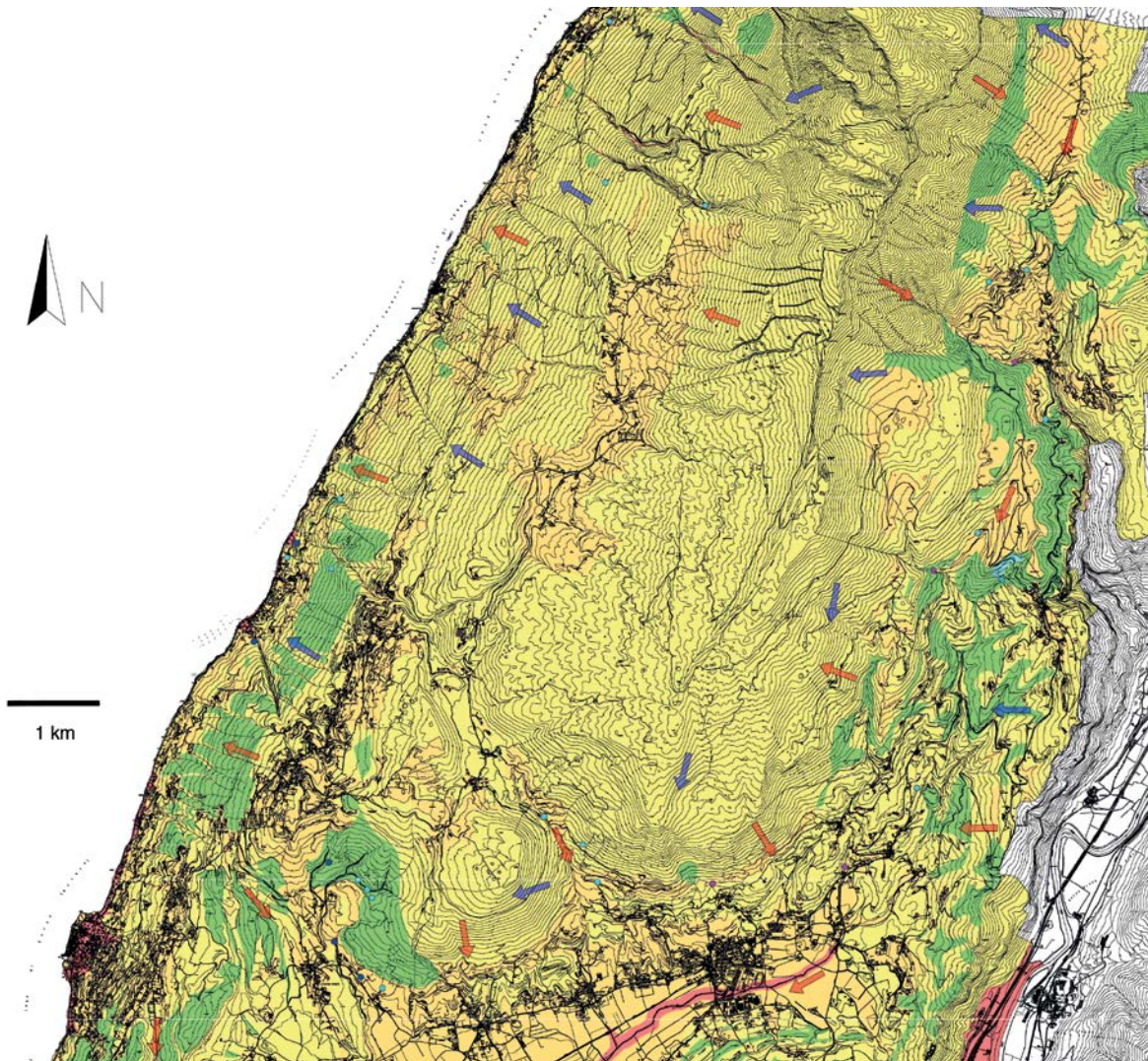


Fig. 3 – Monte Baldo: stralcio della “Carta della vulnerabilità intrinseca all’inquinamento” con indicate le principali direzioni di deflusso della falda carsica (→) e delle acque superficiali (→) – (disegno A. Zorzin)

Il Monte Baldo, invece, pur avendo molte similitudini con le formazioni litologiche che caratterizzano i Monti Lessini, si diversifica da questi ultimi per l’assetto strutturale più complesso che condiziona sensibilmente la circolazione idrica superficiale e profonda. Tale rilievo è caratterizzato dalla presenza di due principali sistemi di emergenze: sorgenti occidentali e orientali/Sud-orientali. I due sistemi sono caratterizzati da contesti idrogeologici molto diversi. Il gruppo di sorgenti occidentali (Acqua di Cal, Orgada, Tanella, Soala, Fontana Santa, Bergola, Aril) è allineato lungo la spon-

da del Lago di Garda nell’ambito di una struttura sostanzialmente monoclinale dove è ipotizzabile una prevalente circolazione profonda dell’acquifero carsico verso ONO (Figura 3). Il gruppo di sorgenti orientale e Sud-orientale ha, invece, per contesto morfostrutturale un sistema a gradinata di blocchi fagliati e ripiegati. Le emergenze avvengono in corrispondenza di scarpate o di incisioni trasversali. Tali sorgenti possono essere definite “tectocarsiche” piuttosto che carsiche in relazione alla circolazione entro una rete di fratture prevalente rispetto ai condotti carsici (Sauro, 1973; Meneghel *et al.*, 1986).

Trattando schematicamente l'idrogeologia dei rilievi veronesi non può essere ignorata la presenza di un circuito profondo che alimenta acquiferi ed emergenze termali posti lungo una fascia di pianura che si estende ai piedi dei rilievi tra le località di Caldiero a Est di Verona e Punta San Vigilio sul Lago di Garda.

Si tratta di un termalismo a bassa entalpia concentrato in due zone circoscritte della Pianura Veronese (Distretto della Pianura orientale e Distretto della Pianura settentrionale) che sono caratterizzate da valori di temperatura rispettivamente compresi tra 15 e 31 °C e tra 15 e 46 °C, con punte fino a 52 °C (Castellaccio & Zorzin, 2012). Solamente in tali aree l'energia geotermica presente nel sottosuolo si trova a profondità e in condizioni tali da consentire uno sfruttamento a costi contenuti.

I dati a disposizione permettono di ipotizzare che il vasto territorio di ricarica del "serbatoio geotermico" accorpi le porzioni settentrionali dei Monti Lessini e del Monte Baldo, fino a giungere alle Piccole Dolomiti e ai rilievi trentini e che gli acquiferi carsici partecipino alla ricarica del circuito. La circolazione avviene in profondità presumibilmente al contatto con il basamento cristallino.

Acque con anomalia termica vennero individuate anche nel pozzo Tacchella, presso Stallavena di Grezzana, che emunge dall'aquifero profondo dei Monti Lessini. Ad ora non sono note nei rilievi veronesi cavità di origine ipogenica correlabili alla circolazione termale.

UNITÀ IDROGEOLOGICHE E MANIFESTAZIONI SORGENTIZIE

Nella descrizione delle varie unità idrogeologiche sono state prese in considerazione tutte le principali litologie affioranti nel Veronese.

Sulla base dei caratteri litostrutturali la successione stratigrafica dell'area baldense e dei Monti Lessini può essere schematicamente suddivisa in quattro principali unità idrogeologiche, dotate di differenti permeabilità e modalità della circolazione idrica.

Unità idrogeologica A

Raggruppa gran parte dei litotipi di età triassica e giurassica, rappresentati dalle formazioni della Dolomia Principale, del Gruppo

dei Calcari Grigi, dall'Oolite di San Vigilio, dal Rosso Ammonitico Veronese, nonché la Scaglia Rossa cretacea e le calcareniti dell'Eocene. L'affioramento di tali rocce risulta il più esteso in assoluto per l'area considerata. Le rocce appartenenti a tale unità idrogeologica sono costituite da dolomie, calcari dolomitici, calcari oolitici, calcari marnosi e calcareniti. Frequenti sono le intercalazioni millimetriche e decimetriche di argille, marne e ligniti. L'esistenza di questi livelli, che riducono sensibilmente la permeabilità, favorisce l'esistenza di modeste falde acquifere sospese che si manifestano con piccole sorgenti. Nel complesso, però, si tratta di litotipi caratterizzati da elevata permeabilità per carsismo e per fratturazione. La circolazione idrica avviene prevalentemente con andamento verticale lungo le fessure e i condotti carsici. La potenzialità idrica dell'unità idrogeologica può essere considerata da modesta a scarsa.

Unità idrogeologica B

È costituita dai depositi quaternari, rappresentati da materiali alluvionali e morenici, da detrito di versante e da accumuli di frana localmente più o meno cementati e/o addensati. Nel complesso, l'unità è distribuita in modo abbastanza uniforme all'interno dell'area presa in considerazione, anche se maggiormente presente nella porzione meridionale della stessa. È caratterizzata da significative variazioni granulometriche, anche all'interno dello stesso affioramento, tali da condizionarne in modo sensibile la permeabilità. Complessivamente, la permeabilità di questa unità idrogeologica può essere definita media.

Unità idrogeologica C

L'unità comprende le formazioni della Maiolica, che risulta costituita da calcari a frattura concoide e quella della Scaglia Variegata Alpina, formata da calcari argillosi e marne. L'affioramento di tali rocce è ampiamente esteso nei Lessini centro-settentrionali e in corrispondenza della fascia centro-meridionale del Monte Baldo.

La porzione inferiore di questa unità idrogeologica risulta intensamente fratturata e suddivisa in prismi di piccole dimensioni, mentre la porzione più elevata è caratterizzata da intercalazioni di marne e argilliti che costituiscono un livello di trattenuta delle acque. Frequenti, ma con

esigue portate, sono le sorgenti che affiorano da questa unità. La potenzialità idrica può essere definita scarsa.

Unità idrogeologica D

L'unità raggruppa i litotipi d'origine vulcanica, costituiti prevalentemente da brecce, tufi e ialoclastiti, i calcari argillosi e le marne dell'Eocene Inferiore, le arenarie dell'Oligocene e, infine, i lembi di paleosuoli e di coperture colluviali antiche. Gli affioramenti delle rocce lapidee inserite in questa unità idrogeologica sono poco estesi e caratterizzati da una certa fratturazione che risulta più marcata in vicinanza dei disturbi tettonici. La porosità è in genere medio-bassa. L'insieme delle caratteristiche litologiche e geotecniche consentono di riscontrare una permeabilità media, anche molto variabile. La locale elevata permeabilità favorisce l'infiltrazione in profondità delle acque meteoriche che vengono a giorno con piccole sorgenti in corrispondenza di livelli di trattenuta di limitata potenza ed estensione. Tali livelli corrispondono, generalmente, a una riduzione della granulometria, alla presenza di rocce massicce e poco fratturate. I depositi eluviali di alterazione che coprono le rocce dell'unità in parola, insieme ai lembi di paleosuoli e di coperture colluviali antiche, sono spesso potenti oltre il metro; le caratteristiche granulometriche limitano drasticamente l'infiltrazione delle acque meteoriche dopo la loro saturazione. La potenzialità idrica può essere definita scarsa.

Lungo tale versante scaturiscono numerose sorgenti, spesso sublacuali, alcune molto note per le cospicue portate, altre perché scaturiscono da cavità carsiche, come per esempio la Grotta Tanella (Zorzin & Tottola, 2020) e la risorgenza San Zeno de l'Oselet (Ceradini & De Angeli, 2007).

La presenza di evidenti morfologie carsiche superficiali è certamente condizionata sia dalla natura dei litotipi affioranti, sia dallo stile e modalità del sollevamento, sia dal succedersi nel tempo di ambienti e paesaggi diversi (Mietto & Sauro, 1989).

Il versante occidentale del Monte Baldo è caratterizzato da estesi affioramenti di calcari mesozoici sui quali poggiano depositi morenici con spessori anche superiori a 10 m. Mentre i calcari consentono una rapida infiltrazione e deflusso delle acque meteoriche, i materiali morenici, caratterizzati da una permeabilità da media a medio-bassa, possiedono un elevato potere di immagazzinamento. Costituiscono, infatti, delle risorse idriche di una certa importanza che vengono cedute meno rapidamente all'acquifero carbonatico modulando, quindi, la risposta delle sorgenti.

La circolazione idrica profonda avviene prevalentemente all'interno del Gruppo dei Calcari Grigi, fessurati e carsificati. La portata e le variazioni temporali dei parametri fisico-chimici delle acque sorgive sono condizionate dalle caratteristiche fisiche del sistema e dalla geometria del serbatoio.

Grotta Tanella

La Grotta Tanella (79 V VR) si apre sul versante occidentale del Monte Baldo in località Pai (Comune di Torri del Benaco), dove si sviluppa all'interno dei calcari dell'Oolite di San Vigilio (Roghi & Romano, 2009).

In passato, la Tanella non è stata oggetto di molti studi. Pasa (1954) descrive la grotta come "fortemente umida e percorsa da un ruscello a portata variabile". Le recenti esplorazioni e indagini hanno permesso di incrementare le conoscenze idrogeologiche della cavità e dell'area circostante (Zorzin *et al.*, 2011).

La grotta-sorgente, un tempo captata e utilizzata per scopi idropotabili, ha una lunghezza di 392 m e presenta un ingresso naturale a 320 m s.l.m. e uno artificiale, scavato per tentare di

MONTE BALDO OCCIDENTALE

Il versante occidentale del Monte Baldo corrisponde al fianco di una piega asimmetrica, fagliata sul lato Est (Sauro & Zampieri, 1999) coincidente, in grande, con le superfici di stratificazione delle unità mesozoiche che danno luogo a morfostrutture monocliniche (*flat iron*). La tettonica locale è influenzata dal "Sistema Strutturale delle Giudicarie", dominato da accavallamenti a morfostrutture compressive e/o trascorrenti ad andamento NNE-SSO (Sauro & Meneghel, 1980). Il settore occidentale del Monte Baldo è caratterizzato da giaciture che immergono verso ONO con inclinazioni di 25-30° e stratificazioni con spessore da decimetrico a metrico (Figura 4).



Fig. 4 – Monte Baldo: terreni coltivati a pascolo e bosco ceduo presenti nel bacino idrogeologico della Grotta Tanella (foto R. Zorzin)

attingere una maggiore quantità d'acqua, a una quota leggermente inferiore (Pasa, 1954; Ceradini, 2002, 2004). Il tratto naturale si sviluppa per 210 m da un'ampia caverna che conduce, attraverso un vano in forte pendenza seguito da un pozzo di 6 m, alla sottostante galleria artificiale. Da questo punto la grotta si sviluppa in leggera salita seguendo approssimativamente i piani di stratificazione inclinati di circa 20° . Il condotto sub-circolare o ellittico, è inciso da un evidente solco di approfondimento "gravitativo" sul pavimento, che evidenzia il passaggio da condizioni freatiche a vadose (Figura 5). La precedente posizione della tavola d'acqua è evidenziata da un solco sulle pareti della galleria, che coincide con la quota di sfioro dell'ingresso naturale, dove infatti si ritrova. Da questo punto in poi, la morfologia della cavità diventa completamente vadosa. La grotta, condizionata dalla struttura, prosegue, stretta e alta con andamento meandriforme per sbucare con un pozzo di circa 6 m, in un ambiente più ampio, occupato da un lago-sifone, che si sviluppa verticalmente con un camino di 13 m.



Fig. 5 – Grotta Tanella: galleria singenetica con scallops lungo le pareti, cupole sulla volta e solco gravitativo sul pavimento (foto R. Zorzin)

Il bacino, in parte svuotato nel 2007, sommerge a circa 20 metri di profondità piccoli ambienti cui segue un condotto in leggera discesa, parzialmente ostruito da sabbia e limo.



Fig. 6 – Risorgenza di San Zeno de l'Oselet: esplorazione speleo-subacquea del primo sifone (foto A. Ceradini)



Fig. 7 – Grotta Tanella: tracciamento con fluoresceina entro il sifone (foto A. Ceradini)

La cavità conserva al suo interno materiali fluvioglaciali (ciottoli, ghiaie, sabbie e limi varvati) tipici degli ambienti periglaciali (Zorzin *et al.*, 2011).

Nell'ambito di uno studio idrogeologico della Grotta Tanella tra il Museo Civico di Storia Naturale di Verona, l'IPSIA E. Fermi e la Commissione Gruppi Grotte Veronesi sono stati prelevati numerosi campioni d'acqua per le analisi fisico-chimiche e microbiologiche nonché eseguito un tracciamento per verificare eventuali collegamenti idrologici con scaturigini locali. La Tanella, infatti, agisce saltuariamente da grotta-sorgente di troppo pieno in conseguenza di rilevanti precipitazioni. Il tracciamento della Tanella segue di circa un anno il test realizzato dal Gruppo Attività Speleologica Veronese (GASV) per verificare la supposta connessione idrologica tra la Spluga dei Cervi e la risorgenza San Zeno de l'Oselet, cui si dedica un breve accenno vista la prossimità all'area di ricerca. La Spurga dei Cervi è un inghiottitoio che assorbe il corso d'acqua temporaneo della Valle di Prada, il cui ampio bacino è modellato in un "terrazzo" morfotettonico che interrompe il versante. La cavità, completamente intasata da un deposito limo-argilloso oltre il pozzo iniziale, è situata a circa 2.000 m in linea d'aria con un dislivello di circa 800 m dalla risorgenza San Zeno de l'Oselet. Tale risorgenza venne esplorata negli anni '50 dal Gruppo Speleologico Falchi di Verona fino a un sifone e recentemente estesa fino all'attuale lunghezza di 245 m con tecniche speleo-subacquee dal Gruppo Attività Speleologica Veronese (Figura 6).

Il test venne eseguito dopo due prove in bianco nel marzo e aprile 2008 con 2 kg di Tinopal veicolato dal corso d'acqua della Grotta dei Cervi che aveva una portata di circa 2 l/s.

I 4 fluocaptori posizionati nella risorgenza di San Zeno sono risultati positivi al primo recupero avvenuto dopo 72 ore. La positività è perdurata per altri otto giorni. Gli ultimi fluocaptori, recuperati a distanza di un mese, sono risultati negativi. Uno dei fluocaptori posizionato all'esterno, in corrispondenza del Vajo Verga, è risultato positivo, ma non è stato cautelativamente preso in considerazione per supposto inquinamento.

Questo test permette di escludere l'area del tracciamento e quella di M. Castelle dal bacino idrogeologico della Sorgente Tanella la cui area di alimentazione comprenderebbe il territorio posto a Est e a SE della grotta.

Tracciamento e discussione

Il 23 luglio 2009 vennero versati 350 g di fluoresceina sodica già in soluzione nel sifone terminale della Tanella per determinare la circolazione a valle del troppo pieno (Figura 7). I fluocaptori vennero posizionati all'interno della cavità, nelle scaturigini presenti a valle della grotta, nonché nella Valle dei Bizerti e lungo la riva del Lago di Garda. A dieci giorni dal tracciamento l'unico fluocaptore positivo risultò quello posizionato presso la sorgente utilizzata dal *Camping ai salici* (Figura 8). Non si può escludere, però, che la maggior parte della portata alimenti anche una o più sorgenti subcuali che scaturiscono a breve distanza dalla costa.

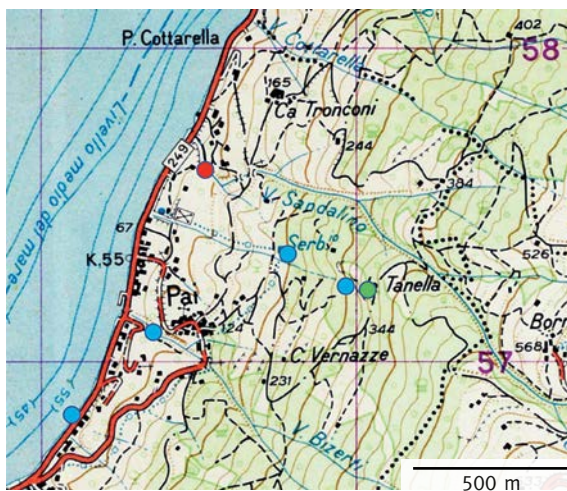


Fig. 8 – Ubicazione dei fluocaptori (●), del test con fluoresceina (●) e del fluocaptore positivo presso il *Camping ai salici* (●) – (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell’Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

Le osservazioni idrologiche raccolte evidenziarono che la porzione di acquifero che alimenta la Sorgente Tanella è caratterizzata da una eterogeneità del reticolo di flusso. Tale acquifero è costituito da zone altamente permeabili che occupano generalmente volumi molto esigui (cavità, condotti carsici, ecc.) e vasti settori dell’ammasso roccioso caratterizzati da una permeabilità generalmente più ridotta (fratture, discontinuità poco carsificate, condotti carsici occlusi/intasati, ecc.). I condotti carsici (collettori secondari) presenti all’interno del bacino idrogeologico della Sorgente Tanella, in base alla loro posizione e organizzazione in seno all’acquifero carbonatico di questo versante del Monte Baldo, costituiscono dei percorsi preferenziali del flusso sotterraneo.

Sulla base di quanto sopra affermato, risulta che la Sorgente Tanella è caratterizzata da numerose vie di drenaggio interdipendenti (rete a dreni interdipendenti) e una circolazione semidispersiva. La zona non satura è caratterizzata dall’assenza di importanti corsi d’acqua mentre non mancano le cavità ad andamento verticale. Queste ultime risultano semiattive (con acqua circolante solo in occasione di importanti e prolungate precipitazioni) e costituiscono vie privilegiate del deflusso sotterraneo, tra loro indipendenti, verso le zone più profonde dell’acquifero. In prossimità della quota di scaturigine corri-

spondente a una variazione di permeabilità/diminuzione della fratturazione beante, è presente una zona satura, caratterizzata da una serie di condotti e fratture variamente carsificate, collegate tra loro, che costituiscono un importante serbatoio con cospicue riserve idrogeologiche.

La fratturazione e la carsificazione del massiccio carbonatico che contiene l’acquifero della Sorgente Tanella e la locale copertura dei depositi morenici condiziona notevolmente la portata. Infatti, anche a seguito di abbondanti precipitazioni le portate presentano variazioni più contenute e una risposta più ritardata rispetto a quelle caratterizzate da un dreno dominante.

Analisi chimiche e microbiologiche sono state eseguite direttamente in campagna; altre, più accurate e complete, presso i laboratori dell’IPSIA E. Fermi che ha seguito il protocollo del D.Lgs. 152/1999 e del D.Lgs. 31/2001. I risultati di queste ultime, effettuate tra febbraio e marzo 2009, evidenziano che i parametri si trovano tra le categorie A1 e A2, essendo acque caratterizzate da un modesto inquinamento organico che ne impedisce l’utilizzo tal quale per scopi idropotabili e che prevede un trattamento fisico e chimico normale e disinfezione per scopi idropotabili. Le temperature delle acque, rilevate in prossimità del sifone, risultano abbastanza costanti nel periodo di osservazione e, comunque, comprese tra 9,8 e 11,2 °C.

L’eventuale futura captazione delle acque della Sorgente Tanella per scopi idropotabili dovrebbe essere preceduta da una serie di prove con traccianti per confermare la delimitazione del bacino idrogeologico, attualmente ipotizzato sui dati geologici raccolti in campagna e su poche indagini idrogeologiche.

MONTI LESSINI NORD-OCCIDENTALI: CORNO D’AQUILIO

L’area presa in considerazione occupa la porzione Nord-occidentale dei Monti Lessini e comprende una ristretta fascia di altopiano, posta tra il Monte Corno d’Aquilio e il paese di Fosse, e la corrispondente scarpata occidentale che la raccorda con la Val d’Adige. Sul Corno d’Aquilio si aprono gli ingressi di numerose grotte, tra cui la più famosa, per la lunga storia delle esplorazioni e per la profondità, è certamente la Spluga della Preta.



Fig. 9 – Panoramica autunnale del Corno d'Aquilio (Alti Lessini) e della dorsale meridionale Lavarin-Fosse dei Medi Lessini (foto R. Zorzin)

Il Corno d'Aquilio è posto al passaggio tra gli Alti e Medi Lessini Veronesi, qui realizzato strutturalmente dalla cosiddetta “piega a ginocchio” del Corno d'Aquilio; essa determina una veloce perdita di quota dai 1.400/1.500 m s.l.m. degli alti pascoli agli 850/1.100 m della sottostante dorsale Lavarin-Fosse. La piega (Artoni & Rebesco, 1990) è l'espressione più occidentale di un ampio disturbo che interessa secondo una direzione E-O i Monti Lessini tra il Corno d'Aquilio e il Monte Belfiore, delimitandone il settore più settentrionale elevato strutturalmente e morfologicamente (Figura 9).

La dorsale Lavarin-Fosse si stacca ai piedi del Corno tra la scarpata della Val d'Adige e il Vajo delle Acque Nere, che a monte si estende a cavallo della piega con il nome di Valle Liana; la sua testata comprende gran parte del Corno d'Aquilio e il versante occidentale del Corno Mozzo.

Strutturalmente, la dorsale Lavarin-Fosse risulta poco disturbata con immersioni poco accentuate prevalentemente verso la Val d'Adige. L'altopiano termina nettamente sulla scarpata periferica, caratterizzata da importanti falesie, che lo raccorda con l'ampio fondovalle dell'Adige posto a quote di poco superiori a 100 m s.l.m. Una serie di vallette incidono la dorsale, tra le quali il Vajo dei Mattoni è la più importante.

Il versante della Val d'Adige è sede di una particolare complessità strutturale evidenziata dagli studi di Carton & Castaldini (1985) e Artoni & Rebesco (1990). L'area è interessata da due principali faglie subparallele a direzione NNE-SSO (Linea della Val d'Adige), a carattere transpressivo, che intercludono un blocco altamente deformato da pieghe disposte con assi a direzione N 40-60°. A dette pieghe appartiene la sinclinale in cui si sviluppa la sezione iniziale della Spurga delle Cadene (o di Peri); la cavità attraversa a circa 100 m dall'ingresso la più orientale delle faglie estendendosi poi con direzione ENE nel blocco relativamente non deformato che sottende la dorsale Lavarin-Fosse.

A causa della relativa vicinanza tra gli ingressi della Spluga della Preta e la Spurga di Peri, circa 3 km in linea d'aria, per lungo tempo era ipotizzato un collegamento tra le due cavità. Tale connessione è stata smentita dalle colorazioni eseguite in occasione dell'Operazione Corno d'Aquilio effettuate a cavallo degli anni '80 e '90 del secolo scorso.

La successione stratigrafica affiorante comprende le classiche formazioni dell'area lessinea di età triassico-cretacea. La Dolomia Principale, unità basale forma la fascia inferiore del versante della Val d'Adige e a Sud del Corno d'Aquilio risulta sovrascorsa sul blocco intensamente ripiegato, presentando fasce fortemente tettonizzate.



Fig. 10 – Panoramica della dorsale Nord-orientale del Corno d'Aquilio dove si apre l'ingresso della Spluga della Preta (foto R. Zorzin)

Spluga della Preta

La Spluga della Preta (1 V VR), con la sua profondità di -875 m e uno sviluppo di circa 6.500 m è certamente uno dei più conosciuti abissi italiani. È una cavità di tipo alpino e l'unica grotta dei Monti Lessini Veronesi che attraversa completamente la serie mesozoica, raggiungendo i litotipi triassici in prossimità del fondo (Figura 10).

L'abisso si apre a 1.484 m s.l.m. con una dolina a forma d'imbuto impostata nei calcari della Maiolica dalla quale si succedono ampi e profondi pozzi collegati da cunicoli e strette forre vadosi talvolta localizzate lungo strati e banchi marnosi (Menichetti *et al.*, 2011), che raggiungono la Dolomia Principale dove si estendono gallerie freatiche. La direzione delle gallerie e la adiacente scarpata periferica dell'altopiano suggeriscono che il deflusso sotterraneo sia diretto verso la Val d'Adige.

Tracciamento e successione degli interventi

Nel periodo 1990-1992, nell'ambito delle ricerche dell'Operazione Corno d'Aquilio vennero eseguite varie colorazioni nella Spluga della Preta sia per definire la rete di drenaggio interna sia gli eventuali collegamenti con le sorgenti esterne.

Il 22 luglio 1990, nella cosiddetta "fessura PT dei Rami del Nonno" venne immesso nel locale

corso d'acqua che aveva una portata stimata di 0,4 l/minuto, circa 1 kg di fluoresceina. Nelle settimane precedenti furono posizionati numerosi fluocaptori lungo l'asse principale della grotta, in corrispondenza dei diversi apporti idrici laterali. Alcuni di questi fluocaptori vennero utilizzati per la prova in bianco (Figura 11). I risultati forniti dai fluocaptori prelevati nelle settimane successive al test e analizzati presso l'Università di Perugia (Menichetti *et al.*, 2011), indicarono che il corso d'acqua principale percorre la grotta dalla base del P.108 fino a raggiungere il Pozzo Ribaldone. Nessuno degli apporti laterali, presenti soprattutto nelle sale Cargnel e Boegan, evidenziò collegamenti con le parti superiori della cavità.

Nelle settimane successive al tracciamento si ebbero piogge di circa 10 mm/giorno che "ripulirono" la grotta dal tracciante in breve tempo.

I dati raccolti non fornirono indicazioni sulla velocità di propagazione del tracciante all'interno del sistema carsico, ma le osservazioni dirette sul corso d'acqua sotterraneo principale evidenziarono uno scorrimento a pelo libero con velocità di molti m/ora.

Il 15 giugno 1991 vennero immessi 3 kg di fluoresceina alla base del Pozzo Ribaldone per verificare collegamenti tra il corso d'acqua interno alla grotta e le eventuali risorgenti esterne.

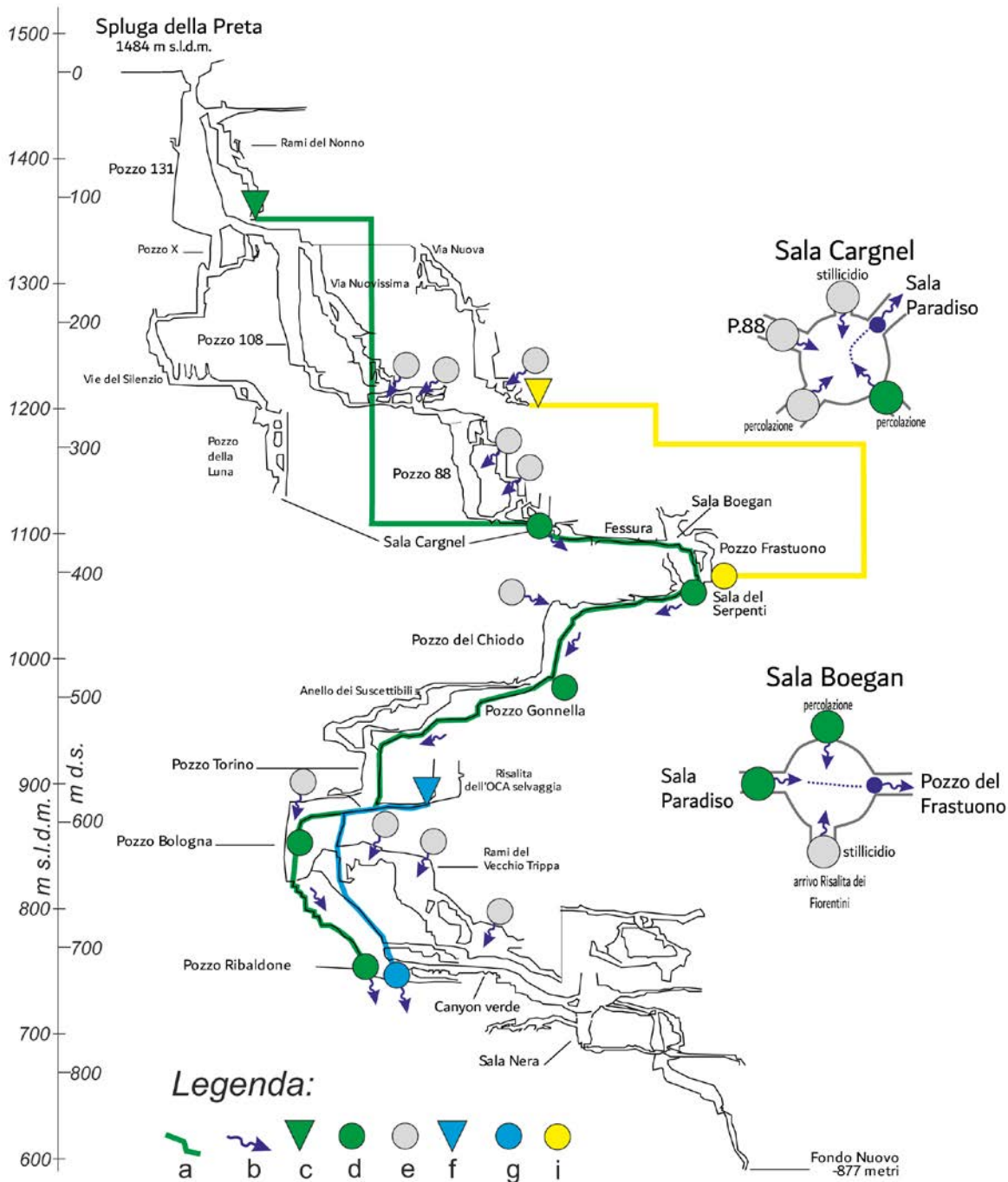


Fig. 11 – Rete idrografica sotterranea della Spluga della Preta ricostruita attraverso una serie di test con traccianti. Legenda: **a.** Corso d'acqua principale, **b.** Apporti idrici laterali, **c.** Punto di immissione della fluoresceina nei Rami del Nonno (1990), **d.** fluocaptore positivo alla fluoresceina (1990), **e.** Fluocaptore negativo alla fluoresceina (1990), **f.** Punto di immissione del Tinopal, **g.** Fluocaptore positivo al Tinopal, **h.** Punto di immissione della fluoresceina nella Via Nuova (1991), **i.** Fluocaptore positivo alla fluoresceina (1991) - (da Menichetti *et al.*, 2011)

Vennero posizionati circa 50 fluocaptori sia in sorgenti sia in corsi d'acqua superficiali circostanti la Spluga della Preta, molti dei quali proprio in Val d'Adige tra Borghetto e Ossenigo. I fluocaptori, analizzati presso l'Università di Perugia, diedero positive le sorgenti più basse della Val Fondrà e del Vajo del Mattone.

Nel luglio 1991 venne eseguita un'altra colorazione immettendo 1 kg di Tinopal all'arrivo del Ramo dell'Oca Selvaggia nei Rami del Vecchio Trippa. I fluocaptori, analizzati da B. Vigna dell'Università di Torino, confermarono il test precedente.

Il 3 ottobre 1992 vennero immessi 6 kg di fluoresceina all'interno della grotta, nel corso d'acqua principale, tra i pozzi Bologna e Ribaldone. Lungo il versante della Val d'Adige furono posizionati oltre 100 fluocaptori, praticamente su tutte le sorgenti e corsi d'acqua minori locali oltre ad alcuni nel Vajo della Marciora e nelle Sorgenti di Montorio (Figura 12): risultarono positivi quelli localizzati nella Val Fondrà, nel Vajo del Mattone, nella zona a monte di La Palù e nella Valle di Rocca Pia (Menichetti *et al.*, 2011).

I test eseguiti indicano che il corso d'acqua della Spluga della Preta, oltre la parte esplorata di grotta, si disperde in una rete di fratture che alimentano varie sorgenti in Val d'Adige (Val Fondrà e Valle di Rocca Pia) poste a una quota di circa 400/450 m s.l.m., ossia quasi 300 m sopra l'attuale fondovalle. La direzione di drenaggio è da SE verso NO e segue presumibilmente il sistema di fratture che interessa la Dolomia Principale.

Spurga di Peri

La più importante grotta presente nell'area del Corno d'Aquilio, dopo la Spluga della Preta, è la Spurga di Peri (11 V VR), nota anche come Spurga delle Cadene (Pasa, 1954). Si tratta di una grande emergenza carsica attiva, che scaturisce a una quota di circa 525 m s.l.m. nel Vajo delle Fontane, incisione che discende linearmente il versante sinistro della Val d'Adige tra i paesi di Fosse, sull'altopiano, e Peri situato sul fondovalle.

La cavità, che si sviluppa per circa 1.250 m, è costituita da un primo tratto sub-orizzontale caratterizzato da alcuni sifoni cui segue, nella porzione centrale, un andamento decisamente ascendente, mentre nel tratto terminale assume l'aspetto di un lungo condotto d'interstrato di dimensioni sempre più esigue. Il bacino idrogeologico si in-

dividua nella dorsale tra Fosse e il Corno d'Aquilio, nel Vajo dei Mattoni e nella bassa Valle Liana (Rossi & Zorzin, 2011). Sebbene da molti anni la cavità risultasse fortemente inquinata, tanto da essere praticamente inagibile, durante l'Operazione Corno d'Aquilio e successivamente (fino all'estate 2010) furono eseguite numerose visite al suo interno, fino a una distanza di circa 270 m dall'ingresso, per eseguire misure di portata e analisi di alcuni parametri chimici del corso d'acqua sotterraneo.

Vista la relativa vicinanza tra la Spurga di Peri e la Spluga della Preta, notevoli sforzi vennero compiuti negli anni '60 del secolo scorso dal Gruppo Grotte Falchi con la speranza di poterne evidenziare il collegamento, definitivamente smentito dalle colorazioni effettuate durante l'Operazione Corno d'Aquilio.

Negli anni '70 vennero osservati episodi di inquinamento, seguiti da un veloce degrado che ha impedito ulteriori esplorazioni fino al 2010. Il fenomeno coincideva con lo sviluppo nell'area di Fosse di impianti per l'allevamento intensivo di suini con il conseguente problema dello smaltimento dei liquami, "risolto" non solo con pratiche di fertirrigazione, ma anche con lo sversamento diretto delle deiezioni entro condotti carsici. A metà degli anni '80 la gravità degli inquinamenti e le conseguenti polemiche convinsero il Comune di Sant'Anna d'Alfaedo, in cui ricade il bacino idrogeologico della grotta e numerosi impianti zootecnici, ad affidare alla Commissione Gruppi Grotte Veronesi un'indagine conoscitiva sullo stato di salute della cavità e di cercare di definire modalità e fonti dell'inquinamento (Rossi, 1986; 1987). I risultati di questo studio sono stati pubblicati in un volume dedicato alle ricerche dell'Operazione Corno d'Aquilio (Rossi & Zorzin, 2011).

Test idrogeologici e osservazioni sull'idrologia della cavità

Nella seconda metà degli anni '80, la Commissione Gruppi Grotte Veronesi, come parte dell'indagine citata, mise in programma dei test di tracciamento con fluoresceina.

Gli inquinanti erano di per sé indicativi del bacino, che doveva comprendere, in toto o in parte, la dorsale Lavarin-Fosse dove si trovavano numerosi allevamenti suinicoli. La presenza di deiezioni compatte e grossolane nel corso d'acqua sotterraneo della Spurga di Peri, inoltre, suggeriva che gli sversamenti dovevano avvenire direttamente entro condotti carsici piuttosto che con la fertir-

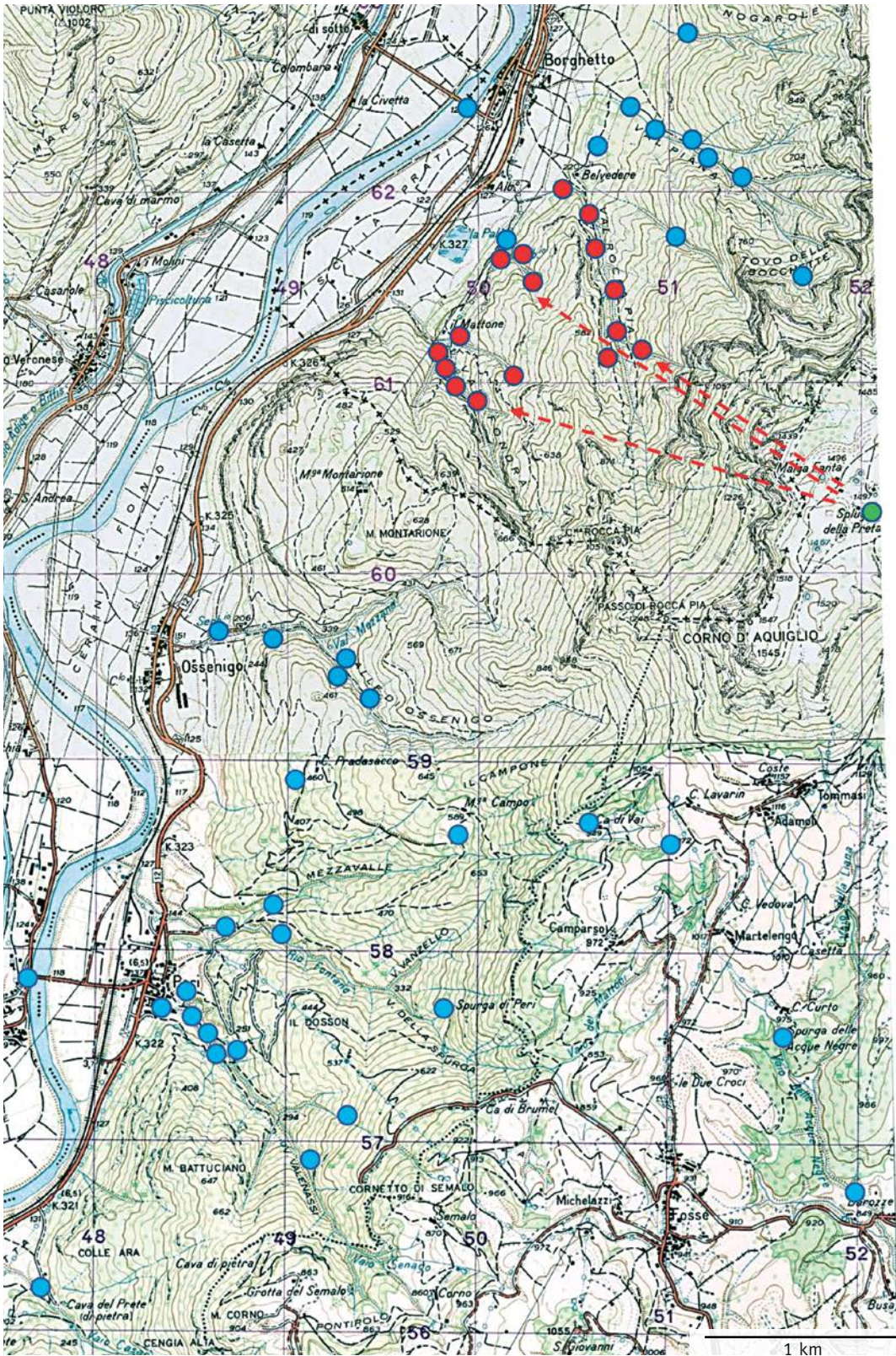


Fig. 12 – Collegamenti idrologici ricostruiti attraverso test con traccianti tra la Spluga della Prete e le sorgenti della Val d'Adige. Legenda: Sorgenti positive ai traccianti (●), Sorgenti negative ai traccianti (●), Spluga della Prete (●), Collegamenti idrogeologici (--->) (da Menichetti *et al.*, 2011 – ridisegnato da F. Tottola). “Dai tipi dell’Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

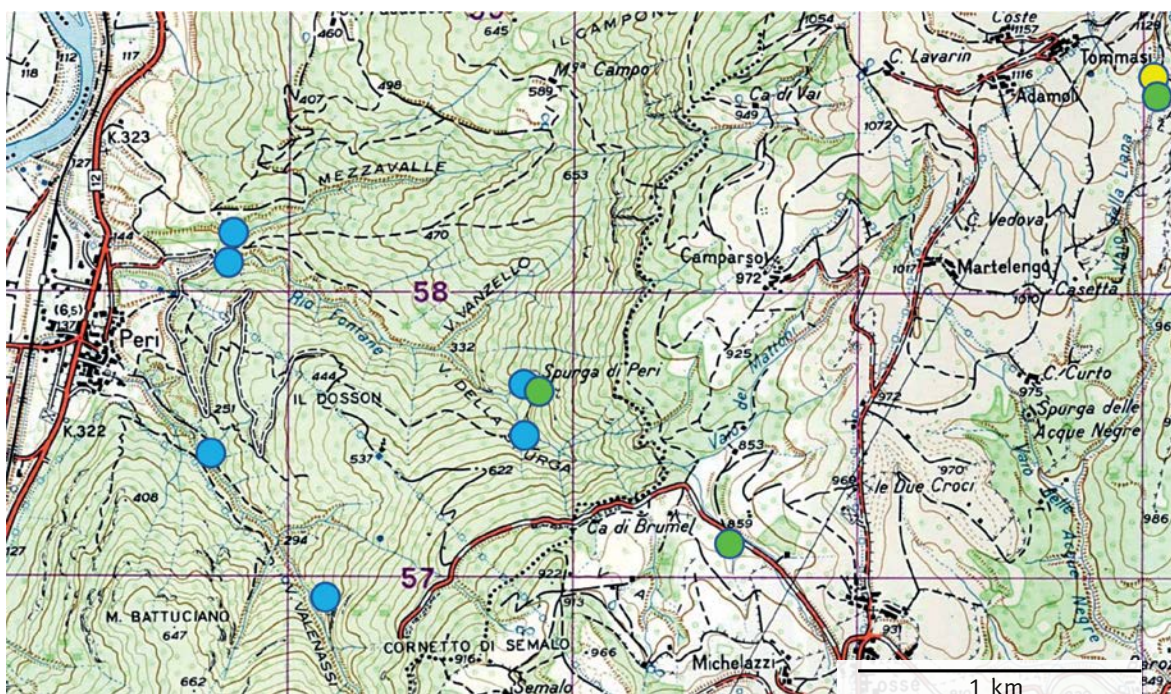


Fig. 13 – Ubicazione dei test con Tinopal (●) e fluoresceina (●) eseguiti negli anni '80 del secolo scorso; posizione dei fuocaptori (●) – (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

rigazione delle superfici a prato stabile che localmente ricoprono i calcari marnosi della Maiolica.

Numerosi autori (Pasa, 1954; Sauro, 1974; Mietto & Sauro, 1989) hanno evidenziato la scarsa attitudine della formazione cretacea a sviluppare una circolazione in condotti, differentemente dalle sottostanti formazioni mesozoiche. Infatti, nella Maiolica l'assorbimento è disperso e la circolazione avviene in una rete di fratture e giunti di strato che riescono a sostenere locali acquiferi e piccole sorgenti in quota, presenti anche nella zona in esame (Zorzin, 1996). Pertanto, i punti di immissione dei liquami nel circuito carsico andavano ricercati nelle formazioni notevolmente carsificate sottostanti la Maiolica (Figura 13).

Sebbene i dati idrologici riguardanti la Spurga siano limitati, è interessante riportarli ai fini di un approccio idrogeologico preliminare. Le portate minime della grotta, riscontrate durante la ricerca, erano di 0,4/0,6 l/s, mentre successivamente Zorzin (1996) valuta una portata media di 4,5 l/s. La cavità è tuttavia nota per le violente e improvvise piene che implicano portate dell'ordine di svariate centinaia di l/s, come hanno potuto riferire gli speleo-subacquei in esplorazione

nel 1971. Una simile risposta idrogeologica è in genere correlabile con assorbimenti in massa, possibili solo nelle rocce del Giurassico dove, a livello locale, si osservano morfologie che suggeriscono la presenza di inghiottitoi. Inoltre, come evidenziato nell'evento del 1971, quando gli inghiottitoi dell'alta Valle Liana non furono in grado di smaltire la portata, le forti precipitazioni nell'area del Corno d'Aquilio innescarono una circolazione saltuaria nel Vajo delle Acque Nere.

La Spurga di Peri sembra configurarsi, considerando il regime, come cavità di attraversamento stabilitasi tra inghiottitoi posti nell'incisione delle Acque Nere e la Val d'Adige. Poiché al tempo non erano state segnalate deviazioni lungo le vallette soprastanti la grotta, ma la loro presenza solo nel corso d'acqua sotterraneo, si riteneva che l'inquinamento fosse collegato ai condotti secondari afferenti, sottolineando il ruolo idrogeologico della Spurga per la dorsale Lavarin-Fosse. Per verificare tale modello vennero previste alcune prove con fluoresceina.

Un primo test prevedeva il tracciamento del piccolo corso d'acqua che scorre nella valletta che scende da Fosse verso la Val d'Adige, costeggian-



Fig. 14 – Panoramica del versante Nord-orientale della dorsale Monte San Giovanni-Monte Pastello dove sono coltivate numerose cave di lastame (foto R. Zorzin)

do la SP 57, che confluisce nel Vajo dei Mattoni e quindi in quello delle Fontane. Risultarono negative tutte le sorgenti controllate in Val d'Adige, compresa la Spurga di Peri, come era lecito attendersi per la sua posizione. Il secondo test venne realizzato colorando il torrente sotterraneo della Spurga di Peri per verificare la posizione dell'emergenza. Anche in questo caso risultarono negative tutte le sorgenti e i corsi d'acqua controllati. Un terzo test con immissione di fluoresceina nel Vajo delle Acque Nere, poco a valle della flessura, non diede risultati per la perdita dei fluocaptori posti nella Spurga di Peri. Successivamente, nello stesso punto del terzo test venne effettuata un'altra prova con Tinopal con esito analogo.

Sebbene tali test non siano stati sufficienti nel definire in via esaustiva il ruolo idrogeologico della cavità, possono comunque evidenziare che la profonda incisione della Val d'Adige non rappresenta il recapito idrogeologico dei circuiti carsici testati, come sarebbe stato lecito attendersi.

Questo fatto suggerisce che la faglia della Val d'Adige imponga un limite idrogeologico chiuso, dovuto alla scarsa permeabilità del blocco dolomitico occidentale sovrascorso, intensamente tettonizzato. Volumi incoerenti di dolomia cataclasata sono facilmente osservabili lungo la strada Peri-Fosse (SP 57).

DORSALE MONTE SAN GIOVANNI-MONTE PASTELLO

Il tratto di dorsale preso in considerazione ricade grossomodo tra gli abitati di Gorgusello e Molina ed è posto tra i 625 e i 750 m s.l.m. circa.

Le morfologie di questo territorio risultano moderatamente acclivi nelle aree di dosso, più inclinate sui versanti, talora interrotte da piccole scarpate rocciose, specialmente in corrispondenza delle incisioni vallive determinate da orizzonti litologici più tenaci sottoposti a processi di erosione selettiva (Figura 14).

Dal punto di vista strutturale, sono stati riconosciuti almeno due eventi tettonici relativi alla fase valsuganese, localmente rappresentata da strutture orientate all'incirca E-O ($70\div 80^\circ$ N) e a quella giudicariense, caratterizzata da lineazioni NNE-SSO.

Nell'area scaturiscono numerose sorgenti, di varia natura e con portate molto diversificate (Zorzin & Allegrezza, 2004). La più importante è la sorgente carsica Veraghi, oggetto di un inquinamento da modesto a marcato collegato all'attività di cava, già dalla fine degli anni '90 del secolo scorso. Nel territorio circostante la sorgente e all'interno del suo bacino idrogeologico affiorano i calcari marnosi della Maiolica e quelli micritici della Scaglia Rossa. Localmente,

le formazioni cretache sono ricoperte da corpi di frana variamente estesi costituiti da litotipi eocenici.

Sorgente Veraghi

Veraghi è una sorgente carsica che scaturisce poche centinaia di metri a NNO dell'abitato di Molina. A causa dei frequenti e prolungati episodi di inquinamento determinati da sedimenti fini (limi) in sospensione nell'acqua, nel dicembre 2005 venne avviata una ricerca per verificare se il fenomeno fosse relazionabile alle operazioni di taglio (segagione) della "Pietra di Prun" o "lastame" effettuato nel polo estrattivo "Gorgusello-Breonio" o anche nei territori limitrofi (Zorzin *et al.*, 2004; Zorzin & Cacciavillan, 2004). Per questo motivo venne effettuata una prima indagine per accertare se nel bacino idrogeologico dell'emergenza rientrassero le due cave attive situate immediatamente a monte della sorgente stessa. L'inquinamento è evidenziato dalla colorazione lattiginosa che appare più o meno intensa in base alla concentrazione dei limi in sospensione nell'acqua; inoltre, depositi di "fango di segagione" erano visibili alla scaturigine e nei tratti pianeggianti di alveo a monte (Progno di Breonio e Vajo Sengia Canala) e a valle della sorgente, nonché in una canaletta che convoglia l'acqua verso l'antico mulino dei Veraghi (Figura 15 a e b).

Le indagini prevedevano l'utilizzo di traccianti chimici (Tinopal e fluoresceina) in cave aperte nel polo estrattivo Gorgusello-Breonio. La rilevazione dei traccianti avvenne con fluorocettori collocati alla Sorgente Veraghi e in altri punti ritenuti idrologicamente significativi per l'indagine.

Dopo questa prima lunga fase di lavoro, si ritenne opportuno estendere l'area di studio iniziale anche più a Nord, fino al polo estrattivo Monte Loffa-Monte San Giovanni.

Durante i sopralluoghi di campagna vennero prelevati numerosi campioni d'acqua (nella Sorgente Veraghi e in sorgenti e corsi idrici limitrofi) per eseguire analisi chimico-fisiche e microbiologiche.

Infine, nel luglio 2007 venne posizionato in località Gorgusello un pluviometro per poter confrontare le precipitazioni meteoriche con le portate delle sorgenti, dei corsi d'acqua locali e gli eventi di inquinamento.



Fig. 15 – Sorgente Veraghi: (A) colorazione lattiginosa delle acque per la presenza in sospensione dei fanghi di segagione (12.01.2006) e (B) situazione con acque non inquinate (27.08.2008) - (foto A. Zorzin)

Appunti di idrogeologia e analisi chimico-fisiche e microbiologiche delle acque

La Sorgente Veraghi è una sorgente carsica perenne che scaturisce in prossimità del tetto della Scaglia Variegata Alpina e per questo motivo può essere classificata come "sorgente per limite di permeabilità definito" (Zorzin R., 2008). Le portate mi-

surate oscillano tra 1,5 e 6,7 l/s. La circolazione delle acque avviene prevalentemente all'interno dei litotipi ascrivibili alla Scaglia Rossa, fessurata e carsificata con giaciture sub-orizzontali o poco inclinate. L'infiltrazione delle acque superficiali, la circolazione profonda, la portata e le variazioni temporali dei parametri fisico-chimici delle acque sono condizionati dalle caratteristiche fisiche del sistema e dalla geometria del serbatoio. Di fatto, la fratturazione e la carsificazione del massiccio carbonatico che contiene l'acquifero della Sorgente Veraghi ne condizionano notevolmente la portata. Infatti, anche a seguito di abbondanti precipitazioni le portate presentano variazioni più contenute e una risposta più ritardata rispetto a quelle caratterizzate da un dreno dominante (Vigna, 2001). Inoltre, la curva di svuotamento mostra una progressiva diminuzione della portata che può mantenersi con valori moderatamente elevati anche per lunghi periodi, a testimonianza dell'importanza delle riserve regolatrici presenti nella zona satura. Gli indicatori idrogeochimici evidenziano, alla scaturigine e durante le piene, temporanei aumenti della mineralizzazione delle acque in seguito a fenomeni di "pistonaggio" legati alle modalità di messa in carico della rete di drenaggio. In tali periodi, gli importanti volumi idrici provenienti dalla superficie causano la rimobilizzazione di acque molto ricche in minerali presenti nei settori meno permeabili del sistema.

Tracciamento e successione degli interventi (prima campagna)

Le indagini effettuate in occasione di questa prima campagna di colorazioni ebbero una durata di quattro mesi durante i quali sono state eseguite due prove con traccianti, una con fluoresceina e una con Tinopal.

Il 22 dicembre 2005 venne verificato lo stato dei luoghi e posizionati alcuni captori per la prova in bianco presso la Sorgente Veraghi (n. 22 di Figura 16) e nella vallecchia situata immediatamente a Est della stessa. Venne prelevato un campione di acqua per le analisi microbiologiche e misurati in loco alcuni parametri chimico-fisici. Durante il sopralluogo venne visitata anche la Sorgente Giulia (n. 18) dove erano stati osservati estesi e spessi depositi di fanghi di segagione alla scaturigine e nel vicino alveo del Vajo Sengia Canala.

L'11 gennaio 2006 vennero prelevati e sostituiti i fluocaptori. L'acqua che scaturiva dalla Sorgente Veraghi presentava un evidente aspetto lattiginoso. I terreni soprastanti la sorgente erano ricoperti da un potente strato di neve.

Il 25 gennaio 2006, nella cava posta a NE (n. 1 di Figura 16), venne realizzato il primo tracciamento mediante l'utilizzo di 500 g di Tinopal disciolto in circa 1.500 litri di acqua. La prova fu eseguita all'interno di una frattura incarsita intercettata durante i lavori di taglio in corso (Figure 17 e 18). L'acqua della Sorgente Veraghi era molto più pulita della volta precedente. Le previsioni meteorologiche per il 26 gennaio e i giorni seguenti indicavano un graduale innalzamento delle temperature e abbondanti nevicate anche a quote basse.

Nei giorni successivi il tracciamento (1 e 11 febbraio) vennero recuperati e sostituiti i captori seguendo un protocollo concordato con le parti coinvolte nelle indagini: i captori prelevati furono dapprima sottoposti a sciacquatura (laddove impregnati da fango di segagione) e, subito dopo, a verifica della positività mediante lampada di Wood. In occasione del primo prelievo, i fluocaptori della Sorgente Veraghi risultarono positivi, ma in maniera meno marcata rispetto a quelli posizionati nella valletta situata a Est. L'acqua della Sorgente Veraghi appariva abbastanza pulita. Nel prelievo successivo, i fluocaptori risultarono appena positivi tant'è che si è reso necessario un confronto con quelli recuperati la volta precedente e con quelli "vergini".

Il 16 febbraio 2006 venne eseguito il secondo tracciamento in un'area di deposito di materiali lapidei e sfridi di lavorazione (n. 2 di Figura 16), utilizzando 1 kg di fluoresceina disciolta in circa 3.000 litri di acqua (Figura 19).

Nei giorni successivi (25 febbraio, 4 e 11 marzo 2006) furono analizzati i fluocaptori posizionati, sostituendoli di volta in volta, che risultarono sempre negativi. In questo periodo l'acqua della Sorgente Veraghi apparve sempre leggermente lattiginosa.

Durante questa prima campagna di tracciamento si osservò che la strada che collega il bacino estrattivo di Gorgusello-Breonio con la SP 33 e che corre a monte della Sorgente Veraghi era percorsa quotidianamente da numerosi automezzi pesanti. Lungo questa strada si incanalavano le precipitazioni atmosferiche nonché il

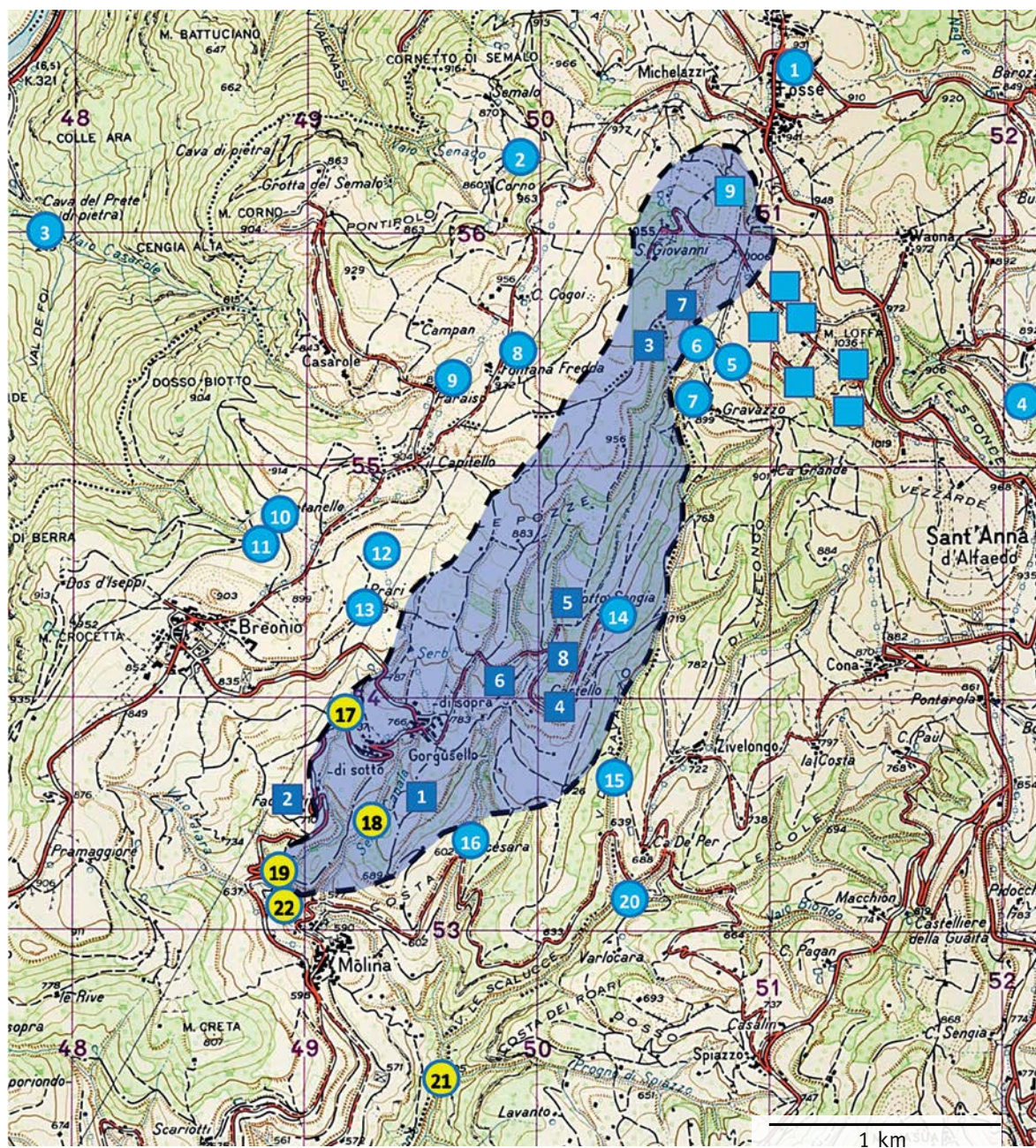


Fig. 16 – Ubicazione delle indagini che hanno permesso di individuare l'area di ricarica della Sorgente Veraghi (22). Legenda: test con traccianti eseguiti negli anni 2000 (■), test con traccianti eseguiti prima del 2000 (□), captore negativo e suo numero (●), captore positivo e suo numero (●), bacino idrogeologico della sorgente (■) (disegno A. Zorzin). "Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021" – riproduzione vietata

troppo pieno di alcune sorgenti locali, creando una serie di cedimenti della sede stradale. L'erosione delle particelle più fini del fondo non asfaltato venivano disperse a valle della strada in

direzione della Sorgente Veraghi. L'intervento di asfaltatura della strada e le opere di regimazione eseguite nell'agosto 2008 contribuirono a migliorare sensibilmente la qualità delle acque sorgive.



Fig. 17 – La frattura incarsita individuata il 25 gennaio 2006 durante la coltivazione della cava (foto R. Zorzin)



Fig. 18 – Il test con Tinopal eseguito il 25 gennaio 2006 e veicolato con circa 1.500 litri di acqua (foto R. Zorzin)

Tracciamento e successione degli interventi (seconda campagna)

Nei mesi successivi alla prima campagna di tracciamenti non fu notata una significativa riduzione dell'inquinamento della Sorgente Veraghi. Si ritenne, perciò, utile proseguire nelle indagini con un secondo ciclo di colorazioni che durò 12 mesi con sei prove di tracciamento (due con fluoresceina e quattro con Tinopal).

Il 5 maggio 2007 iniziò il nuovo studio verificando lo stato dei luoghi in località Molina e posizionando dodici fluocaptori per la prova in bianco (presso la Sorgente Veraghi, nel Progno di Breonio, nel Vajo Sengia Canala e a Ovest di Gorgussello).

Nei giorni successivi e fino alla prima metà del luglio 2007, le ricerche sul terreno vennero estese verso Nord, fino a toccare la dorsale Dosso Biotto-Monte Corno-Monte Cornetto di Semalo-Fosse. In questo periodo l'acqua della Sorgente Veraghi si mantenne limpida.

Il 23 luglio 2007 venne eseguita la prima colorazione (n. 3) con 500 g di Tinopal e, a distanza di

poche ore, un'altra prova utilizzando 500 g di fluoresceina (n. 4). In entrambi i test i traccianti furono disciolti in circa 1.500 litri di acqua (Figura 20).

Il prelievo e la contestuale verifica dei fluocaptori eseguita il 28 luglio 2007 diedero i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): negativo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Progno di Breonio (n. 19): leggermente positivo alla fluoresceina e negativo al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): leggermente positivo al Tinopal e negativo alla fluoresceina;
- gli altri fluocaptori risultarono tutti negativi.

L'acqua della Sorgente Veraghi era limpida anche se il captore per il Tinopal risultava leggermente colorato di rosa. Questa buona situazione della qualità delle acque sorgive si mantenne tale almeno per 2 settimane.

Alla verifica, il 5 agosto 2007, i fluocaptori diedero i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): positivo alla fluoresceina e negativo al Tinopal;



Fig. 19 – Tracciamento con fluoresceina eseguito il 16 febbraio 2006 (foto A. Zorzin)

- Progno di Breonio (n. 19): leggermente positivo alla fluoresceina e negativo al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): leggermente positivo alla fluoresceina e negativo al Tinopal;
- Sorgente n. 21: positivo alla fluoresceina;
- tutti gli altri fluocaptori risultarono negativi.

Il 15 agosto 2007 l'acqua della Sorgente Veraghi era limpida anche se il captore per il Tinopal risultava leggermente colorato di rosa. Il controllo sui fluocaptori recuperati diede i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): leggermente positivo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Progno di Breonio (n. 19): leggermente positivo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): negativo alla fluoresceina e positivo al Tinopal;
- Sorgente n. 17: positivo al Tinopal;
- Sorgente n. 21: positivo a Tinopal e fluoresceina;
- gli altri fluocaptori risultarono tutti negativi.

Nel sopralluogo del 24 agosto la Sorgente Veraghi si presentava leggermente lattiginosa e il captore per il Tinopal risultava leggermente colorato, mentre i captori del Vajo Sengia Canala erano molto imbrattati di fango color rosa.

Il controllo sui fluocaptori recuperati diede i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): leggermente positivo alla fluoresceina e negativo al Tinopal;
- Progno di Breonio (n. 19): negativo a fluoresceina e Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): negativo a fluoresceina e Tinopal;
- negativi gli altri captori.

Il 28 agosto l'acqua della Sorgente Veraghi risultava limpida anche se il captore per il Tinopal era leggermente colorato di rosa. Tutti i fluocaptori diedero esito negativo. Per questo



Fig. 20 – Test con fluoresceina eseguito il 23 luglio 2007 (foto A. Zorzin)

motivo furono programmate per il 3 settembre altre due colorazioni, con 500 g di Tinopal (n. 5) e 1 kg di fluoresceina (n. 6). Nei test i traccianti vennero disciolti rispettivamente in circa 1.500 e 3.000 litri di acqua. Nella stessa data l'acqua della Sorgente Veraghi risultava limpida anche se il fluocaptore risultava di color rosa. Negli alvei del Prognò di Breonio e del Vajo Sengia Canala erano evidenti depositi di fango di segazione.

Il 14 settembre i fluocaptori fornirono i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): positivo alla fluoresceina e negativo al Tinopal;
- Prognò di Breonio (n. 19): leggermente positivo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): leggermente positivo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Sorgente n. 21: positivo a Tinopal e fluoresceina;
- negativi gli altri fluocaptori.

Il 29 settembre nel sopralluogo per recuperare i fluocaptori, l'acqua della Sorgente Veraghi appariva lattiginosa e il fluocaptore per il Tinopal risultava leggermente colorato di rosa. L'analisi dei captori recuperati diede i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): positivo alla fluoresceina e leggermente positivo al Tinopal;
- Prognò di Breonio (n. 19): leggermente positivo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): leggermente positivo alla fluoresceina e al Tinopal;
- Sorgente n. 21: positivo a Tinopal e fluoresceina;
- negativi gli altri fluocaptori.

Il 13 e 22 ottobre e il 9 novembre i fluocaptori rimasero ancora variamente positivi ai due traccianti fino al 24 novembre escluso. Anche nei sopralluoghi del 15 dicembre e del 4 gennaio 2008 i captori risultarono negativi.

Durante queste verifiche l'acqua della Sorgente Veraghi si mantenne limpida mentre i fluocaptori per il Tinopal risultarono leggermente colorati di rosa. Il Vajo Sengia Canala presentava invece evidenti depositi di fango derivante dall'attività estrattiva.

Il 14 gennaio, vista la difficoltà di rinvenire i fluocaptori nel Vajo Sengia Canala per la presen-



Fig. 21 – Tracciamento con Tinopal all'interno di un'ampia frattura incarsita dal cui fondo si percepiva un chiaro rumore di acqua fluente (foto A. Zorzin)

za di abbondante fango, si decise di posizionarne un numero maggiore.

Il 18 gennaio 2008 venne eseguita una nuova colorazione (n. 7) con 1 kg di Tinopal disciolto in circa 3.000 litri di acqua immessi all'interno di una larga frattura impostata nella Scaglia Rossa, dalla quale si percepiva un forte rumore di acqua corrente (Figura 21).

Il 24 gennaio al recupero dei fluocaptori venne osservato che l'acqua della Sorgente Veraghi e del Prognò di Breonio era limpida e l'alveo del Vajo Sengia Canala asciutto. Le analisi sui fluocaptori recuperati diedero i seguenti risultati:

- Sorgente Veraghi (n. 22): positivo al Tinopal;
- Prognò di Breonio (n. 19): positivo al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): positivo al Tinopal;
- Sorgente n. 17: positivo al Tinopal;
- Sorgente n. 21: positivo al Tinopal;
- negativi gli altri captori.

Nei sopralluoghi successivi (1, 6 e 13 febbraio) i fluocaptori risultarono sempre meno positi-

vi fino al 21 febbraio quando tutti furono negativi a eccezione di quello di Vajo Sengia Canala, non rinvenuto, forse perché mascherato dall'abbondante fango presente in alveo. I fluocaptori rimasero negativi ancora per due settimane e comunque fino all'8 marzo quando venne programmato un altro tracciamento (n. 8) con 500 g di Tinopal disciolto in circa 1.500 litri di acqua immessi in una frattura incarsita entro la quale si sentiva un distinto rumore di acqua fluente.

I fluocaptori recuperati e analizzati il 17 marzo diedero i seguenti risultati:

– Sorgente Veraghi (n. 22): positivo al Tinopal;

- Progno di Breonio (n. 19): negativo al Tinopal;
- Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (n. 18): negativo al Tinopal;
- Sorgente n. 21: leggermente positivo al Tinopal;
- negativi gli altri fluocaptori.

La positività venne mantenuta fino al 28 aprile, mentre dal 17 maggio i fluocaptori risultarono sempre negativi.

I risultati dei fluocaptori dei mesi successivi la colorazione con Tinopal dell'8 marzo sono riportati nella seguente tabella riassuntiva:

	17 marzo	28 marzo	4 aprile	14 aprile	28 aprile	17 maggio	21 maggio	30 maggio
Sorgente Veraghi (22)	+	+	+	+	+/-	-	-	-
Progno di Breonio (19)	-	+	+	+	-	-	-	-
Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala (18)	-	+	+	+/-	-	-	-	-
Sorgente n. 21	+/-	+	+			-	-	-
Tutti gli altri fluocaptori	-	-	-			-	-	-

Legenda: positivo (+), leggermente positivo (+/-), negativo (-)

Il ritardo riscontrato nella positività dei fluocaptori della Sorgente Giulia-Vajo Sengia Canala e del Progno di Breonio rispetto a quello della Sorgente Veraghi conferma che sono sorgenti temporanee di troppo pieno del serbatoio carsico di Veraghi.

Vista la persistenza dell'esito negativo dei fluocaptori per il Tinopal e le numerose informazioni acquisite in un anno di indagini, il 30 maggio 2008 si è ritenuto di chiudere lo studio idrogeologico.

I risultati di questo monitoraggio hanno permesso di delimitare con soddisfacente precisione il bacino idrogeologico della Sorgente Veraghi. La colorazione rosa dei fluocaptori per il Tinopal, riscontrata più volte nell'ambito di questa indagine, nonostante la limpidezza delle acque sorge al momento del recupero dei fluocaptori, può essere messa in relazione a temporanei leggeri intorbidamenti da parte dei fanghi di segazione nei giorni precedenti quello del sopralluogo.

Commento dei principali parametri chimico-fisici e microbiologici delle acque campionate

Molte delle analisi sulle acque sono state eseguite direttamente in campagna, altre in laboratori appositamente allestiti (lo studio di uno degli autori) e presso l'IPSIA E. Fermi di Verona. Complessivamente sono stati prelevati 45 campioni di acqua, di cui 14 destinati alle analisi microbiologiche e 31 a quelle chimico-fisiche. In particolare, 349 sono stati i parametri chimico-fisici analizzati e 42 quelli microbiologici.

I prelievi per le analisi microbiologiche sono stati eseguiti utilizzando recipienti sterili. I campioni d'acqua sono stati recapitati al laboratorio in tempi brevi (5-6 ore) e conservati, durante il trasporto, a bassa temperatura (circa 4 °C), all'interno di una borsa termica. Una volta giunti al laboratorio i campioni sono stati analizzati entro 24 ore.

Alcune rilevazioni, come il pH, la portata, la conducibilità, l'ossigeno disciolto, la tempera-



Fig. 22 – Rilievo di alcuni parametri chimici presso la Sorgente Veraghi (25 ottobre 2008) - (foto R. Zorzin)

tura dell'acqua e dell'aria, sono state effettuate all'atto del prelievo (Figura 22).

Il pH è stato determinato con pH-metro da laboratorio a microprocessore *HANNA HI 9321*, la conducibilità a 20 °C con conduttimetro da laboratorio a microprocessore *HANNA HI 9032*, l'ossigeno disciolto con l'ossimetro portatile a microprocessore *HANNA HI 9143*.

I parametri microbiologici determinati sono stati la carica batterica totale (CBT), i coliformi (CC) e l'*Escherichia coli*, per i cui conteggi sono state utilizzate piastre 3M Petrifilm VRBL.

Tali piastre sono certificate ISO-9002 e, generalmente, utilizzate dalle industrie casearie e alimentari. Nonostante la 3M non ne abbia documentato l'uso per l'analisi dell'acqua, si è ritenuto di adottare questo sistema per la facilità di utilizzo. Pertanto, i risultati delle analisi ottenuti possono essere considerati indicativi.

Tra i numerosi parametri chimico-fisici e microbiologici analizzati durante la campagna di ricerca, sono stati scelti quelli ritenuti più significativi per classificare le acque per un eventuale utilizzo idropotabile e, principalmente, per distinguere chimicamente i vari corpi idrici presenti nell'area d'indagine che sono stati così classificati:

- acque di scorrimento superficiale (corsi d'acqua a regime torrentizio: Valle di Gravazzo, Progno di Breonio, Vajo Vaiara, Vajo Sengia Canala, Vajo de Meso);
- falde poco profonde in litotipi sciolti (sorgenti da paleofrana: Prari, Paraiso);

- falde profonde in rocce carbonatiche (sorgenti per limite di permeabilità definito/sorgenti carsiche perenni: Veraghi, Semalo, Sotto Sengia).

Di seguito i principali parametri presi in considerazione (Tabella 1 a pagina 48) con un breve commento dei valori registrati:

1 - Durezza

Esprime la presenza dei cationi con carica positiva superiore a +1 che, nell'acqua, sono rappresentati quasi esclusivamente da calcio e magnesio. Acque con alti valori di durezza provocano incrostazioni e hanno un sapore sgradevole. I valori rilevati sono compresi tra 22 e 24 °F e risultano ampiamente entro i limiti dell'attuale normativa.

2 - pH

Tutte le forme viventi sono condizionate dal valore del pH, il cui intervallo ottimale è compreso tra 7 e 8,3. È influenzato sia dalla presenza di sostanze estranee sia dalla natura del terreno. I valori misurati durante la presente indagine, molto regolari e costanti nel tempo, sono coerenti con quelli delle più importanti sorgenti carsiche dei Monti Lessini Veronesi.

3 - Nitrati

Sono indice di inquinamento organico “vecchio” poiché sono il prodotto finale dell'ossidazione dell'ammoniaca. Provengono principalmente dall'uso eccessivo dei fertilizzanti in agricoltura. I valori registrati risultano complessivamente molto bassi e compresi mediamente tra 5 e 10 mg/l.

4 - Cloruri

Possono essere presenti in acque che hanno attraversato rocce ricche di sali oppure perché le acque sono contaminate da liquidi biologici. I valori misurati sono mediamente bassi e al di sotto dei 10 mg/l. Il valore più elevato (14 mg/l) è stato misurato alla Sorgente Veraghi il 13 febbraio 2008, ma è ampiamente al di sotto del massimo ammissibile (250 mg/l) previsto dal D.Lgs. n. 31 del 2 febbraio 2001.

5 - Conducibilità

È una grandezza proporzionale ai sali disciolti presenti nell'acqua. I valori trovati presentano

un andamento altalenante e sono compresi tra 250 e 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

6 - Nitriti

Sono composti altamente dannosi per la salute umana, nei quali l'azoto si trova nel suo più basso stato di ossidazione. La loro presenza deriva da un inquinamento biologico recente. I valori registrati sono sempre stati pari a 0 mg/l.

7 - Coliformi totali

I coliformi sono bacilli Gram negativi, non sporigeni, aerobi-anaerobi facoltativi. Comprendono i generi *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, tutti facenti parte della famiglia delle Enterobacteriaceae. La presenza dei coliformi è indice di inquinamento fecale e quindi di una inadeguata situazione igienica del bacino idrogeologico della sorgente (concimazioni, stazzo del bestiame). L'attuale Direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano prevede 0 UFC/100 ml a 37 °C.

I risultati ottenuti in occasione del monitoraggio sono stati confrontati con i parametri richiesti per il consumo diretto delle acque (D.Lgs. 31/2001) e, ove questi non fossero rispettati (praticamente sempre, per quanto riguarda l'aspetto microbiologico), si è fatto ricorso al D.Lgs. 52/1999 indicante i valori che determinano quali interventi si debbano attuare per potabilizzare l'acqua (Tabella 2 a pagina 49).

Conclusioni

I risultati delle ricerche eseguite nel 2007-2008 (tracciamenti, analisi fisico-chimiche delle acque, ecc.), confrontati con quelli del 2006, hanno evidenziato una situazione ambientale decisamente migliore rispetto al passato. Certamente le azioni intraprese dalle Amministrazioni comunali per ridurre/eliminare l'inquinamento fisico-chimico della Sorgente Veraghi e la cresciuta sensibilità dei cavitatori nei confronti dell'ambiente circostante hanno prodotto effetti positivi. I risultati del monitoraggio chimico-fisico permettono di classificare le sue acque come medio-oligominerali. Solamente un modesto inquinamento microbiologico ne impedisce l'utilizzo tal quale per scopi idropotabili. Infatti, le acque rientrano nella Categoria A2, che prevede la potabilizzazione mediante un trattamento fisico e chimico normale e disinfezione (si veda Tabella 2).

Inoltre, le osservazioni effettuate nel corso delle indagini e l'elaborazione dei dati idrologici e idrogeologici recuperati, confermano la presenza di una circolazione idrica sotterranea caratterizzata da una rete a dreni interdipendenti.

Le informazioni acquisite nel corso delle due campagne d'indagini hanno permesso di delimitare con soddisfacente precisione l'area di ricarica della Sorgente Veraghi di Molina (Figura 16). Infatti, i risultati dei numerosi test con traccianti hanno permesso di appurare che tutte le cave del polo di Gorgusello ricadono all'interno del bacino idrogeologico di tale sorgente. Questo fatto era stato ipotizzato ancora prima dell'esecuzione dei tracciamenti, poiché gran parte delle attività estrattive si trovava a monte della sorgente.

Confrontando i risultati ottenuti anche con quelli recuperati in precedenza per altre indagini, è emerso che in un tracciamento con Tinopal (n. 9) eseguito nel polo estrattivo di Monte San Giovanni, nel Comune di Sant'Anna d'Alfaedo, il fluocaptore posizionato presso la Sorgente Veraghi era risultato positivo. Per questo motivo, il bacino idrogeologico della sorgente va esteso verso NNE fino a comprendere anche una piccola porzione di tale polo.

La Scaglia Variegata Alpina rappresenta l'acquicludo della falda che alimenta la Sorgente Veraghi. Il limite orientale del bacino idrogeologico della sorgente è facilmente individuabile poiché si trova al contatto tra la Scaglia Rossa e la Scaglia Variegata Alpina messo in evidenza dalla profonda incisione del Vajo di Gravazzo, mentre quello occidentale risulta di difficile definizione sul terreno poiché il substrato roccioso è ricoperto da potenti coperture di materiali sciolti (paleofrane e alluvioni). La sua delimitazione è avvenuta attraverso il confronto del diverso chimismo delle acque che scaturiscono nell'area.

L'alterazione fisico-chimica delle acque carsiche che scaturiscono dalla Sorgente Veraghi e quelle dei corsi d'acqua superficiali (acque lattiginose, deposito di particelle carbonatiche della granulometria dei limi sul fondo dei corsi d'acqua ipo ed epigei, ecc.), derivante da una non corretta gestione dell'attività estrattiva, può avere effetti dannosi rilevanti sulla fauna acquatica (pesci?, crostacei, molluschi, larve di insetti, ecc.). Esiste, pertanto, il concreto rischio di un impatto da *clogging*, ossia l'insieme di quei processi, naturali e/o indotti dall'uomo che de-

Tab. 1 – Risultati delle analisi eseguite alla Sorgente Veraghi nel secondo semestre 2007

SCHEDA N° 1			RILEVAMENTO DATI					anno		2007			Nome sorgente			VERAGHI								
Gruppo montuoso			Monti Lessini					Area carsica			MLO4		Quota m s.l.m.		573									
Coordinate		I.G.M 1:25.000	foglio 48	sezione I		elemento N.E.		anno edizione 1969			Longitudine 10° 54' 36,3"			Latitudine 45° 36' 56,4"			C.T.R. 1:10.000		n° 101150					
data prelievo	portata	flussi H ₂ O: stillicidio, cascata, corrente, pozza	aspetto: lattiginoso - limpido	temperatura aria		temperatura acqua	residuo fisso	pH	conducibilità a 20 °C		ossigeno disciolto	fosforo	durezza	alcalinità totale	nitrati	solfati	nitriti	ammonio	cloruri	ossidabilità	ferro	carica batterica	coliformi totali	Escherichia coli
	l/s			°C	°C	mg/l		µS/cm	ppm	mg P O ₂ /l	°F	meq/l	mg NO ₃ /l	mg SO ₄ /l	mg NO ₂ /l	mg NH ₄ /l	mg Cl/l	(Kubel) mg O ₂ /l	µg Fe ³⁺ /l	totale UFC/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml	
05-mag	3,5	corrente	latt.	11	9,3	304	6,8	210	88	0,2	21	4,2	9		0		4		60	3.000	28	2		
07-mag	3,5	corrente	limp.	16	9,3		7,0	240	86		19		10		0		3			2.100	21	1		
13-mag		corrente	limp.	23			7,0	260	82		19		8											
19-mag	4,2	corrente	latt.	18	9,5	273	7,7	230	85	0,5	21	4,1	10		0	0,1	7,9	2,1	90	1.800	17	1		
23-lug	6,7	corrente	limp.	23	11		7,5	380	83		24		10											
28-lug	6,3	corrente	limp.	27	11		7,8		86		21		5											
05-ago		corrente	latt.	21	11		7,5	452	85		23		7											
15-ago		corrente	limp.	25	11		7,7		85	0,2	21		5							1.500	41	1		
24-ago		corrente	latt.	22	11,2		7,8	395	88		19		8											
28-ago		corrente	limp.	29	11,2		8,0		87		23		7											
03-set		corrente	limp.	24	11,1		7,9	355	81		22	4,2	6											
14-set		corrente	limp.	23			7,8	427	82	0,5	25		8											
29-set	3,5	corrente	latt.	23			7,5	408	85	0,2	22		6				7							
13-ott	1,5	corrente	limp.	13	9,7		7,7	410	83		20		8											
22-ott	2	corrente	limp.	12	9,5		7,8		85		23		10							700	25	2		
09-nov	5,1	corrente	limp.	12	9,2	290	8,0	260	90	0,2	20	4,0	12		0				130	1.300	8	1		
24-nov	3,5	corrente	limp.	8	9		7,8	386	86		21		8		0		8,5		150	800	5	0		
15-dic	2	corrente	limp.	5	8,7		7,7	367	83		20		6		0	0,1	5		90	2.400	560	1		

terminano un'ostruzione e un intasamento dei vuoti interstiziali della fascia iporreica. L'attività estrattiva (Zorzin & Cacciavillan, 2004) costitui-

sce, infatti, una delle principali, se non addirittura la principale pratica antropica che determina, nell'area d'indagine, impatto da *clogging*

Tab. 2 – Attuazione della Direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano (D.Lgs. n. 31 del 2 febbraio 2001)

Parametro analitico	Unità di misura	Valore massimo ammissibile
Ioni idrogeno	pH	6,5 < pH ≤ 9,5
Conduttività	μS/cm (20 °C)	2.500
Durezza (valori consigliati)	°F	15 ÷ 50
Nitrati	mg/l come NO ₃ ⁻	50
Nitriti	mg/l come NO ₂ ⁻	0,5
Ferro	μg/l	200
Cloruri	mg/l	200
<i>Escherichia coli</i>	NPP/100 ml	0
Enterococchi	NPP/100 ml	0
Batteri coliformi	NPP/100 ml (37 °C)	0

Estratto dalla Tabella 1/A: “Caratteristiche di qualità per le acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile” (D.Lgs. 52/1999)

Parametro	Unità di misura	A1 G	A1 I	A2 G	A2 I	A3 G	A3 I
Fosfati (2)	mg/l P ₂ O ₅	0,4	–	0,7	–	0,7	–
Coliformi totali	/100 ml	50	–	5.000	–	50.000	–
Coliformi fecali	/100 ml	20	–	2.000	–	20.000	–
Streptococchi fecali	/100 ml	20	–	1.000	–	10.000	–

Legenda: **Categoria A1** = Trattamento fisico semplice e disinfezione
Categoria A2 = Trattamento fisico e chimico normale e disinfezione
Categoria A3 = Trattamento fisico e chimico spinto, affinazione e disinfezione
I = Imperativo
G = Guida

DORSALE MONTE SAN GIOVANNI-MONTE LOFFA

È un tratto di dorsale, orientata NNO/SSE, grossomodo situato tra il Monte San Giovanni e l'abitato di Sant'Anna d'Alfaedo a quote comprese tra circa 1.055 e 900 m s.l.m.

La dorsale presenta morfologie subpianeggianti nelle aree di dosso, più inclinate e boscate quelle di versante. L'area sommitale è principalmente coltivata a prato-pascolo ed è dagli anni '50 un importante sito di estrazione del lastame (Figura 23). La maggior parte delle cave è a fossa.

SORGENTE FONTANA DI FOSSE

La sorgente si trova in prossimità del piazzale per i pullman, nella periferia meridionale del paese di Fosse, a una quota di circa 955 m s.l.m.

Si tratta di un'emergenza dovuta al contatto tra le rocce fratturate della Scaglia Rossa e la sottostante formazione calcareo marnosa della Scaglia Variegata Alpina, che funge da acquicludo. Le acque vengono captate sul fondo di un pozzo parzialmente scavato entro materiali detritici, profondo circa 5 m e da qui convogliate verso la fontana pubblica di Fosse, che non è utilizzata per scopi idropotabili.

Per verificare se i lavori di apertura e coltivazione di due cave limitrofe di pietra “lastrolare” da taglio ubicate nel polo estrattivo Monte San Giovanni-Monte Loffa potessero interferire con gli acquiferi locali, nel 2013 vennero eseguite colorazioni con traccianti. Le due aree di cava si trovano sul versante Nord-orientale del Monte San Giovanni, poche centinaia di metri a OSO della sorgente che alimenta la Fontana di Fosse.



Fig. 23 – Versante centro-orientale della dorsale Monte San Giovanni-Monte Loffa come appariva nel 2007 (foto R. Zorzin)

Appunti di idrogeologia

Per la colorazione, oltre alla sorgente che alimenta la Fontana di Fosse, venne sottoposta a monitoraggio anche la Sorgente Gravazzo, individuate rispettivamente con i numeri 3 e 5 in Figura 24.

Le portate della Sorgente Fosse sono estremamente variabili e direttamente collegate agli apporti pluviometrici locali. Infatti, dopo elevate e prolungate precipitazioni si possono misurare portate fino a circa 1,7-2,3 l/s mentre, in presenza di brevi periodi senza pioggia (10-15 giorni), la portata si riduce sensibilmente senza scendere al di sotto di 0,20 l/s.

In occasione dell'indagine vennero eseguite anche analisi chimico-fisiche e microbiologiche su due campioni d'acqua prelevati direttamente alla fontana (Tabella 3).

Tracciamento e successione degli interventi

Vista la difficile accessibilità alle due aree di cava oggetto d'indagine, venne effettuata un'unica prova di tracciamento entro un inghiottitoio carsico attivo, ubicato proprio al confine tra di esse (Figura 25).

Il 24 giugno 2013 venne ispezionata l'area e posizionati i fluocaptori per la prova in bianco nelle due principali fontane locali (Fosse e Gravazzo) e in altre cinque sorgenti limitrofe, queste ultime indagate a solo scopo conoscitivo.

Recuperati nei giorni successivi i fluocaptori, che risultarono tutti negativi, ne vennero riposizionati solo due, all'interno dell'opera di presa della Sorgente Fosse e nella Fontana di Gravazzo, le uniche emergenze di interesse locale.

Tab. 3 – Analisi chimico-microbiologiche della Sorgente Fosse

Data	Portata l/s	Temp. aria °C	Temp. acqua °C	pH	Dur. °F	Cond. µs/cm	Nitrati mg/l	C.T. UFC/100 ml	C.B. UFC/100 ml
01/07/13	0,31	23,0	11,4	7,52	23,3	304	10	950	1.600
16/07/13	0,48	24,2	11,6	7,58	21,5	346	10	1.550	1.750
02/08/13	0,35	–	–	–	–	–	–	–	–

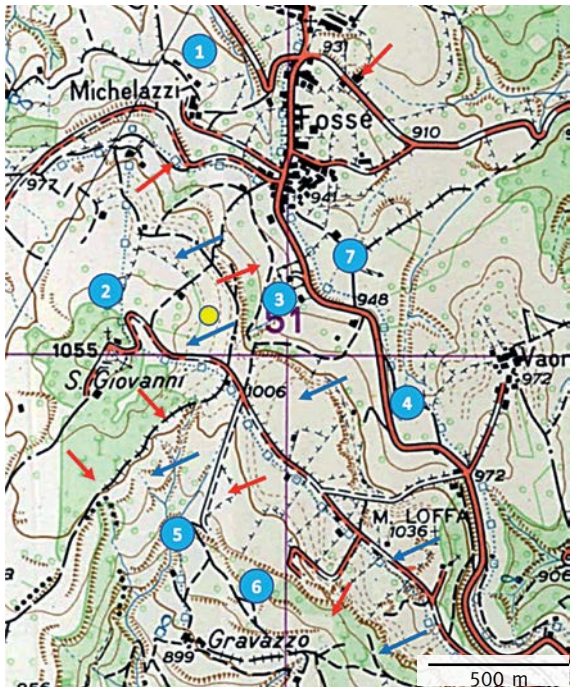


Fig. 24 – Ubicazione dei fluocaptori e/o dei campionamento delle acque per le analisi chimiche (●), test con fluoresceina (●), principale direzione di deflusso della falda carsica (→) e direzione di scorrimento delle acque superficiali (→) – (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell’Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata



Fig. 25 – L’ampio condotto carsico intercettato dall’avanzamento della coltivazione del lastame entro cui il 3 luglio 2013 è stato eseguito il test con Tinopal (foto R. Zorzin)

Il 3 luglio 2013 venne eseguito un tracciamento con circa 160 g di Tinopal disciolto in circa 1.000 litri di acqua immettendola nell’ampio condotto carsico presente al confine tra le cave (Tabella 4). In particolare, tale condotto inizia all’interno dei calcari fratturati del cappellaccio della cava, ascrivibili al Santoniano, e quasi cer-

tamente attraversa tutta la serie coniaciano-turoniana del lastame.

I fluocaptori recuperati e analizzati il 9 e 16 luglio e il 2 agosto risultarono sempre negativi. Nello stesso periodo venne prelevato alla Fontana di Fosse un campione di acqua per le analisi chimico-fisiche e microbiologiche.

Tab. 4 – Distanza tra le aree di cava e le sorgenti e loro distanze e dislivelli dal punto di immissione

	Distanza minima tra l’area di cava A e l’opera di presa della sorgente	Distanza minima tra l’area di cava B e l’opera di presa della sorgente	Distanza dal pozzo della colorazione all’opera di presa	Dislivello tra la base del pozzo (~ 991 m s.l.m.) e sorgente
Sorgente 3 (opera di presa 946 m; scaturigine ~ 941 m s.l.m)	220 m	215 m	265 m	~ 50 m
Sorgente 5 (933 m s.l.m.)	475 m	580 m	535 m	~ 58 m

Discussione

L'analisi geologica-idrogeologica eseguita doveva dimostrare la mancanza di un contatto non solo effettivo, ma anche potenziale tra le aree di cava in esame e le sorgenti, come stabilito dall'articolo 16 delle NTA del Piano di Tutela delle Acque, aggiornato con DGR 80/2011. La prova con traccianti è stata preceduta da una minuziosa ricerca di informazioni relative a indagini tecniche eseguite nel territorio comunale che ha permesso di raccogliere una buona quantità di dati geologici, indagini idrogeologiche e altre informazioni riferibili all'area in esame e a quella limitrofa. Tali dati, che sono stati integrati con quelli recuperati direttamente in campagna nell'area del tracciamento, sono risultati di grande importanza per la ricostruzione della circolazione idrica sotterranea locale.

La giacitura dei litotipi osservata nell'area di cava e nelle immediate adiacenze ha valori di immersione $233\div 235^\circ$ con pendenze di $6\div 8^\circ$ e la stratificazione risulta parzialmente serrata nelle porzioni medio-superiori, mentre in profondità diventa progressivamente da serrata a molto serrata.

Per quanto attiene il grado di fratturazione, esso risulta più intenso nella fascia medio-alta delle pareti di scavo e in prossimità della superficie. Le acque di percolazione all'interno della fitta rete di fratturazione del cappellaccio vanno a confluire in una rete di fratture incarsite che interessano il pacco di strati che costituisce il lastame. Tali fratture possono avere dimensioni da centimetriche a decimetriche e convogliano le acque verso i sottostanti calcari marnosi e marne calcaree della Scaglia Variegata Alpina, formazione che possiede le caratteristiche litostrutturali per fungere da ottimo acquicludo.

Questo assetto giustifica i risultati negativi del test poiché favorisce la circolazione sotterranea verso Sud-Ovest lungo l'immersione dell'acquicludo, pertanto, distante dalla Sorgente Gravazzo e dal lato opposto della Sorgente Fosse.

Inoltre, le indagini di campagna hanno permesso di escludere la presenza di discontinuità tettoniche che possano modificare la circolazione sotterranea imposta dal livello di trattenuta.

Va osservato, ai fini della validità del tracciamento, che nel periodo di studio sono caduti oltre 82 mm di pioggia (dati della stazione meteorologica di Marano), di cui 52 stimati di infiltrazione efficace (per i Monti Lessini si stima che si perda

1/3 delle precipitazioni per evapotraspirazione). Inoltre, considerando che il periodo comprendeva due eventi meteorici significativi (39,4 mm e 19,8 mm), ciò basta a rassicurare che le acque di infiltrazione siano entrate in contatto con il tracciante prendendolo in carico (Figura 26).

Nell'area in esame, e in particolare tra l'area ove è stato eseguito il test con Tinopal e la Sorgente 3 Fosse, esistono altre cave, alcune attive e una estinta, ma nonostante l'intensa attività di coltivazione non si ricordano fenomeni di inquinamento delle acque sorgive.

A conclusione, la mancata positività dei fluorocaptori è una indubbia conferma che i terreni su cui venne eseguita la prova non fanno parte del bacino idrogeologico delle sorgenti monitorate.

Sorgente Gravazzo

La sorgente si localizza in corrispondenza del versante meridionale del Monte Loffa, nel Comune di Sant'Anna d'Alfaedo.

Nella seconda metà degli anni '80 del secolo scorso vennero segnalati i primi episodi di inquinamento da fanghi di segagione della sorgente che allora alimentava l'acquedotto privato di contrada Gravazzo. Successivamente, visto il perdurare dell'inquinamento alcune delle attività estrattive presenti a monte dell'opera di presa incaricarono uno degli autori di eseguire tre prove con traccianti per verificare se l'inquinamento della Sorgente Gravazzo (A) e di una vicina (B), posta a Est, fosse ricollegabile ai lavori di coltivazione in corso.

Appunti di idrogeologia dell'area

Le sorgenti oggetto di studio sono ubicate poche centinaia di metri a Nord di contrada Gravazzo (Figura 27).

La Sorgente Gravazzo scaturisce da una spessa coltre detritica che maschera il contatto tra la Scaglia Rossa e la sottostante Scaglia Variegata Alpina. La Sorgente B, invece, scaturisce direttamente da un condotto carsico scavato nelle bancate del "lastame", nei pressi del fondo di una cava dismessa. Si tratta di una sorgente di tipo carsico che un tempo, probabilmente, scaturiva in prossimità della Sorgente A.

È intuibile come la coltivazione della cava abbia intercettato il condotto carsico che un tempo convogliava l'acqua della Sorgente B a quote più basse. Infatti, i resti di tale condotto sono tuttora

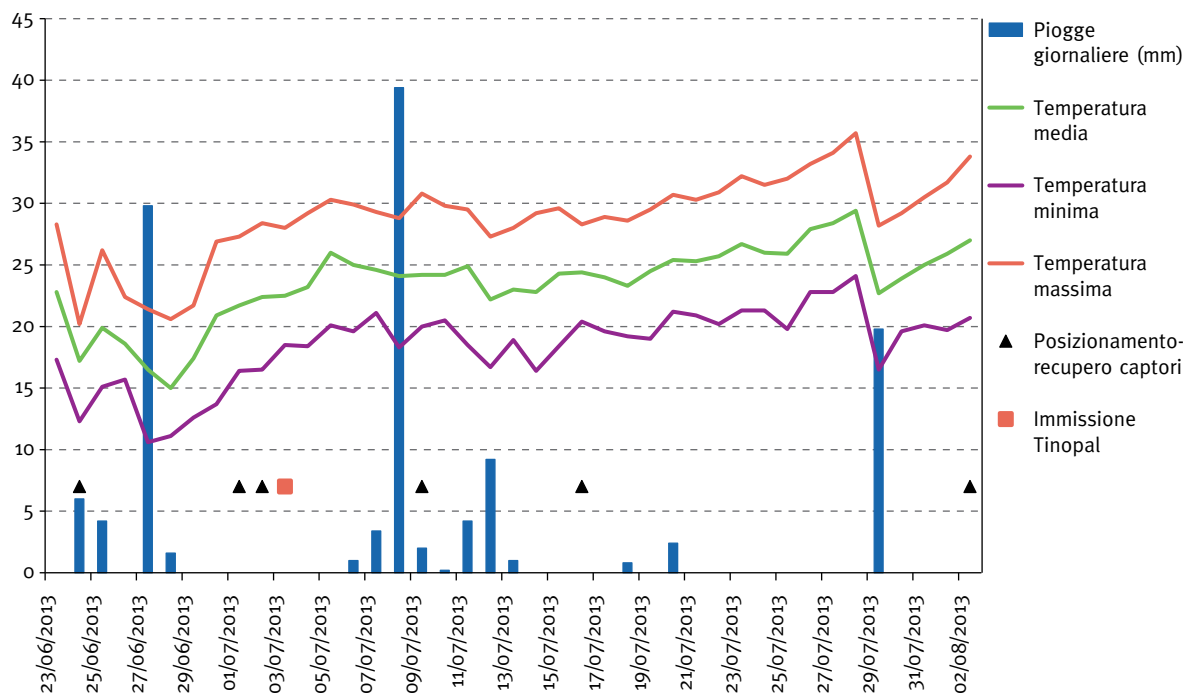


Fig. 26 – Andamento delle piogge e delle temperature della stazione meteorologica di Marano di Valpolicella nel periodo del test con Tinopal in località Monte San Giovanni-Monte Loffa (disegno F. Tottola)

visibili lungo la parete orientale della cava. Le portate delle due sorgenti sono fortemente influenzate dall'intensità e dalla durata delle precipitazioni.

Il dislivello tra la scaturigine della Sorgente Gravazzo e i punti ove vennero eseguite le prove (indicati con i numeri 1, 2 e 3), varia da circa 47 m a circa 87 m, mentre quello della Sorgente B varia tra circa 7 m e circa 47 m.

Tracciamento e successione degli interventi

Nell'ambito dell'indagine si è cercato di verificare la comunicazione di alcuni condotti carsici e fratture beanti, esistenti nelle aree di cava oggetto d'indagine, con le due sorgenti inquinate.

Alcuni giorni dopo il sopralluogo eseguito il 3 dicembre 1991, vennero posizionati i fluocaptori per la prova in bianco. Constatata la loro negatività, il 12 dicembre 1991 venne eseguito il primo tracciamento nel punto 1, con 100 g di fluoresceina sciolta in circa 600 litri di acqua. Il versamento avvenne in un inghiottitoio carsico situato lungo la parete Ovest della cava che coincide con una discontinuità beante a direzione NO-SE. Nell'area esistono altre discontinuità subparallele a questa direzione.

Il 16 dicembre vennero recuperati e riposizionati i fluocaptori: quello della Sorgente Gravazzo risultò debolmente positivo, negativo quello della Sorgente B.

Dopo una nuova prova di bianco, risultata negativa il 30 dicembre, seguì una colorazione

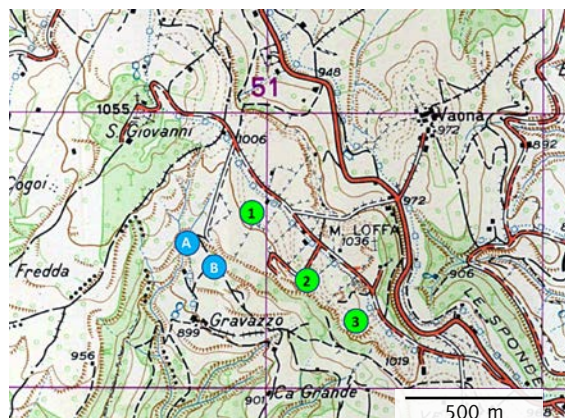


Fig. 27 – Ubicazione delle tre prove con fluoresceina e delle sorgenti A e B (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata



Fig. 28 – Versante Nord-orientale del Monte Tesoro dove si trova il polo estrattivo di Cortine (foto R. Zorzin)

nel punto 2 con 100 g di fluoresceina. Il tracciante venne sciolto in circa 600 litri di acqua immessa in una frattura incarsita, localmente concrezionata, della parete settentrionale di cava, interessata da discontinuità a direzione NO-SE.

Nuovamente, alla verifica del 2 gennaio 1992, il fluocaptore della Sorgente Gravazzo risultò positivo e negativo quello della Sorgente B. Successivamente venne eseguita la prova nel punto 3 con 100 g di fluoresceina sciolta in circa 600 litri di acqua immessa in corrispondenza di una parete incarsita, situata in una porzione di cava dismessa, dove erano stati depositati sfri di derivanti dall'attività. Dopo circa 20 minuti dall'immissione, al contatto tra il fondo cava e i materiali di riporto, iniziò a scaturire abbondante acqua di un intenso colore verde che si accumulò in un angolo depresso del piazzale di cava.

Nei successivi prelievi, avvenuti il 5 e il 7 gennaio, i fluocaptori risultarono negativi in entrambe le sorgenti.

Discussione

I risultati evidenziano senza dubbio che i punti di immissione 1 e 2 sono in comunicazione diretta solo con la Sorgente Gravazzo, mentre il bacino della Sorgente B va ricercato altrove. Il risultato negativo della colorazione eseguita nel punto 3 permette di escludere, almeno con i dati a disposizione, che la frattura utilizzata per la colorazione sia in diretto collegamento con le due scaturigini.

MONTE TESORO-CORTINE

Nel mese di marzo 2013 vennero realizzate prove con traccianti per verificare se i lavori di ampliamento e coltivazione di una cava di pietra lastrolare ubicata in località Cortine, sul versante Nord-orientale del Monte Tesoro (Comune di Sant'Anna d'Alfaedo), potessero interferire con l'acquifero locale (Figura 28).

Vista la posizione delle aree richieste in ampliamento, vennero programmati due test utilizzando Tinopal e fluoresceina.

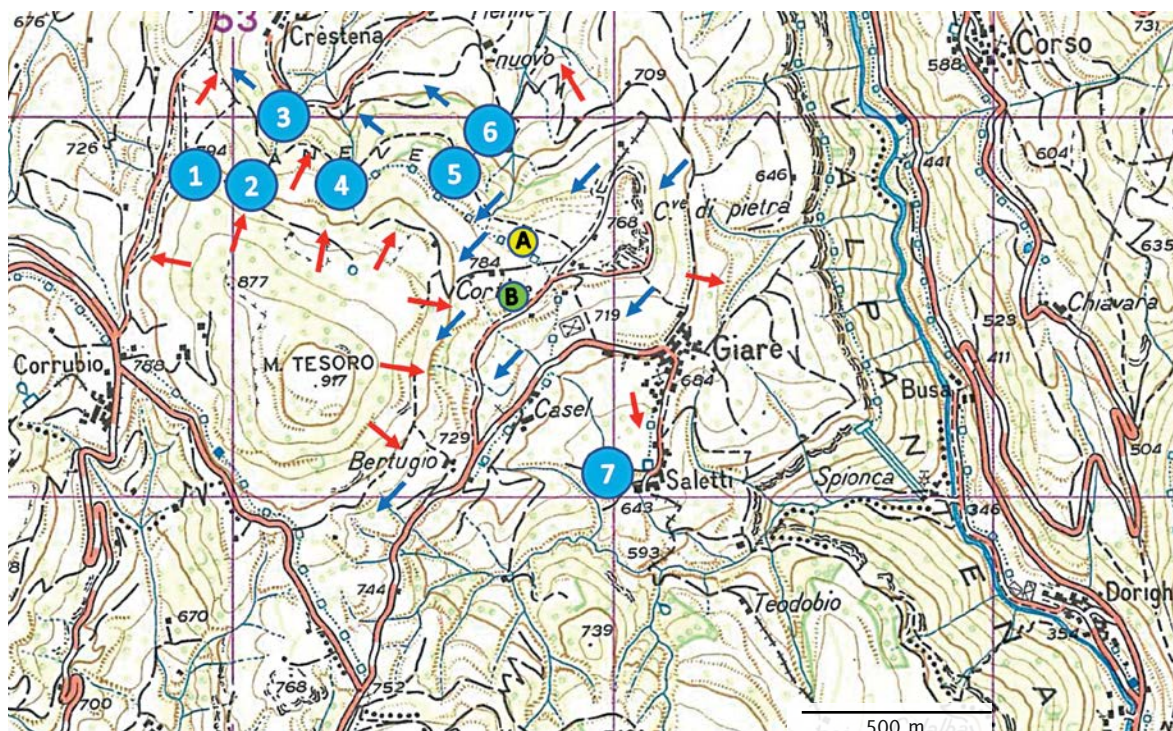


Fig. 29 – Polo estrattivo di Cortine. Ubicazione dei fluocaptori e/o dei campionamenti delle acque per le analisi chimiche (●), A. Test con Tinopal (●), B. Test con fluoresceina (●), principale direzione di deflusso della falda carsica (→), direzione di scorrimento delle acque superficiali (→) – (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell’Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

Appunti di idrogeologia dell’area

La rete idrografica principale esistente a oriente dell’area d’indagine presenta, nel complesso, un andamento parallelo all’asse della piccola dorsale Crestena-Monte Tesoro. Quest’ultima è delimitata a NNO dal Vajo del Mortal e a Est da quello della Marciora che risulta la più profonda delle due incisioni vallive. Le valli secondarie, invece, hanno andamento quasi perpendicolare alle direttrici principali e si sviluppano secondo direzioni NNE-SSO e E-O.

I segmenti idrografici di primo e di secondo ordine risultano generalmente privi di scorrimento idrico anche durante eventi meteorologici di media intensità a causa dell’infiltrazione nell’epicarso.

Per quanto attiene la permeabilità dei litotipi affioranti e sub-affioranti, le osservazioni in loco hanno evidenziato che sia le rocce calcaree e calcareo-marnose delle formazioni della Scaglia Rossa e della Maiolica, sia i suoli e i materiali della copertura (depositi eluviali e/o colluviali), sono dotati di un drenaggio generalmente buo-

no, caratteristica documentata dall’assenza di tracce di ruscellamento concentrato o diffuso. Solo le rocce vulcaniche e quelle della Scaglia Variegata Alpina, che affiorano rispettivamente a una quota superiore e immediatamente al di sotto del lastame, risultano poco permeabili. I locali accumuli di frana, invece, presentano permeabilità localmente variabili, in funzione della matrice argillosa presente e della natura dei materiali lapidei coinvolti.

Nell’area circostante l’ampliamento di cava in progetto sono presenti sorgenti con portate estremamente variabili, non utilizzate per scopi idropotabili (Sorgenti 1, 2, 3, 5, 6 e 7), a eccezione della sorgente 4 che viene captata e destinata al consumo umano (Figura 29).

Quest’ultima sorgente scaturisce lungo il versante settentrionale del Monte Tesoro, al contatto tra le litologie poco permeabili che caratterizzano un’ampia paleofrana che poggia direttamente sulla sottostante formazione della Scaglia Rossa. Vista tale natura, le portate non subiscono variazioni repentine e sono abbastanza

costanti nel tempo. Le misure effettuate al troppo pieno, nel periodo delle indagini, oscillavano tra circa 0,7 l/s e circa 1,65 l/s.

Per quanto riguarda, invece, la Sorgente 3, la scaturigine avviene in prossimità del limite formazionale tra la Scaglia Rossa e la sottostante Scaglia Variegata Alpina che funge da acquicludo. L'acqua viene utilizzata per abbeverare i bovini al pascolo. Infine, la Sorgente 7 alimenta la vecchia fontana con lavatoio di contrada Saletti. La sorgente viene a giorno in corrispondenza di una piccola valletta, al contatto tra i depositi eluviali e/o colluviali e la sottostante Maiolica che funge da acquicludo.

La Scaglia Rossa, nelle locali aree di cava, presenta una giacitura ondulata, immersione prevalente verso SO e pendenze comprese tra circa 3° e 10°.

Tracciamento e successione degli interventi

L'8 marzo 2013 venne effettuato un primo sopralluogo per individuare i punti dove eseguire i test, mentre nei giorni successivi furono posizionati sei fluocaptori per la prova in bianco nelle tre sorgenti potenzialmente in connessione con le aree di ampliamento e raccolti campioni d'acqua per le analisi chimiche e microbiologiche.

Il 17 aprile 2013, dopo una settimana dall'accertamento della negatività della prova, venne effettuato il primo test nel punto A utilizzando 160 g di Tinopal disciolto in circa 2.000 litri di acqua. La soluzione venne immessa in una trincea profonda circa 160 cm, realizzata per l'occasione. Sul fondo dello scavo affiorava il cappellaccio fittamente fratturato della Scaglia Rossa. Concluso il test, si è proceduto al tracciamento nel punto



Fig. 30 – Test con fluoresceina eseguito il 17 aprile 2013 (foto A. Zorzin)

B con circa 300 g di fluoresceina disciolta in circa 1.500 litri di acqua immessa in una trincea simile alla precedente (Figura 30).

Il 27 aprile 2013 si è provveduto al recupero dei fluocaptori che sono risultati negativi come nei successivi controlli, effettuati il 6, il 15 e il 22 maggio.

Discussione

Anche in questo caso, per avere un quadro il più possibile completo dell'area d'indagine si ritenne importante considerare le distanze e i dislivelli tra le tre sorgenti prese in considerazione e le trincee e i tratti di perimetro delle aree A e B più vicini alle sorgenti stesse (Tabella 5).

Le giaciture degli strati (immersione 220°/5° di pendenza) e le fratture presenti permettono

Tab. 5 – Distanza tra le aree di cava e le sorgenti e loro distanze e dislivelli dal punto di immissione

	Area A trincea a 770 m s.l.m			Area B trincea a 775 m s.l.m		
	Dislivello in m tra la trincea e la quota della sorgente	Distanza dalla trincea all'opera di presa della sorgente in m	Distanza minima tra area e l'opera di presa in m	Dislivello in m tra la trincea e la quota della sorgente	Distanza dalla trincea all'opera di presa della sorgente in m	Distanza minima tra area e l'opera di presa in m
Sorgente 3 720 m s.l.m	50	670	610	55	745	725
Sorgente 4 767 m s.l.m	3	405	345	8	505	480
Sorgente 7 644 m s.l.m	125	720	640	131	590	570

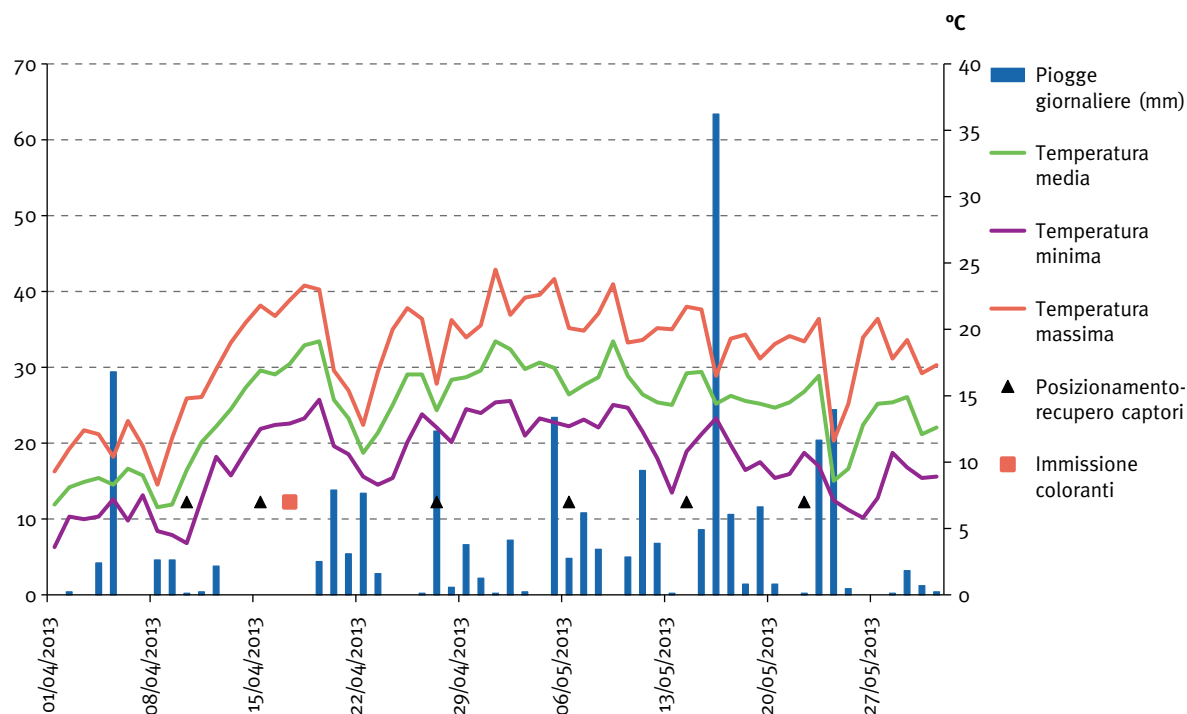


Fig. 31 – Andamento delle piogge e delle temperature della stazione meteorologica di Marano di Valpolicella nel periodo dei test con Tinopal e fluoresceina in località Cortine (disegno F. Tottola)

di affermare che una eventuale circolazione idrica d'interstrato, considerando anche le discontinuità e le loro intersezioni, porterebbe le acque di circolazione sotterranea verso Sud-Ovest, pertanto nella direzione opposta alle Sorgenti 3, 4 e 7. In quest'ultimo caso, inoltre, poiché la roccia magazzino della Sorgente 7 si individua nei potenti depositi detritici eluviali/colluviali e di frana che ammantano il versante posto a quote superiori alla scaturigine, non ci può essere un collegamento tra la circolazione carsica (profonda) e quella più superficiale che alimenta la sorgente in parola.

L'assenza di un collegamento tra le aree di cava e le sorgenti monitorate è confermato dall'esito negativo delle due colorazioni e dal fatto che le prove con traccianti vennero effettuate nell'arco di circa un mese in cui caddero ben 239 mm di pioggia (dati della stazione meteorologica di Marano di Valpolicella) (Figura 31).

L'infiltrazione efficace di circa 165 mm deve essere stata certamente sufficiente (anche se riferita a un periodo di 35 giorni) ad assicurare che le acque sotterranee prendessero in carico il tracciante. Si consideri, inoltre, che i giorni seguenti il

tracciamento furono caratterizzati da abbondanti e continue precipitazioni e da un incremento delle portate delle sorgenti.

Quanto al fatto che i punti di tracciamento siano in collegamento idrogeologico con il corrispondente fondo della cava di progetto, prevedibile origine dei deflussi idrici sotterranei a cava in esercizio, si evidenzia che tutte le trincee sono state approfondite per almeno 1,50 m entro roccia molto fratturata (cappellaccio) tanto che la stessa risultava costituita da prismi di volume decimetrico o, addirittura, centimetrico.

La permeabilità del cappellaccio è elevatissima e la circolazione avviene prevalentemente seguendo vie verticali o sub-verticali interessando anche la rete di fratture incarsite del lastame. L'acquifero carsico è sostenuto dai calcari marinosi e marne calcaree della Scaglia Variegata Alpina. Per tutti questi motivi, se i terreni in cui sono state eseguite le prove A e B rientrassero all'interno del bacino idrogeologico della Sorgente 4, i fluocaptori sarebbero risultati certamente positivi.

A favore di questa considerazione depone anche il fatto che nell'area in esame sono attive

Tab. 6 – Portate e analisi chimiche della Sorgente 4

Data	Portata l/s	Temp. aria °C	Temp. acqua °C	pH	Dur. °F	Cond. µs/cm	Nitrati mg/l
09/03/2013	0,70	7,9	9,0	7,80	21,5	421	10
10/04/2013	1,20	10,2	9,0	7,85	21,5	406	5
15/04/2013	1,30	13,2	9,1	7,60	21,5	398	5
27/04/2013	1,50	15,9	9,2				
06/05/2013	1,65	13,4	9,3	7,65	19,7	375	5
15/05/2013	1,10	12,9	9,4		19,7	412	10
22/05/2013	1,60	15,1	9,4	7,85	19,7	381	5

altre cave già oggetto di una intensa coltivazione, ma non si ricordano fenomeni di inquinamento delle acque sorgive collegati con l'attività estrattiva.

Per completare il quadro idrologico della sorgente 4 si riporta, inoltre, la Tabella 6 che può essere confrontata con la Figura 31.

In conclusione, con ragionevole certezza scientifica, si esclude l'esistenza di una connessione diretta tra la futura attività della cava e le circolazioni idriche che alimentano captazioni destinate al consumo umano.

MONTE MASUA

A seguito delle richieste di apertura di alcune cave (C0, C1 e C2) situate sul versante occidentale del Monte Masua di Cerna, tra le località Spiazzo e Cerna, nel Comune di Sant'Anna d'Alfaedo, nell'aprile-giugno 2011 vennero eseguite tre indagini con traccianti per verificare se i futuri lavori di coltivazione avrebbero potuto interferire con l'acquifero locale e, in particolare, con i bacini idrogeologici delle Sorgenti Trota e Grotta (Figura 32).

L'area di studio si trova a una quota di circa 810 m s.l.m., dove affiorano prevalentemente le unità del Cretaceo Superiore. Nell'area d'indagine e in quelle immediatamente circostanti affiorano principalmente i litotipi calcarei appartenenti alla formazione della Scaglia Rossa, che poggiano sopra la formazione calcareo-marnosa

e marnosa della Scaglia Variegata Alpina, nonché rocce vulcanoclastiche/basaltiche e calcari nummulitici dell'Eocene (tratto meridionale della dorsale del Monte Masua di Cerna).

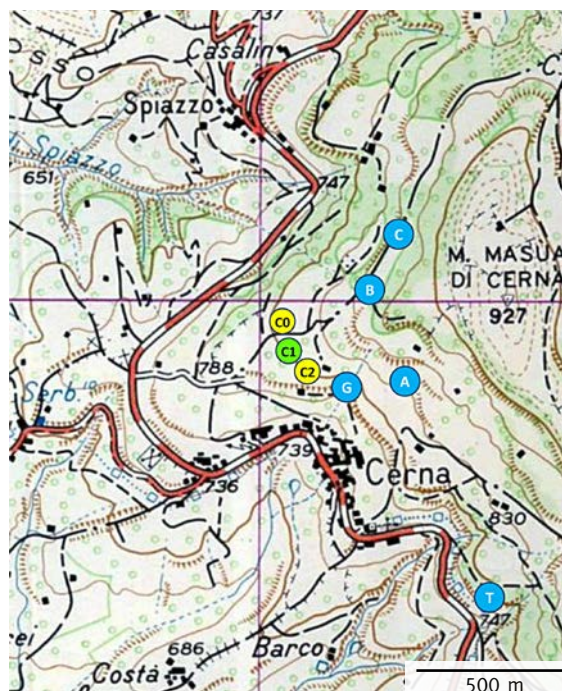


Fig. 32 – Ubicazione dei fluocaptori, dei punti di prelievo dei campioni d'acqua per le analisi chimiche e microbiologiche (Sorgenti A, B, C, G=Grotta, T=Trota) e delle prove con traccianti (C0, C1, C2) – (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Auto-rizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

Il rilievo strutturale condotto ha evidenziato che le giaciture della Scaglia Rossa sono piuttosto omogenee e si presentano orizzontali o suborizzontali con 290° di immersione e inclinazione di circa 0° - 2° . Le principali famiglie di discontinuità hanno immersione 280° e 355° , con inclinazione da verticale a circa 75° .

SORGENTI GROTA E TROTA

Lungo il versante occidentale del Monte Masua scaturiscono varie sorgenti, generalmente di effimera portata. Nell'area ove è prevista l'apertura delle tre cave sono presenti tre piccole scaturigini con portate variabili, non utilizzate per scopi idropotabili (Sorgenti A, B e C) e due sorgenti captate dall'acquedotto Trota-Grota. Durante le ricerche del 2011 l'acquedotto attingeva acqua dalla sola Sorgente Trota, mentre la Sorgente Grota già da tempo alimentava un lavatoio e la fontana pubblica di Cerna (Figura 33).

La Sorgente Trota scaturisce da un condotto carsico impostato nelle rocce fratturate della Scaglia Rossa al contatto con la sottostante formazione della Scaglia Variegata Alpina.

In accordo con la natura carsica della sorgente, le portate sono abbastanza variabili comprese, almeno durante il periodo delle indagini, tra circa 0,2 l/s e 5,0 l/s. La Sorgente Grota, invece, scaturisce al di sotto del limite formazionale tra la Scaglia Rossa e la Scaglia Variegata Alpina a causa di una serie di importanti fratture che dissecano le rocce del Cretaceo Superiore e che si approfondiscono per un tratto nelle stratificazioni marnose che fungono da acquicludo.

Appunti di idrogeologia

L'indagine idrogeologica venne integrata con alcune analisi chimico-fisiche e microbiologiche delle acque della Sorgente Grota e della Sorgente A i cui risultati sono riportati nella Tabella 7. L'analisi dei parametri considerati evidenzia nel periodo di monitoraggio (dal 2 maggio al 6 giugno 2011) una discreta qualità chimica delle acque. Si tratta di acque classificabili come discretamente-mediamente dure, ma caratterizzate da un modesto, seppur continuo, inquinamento microbiologico che, quasi certamente, in occasione di copiose o prolungate precipitazioni aumenta considerevolmente.



Fig. 33 – L'opera di presa della Sorgente Grota con il vicino lavatoio (foto R. Zorzin)

Tracciamento e successione degli interventi

La vicinanza delle tre aree da indagare, situate grossomodo alla stessa quota e appartenenti alla medesima dorsale, permise di abbreviare i tempi dei tracciamenti effettuando un solo sopralluogo (14 aprile 2011) e un'unica prova in bianco (19 aprile 2011) che diede esito negativo (22 aprile 2011).

Il 26 aprile 2011 venne eseguita la prima colorazione diluendo 160 g di Tinopal in circa 2.000 litri di acqua immessa in una trincea di $2,5 \text{ m}^3$ profonda circa 150 cm. La trincea venne realizzata per l'occasione nel cappellaccio della Scaglia Rossa, in prossimità dello spigolo Sud-Est dell'area in cui era prevista l'apertura della Cava C0.

Nei successivi giorni (29 aprile, 2, 9, 16, 21 e 23 maggio 2011) vennero prelevati e contestualmente sostituiti i fluocaptori che risultarono sempre negativi.

Il 24 maggio 2011 venne eseguito il test per la Cava C1 con 600 g di fluoresceina disciolta in oltre 1.000 litri di acqua e immessi in una trincea del volume di circa $3,5 \text{ m}^3$ e una profondità di 200 cm (Figura 34) realizzata nel cappellaccio della Scaglia Rossa. Al termine della prova venne eseguito un altro test nella Cava C2, ubicata un centinaio di m più a Est e a una quota di circa 5 m superiore utilizzando 320 g di Tinopal disciolto in 1.000 litri di acqua in una trincea di circa $3,0 \text{ m}^3$ di volume.

Nei giorni successivi (30 maggio, 6, 15 e 21 giugno 2011) vennero prelevati e contestualmente sostituiti i fluocaptori che risultarono sempre negativi (Figura 35).

Tab. 7 – Portate e analisi chimiche e microbiologiche della Sorgente Grotta e della Sorgente A

Sorgente Grotta									
Data	Portata l/s	Temp. aria °C	Temp. acqua °C	pH	Dur. °F	Cond. µs/cm	Nitrati mg/l	C.B.	Colif. tot.
02/05/11	0,20	15,1	10,9	8,10	21,5	421	5	623	9
21/05/11	0,18	19,3	11,2	8,20	23,3	439	5	456	3
30/05/11	0,12	20,3	11,1	8,00	21,5	409	5	950	6
06/06/11	0,18	16,4	10,3	7,80	21,5	441	5	715	12

Sorgente A									
Data	Portata l/s	Temp. aria °C	Temp. acqua °C	pH	Dur. °F	Cond. µs/cm	Nitrati mg/l	C.B.	Colif. tot.
02/05/11	0,18	15,4	9,9	7,80	21,5	381	5	429	8
21/05/11	0,13	20,2	10,0	7,80	21,5	378	5	571	5
30/05/11	0,10	23,9	10,0	7,60	21,5	368	5	850	6
06/06/11	0,12	15,8	10,1	7,70	19,7	370	5	927	10



Fig. 34 – Tracciamento con fluoresceina del 24 maggio 2011 (foto A. Zorzin)

Per avere un quadro il più possibile completo dell'intera area d'indagine si riportano in dettaglio le distanze e i dislivelli tra le due sorgenti prese in considerazione e le tre cave (Tabella 8).



Fig. 35 – Sostituzione dei fluocaptori all'interno dell'opera di presa della Sorgente Trota (foto R. Zorzin)

Tab. 8 – Distanza tra le aree di cava e le sorgenti e loro distanze e dislivelli dal punto di tracciamento

	Cava Co		Cava C1		Cava C2	
	Distanza e dislivello dalla trincea all'opera di presa della sorgente in m	Distanza minima tra area e l'opera di presa in m	Distanza e dislivello dalla trincea all'opera di presa della sorgente in m	Distanza minima tra area e l'opera di presa in m	Distanza e dislivello dalla trincea all'opera di presa della sorgente in m	Distanza minima tra area e l'opera di presa in m
Sorgente Trota 757 m s.l.m	825-45	815	800-43	720	700-50	700
Sorgente Grotta 755 m s.l.m	250-47	195	80-45	145	160-48	70

Discussione

La mancanza di un contatto idrologico diretto tra aree di cava e sorgenti è testimoniata dall'esito negativo delle tre colorazioni eseguite. Tale risultato era atteso considerando le giaciture delle formazioni coinvolte nel tracciamento, che immergono verso OSO, cioè dalle sorgenti verso i punti di immissione del tracciante.

Inoltre, si può affermare con ragionevole certezza che i quantitativi di tracciante (600 g di fluoresceina e 160-320 g di Tinopal) utilizzati

per le prove e i volumi d'acqua (1.000 e 2.000 l) impiegati, sono molto elevati in relazione con le distanze e i dislivelli tra gli estremi dei test.

È opportuno, infine, osservare che tra la prima prova con traccianti e il recupero degli ultimi fluo-captori (26 aprile-21 giugno 2011) caddero circa 178 mm di pioggia (dati della stazione meteorologica di Marano di Valpolicella), di cui stimati efficaci 118 mm, una quantità certamente sufficiente ad assicurare che il tracciante sia stato preso in carico dalle acque sotterranee (Figura 36).

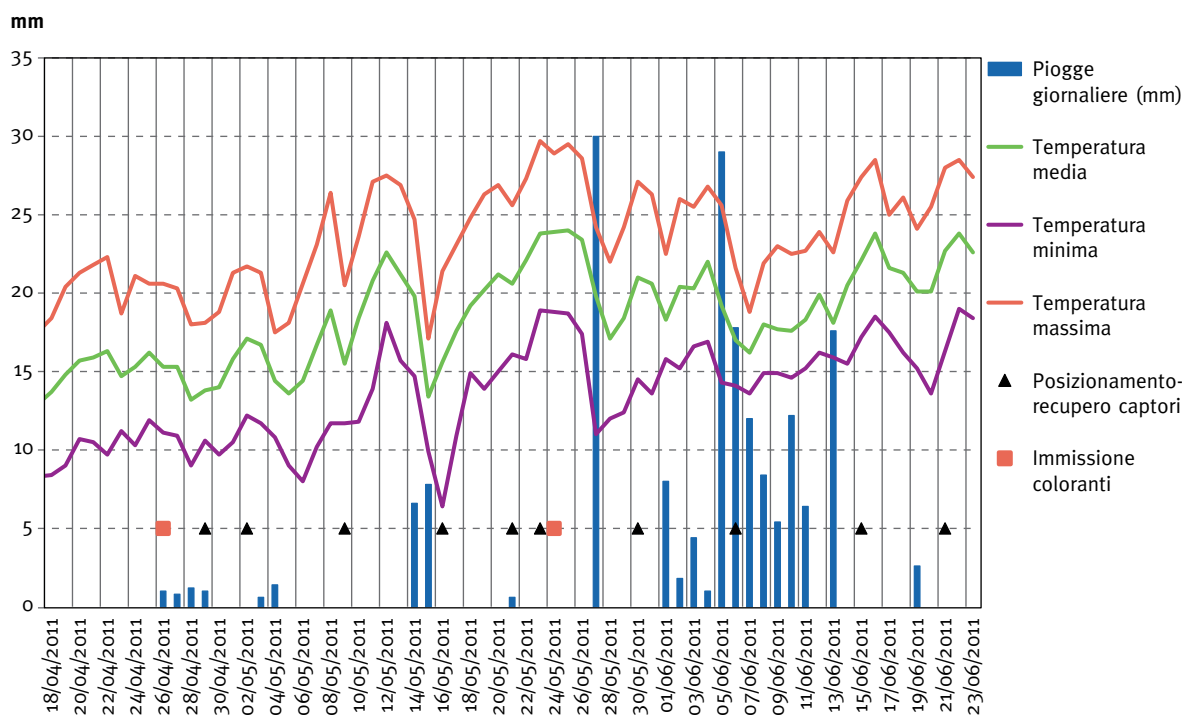


Fig. 36 – Andamento delle piogge e delle temperature della stazione meteorologica di Marano di Valpolicella nel periodo dei test con Tinopal e fluoresceina in località Cerna (disegno F. Tottola)

LAVANTO

Nel mese di settembre 2007 iniziarono le indagini idrogeologiche per verificare se i lavori di apertura e di coltivazione di una cava in località Lavanto (Comune di Sant'Anna d'Alfaedo) potevano determinare l'inquinamento delle circostanti sorgenti e dei corsi d'acqua sottostanti. Durante le indagini, concluse nella seconda metà del mese di ottobre 2007, furono posizionati e analizzati complessivamente 20 fluocaptori (Figura 37).

L'area di progetto si trova a quote comprese tra 630 e 655 m s.l.m. ed è caratterizzata da morfologie moderatamente acclivi nelle aree di dosso, leggermente più inclinate su quelle di versante, talora interrotte da piccole balze realizzate per la piantumazione di alberi da frutto. In corrispondenza della porzione meridionale dell'area d'indagine le pendenze dei terreni si accentuano per l'affioramento dei litotipi calcarei della formazione del Rosso Ammonitico Veronese.

Un'accurata campagna strutturale evidenziò che le giaciture della formazione del Rosso Ammonitico Veronese e della sottostante Oolite di San Vigilio presentano una immersione compresa tra i 30° e i 50° circa, con giaciture ondulate e con pendenze comprese tra 1° e 4°. Lo stile tettonico locale è caratterizzato dalla presenza di tre famiglie di discontinuità con direzioni N-NE, E-O e ONO-SSE e inclinazione compresa tra 70° e la verticalità.

Appunti di idrogeologia dell'area

Nell'area prossima a quella di progetto affiorano i calcari del Rosso Ammonitico Veronese e quelli della Maiolica, mentre poche centinaia di metri più a Est si osservano le potenti bancate della Scaglia Rossa entro cui si aprono alcune cave di lastame. Le formazioni mesozoiche sono localmente ricoperte da materiali sciolti a granulometria prevalentemente limo-sabbiosa, con detriti più o meno grossolani, di potenza non superiore al metro.

La rete idrografica principale, a Ovest e a Est dell'area d'indagine, presenta un andamento subparallelo all'asse della dorsale Monte Loffa-Monte Masua-Monte Robiagio. La più importante incisione valliva è la valle del Progno di Breonio, che scorre da NNE verso SSO a circa 400 m dall'area d'indagine. I segmenti idrografici di primo e secondo ordine risultano generalmente

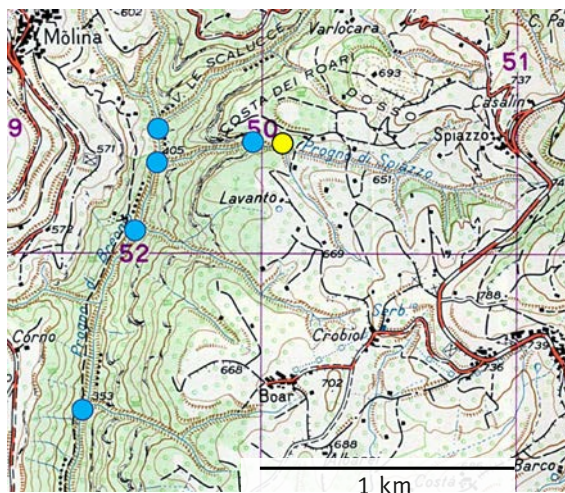


Fig. 37 – Mappa dell'area con l'ubicazione dei fluocaptori e del test con Tinopal (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

privi di scorrimento idrico grazie alla permeabilità dei litotipi in affioramento che permette una efficace infiltrazione.

L'area di progetto non interessa incisioni vallive attive, corsi d'acqua superficiali, né manifestazioni carsiche (grotte, doline, inghiottitoi, ecc.). Inoltre, nel territorio immediatamente circostante non sono presenti pozzi comunali e/o privati per uso idropotabile e manifestazioni sorgentizie.

Tracciamento e successione degli interventi

Il 7 settembre 2007 vennero posizionati, nel Progno di Spiazza e in quello di Breonio, cinque fluocaptori per la prova in bianco, risultata negativa. Il 17 settembre 2007 si procedette con il test usando 500 g di Tinopal disciolto in circa 2.000 litri di acqua che venne immessa in una trincea profonda 2 m, del volume di circa 2 m³, realizzata all'interno dell'area in progetto (Figura 38). Sul fondo venne intercettato il substrato roccioso leggermente fratturato del Rosso Ammonitico Veronese. I fluocaptori, recuperati e analizzati il 29 settembre, il 13 e il 20 ottobre, diedero sempre esito negativo.

Discussione

I risultati delle indagini permettono di escludere che i lavori per l'apertura e la corretta coltivazione della progettata cava possano determinare danni ambientali alle falde idriche profonde e alle acque superficiali.



Fig. 38 – Test con Tinopal del 17 settembre 2007 (foto R. Zorzin)

MONTE NORONI

Nel mese di settembre 2007 vennero eseguite ricerche per verificare se i lavori di apertura e di coltivazione di una cava nel Comune di Marano di Valpolicella potessero determinare l'inquinamento delle circostanti sorgenti, tra cui quelle di Vajo Stroo (S in Figura 39) e Giroto (G in Figura 39). Durante le indagini, concluse nei primi giorni del mese di novembre 2007, vennero posizionati e analizzati complessivamente dodici fluocaptori (Figura 39).

L'area si trova nei pressi di contrada Baiaghe di Sotto, sul versante orografico settentrionale della dorsale Monte La Mare – Monte Noroni, a quote comprese tra circa 621 e 600 m s.l.m.

Nell'area d'indagine e in quelle immediatamente circostanti affiorano i litotipi calcarei della Scaglia Rossa, la formazione calcareo-marnosa e marnosa della Scaglia Variegata Alpina, nonché rocce vulcanoclastiche. Le giaciture della Scaglia Rossa sono piuttosto omogenee con immersione compresa tra 140° e 150° e inclinazione di circa 7°-9°.

Lo stile tettonico locale è caratterizzato dalla presenza di tre famiglie di discontinuità perlopiù sub-verticali con immersioni di 145°, 170° e 210°.

Nel complesso le giaciture possono essere considerate a reggipoggio e, pertanto, il deflusso delle acque d'interstrato e di quelle che circolano all'interno dei condotti carsici sviluppatasi lungo le stratificazioni calcaree avviene dalla Sorgente Giroto verso la cava e non viceversa. Inoltre, la direzione delle fratture è parallela a quella degli strati. Per tali motivi, vista anche la posizione della sorgente rispetto all'area di progetto, è praticamente impossibile che l'attività estrattiva possa interagire con le acque sorgive.

Appunti di idrogeologia dell'area

La Sorgente Vajo Stroo ha tutte le caratteristiche di un'emergenza di tipo diffuso. Le acque scaturiscono direttamente dai calcari fittamente stratificati della formazione della Scaglia Rossa. Le portate sono estremamente variabili e direttamente collegate agli apporti pluviometrici. Infatti, dopo elevate e prolungate precipitazioni si possono misurare portate fino a circa 1,5-2,0 l/s mentre, dopo brevi periodi senza pioggia (10-15 giorni), la portata si riduce da abbondante stillicidio a 0,2-0,3 l/s. L'acqua non viene utilizzata per scopi idropotabili e alimenta il Rio Castelletto.

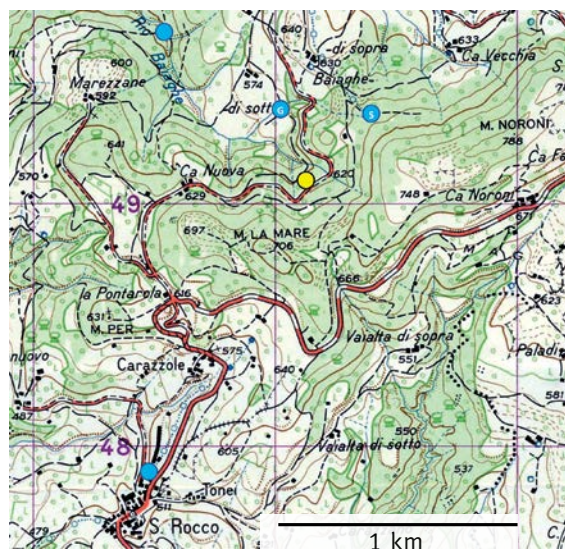


Fig. 39 – Mappa dell'area con l'ubicazione dei fluocaptori (●) e del test con Tinopal (●) – (disegno F. Tottola). “Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021” – riproduzione vietata

Per quanto riguarda, invece, la Sorgente Girotto, si tratta di una emergenza captata che scaturisce dai calcari della Scaglia Rossa. Le acque sono utilizzate a scopo idropotabile sia dalla vicina contrada, sia da altre frazioni del Comune. Le acque vengono raccolte in un serbatoio ubicato a pochi metri dall'emergenza geologica e, da qui, in parte pompate al serbatoio La Mare. La distanza tra la scaturigine e il confine meridionale dell'area della progettata cava è pari a circa 220 m sul lato Rio Fredde e circa 175 m sul lato Rio Castelletto. Le portate della sorgente sono caratterizzate da escursioni elevate (da 0,5 a 4 l/s circa), strettamente legate delle precipitazioni. Durante l'indagine venne prelevato un campione d'acqua alla Sorgente Vajo Stroo per le analisi chimiche (pH, conducibilità, durezza, nitrati) e microbiologiche (coliformi totali, carica batterica ed *Escherichia coli*). I parametri chimici, se pur elevati, rientravano nei limiti stabiliti dal D.P.R. 236/1988, mentre microbiologicamente il campione risultava molto inquinato. Anche la Sorgente Girotto presentava saltuarie contaminazioni di tipo fecale.

Tracciamento e successione degli interventi

Come consuetudine, prima di effettuare un test con traccianti, il 7 settembre 2007 venne effettuato un sopralluogo seguito dal posizionamento di due fluocaptori per la prova in bianco. A distanza di una settimana i fluocaptori risultarono tutti negativi, pertanto, il 22 settembre si eseguì il test con 200 g di Tinopal disciolto in circa 2.000 litri di acqua. La soluzione venne immessa in una trincea appositamente scavata nel substrato roccioso fittamente fratturato della Scaglia Rossa, del volume di circa 2,5 m³ e profonda 80-100 cm.

I fluocaptori recuperati nei giorni 29 settembre, 4, 10 e 22 ottobre, nonché 3 novembre risultarono sempre negativi (Figura 40).

Discussione

L'esito delle indagini eseguite consente di affermare che i lavori per l'apertura e la coltivazione della progettata cava, se eseguiti nel rispetto delle norme vigenti in materia di attività estrattiva, non determineranno danni ambientali alle locali sorgenti e alle acque superficiali.

La contaminazione di tipo fecale che interessa le due le sorgenti è certamente collegata alla



Fig. 40 – Sostituzione dei fluocaptori presso la Sorgente Vajo Stroo (4 ottobre 2007) – (foto R. Zorzin)

presenza di stalle, allo stazzo del bestiame e alle pratiche agricole effettuate all'interno del bacino idrogeologico delle sorgenti a Nord e a Nord-Est delle stesse.

VALLE DEL COVOLO

Nell'ambito del progetto della Federazione Speleologica Veneta denominato "IN.AC." (Inquinamento Acque) che prevedeva uno studio sulla qualità degli acquiferi carsici a livello regionale, la Commissione Speleologica Veronese ha attivato un censimento con monitoraggio delle sorgenti del Monti Lessini (Progetto Cento Sorgenti), tra cui il Covolo dell'Acqua (C in Figura 42).

La grotta-sorgente si trova sul versante idrografico destro della Valle del Covolo, a una quota di 860 m s.l.m. Alla base di una falesia impostata nella formazione dei Calcari Grigi, localmente dolomitizzati, scaturisce l'acqua della cavità (Figura 41). Il tratto iniziale è facilmente accessibile fino a un primo sifone, lungo circa 10 m, superato il quale la grotta prosegue con un tratto di galleria parzialmente allagata che conduce al secondo sifone non esplorato, profondo oltre 5 m.

Appunti di idrogeologia dell'area

La sorgente risente abbastanza rapidamente delle precipitazioni meteoriche che cadono nell'area.

Durante periodi di intensa piovosità distribuita nel tempo, le portate della sorgente sono caratterizzate da repentini picchi che nell'arco di poche ore calano rapidamente con un decremento molto più lento nei giorni successivi. Queste particolari variazioni di portata possono essere collegate alla saturazione del substrato roccioso durante apporti meteorici prolungati. Inoltre, a varie quote si instaurano temporanei punti di emergenza delle acque che vengono restituite mediante un lento deflusso. Il confronto tra i valori delle temperature dell'acqua e le portate suggerisce che almeno una porzione dell'acqua derivi da una circolazione con tempi di "ricambio" piuttosto lunghi. Le stesse temperature dell'acqua confermano tale ipotesi, poiché l'escursione annua è di circa 2 °C con variazioni comprese tra 6 e 8,1 °C (Zorzin, 1982).

La sorgente presenta un inquinamento microbiologico che aumenta considerevolmente in concomitanza con eventi temporaleschi e durante la stagione autunnale e primaverile.

Tracciamento e successione degli interventi

Per verificare se l'inghiottitoio individuato nella valle a fondo piatto posta tra Velo Veronese e Tezze di Sopra/Tezze di Sotto è collegato con il circuito idrogeologico del Covolo dell'Acqua posto a oriente della perdita, nel 1999 venne



Fig. 41 – Ingresso del Covolo dell'Acqua (foto A. Zorzin)

programmato un tracciamento a base di fluoresceina.

Nel mese di febbraio vennero effettuate numerose escursioni per individuare dove posizionare i fluocaptori (Figura 42), identificando sei punti di monitoraggio tra la sorgente e la Val d'Illasi, tra Selva di Progno e Xami (presso Sant'Andrea), dove confluisce la Valle del Covolo. Il 21 marzo 1999, approfittando della discreta circolazione idrica nella Valle di Tezze, innescata dalla fusione dell'abbondante neve caduta nelle precedenti settimane, vennero prelevati e sostit-

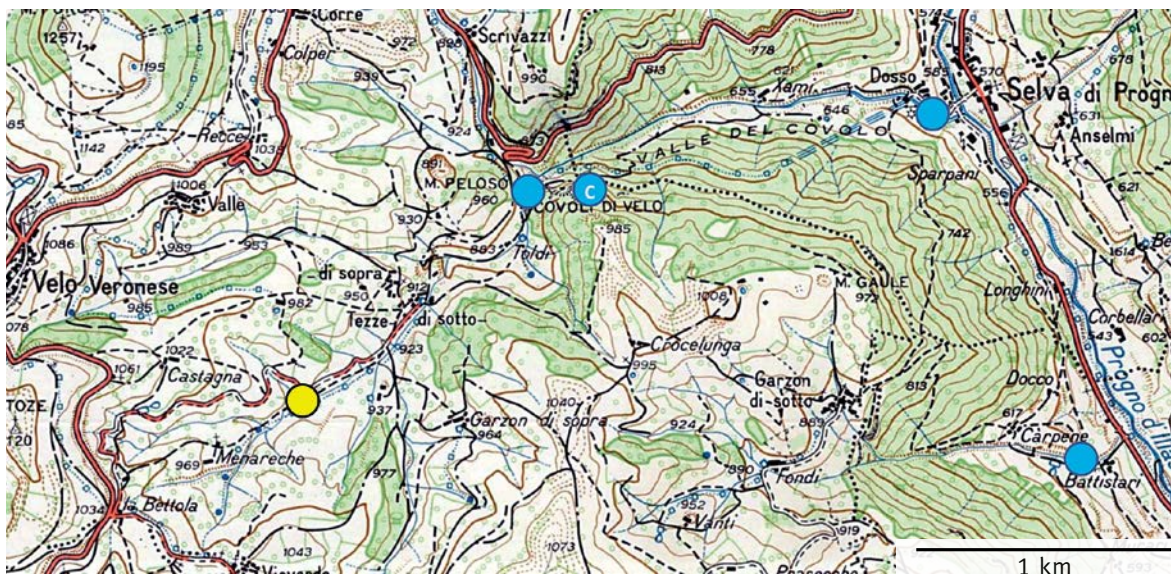


Fig. 42 – Mappa dell'area con l'ubicazione dei fluocaptori (●) e del test con Tinopal (●) – (disegno F. Tottola). "Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare. Autorizzazione n. 7103 in data 17.12.2021" – riproduzione vietata



Fig. 43 – Tracciamento del corso d'acqua con Tinopal (21 marzo 1999) - (foto R. Zorzin)

tuiti i fluocaptori posizionati precedentemente per la prova in bianco. Si procedette, quindi, al versamento di 500 g di Tinopal preventivamente disciolto con 10 litri di acqua, direttamente nel torrentello a monte dell'inghiottitoio (Figura 43). Il veicolamento del tracciante avvenne, pertanto, naturalmente sfruttando una portata di circa 3 l/s.

Il 2 aprile e nei giorni successivi (22 aprile e 2 maggio) vennero recuperati e contestualmente sostituiti i fluocaptori, risultati sempre negativi.

Discussione

L'esito negativo del tracciamento esclude l'ipotesi di una connessione idrologica tra l'inghiottitoio e il Covolo dell'Acqua evidenziando inoltre come l'inquinamento microbiologico osservato alla scaturigine dipenda dalle attività agricole che ricadono nel bacino idrologico dell'inghiottitoio.

Probabilmente, in prossimità della confluenza tra la valletta in cui venne eseguita la colorazione e la Valle del Covolo, l'intersezione di due faglie condiziona l'idrogeologia locale innescando una circolazione idrica profonda, diretta verso Est, che alimenta la circolazione di sub-alveo del torrente Illasi.

BIBLIOGRAFIA

- ANNICHINI F., PELLEGRINI B., ZORZIN R., 2013. Analisi della qualità degli acquiferi dell'altopiano carbonatico dei Monti Lessini Veronesi e del Monte Baldo: relazione consuntiva di sei anni di ricerche. *Speleologia Veneta*, 21: 147-169.
- ARTONI A., REBESCO M., 1990. Deformazione per thrusting nei Lessini nord occidentali (Verona – Italia settentrionale). In: *Neoge Thrust tectonics, Studi Geol. Camerti*, vol. spec., 131-137.
- BARBIERI G., DE ZANCHE V., SEDEA R., 1991. Vulcanesimo paleogenico ed evoluzione del *semigraben* Alpone-Agno (Monti Lessini). *Rendiconti della Società Geologica Italiana*, 14: 5-12.
- BECCALUVA L., BIANCHINI G., BONADIMAN C., COLTORTI M., MILANI L., SALVINI L., SIENA F., TASSINARI R., 2007. Intraplate lithospheric and sublithospheric components in the Adriatic domain: nephelinite to tholeiite magma generation in the Paleogene Veneto Volcanic Province, *Southern Alps*. Special Paper of Geological Society of America 418, 131-152.
- BIGI G., COSENTINO D., PAROTTO M., SARTORI R., SCANDONE P., 1990. Structural Model of Italy: Geodynamic project, C.N.R. Firenze, S.E.L.C.A., scale 1:500.000, sheet 1.
- BOSELLINI A., 1989. Dynamics of Tethyan carbonate platforms. In Crevello *et al.* (eds.). Controls on Carbonate Platform and basin Platform. *SEPM Special Publication*, 44: 3-13.
- BROMBIN V., BONADIMAN C., JOURDAN F., ROGHI G., COLTORTI M., WEBB L.E., CALLEGARO S., BELLINI G., DE VECCHI P., SEDEA R., MARZOLI A., 2019. Intraplate magmatism at a convergent plate boundary: the case of the Cenozoic Northern Adria magmatism. Elsevier, *Earth-Science Reviews*, 192: 355-378.
- CARTON A., CASTALDINI D., 1985. Approfondimenti di morfotettonica tra il lago di Garda ed il torrente Alpone (Prov. di Verona). *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*: 12 pp.
- CASTELLACCIO E., ZORZIN R. (eds.), 2012. Acque calde e geotermia della Provincia di Verona. Aspetti geologici e applicazioni. *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2 serie, Sezione Scienze della Terra 8: 174 pp.
- CERADINI A., 2002. Grotte dei Lessini e del Baldo. -west Press Editrice, Verona: 70 pp.
- CERADINI A., 2004. La Tanella: una piacevole riscoperta. *Il Baldo – Quaderno Culturale*, Grafiche P2, 15: 20-27.

- CERADINI A., DE ANGELI A., 2007. La risorgenza di San Zeno. *Speleologia* 59: 24-27.
- CERADINI A., TOSADORI G., VICENZI M., 2015. Indagine su alcune sorgenti carsiche del Monte Baldo (prealpi Venete). *Speleologia Veneta* 22 (2014/2015): 107-120.
- MENEGHEL M., SAURO U., BACIGA M.L., FILECCIA A., FRIGO G., TONIELLO V., ZAMPIERI D., 1986. Sorgenti carsiche e erosione chimica nelle Prealpi Venete. *St. Trent. Sc. Nat.*, Trento, 62: 145-172.
- MENICHETTI M., ROSSI G., ZORZIN R., 2011. Idrogeologia e carsismo dell'area della Spluga della Preta. La Spluga della Preta. A cura di G. Troncon, F. Sauro, G. Annichini. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, Editrice La Grafica, s. II, XXV: 93-118.
- MIETTO P., SAURO U., 1989. Grotte del Veneto. Regione del Veneto, La Grafica Editrice, Vago di Lagno (VR).
- PASA A., 1954. Carsismo e idrografia carsica del Gruppo del Monte Baldo e dei Lessini Veronesi. C.N.R., Centro Studi Geogr. Fis. Bologna, *Ricerche sulla Morf. Idrogr. Cars.* 5: 150 pp.
- ROGHI G., ROMANO R., 2009. Le formazioni geologiche del Veronese nella nuova cartografia Geologica nazionale. *La Lessinia – Ieri Oggi Domani, Quaderno Culturale* 32: 79-88.
- ROSSI G., 1986. Il fenomeno di inquinamento nella Spurga delle Cadene. Dattiloscritto inedito. Commissione Gruppi Grotte Veronesi.
- ROSSI G., 1987. Risultati dei test idrogeologici in relazione ai fenomeni di inquinamento della Spurga delle Cadene. Dattiloscritto inedito. Commissione Gruppi Grotte Veronesi.
- ROSSI G., ZORZIN R., 2011. Lo studio idrogeologico della Spurga delle Cadene. La Spluga della Preta. A cura di G. Troncon, F. Sauro, G. Annichini. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, Editrice La Grafica, s. II, XXV: 119-128.
- SAURO U., 1973. Il Paesaggio degli alti Lessini. Studio geomorfologico. *Museo Civico di Storia Naturale di Verona, Memorie fuori serie* 6: 161 pp.
- SAURO U., 1974. Aspetti dell'evoluzione carsica legata a particolari condizioni litologiche e strutturali negli Alti Lessini. *Boll. Soc. Geol. It.* 93: 945-969.
- SAURO U., MENEGHEL M., 1980. Dati preliminari sulla neotettonica del Foglio 21 (Trento) p.p., 35 (Riva) p.p., 26 (Schio) p.p., 49 (Verona). C.N.R., Prog. Fin. Geod. Pubbl., Officine Grafiche Napoletane: 331-357.
- SAURO U., ZAMPIERI D., 1999. Una montagna in evoluzione. Il Monte Baldo, Cierre Edizioni, 53-88.
- VIGNA B., 2001. Gli acquiferi carsici. *Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana* 12, Genova.
- ZORZIN A., ZORZIN R., 2010. Geologia e idrogeologia del Veronese: ricerche in ambiente carsico. In: Avesani D., Latella L., Zorzin A., Zorzin R. (a cura di). *Ricerche scientifiche in grotta*: 64 pp.
- ZORZIN R., 1982. Primi risultati di una ricerca idrogeologica condotta su due sorgenti dei *Lessini centrali*. *La Lessinia Ieri Oggi Domani*, 5: 97-104.
- ZORZIN R., 1996. Idrogeologia del Corno d'Aquila e delle aree limitrofe (Monti Lessini-Verona-Italia). Atti del Congresso "Alpine Caves: alpine karst systems and their environmental context". Asiago, 1992. Tipografia Lanaro, Malo (VI).
- ZORZIN R., 2008. Sorgente Veraghi: indagine idrogeologica mediante l'utilizzo di traccianti. Relazione geologica e idrogeologica inedita. Verona, agosto 2008.
- ZORZIN R., AGOSTINI L., MONTECCHI M.C., TORRI P., ACCORSI C.A., 2011. Tanella cave (Monte Baldo – Verona, Italy): a record of environmental data on the Last Glacial period. *Acta Carsologica*, Postojna, Slovenia, 40, 1: 189-205.
- ZORZIN R., ALLEGREZZA A., 2004. Idrogeologia. In: Latella L. (a cura di). *Il Monte Pastello. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2. serie, *Monografie Naturalistiche* 1: 29-43.
- ZORZIN R., BIANCHINI F., CACCIAVILLAN F., CURTI L., DI CARLO F., MELLI M., RIODA V., STRADIOTTO G., VESENTINI S., 2004. Carta dell'impatto umano della dorsale del Monte Pastello (Prealpi Venete). In: Latella L. (a cura di). *Il Monte Pastello. Coordinamento scientifico: Roberto Zorzin. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2. serie, *Monografie Naturalistiche* 1.
- ZORZIN R., CACCIAVILLAN F., 2004. L'attività estrattiva. In: Latella L. (a cura di). *Il Monte Pastello. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2. serie, *Monografie Naturalistiche* 1: 75-85.
- ZORZIN R., TOTTOLA F., 2020. Monte Baldo Veronese: appunti di idrogeologia e carsismo. *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, Geologia Paleontologia Preistoria* 44: 27-51.

ESPERIENZE CON TRACCIANTI IN CINA

Roberto Zorzin^{1,2}, Guido Rossi³, Alessandro Zorzin⁴

¹ Museo di Storia Naturale di Verona

² Geologo, libero professionista, Verona

³ Geologo, Verona

⁴ Ingegnere Ambientale, C.R.N. Monti Lessini (VR)

ABSTRACT

As part of a research project co-financed by Italian Ministry of Foreign Affairs, hydrogeological investigations were carried out aimed at identifying potable water resources. During these studies tracers were used which provided important data on local karst aquifers.

Key-words: Tracers, Guizhou, karst aquifers.

RIASSUNTO

Nell'ambito di un progetto di ricerca cofinanziato dal Ministero degli Affari Esteri italiano sono state eseguite indagini idrogeologiche finalizzate a individuare risorse idriche potabili. Durante questi studi sono stati utilizzati traccianti che hanno fornito importanti dati sugli acquiferi carsici locali.

Parole chiave: Traccianti, Guizhou, acquiferi carsici.

PREMESSA

La collaborazione tra il Museo Civico di Storia Naturale di Verona e il Guizhou Provincial Science and Technology Department e la Guizhou Normal University di Guiyang (Cina) si concretizzò a partire dall'anno 1994.

Già dal 1992, la Sezione di Geologia e Paleontologia del Museo Civico di Storia Naturale di Verona attivò una serie di ricerche idrogeologiche e carsogenetiche nella Cina Sud-occidentale (Zorzin & Melotti, 1993); inizialmente nel Guangxi (1992) e, a partire dal 1994, nel Guizhou (Zorzin & Melotti, 1995). Nove sono le spedizioni scientifiche effettuate dal Museo di Verona nel Guizhou dal 1994 al 2006 (Figura 1). Durante queste spedizioni si ebbero importanti contatti e lunghi incontri con funzionari del Dipartimento delle Acque, del Dipartimento della Tutela Forestale, degli Uffici delle varie contee visitate, con particolare riferimento alle sezioni relative a Popolazione, Foreste, Suolo e Acque. Inoltre, durante le prime campagne di ricerca furono raccolti numerosi dati geografici, geomorfologici, ambientali (Trotti *et al.*, 2002; Latella & Zorzin, 2007; Latella & Zorzin, 2008) e idrogeologici, che permisero di indi-

viduare nell'area di Honglin (Contea di Qianxi), la realtà più idonea e interessante per sviluppare e integrare le ricerche iniziate negli anni precedenti. Tali ricerche rientrarono nell'ambito del progetto "Qualità dei principali acquiferi carsici e degli ambienti ipogei del Guizhou", cofinanziato dal Ministero degli Affari Esteri italiano (Zorzin & Xiong, 2003; Zorzin, 2004).

Il progetto si era proposto, come obiettivo principale, lo studio dettagliato di alcuni acquiferi carsici del Guizhou, attraverso l'ausilio di traccianti e mediante il monitoraggio dei principali parametri chimico-fisici. La maggior parte di queste indagini interessarono il territorio di Honglin e, secondariamente l'area carsica di Zhenyuan. Inoltre, furono effettuati numerosi rilievi per evidenziare il livello di inquinamento delle acque sotterranee mediante l'utilizzo di macrodescrittori: azoto ammoniacale, azoto nitrico, ossigeno disciolto, ferro, fosforo totale ed *Escherichia coli*.

Complessivamente, dal 2001 al 2006, vennero eseguite nell'Impero Celeste quattro prove con traccianti: due utilizzando fluoresceina e due Tinopal.



Fig. 1 – Caratteristico paesaggio del Guizhou (foto R. Zorzin)

LA PROVINCIA DEL GUIZHOU

Il Guizhou occupa una vasta parte dell'altopiano Yunnan-Guizhou, situato a una quota media di circa 1.000 m s.l.m. nella Cina Sud-occidentale. L'altopiano ha un'altezza decrescente da Ovest verso Est ed è inclinato sia verso Nord che verso Sud. La temperatura media annua oscilla tra gli 11 e i 19 °C mentre le precipitazioni sono comprese tra 900 e 1.500 mm/a. La maggior estensione delle rocce carbonatiche affioranti appartiene a formazioni comprese tra il Cambriano e il Triassico, che si individuano nella porzione centro-occidentale e si estendono per circa 127.000 km² pari a oltre il 70% del territorio del Guizhou. Il settore più elevato si trova nella parte occidentale della regione ed è caratterizzato da quote comprese tra 2.000 e 2.400 m s.l.m. In tali aree esiste una diffusa foresta di picchi, numerosi *polje* e corsi d'acqua sotterranei. Nel Guizhou settentrionale la foresta di picchi si trova mediamente compresa tra gli 800 e i 1.200 m s.l.m. Le aree ove affiorano i litotipi calcarei e dolomitici del Cambriano

sono caratterizzate da numerose piatte depressioni mentre le rocce del Permiano evidenziano una alta energia del rilievo e numerose cavità carsiche.

Il Guizhou centrale (800-1.300 m s.l.m.) presenta le morfologie più dolci dell'intera regione, mostrando *peak-forest*, *peak-forest valley* e *polje* come forme carsiche più frequenti (Figura 2).

Il Guizhou meridionale, invece, risulta debolmente inclinato verso Sud, con quote estreme comprese tra circa 1.200 e 1.400 m s.l.m., ed è situato lungo la scarpata del margine Sud dell'altopiano Yunnan-Guizhou.

La maggior parte delle grotte note nella regione sono di origine freatica e presentano sia sistemi attivi che livelli fossili. Questi ultimi, sono ubicati a quote più elevate rispetto ai primi, generalmente ove affiorano formazioni calcaree. Tale situazione testimonia il succedersi di periodi interessati da un generale sollevamento dell'area che hanno dato luogo a un ringiovanimento delle preesistenti morfologie.



Fig. 2 – Altopiano carbonatico del Guizhou con i caratteristici coni carsici (*fenglin*) isolati all'interno di una pianura di tipo *open polje*, coltivata a riso (foto R. Zorzin)

Gli ingressi delle grotte sono spesso ubicati alla base dei rilievi montuosi; si tratta, in genere, di cavità attive scavate da corsi d'acqua sotterranei di modesto sviluppo sulle cui pareti sono frequenti morfologie del tipo *scallops*. Tali cavità si sviluppano qualche metro al di sotto delle pianure alluvionali coltivate a riso o mais e presentano, nella maggior parte dei casi, un pronunciato inquinamento di tipo organico.

Le forme carsiche più comuni sono rappresentate da doline e depressioni associate a rilievi collinari più o meno elevati.

La circolazione idrica sotterranea risulta, nella maggior parte dei casi, ben sviluppata e gerarchizzata.

Nelle aree pianeggianti con foresta di picchi e nella pianura a picchi isolati, la falda freatica si trova generalmente a debole profondità dal piano di campagna.

LA CONTEA DI QIANXI

Premessa

La contea costituisce una piccola porzione di un ampio plateau carbonatico che fa parte della più vasta area carsica cinese e mondiale (Daoxian, 1991), estesa per circa 300.000 km², quasi quanto l'intera superficie dell'Italia. Nella zona esaminata le quote dei rilievi raggiungono i 1.500 m s.l.m. Poco a Nord del villaggio di Honglin esistono condizioni geologiche e tettoniche ideali per lo sviluppo di imponenti cavità carsiche.

L'area di Honglin è amministrativamente suddivisa in dodici villaggi: Chuan Dong (villaggio che comprende la cittadina principale di Honglin), Qi Shu, Yan Jiao, Shi Shen, Liu Dou, Yu Tang, Tao Jing, An Qin, Xin Ping, Nei Xiang Kong, Qin He e Hong Wa Fang.

Il territorio si presenta in un elevato stato di degrado per le evidenti situazioni di erosione e desertificazione del suolo.

In questo quadro si inserisce l'indagine specifica sull'approvvigionamento idrico della popolazione, indagine svolta sia mediante sopralluoghi in tutti i villaggi, colloqui con i capi villaggio e la popolazione, sia attraverso l'uso di documentazione fornita dagli uffici locali e della contea. All'epoca delle ricerche, la situazione appariva ampiamente diversificata nelle aree visitate sia per le modalità d'approvvigionamento di acqua, sia per le infrastrutture deputate alla distribuzione.

Sinteticamente si può affermare che la maggioranza della popolazione prende l'acqua necessaria con secchi, percorrendo distanze che talvolta superano abbondantemente il chilometro.

Inquadramento geologico

L'area in studio ha un'estensione di circa 10 km² ed è caratterizzata da un carso delimitato dall'affioramento di formazioni impermeabili costituite da siltiti e argilliti, situate al tetto di calcari e dolomie permiane. Localmente, all'interno delle litologie impermeabili, si trovano orizzonti con carbone fossile i cui giacimenti più significativi sono intensamente coltivati dalla popolazione locale.

La serie permo-triassica forma l'ossatura del rilievo ed è costituita da un'alternanza di rocce terrigene impermeabili o semipermeabili, con litofacies carbonatiche permeabili per carsismo. Conseguentemente, l'assetto idrogeologico dell'area risulta condizionato dalla distribuzione degli affioramenti e dalle loro reciproche relazioni idrologiche.

La formazione triassica è composta da membri carbonatici piuttosto puri intervallati da marne e calcari marnosi, della potenza di alcune centinaia di metri. Questi ultimi affiorano estesamente nella porzione meridionale d'altopiano, già poco a Sud di Honglin, dove ricoprono il banco carbonatico sotto spessori che aumentano di potenza procedendo dal contatto litoformazionale verso Sud-Ovest. Lungo questa direzione la formazione terrigena è meno erosa e, conseguentemente, meno permeabile, sviluppando così un'idrografia superficiale in "competizione" con le strutture carsiche profonde.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

A Honglin, i più significativi acquiferi sono localizzati in una unità carbonatica della potenza di circa 200 m posta alla base della formazione triassica entro litofacies terrigene dove la circolazione di tipo carsico viene guidata, in generale, dalla giacitura della formazione impermeabile permo-triassica situata al letto del banco carbonatico.

Tale formazione occupa, in affioramento, la porzione settentrionale e a maggiore elevazione d'altopiano, dove parte della rete idrografica superficiale drena verso l'unità carbonatica; conseguentemente, la formazione permo-triassica determina un'area di ricarica allogena per l'acquifero carsico di oltre 100 km².

L'area impermeabile presso Honglin rappresenta un importante bacino di ricarica allogena per il carso; infatti, la rete idrografica è diretta verso gli affioramenti carbonatici in corrispondenza dei quali i corsi d'acqua vengono assorbiti da imponenti inghiottitoi al fondo di valli chiuse (Figura 3).

Le cavità attive sono localizzate presso il contatto stratigrafico e/o tettonico tra rocce impermeabili e permeabili. Sono inoltre presenti, a varie distanze ed elevazioni, anche grandi segmenti relitti, espressione di una copertura impermeabile più estesa.

L'area considerata si espande a oriente uscendo dai confini amministrativi di Honglin, mentre a occidente è delimitata da un canyon attivo profondo circa 250 m. Questa valle di attraversamento, che rappresenta il livello di base locale, richiama consistenti manifestazioni sorgentizie che sono connesse con una parte degli inghiottitoi.

Nell'area di Honglin prevalgono le forme fluvio-carsiche, quali doline e valli secche, elementi caratteristici dei paesaggi carsici italiani, mentre le forme positive, tipiche dei carsi tropicali comunemente noti, risultano di "secondaria" importanza su estese aree. Il territorio è profondamente modificato dalla presenza di vaste superfici coltivate e dalla deforestazione, fattore quest'ultimo che costituisce un grave problema in una regione montuosa densamente popolata (Abrescia *et al.*, 2000).

Le esplorazioni delle cavità carsiche nei dintorni di Honglin fornirono una notevole quantità di dati: rilievi topografici e biologici, analisi chimiche e microbiologiche delle acque, fotografie e appunti. I dati di carattere topografico

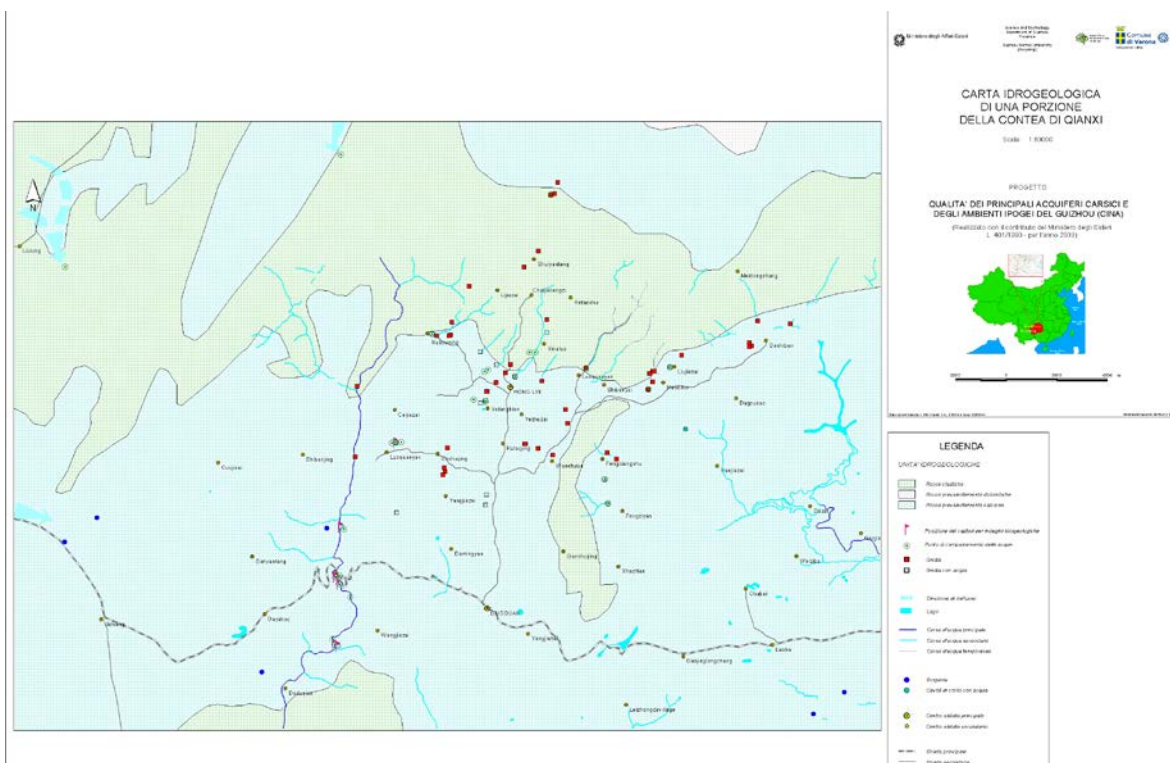


Fig. 3 – Carta idrogeologica schematica di una porzione della contea di Qianxi (rilevamento R. Zorzin)

e biologico permisero di comporre un buon quadro scientifico delle evidenze speleologiche riscontrate (Latella & Zorzin, 2008). Tra le grotte visitate, Shui Xiang Dong (n. 11 di Figura 4), situata nelle immediate vicinanze del villaggio di Honglin, è la cavità orizzontale più vasta. Si presenta con un'ampia apertura alta circa 120 m, attraversata da un modesto corso d'acqua proveniente dall'area impermeabile. Il tratto ipogeo del torrente ha un andamento meandriforme e, dopo circa 450 m, scompare in un lago-sifone. In prossimità dell'ingresso della cavità si osserva il crollo di parte della volta della galleria che comunica con l'esterno proprio in corrispondenza dell'abitato di Honglin. Questa grande apertura venne utilizzata dalla popolazione locale, almeno fino al 2004, per scaricare le immondizie (prevalentemente RSU) direttamente in grotta. L'accumulo dei rifiuti ha costituito un grande cono alto oltre 20 m, la cui base raggiunge il torrente sotterraneo. Durante le piene, e non solo, le acque correnti scalzano i rifiuti posti alla base per trasportarli fino al lago-sifone terminale e poi in un percorso ipogeo non ancora esplorato.

Tracciamento e successione degli interventi

Nell'ambito delle indagini previste dal progetto "Qualità dei principali acquiferi carsici e degli ambienti ipogei del Guizhou" si cercò di verificare, mediante l'utilizzo di traccianti, l'eventuale comunicazione tra il lago-sifone di Shui Xiang Dong e le sorgenti che scaturiscono nelle profonde gole dei fiumi XiXi e Xiadong che delimitano a occidente e a Sud la municipalità di Honglin. Tali incisioni presentano numerose manifestazioni sorgentizie sia carsiche, lungo il fondovalle calcareo (grotte di Bai Long, del Drago Cavallo e Hou Zi Yan Long Tan, rispettivamente nn. 16, 34 e 27 di Figura 4), sia legate a una circolazione entro le formazioni terrigene triassiche.

Nel novembre 2001 venne eseguito un primo test con 1 kg di Tinopal nell'inghiottitoio di Xi Xian Dong (n. 8), posto a circa 1 km a Nord-Ovest di Shui Xiang Dong. Tale tracciamento non diede esito positivo nella Grotta del Drago Cavallo dove erano stati posizionati i fluocaptori. Nel novembre 2003, invece, venne eseguito un secondo tracciamento con 3 kg di fluorescina sodica nel principale corso d'acqua allogenetico,

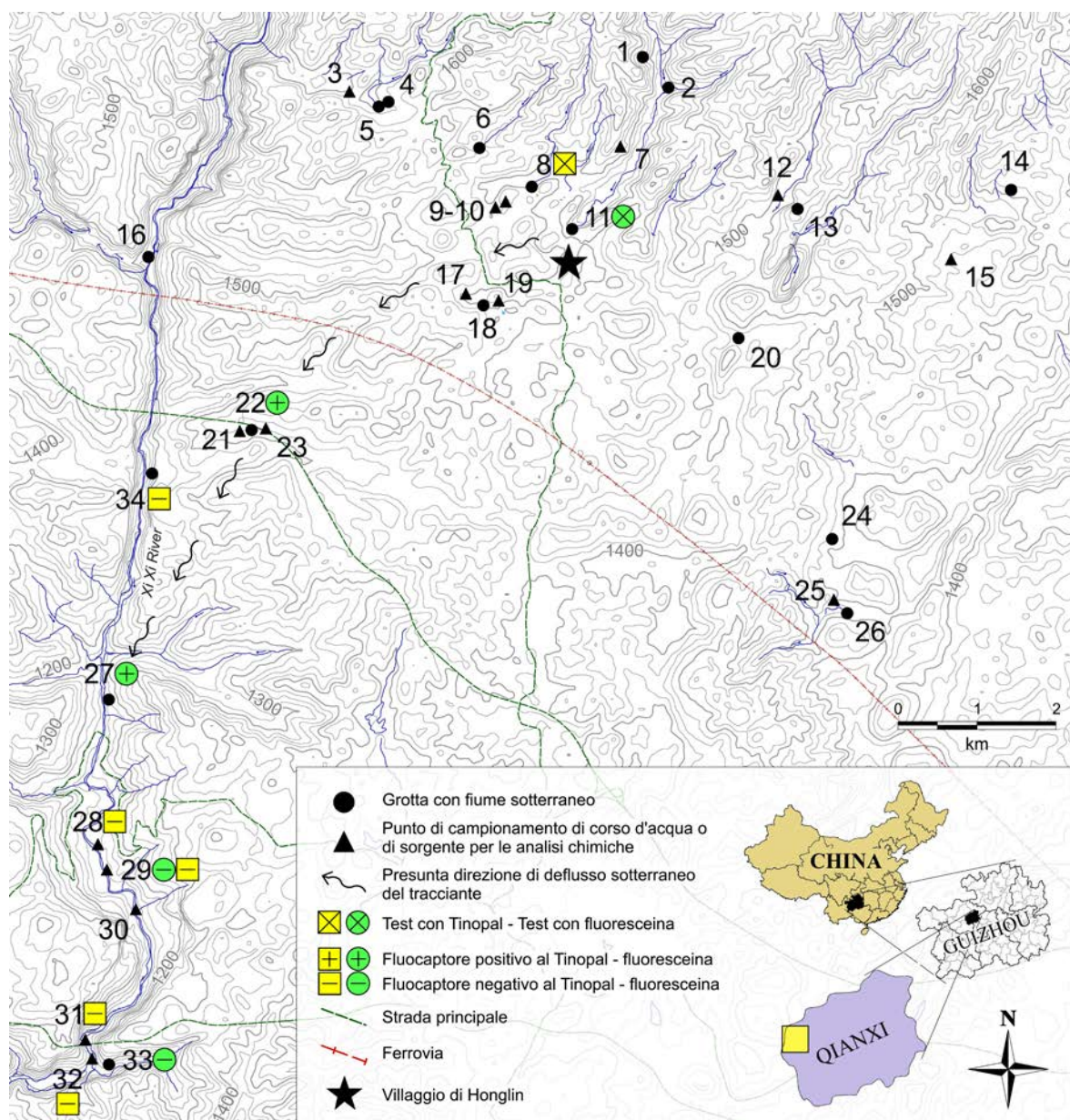


Fig. 4 – Carta topografica di Honglin con l'ubicazione delle grotte e delle prove con traccianti (disegno S. Zannotti, rilevamento R. Zorzin)

che si ingrotta in Shui Xiang Dong. Il test prevedeva il posizionamento di fluocaptori nelle numerose sorgenti identificate in un tratto di circa 20 km dal Fiume XiXi, nonché nel fiume stesso. La Grotta Hou Zi Yan Long Tan (n. 27) risultò positiva. Tale cavità si trova, in linea d'aria, a circa 9 km a Sud-Ovest del punto di immissione del tracciante, a una quota di 1.136 m s.l.m.

Il tracciante fu riconosciuto anche a vista, pochi giorni dopo il test, durante l'esplora-

zione della Grotta Luo Sai Dong (Figura 5), permettendo in tal modo di definire meglio il percorso sotterraneo delle acque e dei tempi di trasmissione dell'acquifero. Luo Sai Dong (n. 22) si trova, infatti, approssimativamente a metà strada della linea idrologica descritta. Il corso d'acqua sotterraneo, nel tratto dei circa 2,5 km esplorati, scorre tra i 1.210 e i 1.230 m s.l.m., a una profondità di circa 270 m dalla superficie.

Discussione

Le informazioni acquisite nel corso delle indagini idrogeologiche eseguite a Honglin sono state importanti per delimitare con soddisfacente precisione l'area di ricarica del corso d'acqua che s'ingrotta in Shui Xiang Dong e di alcune sorgenti presenti alla base del canyon del Fiume XiXi.

L'elevata permeabilità del substrato roccioso, la presenza di corsi d'acqua variamente collegati con le falde carsiche e viceversa, unitamente alla scarsa presenza di suoli (desertificazione), imprime al territorio una notevole vulnerabilità a potenziali eventi inquinanti (Latella & Zorzin, 2003). Gli studi condotti evidenziarono un chimismo degli acquiferi ancora sufficientemente buono e la persistenza di un inquinamento microbiologico.

Il confronto dei dati recuperati permise di evidenziare come la diversa qualità delle acque (superficiali e sotterranee) dipenda, oltre che dalle caratteristiche naturali del sottosuolo, anche dalla tipologia delle attività industriali e agricole svolte sul territorio e dalla presenza di numerosi piccoli centri abitati privi dei servizi essenziali.

In ragione di ciò, si ritenne necessario un sistematico monitoraggio della risorsa idrica unitamente allo sviluppo di un articolato progetto per la programmazione degli interventi riguardanti l'approvvigionamento idrico e la gestione dei rifiuti.



Fig. 5 – Il corso d'acqua sotterraneo di Luo Sai Dong colorato di verde dal tracciamento con fluoresceina (foto G. Rossi)

LA CONTEA DI ZHENYUAN

Premessa

Nel 2006 venne organizzata l'ultima spedizione speleologica che rientrava nell'ambito del progetto "Qualità dei principali acquiferi carsici e degli ambienti ipogei del Guizhou". Il progetto "Guizhou 2006" si era posto come obiettivo principale lo studio di alcuni acquiferi carsici della Contea di Zhenyuan (Guizhou, Cina), mediante il monitoraggio dei principali parametri chimico-fisici e microbiologici e attraverso l'ausilio di traccianti (Zorzin, 2008).

Inquadramento geologico e idrogeologico

L'area carsica di Zhenyuan si trova a circa 300 km a ENE di Guiyang, il capoluogo del Guizhou. Si tratta di un territorio di particolare bellezza naturalistica sia per i paesaggi geomorfologici (*fengcong gorge*), caratterizzati da stupende mor-

fologie carsiche del tipo *fengcong depression*, *fengcong valley*, *fenglin depression* e *fenglin valley*, sia per la protezione a cui sono state sottoposte ampie aree della contea, caratterizzate da estesi e potenti affioramenti di rocce carbonatiche variamente tettonizzate (Daode *et al.*, 1985).

Le formazioni carsificabili occupano prevalentemente la porzione centrale e occidentale dell'area di ricerca dove affiora la serie cambriano-ordoviciano (Daoxian, 1991).

L'acquifero è localizzato in una unità carbonatica della potenza di molte centinaia di metri, costituita da calcari più o meno marnosi del Cambriano superiore.

Gli ingressi delle cavità carsiche di maggiori dimensioni sono per lo più ubicati alla base dei rilievi montuosi o in prossimità degli stessi.



Fig. 6 – La risorgenza carsica di Long Tan è la più importante manifestazione sorgentizia della Contea di Zhenyuan (foto A. Zorzin)

Si tratta, in genere, di grotte attive che si sviluppano poche decine di metri al di sotto delle pianure alluvionali coltivate a riso.

Nell'ambito dell'area presa in considerazione per lo studio della Sorgente Long Tan (Figura 6), furono prelevati dieci campioni d'acqua e analizzati complessivamente oltre cento parametri chimico-fisici e trenta microbiologici. Alcune rilevazioni, come la portata, la durezza, l'ossigeno disciolto, la temperatura dell'acqua e dell'aria, vennero effettuate all'atto del prelievo del campione d'acqua, mentre altre vennero eseguite in un piccolo laboratorio attrezzato all'interno della struttura messa a disposizione dal locale governatore.

Tracciamento e successione degli interventi

Lo studio idrogeologico con traccianti (Zorzin R. & Zorzin A., 2010) fu condotto su specifica richiesta del governatore della Contea di Zhenyuan. In particolare, le autorità locali erano interessate a verificare l'eventuale collegamento idrogeologico tra la sorgente carsica Long Tan (Dragon Pool), ubicata all'interno di un'area

naturalistica (Figura 7), di cui era previsto lo sfruttamento per scopi idropotabili, e la zona antropizzata situata a monte dove era previsto un ampliamento dei due villaggi di Yanjiaocun e Dayanjiao.

I numerosi sopralluoghi effettuati per recuperare le necessarie informazioni geologiche, strutturali e morfologiche, permisero d'individuare alcuni punti significativi dove eseguire i test con i traccianti. Si tratta di due corsi d'acqua: Yan bei He che si inabissa in Jirshui Dong (grotta dell'acqua che entra), cavità ubicata nelle vicinanze del villaggio e "Street River" che percorre la Sancha Valley per scomparire nei propri depositi alluvionali e riemergere, dopo circa un chilometro, poche decine di metri prima di Long Tan. Tale sorgente carsica scaturisce in prossimità del fondovalle, sul versante idrografico destro. Nell'area furono programmate due colorazioni con fluoresceina e con Tinopal.

Per il tracciamento di Yan bei He, effettuato il 16 novembre 2006, vennero impiegati 3 kg di fluoresceina (Figura 8) in Jirshui Dong, mentre

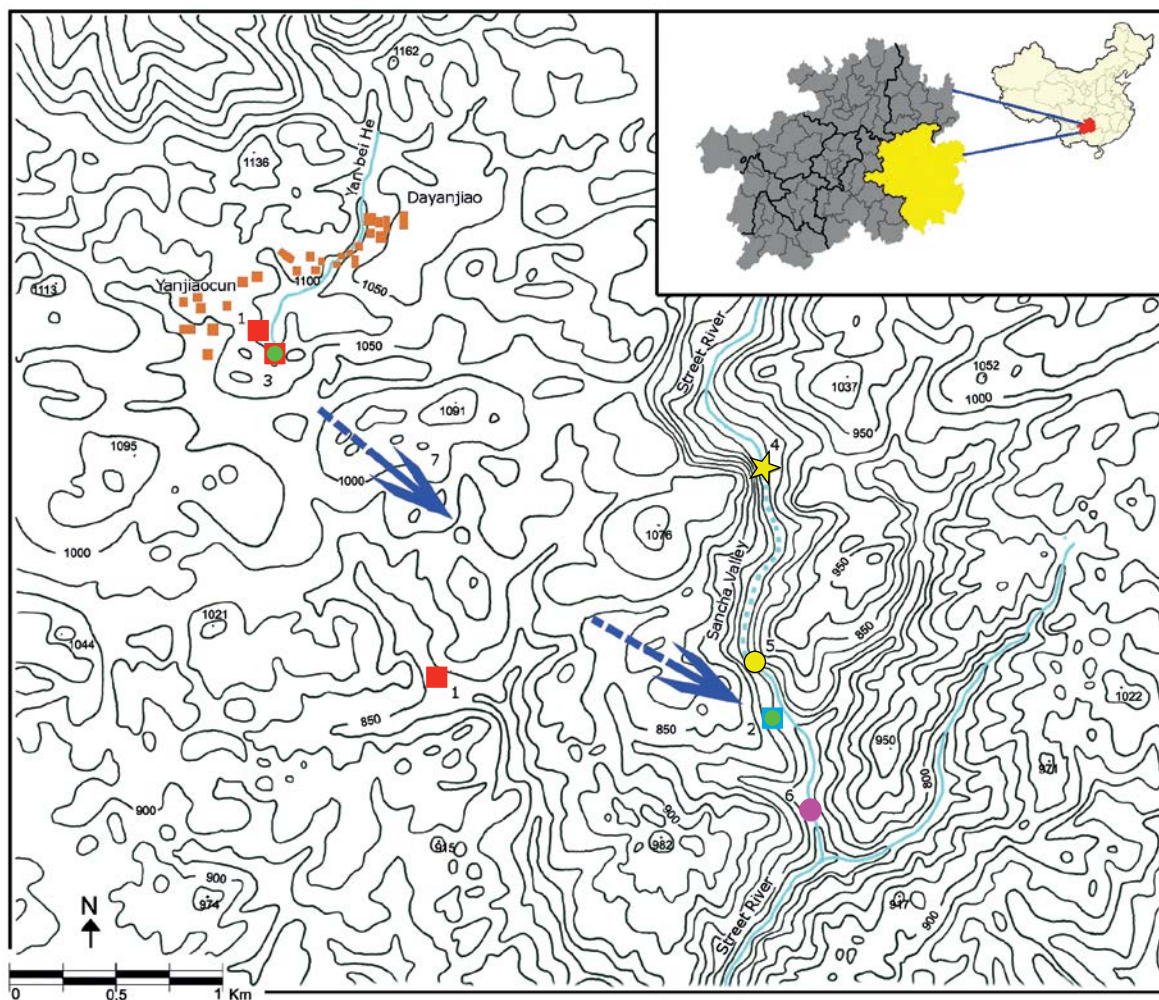


Fig. 7 – Carta topografica di un'area carsica della Contea di Zhenyuan; 1. grotta (■), 2. Long Tan (■), 3. Jirshui Dong (■), 4. tracciamento con Tinopal (★), 5. captore positivo al Tinopal (●), 6. captore positivo alla fluoresceina e al Tinopal (●), 7. direzione di deflusso della falda carsica (--->) (disegno F. Castegini)

per la colorazione di Sancha Valley si è usato 1 kg di Tinopal. Quest'ultima prova si era resa necessaria per verificare l'eventuale collegamento tra il punto di assorbimento di Street River nelle alluvioni di fondovalle Sancha Valley (Figura 9) e la sorgente carsica (Long Tan) e, inoltre, per accertare l'eventuale comunicazione tra il corso d'acqua e la risorgenza e/o tra la risorgenza e il corso d'acqua.

Il 20 novembre 2006, ultimo giorno di permanenza nella Contea di Zhenyuan, vennero recuperati e sostituiti tutti i fluocaptori precedentemente posizionati per essere analizzati nel capoluogo, prima del ritorno in Italia. L'esito fu positivo esclusivamente al Tinopal per i fluocaptori indicati con i numeri 1 e 3.

Poiché il tracciamento con fluoresceina risultò negativo e non fu possibile per il team italiano verificare i fluocaptori appena posizionati, venne concordato con il team cinese un ulteriore prelievo dei fluocaptori dopo otto giorni e l'invio degli stessi in Italia. Dall'analisi di questi ultimi fluocaptori, il n. 1 risultò nuovamente positivo solo al Tinopal, il n. 2 positivo esclusivamente alla fluoresceina, mentre il n. 3 positivo a entrambi.

I risultati delle prove con traccianti hanno accertato il collegamento idrologico tra Jirshui Dong e la sorgente carsica e permesso di escludere interferenze tra Street River e la risorgenza e viceversa. Inoltre, le osservazioni di campagna permisero di delimitare, seppur non in modo preciso, il bacino idrogeologico di Long Tan e



Fig. 8 – Tracciamento con fluoresceina del corso d'acqua Yan bei He che si ingrotta in Jirshui Dong (foto A. Zorzin)

di fornire alle autorità locali una serie di informazioni per eliminare/ridurre l'inquinamento microbiologico delle falde carsiche.

Discussione

I dati preliminari raccolti nel breve periodo d'indagine e di permanenza nella Contea di Zhenyuan evidenziano un chimismo degli acquiferi sufficientemente buono. Per quanto riguarda la Sorgente Long Tan, le analisi chimico-fisiche e microbiologiche eseguite permisero di rilevare quanto segue:

- la concentrazione di nitrati risultò sempre al di sotto dei 6 mg/l, valore da considerarsi molto basso per un'area antropizzata;
- le analisi microbiologiche evidenziarono una situazione generalizzata di inquinamento fecale, con ampie variazioni nel tempo. Essendo acque caratterizzate da un modesto inquinamento organico potrebbero essere utilizzate per scopi idropotabili solo dopo un trattamento fisico e chimico normale e disinfezione;
- le attività agricole e i numerosi piccoli nuclei abitati presenti sul territorio, seppur privi di



Fig. 9 – Tracciamento con Tinopal nelle alluvioni di Street River (foto A. Zorzin)

servizi essenziali, non sembrano influenzare pesantemente la qualità dell'ambiente.

In ragione di ciò e in previsione di uno sfruttamento per scopi idropotabili della Sorgente Long Tan, venne consigliato un sistematico monitoraggio della risorsa idrica unitamente allo sviluppo di un articolato progetto per la programmazione degli interventi riguardanti l'espansione dei centri abitati esistenti, la gestione dei rifiuti e le problematiche collegate all'eccessivo sfruttamento del suolo.

BIBLIOGRAFIA

- ABRESCIA F., LATELLA L., ROSSI G., ZORZIN R., 2000. "Guizhou 2000" Spedizione italiana in Cina. *Speleologia*, vol. 43: 44-51.
- DAODE G., SHICHONG Z., KUN B., XUIEYONG S., CHENZONG D., ZONGMAO W., YAOPING N., 1985. Karst in South Guizhou, China. Guizhou People's Publishing House, Guiyang, The People's Republic of China.
- DAOXIAN Y., 1991. Karst of China. Geological Publishing House, Beijing, China: 224 pp.
- LATELLA L., ZORZIN R., 2003. Ecological comparative study in some caves of Honglin area (Guizhou Province). Sino-Italian Workshop on Karst and Caves of Guizhou. Guiyang 5-10 November 2003, Guidebook, Abstract: 31.
- LATELLA L., ZORZIN R., 2007. Le ricerche speleologiche in Cina del Museo Civico di Storia Naturale di Verona. *Speleologia Veneta*, 5: 89-94.
- LATELLA L. & ZORZIN R. (eds.), 2008. South China Research. *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2. Serie. *Monografie Naturalistiche* 3: 147 pp.
- TROTTI F., CALDOGNETTO E., ZORZIN R., 2002. Measurements of ^{222}Rn concentration in a karst area of Ziyun county (Guizhou province-China). XVI International Symposium of Biospeleology, Verona (Italy) 8-15 September 2002. Abstract: 93.
- ZORZIN A., 2008. Indagini idrogeologiche mediante l'utilizzo di traccianti in ambiente carsico. Università di Brescia, Facoltà di Ingegneria, A.A. 2007-2008, tesi di laurea inedita.
- ZORZIN R., 2004. Quality of the principal karstic aquifer and hypogean environments of Guizhou, realized with a contribution from the Ministry of Foreign Affairs General Area for Cultural Promotion and Cooperation L. 401/1990 – for the year 2003. Report Inpublished, Verona, Italy.
- ZORZIN R., XIONG K., 2003. Quality of the main reservoirs of karst water and the subterranean environment of Guizhou. Sino-Italian Workshop on Karst and Caves of Guizhou. Guiyang 5-10 November 2003, Guidebook, Abstract: 28.
- ZORZIN R., ZORZIN A., 2010. Esperienze con traccianti nella contea di Zhenyuan (Guizhou Province - P.R. China). *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona - Geologia Paleontologia Preistoria* 34: 81-86.
- ZORZIN R., MELOTTI S., 1993. Present-day knowledge of the Luo Han Du cave (Shouthern China - Guangxi). *Proceedings of the XI International Congress of Speleology*, Beijing - China: 242-246.
- ZORZIN R., MELOTTI S., 1995. China Caves '94. *International Caver* 13: 17-25.

ESPERIENZE CON TRACCIANTI NELLE FILIPPINE

Guido Rossi

Geologo, Verona

ABSTRACT

In winter 1984-85 a caving expedition was carried on in Sagada, Luzon Island, Philippines. A dye tracing test permitted to assess karst hydrogeological arrangement.

Key-words: Sagada, Philippines, karst, dye tracing test.

RIASSUNTO

Nell'inverno 1984-85 venne organizzata una spedizione speleologica nel carso di Sagada, Isola di Luzon, Filippine. Un tracciamento permise di ricostruire l'assetto idrogeologico del carso.

Parole chiave: Sagada, Filippine, carso, test di tracciamento.

Nell'inverno 1984-85 venne organizzata, in seno alla Federazione Speleologica Veneta, una spedizione speleologica in un piccolo carso dell'Isola di Luzon nelle Filippine (Figura 1). Il programma prevedeva insieme all'esplorazione del ricco sistema di grotte in parte conosciute, anche ricerche idrogeologiche e antropologiche relative all'uso funerario delle cavità (AA.VV., 2015).

IL CARSO DI SAGADA

Il carso in oggetto è adiacente al paese di Sagada, non lontano da Bontoc, capoluogo della Mountain Province. La provincia occupa parte della Cordillera Central, catena montuosa che segue la costa occidentale del Nord di Luzon per oltre 300 km. Il carso di Sagada ha una superficie di circa 20 km² ed è situato tra i 1.100 e i 1.600 m s.l.m., altitudine che ne fa probabilmente il carso più elevato del Paese (Figura 2).

Inquadramento geologico e idrogeologico

L'unità carsificabile è costituita dal membro inferiore della Sagada Formation, composto da calcari del tardo Eocene - inizio Oligocene della potenza di circa 200 m (Aurelio *et al.*, 2004). Il membro superiore è rappresentato da argillite e conglomerato e la formazione giace discordante su una potente sequenza di vulcaniti dacitiche, tufi, sabbie e conglomerati vulcanici.



Fig. 1 – Localizzazione del carso (disegno G. Rossi)



Fig. 2 – Veduta aerea obliqua dell'area (esagerazione verticale x 3)

L'unità carbonatica è strutturalmente assimilabile a una monoclinale immergente verso OSO che si estende in direzione NS per circa 7 km. Viene delimitata sul lato orientale dalla valle del Chico River e sul lato occidentale da un sistema di faglie dove l'unità impermeabile sottostante viene posta in contatto con i calcari. Lungo questo margine si sviluppa un sistema di grotte che può essere scomposto in un sottosistema settentrionale alimentato dal corso d'acqua allogenic del Torrente Bokon e uno meridionale assorbente le idrografie del carso sviluppate nel membro superiore della Sagada Formation. Fra i due sottosistemi, a meno di 2 km dall'inghiottitoio settentrionale, fuoriesce la sorgente di Ambasing la cui ragguardevole portata alimenta il Torrente Maltep. Esso scorre lungo il carso tagliandone l'estremità meridionale dove è situata l'importante sorgente di Balangagan (Rossi, 1986; Boccalon & Rossi, 2015).

Tracciamento e successione degli interventi

Per testare l'assetto idrogeologico, in particolare le relazioni tra il sottosistema settentrionale e meridionale di grotte, venne utilizzata fluoresceina (Forti & Boccalon, 1986). Circa 5,2 kg di tracciante vennero immessi nel Torrente Bokon.

Fluocaptori a carbone attivo, vennero posizionati nelle successive cavità, nella sorgente di Ambasing, nel sottosistema meridionale e nella sorgente di Balangagan (Figura 3). Tutti i fluocaptori risultarono positivi. Tuttavia, nel sottosistema meridionale e nella sorgente di Balangagan le concentrazioni di fluoresceina decrescevano progressivamente risultando molto inferiori a quelle della sorgente di Ambasing, dove il tracciante era riemerso dopo circa 35 ore dall'immissione, rimanendo per giorni manifestamente visibile.

Discussione

Il test evidenzia l'unicità dell'idrostruttura e del sistema carsico. Questo assetto è giustificato dalla presenza di una diffluenza – a monte della sorgente di Ambasing – che dirige verso il sottosistema carsico meridionale una parte minoritaria della portata. Il corso d'acqua ingrossato da ulteriori apporti emerge quindi nella sorgente di Balangagan dove il tracciante risultava molto diluito. Va osservato che, a causa della struttura monoclinale accoppiata all'acquicludo basale, il sistema carsico estendendosi longitudinalmente nel carso intercetta necessariamente l'intero acquifero.

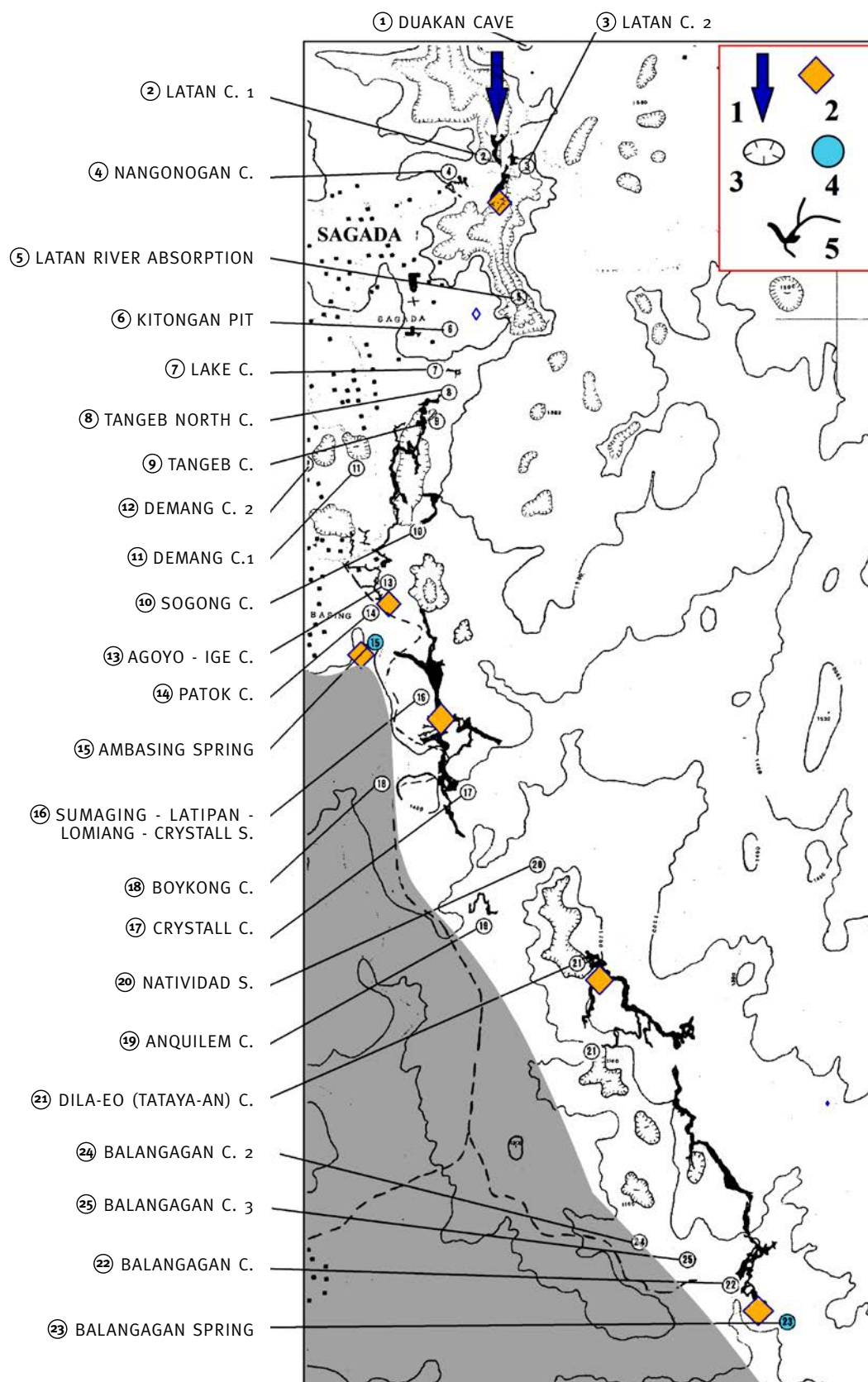


Fig. 3 – Distribuzione delle cavità e schema del test idrogeologico. 1. Punto di immissione del tracciante, 2. Fluo-captori, 3. Depressioni chiuse, 4. Sorgenti, 5. Grotte. In colore grigio i terreni non carbonatici (disegno G. Rossi)

Incrociando il risultato con le osservazioni geomorfologiche sembra plausibile asserire che la sorgente di Ambasing rappresenti un evento tardo nella storia del carso, conseguente a processi di erosione regressiva nella valle del Malitep che avrebbero sbloccato idrologicamente il fianco occidentale del carso permettendo l'instaurarsi dell'emergenza.

La struttura del sistema carsico dimostra che precedentemente a questo assetto il corso d'acqua allogenetico del Bokon defluiva verso il sottosistema meridionale attraverso grandi cavità, le cui dimensioni sono giustificabili solo da tale apporto. La diffidenza evidenziata dalla colorazione può, quindi, essere considerata un relitto del precedente assetto idro-strutturale o una nuova perdita che tende a riportare nelle condizioni originali l'attuale circolazione.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2015. Sagada '85. *Speleologia Veneta*, Allegato scientifico, 8: 192 pp.

AURELIO A.M., PEÑA E.R., 2004. Geology and mineral resources of the Philippines, vol. 1. Quezon City: Geology Department of Environmental and Natural Resources, Mines and Geosciences Bureau.

BOCCALON G., ROSSI G., 2015. Aspetti geologici ed idrogeologici del carso di Sagada. In: Sagada '85, *Speleologia Veneta*, Allegato scientifico, 8: 36-51.

FORTI P., BOCCALON G., 1986. First contribution to the knowledge of the Sagada karst area (Mountain Province-Philippines). Actas del 9° Congreso Internacional de Espeleologia, Barcelona, 1-7 agosto 1986, Barcelona, I: 27-29.

ROSSI G., 1986. A study on the karst features of Sagada Luzon Island, Philippines: Comunicacion. In: Actas del 9° Congreso Internacional de Espeleologia, Barcelona, 1-7 agosto 1986, Barcelona, I: 171-176.

Finito di stampare
nel mese di dicembre 2021
da Pierrestampa srl
www.pierrestampa.it

