



MARIO GALLI

T I M A V O

*Esplorazioni
e studi*

Trieste 1999

MARIO GALLI

TIMAVO

Esplorazioni e studi

TRIESTE 1999

Supplemento n. 23
di
Atti e Memorie della Commissione Grotte "Eugenio Boegan"

Pubblicato a cura della Direzione della Grotta Gigante

TUTTI I DIRITTI RISERVATI

Direttore responsabile: Franco Cucchi
Editrice: Società Alpina delle Giulie - Sezione di Trieste del Club Alpino Italiano
Redazione: Commissione Grotte "E. Boegan"
Via Donota, 2 - I-34121 Trieste

Stampato presso Stella Arti Grafiche s.r.l. - Trieste
Autorizzazione del Tribunale di Trieste n. 333 del 7.12.1966

Presentazione

Così come il Timavo ipogeo, le sue acque e le sue sorgenti hanno da sempre attratto studiosi, poeti, uomini di lettere e di pensiero, così la storia (e talvolta le avventure) e le idee di questi uomini che ne hanno parlato o hanno cercato di sviscerarne i segreti, attraggono altri studiosi, altri uomini di lettere e scienza.

Quest'opera è la narrazione circostanziata ed attenta, talvolta ammirata, spesso critica, sempre oggettiva, della Storia del Timavo raccontata da Mario Galli.

E non ho difficoltà ad ammettere che ho seguito con attenzione divertita e interessata il tragitto storico, l'intreccio di idee, proposte, esperimenti, discussioni, problemi.

Mentre apprendevo talune cose anche per me nuove, rivedevo sotto altra luce ed in un quadro più ampio le cose note, apprezzando l'ironica, distaccata ma partecipe analisi storica e scientifica del "faticoso cammino delle scienze" sulla idrogeologia del Fiume Timavo. Che se non è Fiume sacro alla Patria è comunque Fiume sacro alla Scienza.

Proprio la capacità di sintesi, di individuazione e di riconoscimento di quanto di valido e di non valido ma sempre essenziale allo svolgersi degli studi, è stato detto o fatto sull'argomento è caratteristica peculiare di questo volume. Caratteristica alla quale si aggiunge una scorrevolezza del testo, per me inconsueta in questo tipo di opere, che aiuta a ben comprendere anche argomenti non a tutti familiari.

Avrei voluto farlo io questo lavoro, ma è un bene che lo abbia fatto Mario.

FRANCO CUCCHI

Trieste, luglio 1999

Premessa

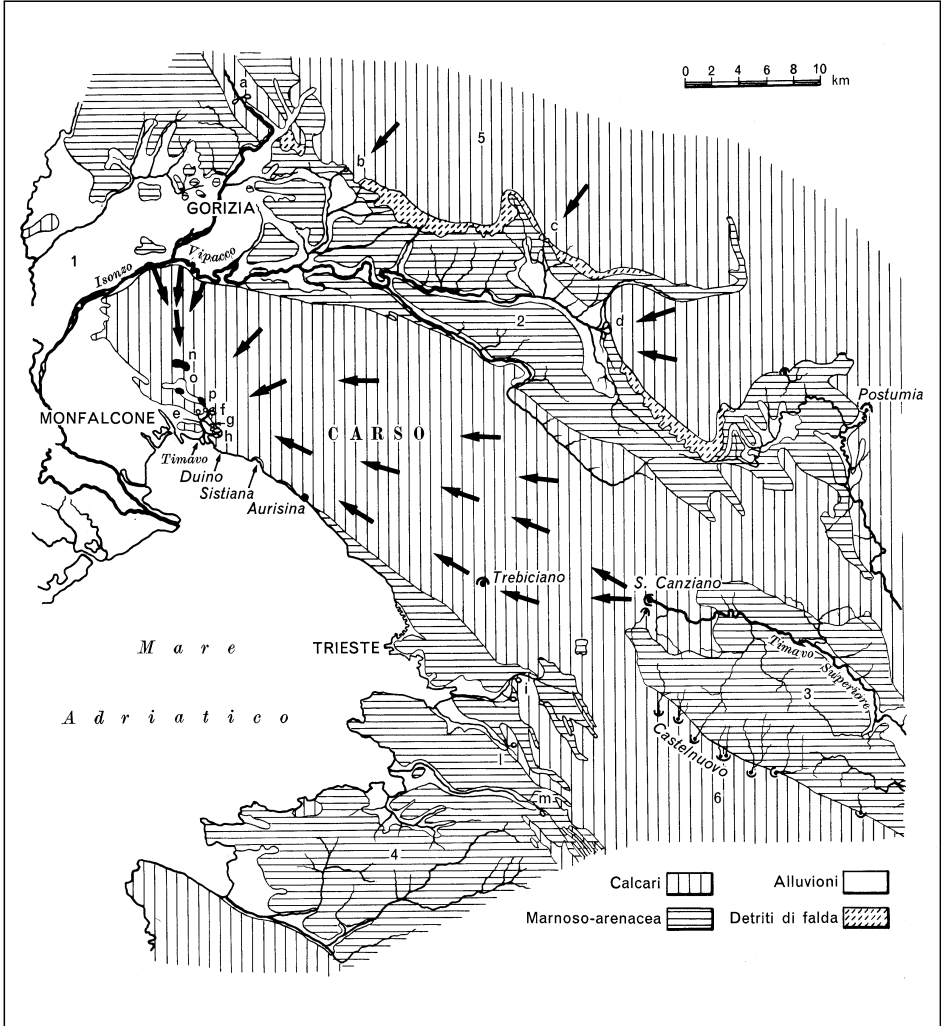
Scopo di questo lavoro è la raccolta e la sintesi di quanto di essenziale, ma disperso in una moltitudine di frammenti, è stato finora scritto sul Timavo dal punto di vista fisico e idrologico. Il mosaico delle conoscenze attuali sull'argomento viene così composto — tassello su tassello — attraverso la rassegna cronologica degli studi eseguiti, ripercorrendo il “faticoso cammino della scienza” attraverso il quale a tali conoscenze si è giunti. Questo può costituire per il curioso una sufficiente informazione sul “fiume classico dell'idrologia carsica” e al tempo stesso un orientamento di massima per chi voglia intraprendere ulteriori approfondimenti (e che in una bibliografia di centinaia di voci, dal Seicento ai nostri giorni, rischierebbe una ricerca eccessivamente dispersiva). Particolare evidenza è stata data agli indizi ed ai dati di fatto in base ai quali si sono formulate le diverse ipotesi, in modo che anche chi si accosti per la prima volta a questo genere di problemi venga accompagnato con gradualità alla loro comprensione.

Il Timavo viene qui considerato soltanto come fenomeno idrogeologico, non come oggetto di studi archeologici, mitologici, storici e in generale “antiquari” — come una volta si diceva — anche se sono state in realtà proprio queste numerosissime esercitazioni di erudizione, prima che gli studi scientifici veri e propri, a costruirne la notorietà nel mondo della cultura. Nella bibliografia essenziale alla fine del lavoro sono compresi soltanto i contributi scientifici a mio giudizio più importanti o i più notevoli tentativi di interpretazione, che nel testo sono richiamati con l'indicazione (tra parentesi) del loro numero progressivo. I lavori attinenti ad argomenti di dettaglio o a discipline collaterali, oppure aventi un carattere più generale, sono citati invece nelle note a piè di pagina. Sono considerati soltanto i lavori che presentano carattere di originalità, pertanto non compaiono i numerosissimi prodotti di compilazione e di rielaborazione, né le opere divulgative, anche se alcune obiettivamente valide. Non sono citati tutti i lavori pubblicati, ma soltanto quelli che trattano per la prima volta un determinato argomento.

Si ringraziano, per i preziosi suggerimenti, Franco Cucchi, Fabio Gemiti e Stojan Sancin.

MARIO GALLI

Trieste, luglio 1999



"Planimetria generale e schizzo geo-idrologico della regione del Carso Triestino", da: Mosesti F., Po-modoro P. (82).

Legenda: 1. piana dell'Isonzo; 2. valle del Vipacco; 3. valle del Recca; 4. flysch della piattaforma di Capodistria; 5. altopiano di Tarnova; 6. bacino di Castelnuovo. Le frecce indicano i presunti deflussi sotterranei.

Le lettere indicano le sorgenti carsiche: a. Mrzlek; b. Lijak; c. Hubelj; d. Vipava; e. Lisert; f. Moschenizze; g. Sardos; h. Timavo; i. Bagnoli; l. Ospjo; m. Risano. Inoltre i laghi carsici: n. Doberdò; o. Pietra-rossa; p. Sablici.

L'altopiano del Carso è costituito da una piattaforma carbonatica (calcarea e dolomitica) con direzione assiale da sud-est a nord-ovest, in conformità all'orientamento delle strutture dinariche. L'altitudine media decresce regolarmente verso nord-ovest dai 500 metri del bacino di Castelnuovo ai 100 metri del Carso isontino.

Lungo il margine nord-orientale alla piattaforma carbonatica è addossata una successione arenaceo-marnosa (flysch) che si estende dalla piana di Gorizia, dove è sepolta sotto un modesto spessore di terreni alluvionali, lungo la valle del Vipacco fino alla conca di Postumia ed alla valle della Piuca. Solo a tratti manca l'interposizione del flysch tra i calcari e i depositi alluvionali degli alvei fluviali; tale situazione, di notevole interesse idrologico, si verifica dalla confluenza Isonzo-Vipacco fino a circa due chilometri oltre il confine di stato e nella valle del torrente Raša.

Le rocce arenaceo-marnose costituiscono gran parte del bacino imbrifero del Recca ed i rilievi della dorsale spartiacque tra questo ed il bacino di Castelnuovo, nel quale scendono modesti torrenti che vengono inghiottiti al contatto con la roccia calcarea del "fondovalle" carsico. Dai rilievi del M. Nevoso, il Recca scorre in superficie per circa 55 chilometri prima di scomparire nell'inghiottitoio di S. Canziano; negli ultimi chilometri il fiume incide le rocce calcaree e comincia a perdere portata nelle numerose infiltrazioni subalvee.

Lungo il margine sud-occidentale dell'altopiano, dalla val Rosandra alla regione sorgentifera del Timavo, la roccia calcarea è quasi ovunque "arginata" dal flysch che di fatto, lungo la costa, impedisce un esteso condizionamento della superficie piezometrica dell'acqua carsica da parte del livello del mare (oltreché l'ingresso dell'acqua marina alla base del massiccio carsico e la fuoriuscita dell'acqua dolce).

Soltanto nel tratto fra la baia di Sistiana e il Timavo, il calcare si trova a diretto contatto con il mare.

Dal Timavo alla confluenza Isonzo-Vipacco il margine nord-occidentale dell'altopiano è tamponato dai depositi alluvionali della pianura; nella piana di Ronchi, attraverso di essi avviene una circolazione idrica da e verso il Carso, a seconda dei regimi idrologici, mentre lungo l'alveo dell'Isonzo e nella piana di Gorizia i deflussi sono prevalenti verso l'interno dell'altopiano.

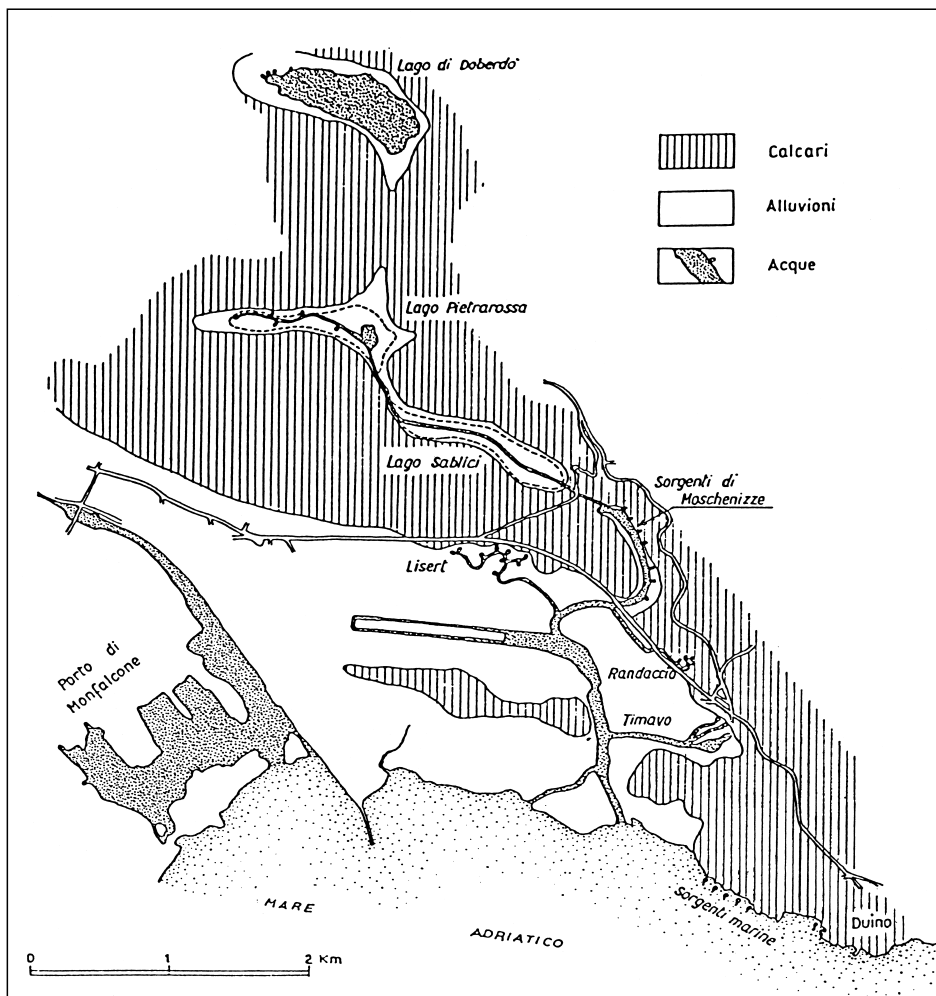
Dalla piana di Gorizia al lago di Doberdò l'incisione del "vallone" separa il Carso isontino dal resto dell'altopiano, il quale a sua volta si presenta incavato da due lunghe depressioni longitudinali, una parallela al ciglione costiero ("solco di Aurisina"), l'altra coincidente con la zona assiale del Carso ("solco di Brestovizza"); le due depressioni sono separate tra loro dalla dorsale collinare attualmente percorsa dal confine di stato.

Provenienti da bacini diversi, le acque carsiche vengono alla luce nella regione sorgentifera del Timavo, dove la massa rocciosa si presenta dislocata da superfici di discontinuità aventi direzione trasversale agli assi strutturali e alle linee preferenziali dei deflussi sotterranei. Non sono ancora chiarite le eventuali relazioni idrologiche tra il sistema sotterraneo del Timavo e il bacino della val Rosandra (il torrente perde nel tratto inferiore dal 50 all'80% della sua portata) ed il bacino carsico di Castelnuovo, normalmente tributario delle sorgenti dell'Istria settentrionale e del golfo di Fiume. L'alimentazione del sistema carsico è costituita dall'infiltrazione primaria, che deriva dalle precipitazioni meteoriche (da 1400 a 1630 mm annui) e dall'infiltrazione secondaria degli apporti fluviali diretti e dei deflussi di subalveo dell'Isonzo e del Vipacco. Il drenaggio principale è sviluppato in un sistema di ampie condotte, in parte sotto il livello del mare, localizzato nel solco di Aurisina (cioè la parte dell'altopiano compresa entro l'attuale confine di stato). Il corso del Timavo è citato nella manualistica come un esempio classico di "drenaggio sotterraneo concentrato"; si veda: Belloni S., Martinis B., Orombelli G. (1972): Karst of Italy, in Herak M., Stringfield V.T. citato nella nota 94. Un'altra importante direttrice di drenaggio è sviluppata in corrispondenza del "vallone" di Doberdò, ma le sue caratteristiche sono meno note.

La fuoriuscita dell'acqua dal bacino carsico avviene attraverso un gruppo di risorgive principali, da sorgenti minori e da "un diffuso insieme di sorgenti marine costiere" che si estendono tra le sorgenti di Aurisina e le risorgive del Timavo. Le sorgenti minori (Aurisina, Sardos e Moschenizze Sud) risultano essere più o meno indipendenti dal sistema principale del Timavo, alimentate da circuiti idrici locali costituiti da una rete di piccole canalizzazioni e fratturazioni della roccia. La relativa costanza dei parametri chimici e termici dimostra una circolazione più lenta, soltanto marginalmente influenzata dai drenaggi principali e per lo più soltanto in regime di piena.

I laghi di Doberdò, Pietrarossa e Sablici (quest'ultimo ridotto a palude) costituiscono un articolato complesso di polje carsici al livello di base nei quali affiora l'acqua di fondo, alimentata dalla falda della piana dell'Isonzo e dall'infiltrazione superficiale sul Carso isontino; i punti di deflusso sono situati nella zona attigua alle risorgive del Timavo, in direzione di Monfalcone.

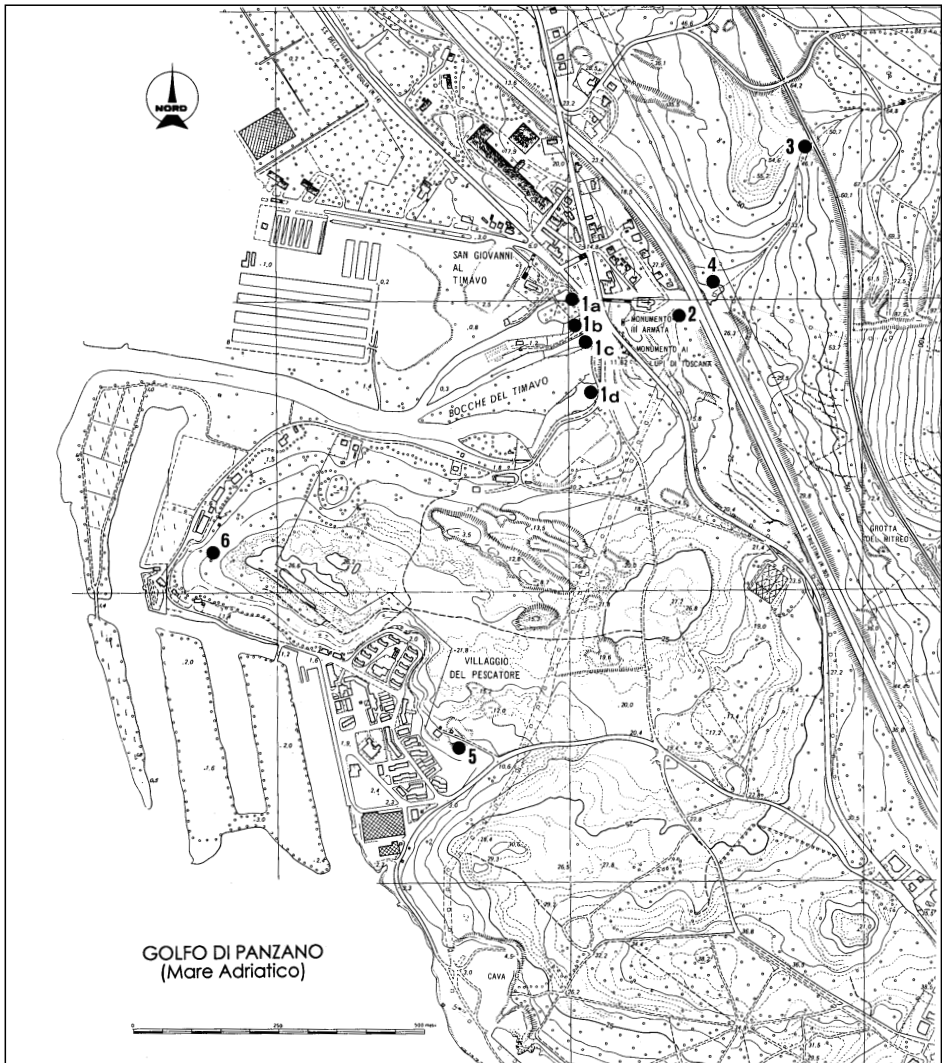
Dopo i lavori di sistemazione idraulica, i laghi di Pietrarossa e di Sablici sono collegati da un canale di drenaggio che scarica, attraverso una galleria artificiale, nel vallone di Moschenizze. Lungo quest'ultimo, l'acqua dolce scorre nell'ampio canale del Locavaz sopra un fondo di acqua marina. La portata media delle risorgive del Timavo è di circa 30 mc/sec, delle sorgenti Sardos e Moschenizze Sud di 2 mc/sec, delle sorgenti Moschenizze Nord, Sablici e Lisert di 3 mc/sec complessivamente (ma l'acqua delle sorgenti del Lisert è in parte la stessa del lago di Sablici).



“Dettaglio della zona delle risorgive costiere”; da: Mosetti F., Pomodoro P. (82).

Le sorgenti di Moschenizze, che non drenano tutta acqua carsica della medesima origine, scaturiscono nel vallone percorso dal canale del Locavaz, emissario — dopo la sistemazione idraulica della zona — dei laghi di Pietrarossa e di Sablici. Allo sbocco del vallone, il canale del Locavaz confluisce nel collettore dragato della bonifica del Lisert, nel quale scaricano le stesse risorgive del Timavo.

Randaccio è il nome cui è intitolato l'impianto di presa dell'acquedotto di Trieste (sorgente Sardos o Sardoč). La linea di costa tra il porto di Monfalcone e la foce del Timavo è stata notevolmente modificata negli ultimi trent'anni, con grandi lavori di interrimento e di regolazione. Il lago di Sablici, ridotto a palude, è oggi in parte ostruito dalla sede dell'autostrada.



Dettaglio della zona delle risorgive del Timavo. 1a - 1b: ramo primo; 1c: ramo secondo; 1d: ramo terzo; 2: grotta del Timavo (4583 VG); 3: pozzo della Ferrovia (226 VG); 4: pozzo dei Colombi (227 VG); 5: grotta nuova del Villaggio del Pescatore (5842 VG); 6: grotta della Peschiera del Timavo (3948 VG). Da: Stoch F., Dolce S. (1994): Progetto Timavo; risultati delle indagini sulla fauna delle acque sotterranee, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste 31/1992-93: 59-71 (modificato).

Timavo - esplorazioni e studi

I precursori

Nell'immaginario collettivo il Timavo è, da tempi remoti, il fiume misterioso che scompare in una grandiosa voragine, dopo un lungo percorso in superficie, e ricompare poi nelle famose fonti citate nell'Eneide, dove gli antichi veneravano le acque risorgenti.

Consolidata nella tradizione popolare, la certezza della connessione del Timavo con il Recca¹ che s'inabissa nelle grotte di S. Canziano² viene accettata dalla cultura ufficiale fin dai tempi dell'antichità classica ed è celebre il passo di Strabone che fa esplicito riferimento alla "voragine" dell'inghiottitoio. Importanti rappresentazioni cartografiche del Cinque- e Seicento evidenziano con particolare rilievo la continuità sotterranea del fiume, che troverebbe conferma "nell'intorbidarsi e gonfiarsi a ciel sereno e senza piogge locali"³ delle risorgive; ne sarebbero sicuri indizi anche le foglie d'albero e i frammenti di rami che talvolta emergono durante le piene, a parte le solite favole di animali precipitati in qualche grotta del Carso e ritornati alla luce nelle fonti di S. Giovanni di Duino.

Intorno al Timavo fiorisce una vasta produzione letteraria, priva però di veri e propri intendimenti scientifici: gli eruditi di vario calibro che per due secoli, fino alla metà dell'Ottocento, dissertano sull'argomento, lo trattano in realtà — insensibili agli echi della cultura illuministica — come un tema di geografia storica. Il pro-

1. Traslitterazione in forma italiana del nome sloveno Reka, che però non significa altro che "fiume"; dopo la seconda guerra mondiale è chiamato "Notranjska Reka", il "fiume del Notranjsko" (letteralmente "la regione interna") o anche "Velika Voda", la "grande acqua". Viene qui mantenuta la forma Recca, sia pure obsoleta, perché così la si trova nella maggior parte delle pubblicazioni sull'argomento.

2. Per la toponomastica ufficiale si veda il glossario alla fine del lavoro. Non si ritiene opportuno appesantire il testo con la doppia versione dei toponimi, seguendo invece il criterio di usare i nomi di luogo nella lingua che si sta parlando, come collaudato in Svizzera da una secolare esperienza di rapporti interetnici.

3. Filiati J. (1781): *Saggio sopra i Veneti Primi*, Venezia, 1:132.

blema principale è infatti se il Timavo dei testi classici sia il medesimo dei tempi moderni o non piuttosto il Brenta, il Tagliamento o l'Isonzo attuali, oppure il mitico Istro, se il numero e la grandiosità delle sue sorgenti corrispondano sempre alle antiche narrazioni, se gli Argonauti vi si siano fermati o meno. Non si esita inoltre ad indulgere al sensazionale: l'acqua tanto fredda da spezzare le bottiglie di vetro, l'acqua salmastra, di cattivo sapore o comunque nociva alla salute, la presenza di strani serpenti o addirittura di coccodrilli, di uova gigantesche e così via. Viene poi ripresa da vari autori l'ipotesi, formulata da Athanasius Kircher⁴, di un canale sotterraneo che si diparte dalle profondità dell'altopiano del Carso per sfociare direttamente nel golfo di Trieste; è un tentativo di spiegare il presunto crescere e decrescere del Timavo in relazione al flusso e riflusso del mare, come narrato dagli autori antichi. L'aumento del livello e della pressione dell'acqua marina impedirebbe il regolare deflusso del canale sotterraneo, causando l'aumento di portata delle risorgive del Timavo, che al contrario durante il riflusso dovrebbe diminuire (nella realtà si verifica il contrario, trattandosi di una sorgente di trabocco e non esistendo l'ipotetico canale).

La sola osservazione naturalistica che ricorrentemente compare e sulla quale tutti concordano — da Johann Weichard Valvasor⁵ in poi — è la grande differenza di portata all'inghiottitoio e alle risorgive: in condizioni normali a S. Canciano entra un fiumiciattolo ed al Timavo esce una massa d'acqua veramente cospicua. Si alimentano pertanto le ipotesi di più complesse relazioni idrologiche: potrebbe essere tributario del Recca sotterraneo anche il lontano lago temporaneo di "Circhnizza" (Cerknica), famoso per la sua pescosità e per il suo repentino formarsi e scomparire, lasciando il posto ad una distesa di 3000 ettari di campi che vengono subito coltivati; anatre vive gettate nel lago sarebbero "comparse dopo qualche tempo sane e vispe giù per la corrente del Timavo"⁶. La differenza di portata alimenta anche i primi dubbi sulla reale connessione del Recca con le risorgive del Timavo: ancora nel 1553 Giacomo Valvasone, nel *Discorso de' Bagni di Monfalcone e del Fiume Timavo*, sostiene che "la copia maggiore e perenne di tutte le sette bocche di Duino derivi occultamente dal lago di Dobradò" e Giacomo Filippo Tommasini, vescovo di Cittanova, così scrive a metà del Seicento: "l'acqua che corre fino a S. Canciano ed ivi sprofonda in una gran cava sotterranea poi risorge, come

4. Kircher A. (1678): *Mundus subterraneus, Liber V. Miracula aquarum*, Amstelodami (Amsterdam), 1:303-304.

5. Valvasor J.W. (1689): *Die Ebre des Hertzogthums Crain*, Laybach (Ljubljana), 1:275-277.

6. Bianchini G.F. (1754): *Osservazioni intorno all'uso dell'elettricità celeste e sopra l'origine del fiume Timavo riportata in due lettere*, Venezia, 54.



Tavola dell'atlante dell'Ortelio (Abraham Oortel, 1575) "Theatrum Orbis Terrarum". Da una precedente carta di Wolfgang Lazius del 1561, viene riportata la scritta in corrispondenza di S. Canziano (S. Kazan, storpiato in S. Rasan): "ubi Recca flu. absorbetur et in Timavi fontibus erumpit". Altre carte successive, tra cui la celebre carta del Mercatore (Gerard Kremer, 1589) pubblicata in varie opere fino alla metà del Seicento, portano una scritta analoga in corrispondenza del Timavo: "Timavus flu. in cuius fontes Recca flu. per subterranea erumpit".

dicono chi a Duino e chi sotto Poppecchio dove comincia il fiume Risano”⁷, mentre Johann Ludwig Schönleben osserva come non sia facile stabilire “dove nuovamente riemerge ciò che una volta nella terra si è internato”⁸. Viene comunque superata la concezione degli autori classici di un “sistema chiuso” — si direbbe oggi — tra inghiottitoio e risorgive, le quali sarebbero invece alimentate da acque sotterranee “diverse e da diversi luoghi veggenti, poiché tutto l’interno paese abbonda di queste”⁹.

Un primo esame del problema su basi razionali lo si deve al medico udinese Giovanni Fortunato Bianchini, che nelle sue *Osservazioni sopra l’origine del fiume Timavo* tocca alcuni punti fondamentali dell’idrologia sotterranea del Carso: il contributo della percolazione delle precipitazioni atmosferiche attraverso la massa rocciosa e soprattutto il concetto di “ritenzione idrica”, problema-chiave degli studi successivi sull’argomento e ai nostri giorni ancora controverso. Egli infatti giunge alla conclusione che il Timavo non riceva il contributo di altri fiumi sotterranei oltre al Recca e che la sua maggiore portata rispetto a questo derivi interamente dalle acque meteoriche cadute sull’altopiano, precisando che queste possono defluire soltanto molto lentamente, attraversando l’intero spessore della massa rocciosa. Bianchini riporta nel suo lavoro un documento prezioso, da lui trovato nell’archivio del Castello di Duino: la copia di una lettera scritta nel 1602 da certo padre Pietro Imperati¹⁰ ed inviata ad un naturalista di Bologna, probabilmente Ulisse Aldrovandi. Dalla lettera risulta che il religioso alla fine del Cinquecento aveva effettuato dei veri e propri esperimenti di “marcatura” delle acque del Recca, impiegando foglie e paglia sminuzzata.

Nel 1826 l’abate Giuseppe Berini, uno dei primi studiosi di botanica della nostra regione, pubblica un lavoro sul Timavo destinato a lasciare impronte durature¹¹. In una singolare commistione di riferimenti archeologici, di erudite citazioni dei classici e di osservazioni naturalistiche di un certo interesse, Berini collega la presenza alle risorgive del Timavo di un particolare muschio (la *Fontinalis capilla-*

7. Cucagna A. (1959): *Le conoscenze dei fenomeni carsici nella Venezia Giulia sino alla metà del secolo XVII*, Istituto di Geografia dell’Università di Trieste, pubbl. n. 3, 1-31.

8. Schönleben J.L. (1681): *Carniolia Antiqua et Nova*, Labaci (Ljubljana), 136.

9. Filiati J. (1781): *Saggio sopra i Veneti Primi*, Venezia, 1:131.

10. Nella bibliografia italiana viene ricordato sempre, dal Settecento in poi, come Imperati, ma potrebbe anche trattarsi, come osservano gli studiosi sloveni, di una declinazione di Imperato, l’autore *Dell’historia naturale* stampata a Napoli nel 1599.

11. Berini G. (1826): *Indagine sullo stato del fiume Timavo e delle sue adjacenze all’inizio dell’era cristiana*, Udine, 5-64.

cea, caratteristica — secondo lui — delle rive dell'Isonzo) e il colore delle torbide durante le piene (giallastro come le marne della valle del Vipacco) per formulare un'ipotesi fantasiosa, che però trova largo seguito per più di mezzo secolo. Egli sostiene che l'Isonzo al tempo dei romani non sarebbe giunto fino al mare, ma avrebbe formato un grande lago nella piana di Gorizia, alla confluenza del Vipacco. Privo di emissari in superficie, questo lago avrebbe scaricato, attraverso un sistema di ampie gallerie carsiche, direttamente nelle risorgive del Timavo: in tal modo sarebbe spiegata la grandiosità delle sorgenti di questo fiume, come si trova descritta dagli autori antichi. Soltanto dopo l'intasamento delle gallerie sotterranee — e la conseguente tracimazione del lago — l'Isonzo si sarebbe aperto un percorso in superficie attraverso la pianura fino a sboccare nell'Adriatico.

Berini non esclude in seguito un eventuale apporto del Recca alle risorgive del Timavo¹², in risposta ad una critica del suo lavoro, lucida e circostanziata (probabilmente scritta da Domenico Rossetti¹³), nella quale tra l'altro si sottolinea, a proposito della *Fontinalis capillacea*, quanto segnalato "dall'illustre botanico Dr. Schow, che tutte perlustrò queste nostre regioni nell'anno 1816"; egli infatti "la trovò presso la voragine del fiume Recca ed assicurò di non averla ritrovata altrove, se non che alle rive appunto del Timavo".

Sul problema di questo "tracciante biologico" (come lo si chiamerebbe ai nostri giorni) interviene anche Bartolomeo Biasoletto, farmacista e botanico, per molti anni punto di riferimento della vita scientifica triestina. Egli ritiene che la *Fontinalis capillacea* sia una "pianta dubbia" e corrisponda in realtà al *Trichostomum fontanilloides*. "La stessa crittogama — egli scrive — ritrovasi al fiume Recca presso San Canziano, raccolta da me tanto alle sponde di quel fiume quanto a quelle del Timavo"¹⁴. Giuseppe Berini deve essere piuttosto ricordato per i suoi studi botanici e per essere stato il primo ad identificare il *Proteus anguinus* nel bacino del Carso. Si tratta di un esemplare pescato nel 1825 in un pozzo nell'abitato di Gradisca, una grotta allagata, aperta accidentalmente nel Quattrocento durante uno scavo e da allora sempre usata per attingervi l'acqua potabile¹⁵. Per quanto sulla destra del-

12. Varietà - *Ricerche topografiche*, di G. Berini, "L'Osservatore Triestino", Trieste, 10.5.1827, n. 147, 588.

13. Varietà - *Indagine sullo stato del Timavo ecc.*, "L'Osservatore Triestino", Trieste, 24.4.1827, n. 140, 560.

14. Varietà - *Botanica*, "L'Osservatore Triestino", Trieste, 12.5.1827, n. 148, 592.

15. Il "pozzo dei Frari" serviva fino a pochi anni fa per l'alimentazione dell'acquedotto cittadino; si vedano: Martinis B. (1953): *Fenomeni carsici nel sottosuolo di Gradisca d'Isonzo*, "Rassegna Speleologica Italiana", Milano, 5(3):102-104.

Martinis B. (1962): *Ricerche geologiche e paleontologiche sulla regione compresa tra il T. Judrio e il F. Timavo (Friuli orientale)*, "Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia", Milano, 157.

l'Isonzo, cioè sulla sponda opposta rispetto all'altopiano del Carso, qui il substrato calcareo si trova infatti a pochi metri di profondità sotto il manto alluvionale. Successivamente il proteo viene segnalato in altri tre pozzi vicini e in varie località del Carso isontino¹⁶.

Inizia lo studio delle risorse idriche

Il Timavo e le acque del Carso cominciano però in questo periodo ad essere studiati con un approccio diverso. Motore delle nuove ricerche è il problema del rifornimento idrico di Trieste, città in continua espansione da quando è diventata l'emporio marittimo dell'Impero Austriaco. Costruito a metà Settecento, il piccolo acquedotto "teresiano" (voluto dall'Imperatrice Maria Teresa per alimentare la Città Nuova, che anch'essa oggi porta il suo nome) si è rivelato subito insufficiente e ben presto si sono intrapresi lavori di potenziamento e scavi di assaggio nel territorio circostante. L'acquedotto raccoglie — con una serie di gallerie — le piccole vene d'acqua nelle pendici della valle di S. Giovanni di Guardiella, ai piedi dell'altopiano del Carso. Si tratterebbe, nella radicata convinzione popolare, di un vero e proprio ramo del Recca sotterraneo: "Consta che le acque del fiume Raca (sic) passano sotto il monte Staribrech e dopo vario e tortuoso raggio vanno a cadere in San Giovanni di Duino. Sotto il detto monte, vicino alla cappella denominata dei Santi Giovanni e Pellagio sorte un ramo di questo fiume, che mediante un Acquedotto formato da tubi o canaletti di legno viene condotto alle fontane pubbliche di questa città"¹⁷. È il fiume favoloso della leggenda delle Porte di Ferro, anticamente costruite, si racconta, per impedirne le piene rovinose. "L'origine di quest'acque — scrive infatti il religioso Giovanni Manarutta nella prima opera a stampa sulla storia di Trieste¹⁸ — con la moltitudine delle vive sorgenti che uscendo hor in un loco, hor nell'altro a procurarsi l'esito nella valle ... non può ad altro principio attribuirsi che al Fiume Racca"¹⁹...".

16. Marchesetti C. (1875): *Di alcune nuove località del Proteus anguinus Laur.*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 1(5):192-193.

17. Cratey A. (1808): *Perigrafia dell'origine dei nomi imposti alle androne, contrade e piazze di Trieste*, Trieste, 10.

18. *Historia Antica e Moderna, Sacra e Profana della città di Trieste ...*, opera del R.P. F. Ireneo della Croce, Venetia, 1698, 262.

19. Ecco l'origine del Raca di Antonio Cratey: gli errori servono da traccianti nel grande flusso della produzione bibliografica.

La mancanza d'acqua diventa di gravità eccezionale nell'estate del 1828, dopo 15 mesi consecutivi di siccità. Viene istituita una commissione permanente per studiare la soluzione del problema e per la prima volta si esaminano in maniera sistematica tutte le risorse idriche del territorio: le sorgenti di Zaule, della val Rosandra ("Klinziza" e Podjama), di Dolina, le gallerie dell'acquedotto teresiano e altre di assaggio nella valle di Longera, "le sorgenti presso il lido del mare fra S. Croce e Duino e l'acqua del Reka presso S. Canciano". Si effettuano valutazioni della quantità e qualità dell'acqua, analisi chimiche e misure altimetriche, concludendo che le sole "meritevoli di essere poste a calcolo" siano le sorgenti "di Bolunz e di Dolina", che però risultano insufficienti ai bisogni della città e di utilizzazione eccessivamente costosa.

In quell'anno il "civico fontaniere" Giacomo Svetina esegue alcuni scavi alla ricerca delle Porte di Ferro e un certo Matteo Bilz intraprende grandi lavori in alcune grotte del Carso seguendo correnti d'aria e lontani rumori²⁰, "finché esausto di mezzi pecuniari, combattuto dal proprietario del fondo, bersagliato dai creditori, dovette abbandonare quest'impresa"²¹.

Dopo qualche anno di provvedimenti palliativi e dispersivi, nel 1835 viene chiamato a Trieste l'ing. Anastasio Calvi di Milano, esperto di problemi idraulici, per decidere quale acquedotto realizzare tra le diverse possibilità esistenti. A conclusione dell'esame dei vari progetti e di una serie di sopralluoghi sul territorio, egli esprime parere favorevole per l'acquedotto della val Rosandra, che dovrebbe allacciare le sorgenti già utilizzate in epoca romana e seguire grosso modo il tracciato delle antiche canalizzazioni (identificate ancora nel 1815 da Pietro Nobile, in vista di un loro ripristino²²).

L'architetto triestino Pietro Nobile, consigliere di corte a Vienna e direttore dell'Accademia delle Belle Arti, organizza nel 1835 una marcatura del Recca con paglia sminuzzata e galleggianti ("corpi di legno di diversa figura appositamente data"); alle risorgive del Timavo "per vari giorni furono tenute delle reti fittissime e gente di sorveglianza" ma senza alcun risultato. Pietro Nobile aveva effettuato un altro simile tentativo alcuni anni prima, probabilmente quello menzionato da Car-

20. Marini D. (1981): *Prima ricerca dell'acqua sotterranea del Carso*, "Alpi Giulie", Trieste, 75:60-66.

21. Kandler P. (1863): *Li Aquedotti*, in: Storia cronografica di Trieste del canonico D. Vincenzo Scussa triestino, Trieste. Ristampa 1968, 257.

22. Farolfi (de) F. (1965): *Gli acquedotti romani di Trieste*, "Atti e Memorie della Società Istriana di Archeologia e Storia Patria", Venezia (estr. di 75 pp.).

Kandler P. (1851): *Acque sotterranee del Carso*, "L'Istria", Trieste, 6(12):49-51.

lo Catinelli²³, il quale scrive (dopo aver ricordato gli esperimenti di padre Imperati): “ripresi alcuni anni fa gli stessi esperimenti, non se n’ebbe il risultato che se ne sperava e i galleggianti che vi si impiegarono e che colla Recca s’inabissarono nella grotta di S. Canziano non mai nel Timavo ricomparvero”.

Questi risultati negativi inducono gli amministratori cittadini a dubitare della connessione del Recca con il Timavo e a ritenere più probabile quella con le sorgenti della val Rosandra e del Risano. Muzio Tommasini, a quel tempo “assessore magistratuale”, considera necessaria una nuova prova di marcatura del Recca per “riconoscere il preciso smaltimento” delle sue acque e per “stabilire la derivazione delle sorgenti di Klinciza, Bolunz e Dolina contemplata per l’acquedotto in progetto”.

Giuseppe Sforzi, ancora “disegnatore” — ma futuro direttore — della Civica Ispezione Edile di Trieste, studia le modalità della nuova marcatura e propone, forse per la prima volta nella storia delle ricerche idrologiche, l’impiego di “materie coloranti” da abbinarsi eventualmente all’impiego di “materie galleggianti”, come il sughero, la pietra pomice e il legno di quercia, di diverso peso specifico. Tra le materie coloranti consiglia il solfato di ferro e gli estratti del “legno campeggio” e della radice di curcuma, identificabili anche in soluzioni molto diluite con l’impiego di opportuni reagenti. Sforzi precisa che “gli esperimenti dovrebbero essere intrapresi nel tempo di siccità, stazionando delle persone di cognizione con ajuto di manovali alle sorgenti seguenti: al Risano, al Ospò, alla Podjama, alla Klincizza ed al Timavo”. Per ottenere delle direttive pratiche sull’esecuzione degli esperimenti, che Muzio Tommasini giudica “operabili nel breve spazio di due o tre giorni” (non conoscendosi ancora niente sulla velocità di deflusso dell’acqua carsica), viene interpellato Giuseppe de Volpi, direttore dell’Accademia di Commercio e Nautica di

23. Catinelli C. (1830): *Sull’identità dell’antico coll’odierno Timavo*, “Archeografo Triestino”, Trieste, 2:379-405 (390). (L’autore effettua il primo tentativo di calcolare la portata del Timavo, con una (!) misurazione “ad acque medie” di 56 metri cubi al secondo “che è la portata di una Brenta magra sotto al ponte di Bassano”).

Nella pagina a fronte: “Vue de l’abyme ou la Ruecca se perd, à 600 pieds au dessus de St. Canciano”; da: Lavallée J. (1802): Voyage pittoresque et historique de l’Istrie et la Dalmatie, Paris.

La classica incisione di L.F. Cassas rappresenta il fondo della “grande voragine”, dove il fiume inizia il suo percorso sotterraneo, già allora mèta dei pur rari visitatori. Vi si giungeva, con l’aiuto delle guide, lungo itinerari vertiginosi; appena nel 1823 veniva costruito un sentiero vero e proprio, sia pur malagevole, per iniziativa del consigliere distrettuale Matej Tominc (Landrath Tominz) di Sesana. Nella vicina osteria Maborčič dal 1819 veniva tenuto un libro dei visitatori; si veda: Moser L.C. (1887): Das Fremdenbuch von St. Canzian, “Mitteilungen der Section für Höhlenkunde”, (1):8-9.



Trieste²⁴. Egli esprime parere favorevole per l'estratto di curcuma e ne calcola la quantità necessaria per tingere 500.000 orme d'acqua, consigliando di abbondare per premunirsi contro eventuali filtrazioni e diluizioni impreviste. Nell'aprile 1837 viene autorizzata la spesa per l'esecuzione dell'esperimento con i coloranti, ma per la "soverchia abbondanza dell'acqua" questo viene procrastinato e l'iniziativa non sarà più ripresa. Durante il suo soggiorno a Trieste, Anastasio Calvi esegue anche un sopralluogo alle voragini di S. Canziano e respinge il progetto di Francesco Bruyn — basato su di una livellazione imprecisa — per una condotta del Recca dalla "Parrocchia di Wrem" (Gornje Vreme) a Trieste in una canalizzazione sulla superficie del Carso. Giuseppe Sforzi elabora in alternativa un nuovo progetto di acquedotto del Recca in galleria — presentato nel gennaio 1837 — precisando che, allo scopo di ridurre la lunghezza dello scavo, "sarebbe da penetrare quanto più possibile nella caverna a S. Canziano per esplorare il punto più lontano nel quale la galleria avrebbe il suo principio". La ricerca del fiume sotterraneo in un punto più vicino alla città è del resto un argomento di attualità nella Trieste del tempo, assillata dal problema dell'approvvigionamento idrico. Alle autorità comunali giungono in quegli anni diverse segnalazioni di indizi dell'acqua sotterranea sul Carso ("Percedou", "Klutsch" ecc.) ma buon pretesto per non farne nulla è il precedente creato dallo sfortunato tentativo di Matteo Bilz.

Lindner e la grotta di Trebiciano

In quello stesso 1837 inizia una sistematica perlustrazione del Carso l'ingegnere "montanistico" (minerario) Anton Friedrich Lindner, da qualche anno in servizio a Trieste presso l'Imperial Regia Fattoria dei Rami (Ufficio Saggio Metalli). Raccoglie dagli abitanti dell'altopiano ogni utile indicazione per individuare il corso del fiume sotterraneo, soprattutto i punti dove, durante i periodi di piena, si sprigionano improvvise correnti d'aria provocate dall'acqua rimontante nella profondità della massa rocciosa. Gli viene quindi presentato, come persona utile "per l'ispezione di parecchie caverne e grotte esistenti nelle vicinanze della nostra città", il civico fontaniere Giacomo Svetina²⁵.

24. Galli M. (1985): *Speleologia*, in: Enciclopedia Monografica del Friuli Venezia Giulia, 1. Aggiornamento, Udine, 243-276.

25. Una breve biografia viene pubblicata, lui ancora vivente, in uno dei primi giornali sloveni di Trieste ("Ilirski Primorjan", 1866 n.5) con il titolo di *Nek našinec* (Uno dei nostri). Si veda anche: Savnik R. (1968): *Matej Tominc in Jakob Svetina. Prispevek k zgodovini raziskovanja Škocjanskih jam*, "Naše Jame", Ljubljana, 9/1967(1-2):66-67.

Lindner e Svetina nel 1839 effettuano insieme una serie di esplorazioni²⁶, senza risultati di rilievo, per proseguire poi le ricerche ciascuno per proprio conto, con un saltuario rapporto di collaborazione. Dopo lunghi preparativi, il 14 giugno 1840 Svetina e i suoi lavoranti, muniti di due canoe, realizzano la prima “navigazione sotterranea” nella grotta di S. Canziano. Si dirà in seguito che non avessero superato i 120 metri dall’ingresso²⁷, però — a parte le distanze esagerate — la sua segnalazione che il canyon sotterraneo ad un certo punto cambia decisamente direzione per girare ad ovest, corrisponde in effetti alla realtà.

Lindner, “dopo varie deluse speranze e scoraggianti sperienze, che però non rimasero senza influsso sulla finale riuscita”²⁸, concentra gli sforzi in una cavità fra Orlek e Trebiciano²⁹, al cui ingresso le pietre “portano le più evidenti tracce di un cambiamento il quale non poté venir prodotto che dalla continua azione dell’esalazione delle acque”³⁰. Seguendo la guida delle correnti d’aria vengono allargati una serie di passaggi impenetrabili, a forza di braccia e di mine, in una successione di pozzi che porta a sempre maggiore profondità; procurare le scale di corda occorrenti non è un problema nella Trieste della navigazione a vela. Ad un certo punto gli sforzi e le speranze sembrano arenarsi sul fondo di una caverna senza sbocco, ma la prosecuzione viene trovata più in alto, in una “finestra” in parete verso la quale sono attratte le fiamme delle fiaccole. A cinque mesi esatti dall’inizio dei lavori, il 6 aprile 1841, finalmente due operai, il cavatore di Trebiciano Luca Kral, “giovannotto villico di incredibile ardire” e il minatore di Idria Antonio Arich, scendono nel quindicesimo pozzo e raggiungono una grandiosa caverna al cui fondo scorre davvero — sia pure per un breve tratto e con una corrente appena percettibile — una massa d’acqua considerevole. Per Lindner non ci sono dubbi: si tratta del corso sotterraneo del Recca. Con intuizione e tenacia, ma anche con la fortuna di non aver incontrato mai ostacoli insormontabili, al primo serio tentativo l’acqua

26. Galli M. (1991): *La grotta di Padriciano*, Atti del Simposio Internazionale sulla Protostoria della Speleologia, Città di Castello, 105-111.

27. Müller F. (1887): *Führer in die Grotten und Höhlen von Sanct Canzian bei Triest und Notizien über den Lauf der Reka*, Triest, 83.

28. Medeot L.S. (1967): *Documenti inediti e biografie per una storia della speleologia (Friuli-Venezia Giulia)*, “Mondo Sotterraneo”, Udine, 55-90.

29. Villaggio del territorio di Trieste; Trebich nella cartografia dell’epoca e in gran parte della letteratura sull’argomento.

30. Lindner A.F. (1841): *Corso sotterraneo del fiume Recca, suo ritrovamento presso Trieste e progetto di trarne un canale a beneficio della città*, “Giornale dell’I.R. Istituto Lombardo di Scienze Lettere ed Arti e Biblioteca Italiana”, Milano, 2(4):116-121.

del Carso viene dunque trovata³¹. A questa grande scoperta (per ottant'anni sarà la grotta più profonda di quelle conosciute) Trieste deve il nascere del proprio prestigio nel campo dell'esplorazione speleologica e l'idrologia del "Carso classico" compie il suo ingresso ufficiale nel mondo scientifico. In una seduta della Quarta Riunione degli Scienziati Italiani, a Padova, il 26 settembre 1842 Domenico Rossetti — il decano della vita culturale cittadina — illustra una sua relazione sull'argomento, letta dal presidente Raffaele Pareto. Con grandissimo interesse dei partecipanti, egli presenta il "piano topografico e profili" della grotta di Trebiciano insieme a "livellazioni e prospetto riguardante il corso del fiume Recca" e l'opuscolo *Manifesto per l'Idrografia Triestina*. Questo costituisce il sommario di un'opera enciclopedica sull'argomento di cui Rossetti sta coordinando la raccolta dei materiali³²; opera destinata però a rimanere incompiuta: già ammalato, egli morirà infatti appena due mesi dopo.

Per accertare la possibilità di sfruttamento del fiume sotterraneo il Magistrato Politico-economico di Trieste nomina una "Commissione delegata all'esame dell'acqua sotterranea di Trebich" che scende nella grotta il 6 giugno e il 23 agosto 1841³³ (ma le discese dei tecnici per le misurazioni di portata e i rilievi topografici sono molto più frequenti). Si eseguono campionature delle rocce, osservazioni mineralogiche sulle concrezioni e sulle sabbie, osservazioni zoologiche sulle conchiglie trovate tra i frammenti di legname (importante la scoperta del coleottero *Pterostichus fasciato-punctatus*, presente soltanto nella valle del Recca e pertanto considerato un indicativo "tracciante biologico"), analisi chimiche dell'acqua, misure termometriche dell'aria, della sabbia e dell'acqua. Si tenta inoltre di accertare la provenienza del corso sotterraneo con l'impiego di galleggianti, però l'esperimento "non è mai riuscito, né verun corpo galleggiante gettato nella Recca a S. Canziano si vidde (sic) mai attraversare la Caverna"³⁴. Questa relazione idrologica sembra

31. Radacich M. (1991): *1841 - 1991 un anniversario da ricordare*, "Alpi Giulie", Trieste, 85(1-2):3-10. Halupca E. (1998): *Le meraviglie del Carso*, Edizioni Lint, Trieste, 29-41 (con una ricca documentazione iconografica).

32. Gentile A. (1947): *La Idrografia Triestina di Domenico Rossetti*, "Archeografo Triestino", Trieste, 12/13:65-91.

Faraone E. (1992): *L'idrologo Domenico Rossetti*, "Progressione", Trieste, 27:18-20.

Medeot S.L. (1965): *Documenti inediti e biografie per una storia della speleologia (Friuli-Venezia Giulia)*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 81-93; Medeot S.L. (1966): id., "Mondo Sotterraneo", Udine, 77-86.

33. Radacich M. (1991): *Provvedimenti d'acqua per la città di Trieste nel secolo XIX con riferimento alla Grotta di Trebiciano (17 VG)*, "Alpi Giulie", 85(1-2):11-29.

34. *Studi sulle acque di Trieste*, di G. Grimaud de Caux, "L'Osservatore Triestino", Trieste, 2.7.1843, n. 14.

peraltro confermata dal ritrovamento di una pala di mulino — trasportata da una grande piena — negli ultimi pozzi a più di cento metri dal fondo della grotta; in proposito viene osservato che “le acque sotterranee conservano quella linea di direzione che sopra terra avrebbero”, convinzione che condizionerà gli studi di idrologia carsica fino a quasi i nostri giorni.

Il primo approccio con l'idrologia carsica

La grande profondità alla quale si trova l'acqua nella grotta di Trebiciano fa dubitare subito di poterla incanalare in una galleria con la necessaria pendenza fino ai piedi dell'altopiano, alla periferia di Trieste. Lo stesso Lindner — che morirà pochi mesi dopo³⁵, il 19 settembre 1841 — elabora un progetto di massima che prevede la creazione di un bacino d'invaso nella grande caverna, portando il livello dell'acqua ad un'altezza di 180 piedi (circa 47 metri).

L'intenzione è quella di realizzare permanentemente le condizioni che si verificano nei periodi di piena, quando l'acqua sale nella caverna per molte decine di metri. Viene in tal modo ipotizzato, implicitamente, un corso sotterraneo unico e canalizzato, paragonabile ad un fiume superficiale che scorra in un alveo profondo, sbarrando il quale si ottiene la formazione di un lago.

Un'opinione radicalmente diversa viene espressa un anno dopo da Anastasio Calvi, nuovamente convocato a Trieste per una consulenza sull'argomento. Egli teme infatti “la disastrosa non meno che probabile eventualità per la quale le acque nel suddetto modo trattenute e rialzate avessero a deviare in altra parte per mezzo di qualcuna delle tante altre cavernosità che indubbiamente esistono sotto il Carso. Devesi anzi ritenere che anche oggidì vi siano diverse sotterranee ramificazioni di dette acque, l'una delle quali e forse anche la principale sarebbe quella della caverna”. Il paragone in questo caso sarebbe da farsi con un fiume superficiale che scorra in pianura con varie diramazioni: sbarrando una di esse si ottiene soltanto un aumento di portata nelle altre. Viene in ogni caso puntualizzata l'ipotesi del “reticolo di canalizzazioni sotterranee”, che sarà riproposta in seguito varie volte, sia pure in differenti contesti. Diversa ancora l'interpretazione formulata da Giuseppe Sforzi³⁶, in occasione delle misure di portata da lui effettuate al fondo della grotta

35. Pirker R. (1971): *Anton Friedrich Lindner, ein Bahnbrecher moderner Höhlenforschung*, “Die Höhle”, Wien, 22(1):7-15.

36. Medeot L.S. (1973): *Documenti inediti e biografie per una storia della speleologia (Friuli - Venezia Giulia)*, “Mondo Sotterraneo”, Udine, 101-141.

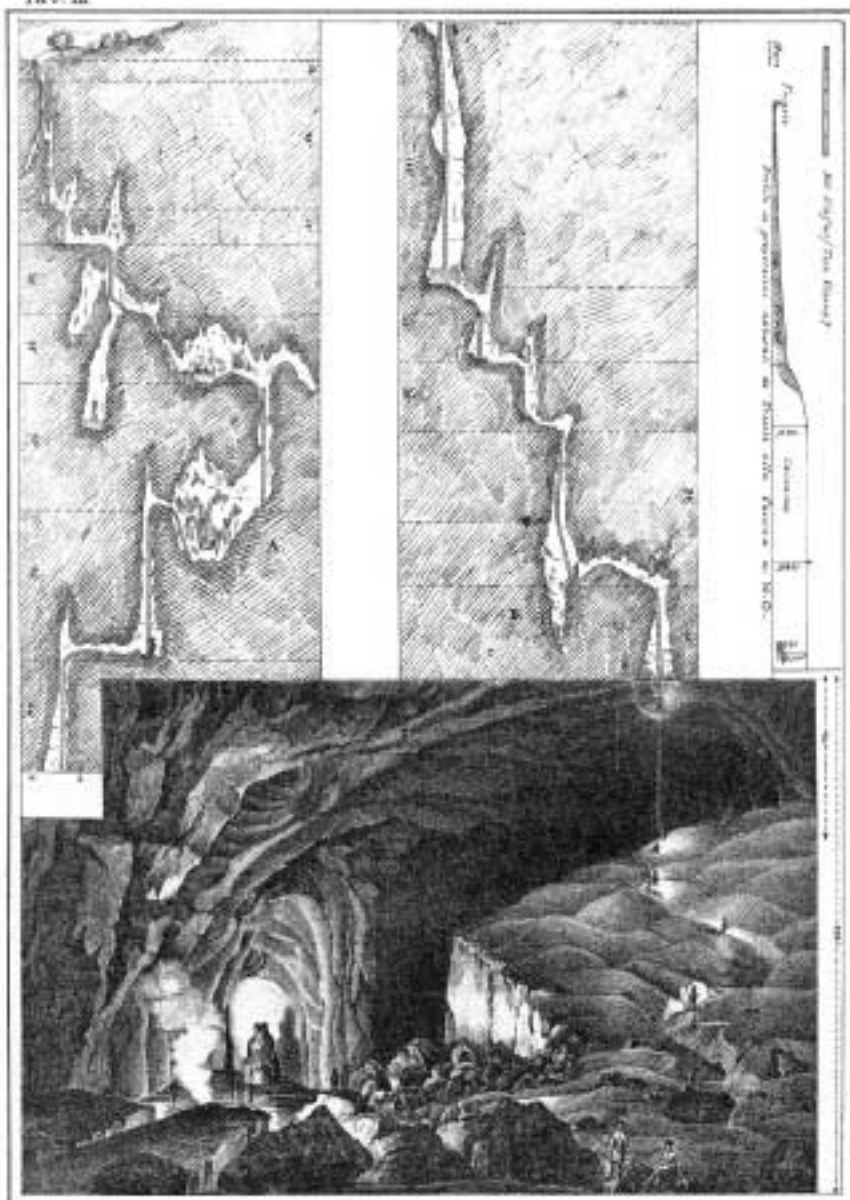
di Trebiciano. Egli infatti osserva che “la massa d’acqua indicata non è che approssimativa, giacché si deve ritenere ch’essa oltrepassi anzi quel limite nella circostanza che ogni crepatura perpendicolare fra gli scogli presso l’alveo del fiume lascia traspirare l’acqua dispersa che sembra entrare per ogni dove nella caverna”. Non si tratterebbe dunque di un corso canalizzato, ma di una falda idrica profonda che lentamente fluisce attraverso le fessurazioni della roccia ed appare come un fiume vero e proprio soltanto dove l’ampiezza dei vani lo consente. Il paragone sarebbe da farsi con un lago, frazionato in un complicatissimo intrico di vasi comunicanti, nel quale l’acqua defluisce verso lo sbocco attraverso le fessure più grandi; un sistema dunque — si direbbe oggi — estremamente “aperto”, a circolazione idrica diffusa.

In un articolo pubblicato nel 1843 sul principale quotidiano di Trieste, a firma A.R.³⁷, viene ulteriormente sviluppata questa teoria: “la massa calcarea ... è crivellata in ogni direzione da grotte, caverne, burroni e crepacci attraverso i quali decubitano le acque superficiali sino a profondità d’un letto impermeabile. Oserò dire che tale deve essere il terreno sul quale scorre l’acqua scoperta (nella caverna di Trebich) ed a ciò mi abilitano e la grossezza dello strato calcareo e le pietre che si rinvencono nell’alveo del fiume di qualità argillosa, quarzosa e bituminosa e forse anche tutte quelle sabbie, che potrebbero essere stratificazioni di terreno diverso dal calcareo, anziché sedimenti delle piene e torbide ... Quella proprietà della calcarea di essere penetrata da vacui in ogni direzione e lo strato di terreno impermeabile al di sotto, fanno sì che l’acqua deve disperdersi anche in tutte le diramazioni e mettersi per legge di tubi comunicanti a livello per ogni dove. Volendo ora forare la calcarea sotto l’orizzonte di questo livello, è naturale che l’acqua dovrà sortire al primo vacuo incontrato, e quindi si può essere certi che non occorrerà perforare tutta la lunghezza di una galleria da Trieste fino alla caverna d’acqua di Trebich, ma basterà tagliare la pietra arenaria e forse tutt’al più il primo diaframma calcareo che ritiene l’acqua medesima”.

37. *Esposizione d’una serie di dati approssimativi sulla scelta d’un progetto di condotta d’Acqua per Trieste*, “L’Osservatore Triestino”, Trieste, 23.2.1843, n. 892.

Nella pagina a fronte: il rilievo della grotta di Trebiciano eseguito da Giuseppe Sforzi nel 1841, pubblicato da Muzio Tommasini (citato nella nota 64). È una copia parzialmente modificata di quello inserito nel lavoro di Adolphe de Morlot (citato nella nota 38).

Tav. III



CAVERNA DI TREBICH.
nel territorio di Trieste

Altura perpendicolare dalla superficie del terreno all'acqua: piedi Romani 1425. Massimo livello al quale è arrivata l'acqua: 246 piedi Romani sul livello ordinario dell'acqua nella Dretta.

Queste vedute sembrano trovare conferma, pochi anni dopo, nell'interpretazione geologica dello svizzero Adolphe Charles de Morlot³⁸, che erroneamente considera le rocce arenaceo-marnose più antiche e pertanto sottostanti, nella serie stratigrafica, alle rocce calcaree. Vengono riprese da Giuseppe Sforzi nel progetto di acquedotto della grotta di Trebiciano da lui elaborato nel 1849³⁹: “Si deve ammettere — egli scrive — che la stessa ondulazione dei terreni marnosi apparentemente addossati alla calcare prosegue anche al di sotto di essa, che perciò le acque sotterranee del Carso devono scorrere nelle insenature di essi terreni ... che in tutte le vallicole e convalli sotterranee l'acqua deve estendersi ad un livello comune e penetrare in tutte le grotte, in tutti i crepacci della calcare”. Anche lui conclude che, perforata l'arenaria ad un livello adeguatamente basso si otterrebbe subito, appena raggiunta la roccia calcarea, un deflusso almeno parziale dell'acqua carsica: “raggiungendo i primi crepacci e le prime rocce che si presentassero, si ritroveranno riempite d'acqua sino al livello normale del fiume sotterraneo”.

L'esistenza di un livello impermeabile nella profondità del Carso, in grado di “sostenere” il corso dell'acqua sotterranea, a quel tempo non viene messa in dubbio da nessuno, neanche da quanti considerano interamente calcarea, in tutto il suo spessore, la massa rocciosa dell'altopiano. Nel rapporto della Commissione alle acque viene esplicitamente affermato che al di sotto di una certa linea “la massa calcarea è compatta, impermeabile all'acqua e segna il livello delle varie sorgenti appiedi del monte che seguono verso il mare il confine del Carso”. Sarebbe dunque, secondo tali vedute, l'incarsificabilità della roccia, anziché una sua diversa costituzione litologica, a condizionare il livello di base dell'acqua carsica.

Ma nei massicci calcarei esiste davvero un'acqua di fondo, simile a quella dei terreni incoerenti, con un lento flusso frammentato nelle fessurazioni profonde della roccia oppure la circolazione sotterranea si concentra in veri e propri corsi incanalati, simili nelle caratteristiche ai fiumi superficiali? L'urgenza di risolvere i problemi ingegneristici relativi al rifornimento idrico della città costringe dunque già

38. Morlot (von) A. (1848): *Über die geologischen Verhältnisse von Istrien*, “Naturwissenschaftliche Abhandlungen von W. Haidinger”, Wien, 2(3):257-318. (Interessanti le sue osservazioni sulle sabbie che si rinvergono al fondo della grotta di Trebiciano e che dovrebbero provenire dalla vallata del Recca. Nel lavoro è anche riportato il rilievo della grotta eseguito da Giuseppe Sforzi). Si veda inoltre:

Pavlovec R. (1976): *Adolphe Charles Morlot in naš Kraš*, “Naše Jame”, Ljubljana, 18:63-70.

Pavlovec R. (1997): *A.C. Morlot, a geologist and a less known researcher of karst phenomena*, “Acta Carsologica”, Ljubljana, 26(2):167-173.

39. Sforzi G. (1850): *Relazione sui provvedimenti d'acqua per la città, marina e per l'industria di Trieste*, allegato a: Caroli D.: *Relazione del Comitato delle Civiche Costruzioni concernenti il progetto di fornire l'acqua occorrente per la città*, Trieste, 18+16.

nella prima metà dell'Ottocento — e quindi con mezzo secolo di anticipo rispetto alla scienza ufficiale — ad affrontare a Trieste i quesiti fondamentali dell'idrologia carsica sotterranea.

* * *

Della Commissione municipale scesa più volte nella grotta di Trebiciano fa parte anche l'assessore Pietro Kandler, il futuro padre della storiografia triestina. Laureato in giurisprudenza, uomo di lettere e appassionato cultore di ricerche storiche ed archeologiche, Kandler segue con particolare attenzione qualsiasi nuova scoperta relativa al problema dell'approvvigionamento idrico, che giustamente ritiene di vitale importanza per lo sviluppo di Trieste. Egli si considera l'erede spirituale di Domenico Rossetti, che “dal letto di morte ci raccomandava proseguire le cose da lui cominciate od ideate e non ci è tolta la speranza di vedere pubblicata la sua *Idrografia*”⁴⁰. La sua concezione della circolazione sotterranea del Carso, sintesi delle conoscenze dell'epoca sull'argomento, si ritrova frammentariamente esposta in diverse pubblicazioni infarcite di erudizione storica.

Convinto sostenitore della continuità Recca - Timavo⁴¹, è lui a coniare il termine di “Timavo superiore” (anzi “soprano”, nel suo amore a volte morboso per il classico) per poterla così sancire anche nella toponomastica. Ritiene che “da Trebiciano all'emissario di S. Giovanni [di Duino], in tratto di dodici miglia, il Timavo scende fin sotto il mare”⁴² scorrendo in prossimità del margine dell'altopiano, però osserva che anche nella valle di Brestovizza “per la quale [il Recca] naturalmente dovrebbe scorrere sulla superficie, vi sono indizi certi di acqua sotterranea scorrente, indizi che si manifestano al romore che odesi in grandi piene, alle correnti d'aria ch'escono impetuose dagli spiragli, ai vapori acquei spesso visibili, al cedere pronto delle nevi sopra questi spiragli”⁴³.

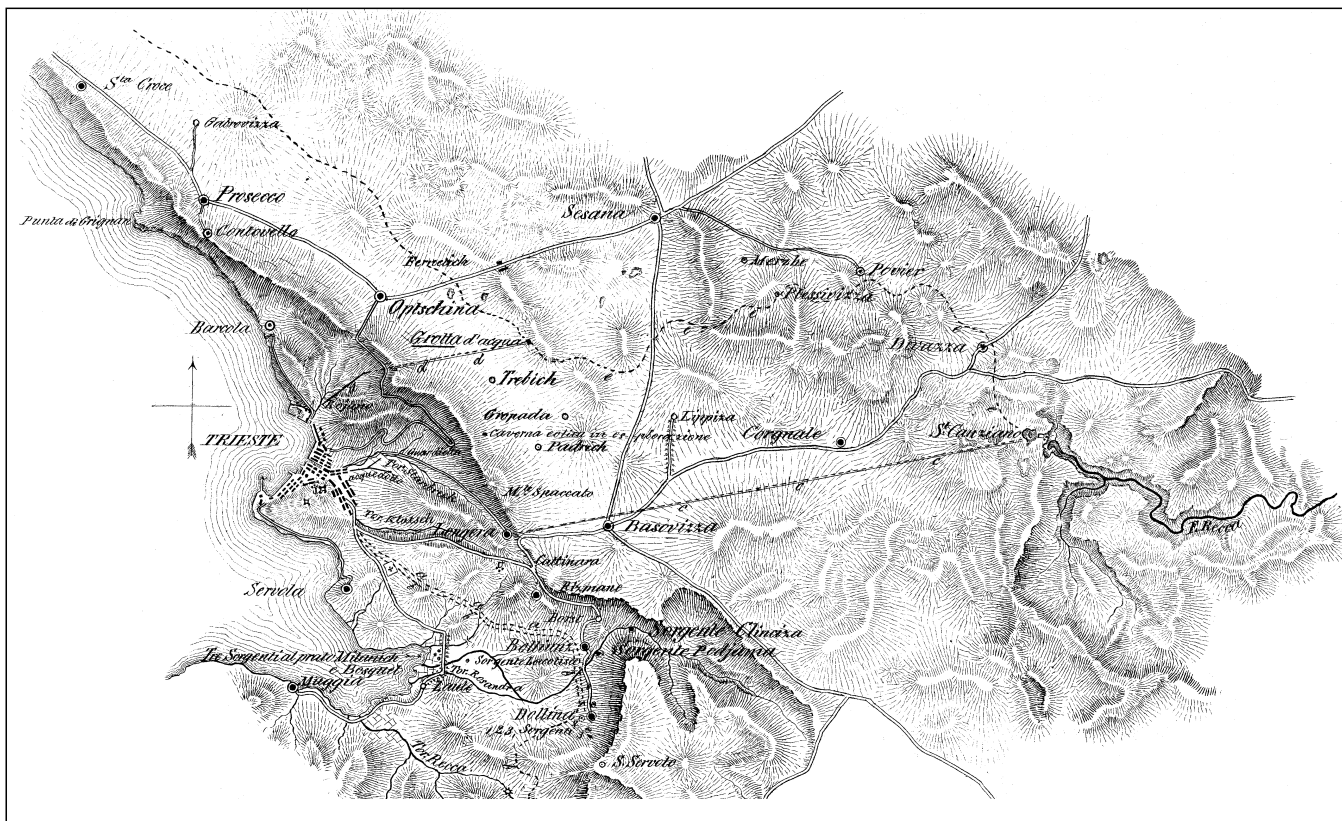
“Tutte le sorgenti che nel territorio di Trieste si atrovano — scrivono Pietro Kandler e Giuseppe Sforzi nella relazione sulla caverna di Trebich del 10 luglio 1841 — tutte le acque della valle di S. Giovanni, il famoso fontanone del rione Francesco Primo attingono le loro acque al Timavo superiore ... l'ingorgamento delle

40. *Lettera al prestantissimo consigliere Ferdinando Semrad*, di P. Kandler, “L'Osservatore Triestino”, Trieste, 20.4.1870.

41. Timeus G. (1912): *Sul contributo di Pietro Kandler agli studi d'idrologia*, “Pagine Istriane”, Capodistria, 10(4-6):122-130.

42. Kandler P. (1864): *Discorso sul Timavo*. Per nozze Guastalla - Levi, Trieste, 3-41.

43. Kandler P. (1846): *Della geografia dell'Istria*, “L'Istria”, Trieste, 1(4):13-15.



“Carta topografica dimostrante i diversi progetti di condotta d’acqua proposti per Trieste, con riflesso in ispezialità a quello della Caverna di Trebich”; da: Sforzi G. (citato nella nota 39). La linea tratteggiata marcata “e” indica il “supposto corso sotterraneo del Recca riconosciuto a Divazza, Povier, Trebich ecc.”. La Caverna eolica in esplorazione, segnata nella zona del valico di M. Spaccato, non è identificabile con nessuna delle cavità oggi conosciute.

acque nelle caverne che scarso hanno emissario, facendone alzare il livello, fa sì che le acque si scarichino per altri emissari più alti e quindi l'improvviso sortire di un torrente da un foro nel monte senza presenza di piogge e l'improvviso sparire del torrente, tosto che la massa interna di acqua siasi di livello abbassata”.

In merito alle piene del Timavo, Kandler osserva che le sue acque “ad ogni forte pioggia della montagna sono torbide e portano tale quantità di terriccio (da me riconosciuto per quell'identico che ingombra la caverna di Trebich e per quell'identico che forma il bacino del Timavo superiore) che le barene e i bassi fondi s'accrescono di anno in anno” e che le torbide provrebbero la medesima origine per le sorgenti costiere di Sistiana⁴⁴. Sostiene inoltre che nel complesso sorgentizio del Timavo devono confluire anche le acque del Vipacco, che alimentano i laghi carsici di Doberdò e di Pietrarossa e le risorgive del vallone del Locavaz (opinione peraltro già espressa da Giuseppe Girardi⁴⁵, probabilmente ripresa dall'*Indagine* di Berini). Concorda infine con l'ipotesi — già formulata da Giuseppe Sforzi — di un contributo al Timavo sotterraneo dell'acqua inghiottita nella “Valsecca di Castelnuovo” (altro toponimo di suo conio⁴⁶), dove, al contatto del calcare con la formazione del flysch, quattordici modesti torrenti scompaiono al fondo di altrettante valli cieche. Le acque della valle di S. Maria di Cacitti, di Castelnuovo e di Matteredia, egli scrive, “sembrano dieno alimento attraverso i Monti della Vena all'aqua (sic) di Bagnoli o Bollunz, al Risano, al Quietto medesimo, ma può ritenersi che da Cacitti un filone si rivolga a Basovizza per unirsi al filone di Trebich, seppure l'aqua di Trebich non sia piuttosto l'aqua di Cacitti e di Bresovizza, di che non si è fatta finora verificazione. Ambedue le aque del Timavo e di Cacitti attraversano colline arenarie, ambedue portano molini: la sabbia nella Caverna di Trebich, li frammenti di ruote da molini possono spettare così a Cacitti come al Timavo”⁴⁷.

44. Kandler P. (1850): *Al molto reverendo D. Giov. Batt.a Vatta*, “L'Istria”, Trieste, 5(37):257-262.

Kandler P. (1851): *Ancor qualche parola sulle acque del Timavo*, “L'Istria”, Trieste, 6(46):197-199.

45. Girardi G. (1841): *Storia fisica del Friuli*, San Vito, 173+183+224. Ristampa Forni, Bologna, 1973.

46. Per quanto sostenitore convinto della fedeltà di Trieste all'Austria, per necessità economiche, Pietro Kandler è il vero precursore dell'italianizzazione della toponomastica giuliana, senza intenti imperialistici ma in omaggio all'eredità latina e nel sogno di ripristinarla.

47. Cacitti e Bresovizza sono nominati per indicare i torrenti del bacino di Castelnuovo, in contrapposizione al Timavo (superiore). Da ricordare invece che la “fovea di Caciti”, citata da Pietro Coppo nel 1540 (*De sito de Listrìa*, il primo testo “moderno” che faccia riferimento alla continuità Recca - Timavo), deve intendersi come la voragine di S. Canziano: “Abbiamo veduto il fiume Timavo discorrer per due fovee profondissime presso il Castello Caciti, per sotterranei meati e con mormorio (come dice Virgilio) del monte ricomparire, il quale dopo sedici miglia da Caciti fino alla villa di S. Giovanni non lungi da Duino esce dal monte presso detta villa ...”

Tra le molte notizie da lui raccolte, merita di essere ricordata quella del breve prosciugamento delle risorgive di S. Giovanni di Duino: “Nel mese di luglio 1771 [il Timavo] essicò improvvisamente così che il canale presso la chiesa rimase asciutto, poi ricomparve l’acqua tinta di rosso e dopo mezza ora l’acqua ricomparve nel solito stato. Il che dovrebbe dirsi avvenuto per crollo di qualche caverna interna”⁴⁸.

In alcune esercitazioni di erudizione protoscientifica, Pietro Kandler cerca di completare il quadro già delineato da Giuseppe Berini — come si è visto — sui mutamenti del corso dell’Isonzo⁴⁹. Egli sostiene che in epoca romana il fiume sbocca nella pianura friulana seguendo il corso dell’attuale Natisone; appena nel 587 d.C. (talvolta scritto 578) una grande frana nei pressi di Caporetto lo costringe ad aprirsi un passaggio a valle di Tolmino per sboccare nella piana di Gorizia, nel lago ipotizzato da Berini. La grande quantità dei detriti trasportati avrebbe ostruito le gallerie sotterranee del Carso isontino e causato la tracimazione del lago, dando luogo al corso in superficie dell’Isonzo fino al mare⁵⁰. Conosciute soltanto in un ristretto ambito locale, queste ipotesi fantasiose in realtà passano quasi inosservate e senza nuocere; non così invece le pubblicazioni del barone goriziano Carl von Czörnig, che a fine Ottocento rielabora queste teorie, se ne appropria e le presenta come “L’Isonzo, il più giovane fiume d’Europa” ai congressi geografici internazionali di Parigi (1875) e di Venezia (1881), dove ottengono ampia diffusione e vengono successivamente riportate in alcuni importanti trattati di geografia.

Proseguono le ricerche dell’acqua

Subito dopo la scoperta della grotta di Trebiciano, lo stesso Lindner si rende conto delle difficoltà di sfruttare quell’acqua che scorre ad una quota tanto bassa e vuole ricominciare le ricerche del corso sotterraneo “più a monte”, presentando allo scopo una domanda al Comune di Trieste, il 28 giugno 1841, per un contributo

48. Si veda anche: Pocar G. (1892): *Monfalcone e suo territorio*, Udine, 77 (dove la notizia è riportata, con qualche licenza letteraria, a proposito dei mulini del Timavo).

49. Comel A. (1954): *Cenni sulle pretese mutazioni del corso dell’Isonzo e sui suoi due laghi in età storica*, in: *Monografia sui terreni della pianura friulana*, “Nuovi Annali dell’Istituto Chimico-Agrario Sperimentale”, Gorizia, 5:149-177.

50. *Lettera alla spettabile Direzione delle ferrate Lombardo-Venete*, di P. Kandler, “L’Osservatore Triestino”, Trieste, 2.8.1870, 1397-1398.

Kandler P. (1867): *Discorso sulla Giulia e sulle strade antiche che la attraversavano*, Trieste, 1-24.

di 6000 fiorini. Non vive abbastanza per ricevere una risposta, invece risulta che nel novembre dello stesso anno “entrò al servizio della Comune” il minatore Antonio Arrach (Arich), il quale “arrivò ad un buco spirante forte vento, per 600 klafter più vicino di quello di Trebich a Trieste”⁵¹.

Ma già in quell'estate del 1841 inizia per proprio conto una serie sistematica di esplorazioni Giuseppe Sigon (da anni collaboratore di Giacomo Svetina nei suoi tentativi di trivellazione artesiana), capo della squadra di pompieri che ha issato lungo le scale di corda le “commissioni municipali” nella grotta di Trebiciano. Egli svolge per alcuni anni un'attività esplorativa particolarmente intensa, della quale purtroppo non è rimasta alcuna documentazione, a parte poche e frammentarie notizie: elogi della sua iniziativa di “rinvenire l'acqua sotterranea in un punto più vantaggioso ... a proprie spese, rischio e pericolo ... senza aiuto né di ingegneri né di montanistici”⁵² e qualche accenno riportato dalla stampa cittadina⁵³. Forse sono opera sua anche i lavori di scavo ancora visibili nel cunicolo terminale della grotta di Padriciano e quelli trovati — con grande sorpresa degli speleologi — in una grotta vicina (3978 VG), “esplorata” nel 1959 dopo averne disostruito l'ingresso in un campo coltivato. In previsione delle necessità d'acqua della ferrovia Trieste-Lubiana allora in progetto, nel 1851 il Ministero del Commercio incarica Adolf Schmidl, membro dell'Accademia delle Scienze di Vienna che da qualche anno ha iniziato l'esplorazione sistematica delle grotte e dell'idrologia carsica del Postumiese, di un nuovo studio idrografico di tutto il bacino del Timavo sotterraneo. Il “fondatore della speleologia scientifica”⁵⁴ (come sarà considerato in omaggio alla rigorosa metodica dei suoi studi) comincia subito con l'esplorazione della grotta di S. Canziano, ma dopo due settimane di lavori, il 6 marzo una grande piena del fiume travolge passerelle e barche e lo costringe a rinunciare. Schmidl visita allora la grotta di Trebiciano e passa quindi ad un rapido esame dell'altopiano, fino alle risorgive del Timavo, raccogliendo informazioni tra gli abitanti ed esplorando o scandagliando una

51. Faraone E. (1994): *Le ricerche sul Timavo sotterraneo in relazione all'approvvigionamento idrico della città di Trieste (1841-1842)*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 31/1992-93:93-156 (131-132).

52. Lettera di Giuseppe Sforzi a Domenico Rossetti del 18.10.1841. Si veda: Medeot S.L. (1973), citato nella nota 36 (113).

53. “L'Osservatore Triestino”, Trieste, 23.2.1843, n. 892 (“... l'attuale scavo intentato per cura e a spese dell'intrepido Sig. Giuseppe Sigon, Ispettore del corpo dei civici pompieri, allo scopo di rinvenire l'acqua sopra corrente in un punto 1500 Klafter più propinquo a Trieste”).

54. Shaw T.R. (1978): *Adolf Schmidl (1802-1863) father of modern speleology?*, “International Journal of Speleology”, 10:253-267.

trentina di grotte in presunta relazione con il fiume sotterraneo. È accompagnato da Giuseppe Sforzi, da Giuseppe Sigon — diventato ispettore dei civici pompieri — e dai veterani delle esplorazioni delle grotte, con l'immancabile squadra di minatori di Idria diretta da Ivan Rudolf, "praticante montanistico" di quella miniera. Partecipa anche Pietro Kandler, che tra l'altro si fa calare anche lui "in una tinozza galleggiante" nel pozzo allagato presso le risorgive del Timavo (pozzo dei Colombi, 227 VG).

Schmidl pubblica nello stesso anno i risultati delle sue ricerche⁵⁵, riassumendo — ed in parte elaborando criticamente — quanto appreso dagli "esperti locali" e formulando anche qualche ipotesi di indubbio interesse. Lo correda con la prima carta speleologica del Carso triestino, che riporta le posizioni delle grotte esaminate e quelle di quattro punti "dove si sente rumoreggiare l'acqua": sono in realtà delle fessure soffianti durante le piene sull'allineamento Trebiciano - Rupingrande, in probabile collegamento con il Recca sotterraneo. Questo da S. Canziano dovrebbe proseguire verso Corgnale e Lippiza e proprio nella grotta di Corgnale — egli osserva — si dovrebbe poter raggiungere il fiume. Il Recca non si sarebbe scavato da solo la strada nella massa calcarea, ma avrebbe seguito la superficie degli strati e la loro immersione. Schmidl giudica "misterioso" il collegamento della grotta di Trebiciano con il sistema idrico sotterraneo e non condivide l'opinione di Giuseppe Sforzi sull'esistenza di una falda idrica continua, da poter sprigionare — per effetto di vasi comunicanti — con la semplice perforazione del mantello arenaceo-marnoso; egli ritiene al contrario che una galleria potrebbe incontrare, prima della grotta di Trebiciano, soltanto qualche ramo secondario del fiume sotterraneo. A meno che il corso d'acqua di quella grotta non sia anch'esso un ramo secondario — come egli ritiene probabile — nel qual caso il ramo principale sarebbe situato ad una distanza ancor minore da Trieste. Non esclude comunque che un altro ramo del fiume possa seguire il solco di Brestovizza, anche se ritiene più probabile che vi si trovino invece delle caverne isolate, collettori delle acque di percolazione, comunicanti tra loro e con il Recca sotterraneo soltanto in regime di piena. Sottolinea comunque anche lui l'importanza delle precipitazioni meteoriche nell'alimentazione del Timavo per infiltrazione sul bacino carsico.

55. Schmidl A. (1851): *Über den unterirdischen Lauf der Recca*, "Sitzungsberichte der Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe der königl. Akademie der Wissenschaften", Wien, 655-682.

Nella pagina a fronte: le voragini di S. Canziano a fine Ottocento, con i sentieri turistici ormai completati; da Müller F. (citato nella nota 67). Il Recca proviene dalla lunga vallata che si estende dietro il paese e percorre negli ultimi quattro chilometri una profonda forra, scavata nella roccia calcarea; passa sotto l'abitato di S. Canziano in una galleria enorme, quindi riappare al fondo dei due baratri, che hanno un'ampiezza di 320 metri e circa 150 metri di profondità.



A spese del Comune di Trieste Adolf Schmidl riprende l'esplorazione della grotta di S. Canziano nell'agosto 1852, ma anche questa volta i lavoratori sono costretti ad una precipitosa ritirata da una piena improvvisa e riescono a stento a salvarsi, quando ormai le passerelle sistemate lungo le pareti sono già travolte dall'acqua. Perdute le barche, per l'insistenza del maltempo viene deciso anche questa volta di sospendere i lavori, che però non saranno più ripresi.

* * *

Negli anni successivi viene velocemente portata avanti la costruzione della ferrovia del Carso (vi lavorano fino a 18.000 operai), ultimo tronco della Vienna-Trieste. Con decisionismo imprenditoriale, si direbbe oggi, e con i potenti appoggi governativi del barone von Bruck, viene affrontato anche il problema dell'acquedotto di Trieste, per il quale si costituisce una società di azionisti che conclude due buoni affari in una volta sola: il rifornimento idrico della ferrovia, che ha ingenti esigenze d'acqua per la trazione a vapore, e la possibilità di vendere a prezzo altissimo "l'eccedenza per i bisogni pubblici e privati della città". Vengono sfruttate le sorgenti costiere di Aurisina, che scaturiscono in riva al mare dove si interrompe per breve tratto il mantello arenaceo-marnoso sul fianco dell'altopiano calcareo (per la precisione non si interrompe, ma scende di qualche metro sotto il livello marino).

Nel 1857 arriva dunque a Trieste la ferrovia e due anni dopo viene completato anche il nuovo acquedotto, per la realizzazione del quale si sono superati problemi ingegneristici di non poco conto. L'acqua viene pompata dal livello del mare a 131 metri di quota per poter poi portare la conduttura in città lungo il tracciato della linea ferroviaria. La soluzione però si dimostra subito inadeguata per una Trieste in continua espansione e lo diventa sempre di più negli anni a venire: "ma non essendosi mai immaginato che questo acquedotto potesse sopperire esaurientemente alle necessità della popolazione e dei pubblici servizi, continuarono alacramente da parte delle Rappresentanze cittadine gli studi per un radicale provvedimento"⁵⁶. Pochi anni dopo l'Arciduca Ferdinando Massimiliano — in quel periodo a Trieste nella sua nuova dimora del castello di Miramare — convoca "a disposizione del Municipio" l'abate Richard⁵⁷, un singolare "scienziato" francese che gode di grande prestigio soprattutto per il mistero con cui riesce ad ammantare i suoi

56. Relazione della Delegazione Municipale e parere della Commissione ai provvedimenti d'acqua (sic) sulla offerta della Società d'acquedotto "Aurisina" di data 14 agosto 1886, Trieste, 33.

57. Verbali del Consiglio Provinciale e Municipale di Trieste. Seduta pubblica del Consiglio del 20 dicembre 1861.

procedimenti d'indagine. Si limita a dichiarare di aver scoperto “una legge che erige l'idroscopia [rabdomanzia] in scienza di matematica precisione, tenendo conto dei dati geognostici e delle leggi dell'idrodinamica” ed effettua i suoi sopralluoghi assieme ad “altro idroscopo francese, semplice contadino — scrive Pietro Kandler — che ho verificato esperto”.

L'abate Richard a fine dicembre 1861 effettua una serie di ricognizioni nei dintorni di Trieste, sul Carso e alle voragini di San Canziano. Nel breve volgere di una settimana egli formula le proprie conclusioni, sostanzialmente favorevoli al progetto Sforzi dell'acquedotto di Trebiciano, confermando che con lo scavo della galleria, “molto prima di giungere alla grotta di Trebich si troverebbe quantità d'acqua abbastanza considerevole”. Nel suo rapporto viene precisato che “il fiume il quale col nome di Recca s'inabissa a S. Canziano è un affluente del fiume che sgorga a S. Giovanni sotto il nome di Timavo e che questo stesso fiume scorre sotto l'altipiano del Carso a profondità immensa da S. Canziano a S. Giovanni, passa in distanza relativamente minima dalla città di Trieste⁵⁸ e lascia sfuggire passando la sorgente di Nabresina” (Nabrežina nella grafia slovena, Aurisina nella versione italiana).

Letto in consiglio municipale⁵⁹, il Rapporto Richard riesce a polarizzare nuovamente l'interesse dei pubblici amministratori sulle acque del Carso e diventa l'elemento propulsore per un nuovo ciclo di ricerche; soprattutto riaccende la speranza di trovare il fiume sotterraneo in un luogo più vicino e conveniente rispetto alla grotta di Trebiciano. Questo luogo può essere cercato soltanto nella valle di S. Giovanni di Guardiella, dove lo stesso Richard ha consigliato di iniziare le ricerche (“alla svolta Marchesetti”) e dove la “sapienza popolare” — come si è detto a proposito delle Porte di Ferro — considera certa la presenza dell'acqua carsica. Del resto diverse circostanze danno alla tradizione un carattere di verisimilitudine: le ricche vene d'acqua che talvolta improvvisamente si sprigionano devastando le campagne⁶⁰ e gli strati di ghiaia calcarea rinvenuti nei depositi alluvionali del fondovalle⁶¹. L'esistenza di un cospicuo corso sotterraneo scorrente lungo il margine del Carso è

58. Verbali del Consiglio Provinciale e Municipale di Trieste. Seduta pubblica del Consiglio 10 gennaio 1862.

59. Viene preceduto da una dettagliata cronistoria delle ricerche idriche per Trieste compilata da Pietro Kandler. Si veda: Medeot S. L. (1965), citato nella nota 32.

60. *Uno sguardo sopra Trieste e le sue sorgenti di acqua potabile*, “L'Osservatore Triestino”, Trieste, 18.2.1843, n. 890.

61. Kandler P. (1851): *Acque sotterranee del Carso*, “L'Istria”, Trieste, 6(12):49-51. Si veda inoltre: Mosetti F. (1965): *La struttura del sottosuolo della città di Trieste*, “Adriatico”, Trieste, 12(11/12): 7-12.

un'ipotesi che, rielaborata in varie occasioni, viene riproposta ancora ai nostri giorni. Presso il valico del Monte Spaccato e a poca distanza dal ciglione del Carso, a fine febbraio 1862 vengono iniziati i lavori di scavo, a spese del Comune, sul fondo di una grotta profonda 54 metri, che viene chiamata, appunto, il "Foro della Speranza". I passaggi impraticabili da disostruire si susseguono uno all'altro e lo sgombero all'esterno del materiale si rivela ben presto molto problematico. Diventa dunque necessario sistemarlo all'interno, sfruttando nicchie e ripiani, con ingegnose opere di contenimento in legname; in uno dei pozzi, a circa 100 metri di profondità, si deve anche costruire una tettoia per proteggere i lavoratori dal fortissimo stillicidio e via via si superano difficoltà sempre nuove. Dopo un anno di lavori, a fine febbraio 1863, sono comunque raggiunti i 242 metri di profondità; qui però le difficoltà aumentano: occorre forzare un'altra fessura impenetrabile, ma la ristrettezza della cavità è tale da impedire i movimenti e da ostacolare un regolare ricambio dell'aria, per cui sempre più frequente il lavoro deve essere sospeso. I progressi diventano minimi e a fine dicembre 1864 la profondità raggiunta è di soli 254 metri. Gli indizi però continuano ad essere incoraggianti: si riscontra ripetutamente che dopo piogge abbondanti l'acqua rimonta nei cunicoli terminali lasciando poi depositi limosi. Analizzata, quest'acqua risulta differente da quella di stillicidio raccolta nella grotta ed inoltre la presenza in essa di un embrione d'alga, il *Protococcus viridis*, conferma una sua provenienza dall'esterno in maniera ben più diretta della percolazione attraverso la massa rocciosa⁶².

Giunti i lavori ad un punto di stallo, dopo molte incertezze si decide di forzare la fessura terminale con una potente mina, che viene fatta brillare il 28 ottobre 1866. Tre lavoratori, scesi troppo presto nella grotta, muoiono asfissati dai gas dell'esplosione; tra essi Luca Kral, l'onnipresente pioniere della speleologia triestina, il primo a toccare, nel 1841, il fondo nella grotta di Trebiciano. Dieci giorni più tardi una quarta vittima, Matteo Kral, deceduto nel tentativo di raggiungere i corpi dei primi (tra i quali il padre e lo zio). Si rinuncia non soltanto a proseguire i lavori ma anche a recuperare i resti degli sventurati; si ostruisce l'imbocco della cavità e il foro della Speranza diventa, da allora in poi, la grotta dei Morti.

* * *

La mancanza d'acqua sempre più frequente diventa a Trieste un problema di ordine pubblico per sedare disordini e disciplinare i consumi, mentre si moltiplica-

62. Galli M. (1975): *La grotta dei Morti (Documenti inediti e biografie per una storia della speleologia del Friuli - Venezia Giulia)*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 135-172.

no i progetti per l'acquedotto "definitivo", per il quale però bisognerà attendere ancora più di mezzo secolo. Oltre alle sorgenti della val Rosandra, della Bistrizza (affluente del Recca) ed all'acqua della grotta di Trebiciano si prendono nuovamente in considerazione il Risano, il Recca e il Timavo medesimo e nel 1869 viene convocato a Trieste — per una valutazione delle diverse possibili soluzioni — l'ing. Bürkli di Zurigo. Le sue conclusioni sono destinate — come tante altre — a rimanere lettera morta, però nella sua relazione⁶³ egli formula un'interessante sintesi, per quei tempi, della circolazione carsica sotterranea: *“Potrebbe darsi che nell'interno della massa calcarea esista un grande serbatoio d'acqua formato da una quantità innumerevole di maggiori e minori fenditure e cavernosità poste fra di loro in comunicazione, con che si avrà una specie di lago sotterraneo con un ingresso superiore e una sortita inferiore, fra cui l'acqua compie il suo lento cammino, apparendo quasi immobile in vista che il movimento si ripartisce fra una quantità di piccoli singoli meati ... Qualora esistesse in realtà un tale serbatoio sotterraneo formato da molte cavità, la superficie d'acqua del medesimo si vedrebbe lentamente ed a poco a poco accrescere al sopravvenire delle forti piogge, come avviene dei laghi esistenti sulla superficie della terra, ed andrebbe viceversa con eguale lentezza rimettersi al livello primiero mantenendosi durante un tempo proporzionalmente lungo negli spazi sotterranei al segno da appropriarsi la temperatura delle masse che la rinchiudono. Sennonché potrebbe anche darsi che il movimento dell'acqua sotterranea abbia un carattere diverso, vale a dire che l'acqua nel sottosuolo segua le stesse leggi d'un fiume scorrente nella profondità di una vallata cui concorrono da ogni parte confluenti minori che accrescono a poco a poco il volume dell'acqua. Ove ciò avvenisse, l'acqua si muoverà in una grande fessura o caverna nella sua lunghezza nella direzione da S. Canziano attraverso Trebich sino al Timavo, dividendosi forse di tratto in tratto in diversi rami come avviene nei fiumi di maggior entità in superficie”*.

Le grandi esplorazioni speleologiche

La grande “rivoluzione culturale” che attraversa l'Europa a fine Ottocento provoca una vera esplosione di tutte le attività sportive ed in particolare una proliferazione delle associazioni alpinistiche. Nel loro ambito, a Trieste si costituiscono i

63. Bürkli A. (1870): *Relazione dell'ingegnere A. Bürkli di Zurigo in risposta ai quesiti proposti dalla Commissione Municipale incaricata degli studi sui provvedimenti d'acqua della città di Trieste*, Trieste, 1-64.

primi nuclei della moderna speleologia organizzata; nel 1883 vengono fondati il “Comitato per l’esplorazione sotterranea del Carso” della Società degli Alpinisti Triestini (poi diventata Società Alpina delle Giulie) e l’Abteilung für Grottenforschung della Sektion Küstenland des Deutschen und Österreichischen Alpenverein (Sezione Litorale del Club Alpino Germanico-Austriaco), che conta già dieci anni di vita.

Gli Alpinisti Triestini si dedicano ad un nuovo ciclo di studi nella grotta di Trebiciano, dove sostituiscono (è la quarta volta dal 1842) le vecchie scale e i ripiani in legno ormai inservibili⁶⁴. Al fondo della grotta tentano nel 1884 una marcatura delle acque sotterranee con 3000 galleggianti, organizzata dal loro vice-presidente Giulio Grablovitz, senza conseguire alcun risultato. Tre analoghi esperimenti sono eseguiti in precedenza (1880 e 1882), sempre dall’ing. Grablovitz, nella grotta di S. Canziano: il primo con un (!) galleggiante “di dimensioni piuttosto grandi, dipinto a vivi colori e munito d’un astuccio metallico contenente un’istruzione con analoga mancia per chi lo ritrovasse”, il secondo con cento pezzi di legno zavorrati e il terzo con mille galleggianti, ma sempre senza esito, forse anche per i periodi di osservazione troppo brevi alle risorgive.

Con la consueta ricchezza di idee degli altri suoi lavori pubblicati in quel periodo (si vedano ad esempio i Bollettini della Società Adriatica di Scienze Naturali), Grablovitz tratta il tema dell’idrologia del Carso in una conferenza al convegno degli Alpinisti Triestini tenuto nel settembre 1884 a S. Canziano⁶⁵. Propone di effettuare “l’esplorazione delle grotte lungo le linee probabili dei corsi sotterranei, accompagnate da osservazioni microfoniche per rilevare i rumori dell’acqua corrente” e giunge alla conclusione “che il decorso sotterraneo [del Timavo] non sia né semplice, né uniforme, quanto per un fiume che scorra alla superficie ... e che in molti punti la superficie dell’acqua non sia libera, che esistano bacini in cui una determinata massa d’acqua soggiorni a lungo prima di continuare il suo corso e che possano pure esservi grandiosi filtri naturali costituiti dai detriti”.

Sempre nel 1884 la Sezione grotte dell’Alpenverein prende in affitto la grotta di S. Canziano ed intraprende l’esplorazione del Recca sotterraneo, la più grande im-

64. Morpurgo E. (1887): *La grotta di Trebiciano*, “Atti e Memorie della Società Alpina delle Giulie”, Trieste, 123-140.

Per l’analoga iniziativa progettata, ma non realizzata, dalla Società Adriatica di Scienze Naturali, si veda: Tommasini M. (1877): *Memoria letta nella radunanza generale della Società adriatica di scienze naturali il dì 7 gennaio 1877 (sulla caverna di Trebich)*, “Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali”, Trieste, 2(3):372-376.

65. Grablovitz G. (1885): *Sull’idrologia del Carso*, “Atti e Memorie della Società degli Alpinisti Triestini”, Trieste, 57-62.

presa speleologica mai realizzata sul Carso triestino. Animatori ne sono Anton Hanke, Joseph Marinistch e Friedrich Müller, della comunità tedesca di Trieste, che costituisce un importante segmento dell'élite cittadina; hanno superato i “quaranta”, comunque non si risparmiano fatiche, acrobazie e bagni prolungati nelle loro avventurose “navigazioni sotterranee”. Si avvalgono dell'aiuto — determinante — delle “guide” locali, che da anni ormai accompagnavano i rari turisti lungo percorsi vertiginosi fino al fondo delle voragini, ad ammirare l'imbocco delle caverne dove il fiume scompare. Con mezzi pesanti e rudimentali, anche se ingegnosi come la loro barca scomponibile (“navicella composta di due cassoni”), nel novembre di quell'anno riescono a superare la sesta cascata, che trent'anni prima aveva fermato Ivan Rudolf⁶⁶. L'esplorazione del grandioso canyon sotterraneo, alto fino a 90 metri, procede però con grande lentezza, sfruttando le rare occasioni in cui le condizioni del fiume si presentano favorevoli; rapide e cascate rendono la progressione di estrema difficoltà.

Di pari passo continuano i lavori per la costruzione dei sentieri turistici, nelle voragini esterne come nelle caverne, lungo le pareti a precipizio sul fiume; i visitatori possono così raggiungere comodamente il Duomo Müller e la sesta cascata quando la “navigazione sotterranea” non ha ancora superato la diciottesima, a circa 800 metri dall'ingresso (1887). Procede anche l'attrezzatura del vertiginoso “sentiero di salvataggio” (Rettungsweg), a decine di metri di altezza attraverso le pareti, realizzato “parte su scalini tagliati nella roccia, parte su travi sostenute da ferri”, con lo scopo di evitare l'impercorribile alveo del fiume⁶⁷. Non si sa ancora quanto a lungo potrà essere seguito il Recca nelle grotte di S. Canziano e già si pensa a raggiungerlo più a valle, per timore del pericolo delle sue improvvise piene. Nel settembre 1889 Anton Hanke organizza l'esplorazione di uno spaventevole baratro a tre chilometri di distanza, nel quale lo scandaglio a 150 metri non raggiunge il fondo: il suo nome, legato a cupe leggende, è Kačna jama, l'abisso dei Serpenti. Fino ad un centinaio di metri di profondità viene attrezzato con scale, poi viene sistemato un rudimentale verricello per continuare la discesa. Richiamato in città dai suoi impegni professionali, Hanke mette in libertà i lavoranti, ma questi continuano di propria iniziativa, trascinati dalla determinazione di Gregor Siberna (Žiberna) di Divaccia.

Con varie disavventure raggiungono il fondo del pozzo a 213 metri di profondità, in un'enorme caverna da dove seguono una galleria per centinaia di me-

66. Marinistch J. (1897): *Un vétéran des cavernes (Dominique Battelin)*, “Spelunca”, Paris, 3(11):139-140.

67. Müller F. (1890): *Die Grottenwelt von St. Canzian*, “Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins”, Wien, (estr. di 59 pp.).



Il superamento della sesta cascata nella grotta di S. Canziano. È l'immagine più conosciuta delle esplorazioni del grandioso complesso sotterraneo, oggi diventata il simbolo della speleologia pionieristica triestina. "Ritengo che i signori Hanke, Marinitsch e Müller — scriveva Eduard Alfred Martel pochi anni più tardi — abbiano compiuto lì dentro le più pericolose esplorazioni speleologiche che siano state mai effettuate" (Les Abimes, Paris, 1894, 469).

tri⁶⁸; trovano sabbie e depositi fluviali, ma non il corso sotterraneo del fiume. È forse l'episodio più significativo per comprendere il ruolo determinante avuto dagli ardimentosi lavoranti del Carso in quelle grandi esplorazioni, paragonabile senz'altro a quello avuto dalle guide nella "scoperta" alpinistica della montagna; gli stessi speleologi cittadini non hanno del resto mai cercato di sminuire i loro grandi meriti. Nell'estate 1890 viene ripresa l'esplorazione della grotta di S. Canziano, dopo il completamento fino alla 17.a cascata del sentiero in parete. Dopo 1300 metri di nuovo percorso, si raggiunge il termine del canyon sotterraneo in un'enorme caverna (caverna Martel) alta 120 metri, il vano più grande del Carso con i suoi 2.100.000 metri cubi di volume⁶⁹. Oltre un basso passaggio sul lago finale, la galleria continua non più alta di una decina di metri, dove viene raggiunto un altro bacino di acque immobili, ingombro di legname galleggiante.

Il 5 ottobre 1890 Hanke e compagni trasportano una barca fino a questo lago — intitolato a Carlo Marchesetti — e lo attraversano, ma devono arrestarsi in quella che sembrava la galleria di prosecuzione davanti "ad una siepe impenetrabile di arbusti, rami e ramoscelli ammassativi dalle acque, che sbarrava in tutta l'altezza il passaggio". Esplorano allora una diramazione laterale ed oltre una bassa galleria "in un labirinto di antri" giungono ad un'altra caverna con un bacino d'acqua immobile; l'ostacolo sembra aggirato, però "lo sbocco del laghetto non si potè scoprire, non essendo riuscito di rischiarare tutta la caverna e non avendo la possibilità di trasportare in giornata una barca"⁷⁰. Il rilievo di Hanke è lasciato "aperto" sull'ultimo lago⁷¹, ma in questa prosecuzione non devono nutrire molta fiducia se gli esploratori non insistono ulteriormente nei mesi seguenti, nonostante il sentiero di soccorso sia prolungato ormai fino alla caverna finale e si possa quindi giungere "via

68. Müller F. (1889): *Die Račna (sic) Jama*, "Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins", (21):258-259.

Müller F.: (1893): *Die Kačna jama im Karste*, "Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins", (8):98-100.

Müller F. (1900): *Die Kačna Jama (Schlangen-Schlund) bei Divača im Karste*, "Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins", Wien, 97-109.

69. Mihevc A. (1994): *Martelova dvorana v Škocjanskib jamah (The Martel's Chamber in Škocjanske jame)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 23:205-214.

Mihevc A. (1995): *Nove meritve Martelove dvorane v Škocjanskib jamah*, "Naše Jame", Ljubljana, 37:39-44.

70. *Il Recca sotterraneo, nuove scoperte*, di G. Marinitsch, "Il Mattino", Trieste, 30.7, 6.8, 13.8, 21.8, 19.9, 8.10.1890.

71. Müller F. (1891): *Entdeckungsfahrten in den St. Canzianer Höhlen im Jahre 1890*, "Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins" (estr. di 32 pp.)

terra” fino al lago Martel⁷². Cercano invece nuovamente di scoprire una via diretta per raggiungere dall'esterno il fiume sotterraneo e nel giugno 1891 ritentano l'esplorazione della Kačna jama: i preparativi durano due settimane e questa volta Anton Hanke scende insieme alle guide ad esplorare per 900 metri la grande galleria, senza raggiungerne la fine. Provato dagli strapazzi già sopportati a S. Canziano, egli affronta febbricitante le 14 ore di esplorazione e non riesce più a riprendersi da una pleurite; muore a 51 anni nel dicembre 1891. Strano destino, ha ricoperto il medesimo incarico — nel medesimo ufficio — di Antonio Federico Lindner e come lui ha perduto la salute nelle esplorazioni speleologiche⁷³. Forse in previsione della visita a S. Canziano di Eduard Alfred Martel (23 settembre 1893), Marinitsch vuole accertarsi che davvero la grotta non continui oltre l'ultimo lago raggiunto e il 6 settembre vi ritorna con una barca. Ma al di là del bacino di acqua immobile, che merita davvero il nome di “lago della Morte”, è assolutamente impossibile qualsiasi prosecuzione. Non hanno miglior esito i tentativi da lui compiuti in seguito con una ricerca minuziosa nelle gallerie terminali. A tal fine viene realizzato, nell'estate 1900, un sentiero “con passamani e ferri pei piedi” attraverso il sifone temporaneo del lago Martel⁷⁴ e un altro lungo le pareti del lago Marchesetti, dove viene inutilmente ispezionato ogni anfratto.

Nell'aprile 1895 inizia il grandioso lavoro (durato tre mesi, complessivamente 315 giornate lavorative) per attrezzare con 18 lunghe scale di legno infisse alle pareti l'immane pozzo d'ingresso della Kačna jama. Nell'estate Marinitsch completa l'esplorazione delle gallerie e a fine ottobre può constatare che, in seguito ad una forte piena, l'acqua è risalita nella diramazione più profonda per circa 60 metri e per 15 metri nel dicembre successivo⁷⁵. Con dodici esplorazioni nel 1895 e sei nell'anno successivo vengono perlustrate minuziosamente tutte le gallerie, senza però raggiungere il Recca sotterraneo⁷⁶.

72. Urban B.G. (1898): *Le cavernes de San Canziano*, “Il Tourista”, Trieste, 5(3):17-18, 5(5):34-37, 5(6):42-43, 5(7):49-50, 5(8):57-58 (la pubblicazione continua a puntate fino al 1901 con la descrizione del complesso sotterraneo).

73. Galli M. (1971): *Antonio Hanke e l'esplorazione delle grotte di S. Canziano*, “Alpi Giulie”, Trieste, 66:71-85. Kranjc A. (1992): *Ob stoletnici smrti Antona Hankeja*, “Naše Jame”, Ljubljana, 34:177-179.

74. Marinitsch J. (1900): *Grottes de la Recca à Saint-Canzian et à la Kačna-Jama*, “Spelunca”, Paris, 6(23/24):146-148. Per le riparazioni effettuate nel 1902, dopo una grande piena, si veda: “Il Tourista” (1904), Trieste, 10/1903:107-108.

75. Marinitsch J. (1896): *Les hautes eaux dans la Kačna jama*, “Spelunca”, Paris, 2(8):148.

76. Marinitsch J. (1896): *La Kačna-Jama (Gouffre des Serpents) en Istrie*, “Mémoires de la Société de Spéléologie”, 3:67-84.

Marinitsch J. (1896): *La Kačna-Jama (Istrie) - Nouvelle exploration (9 août 1896)*, “Spelunca”, Paris, 2(6-7):80-86.

Il potenziamento degli acquedotti e la circolazione sotterranea del Carso

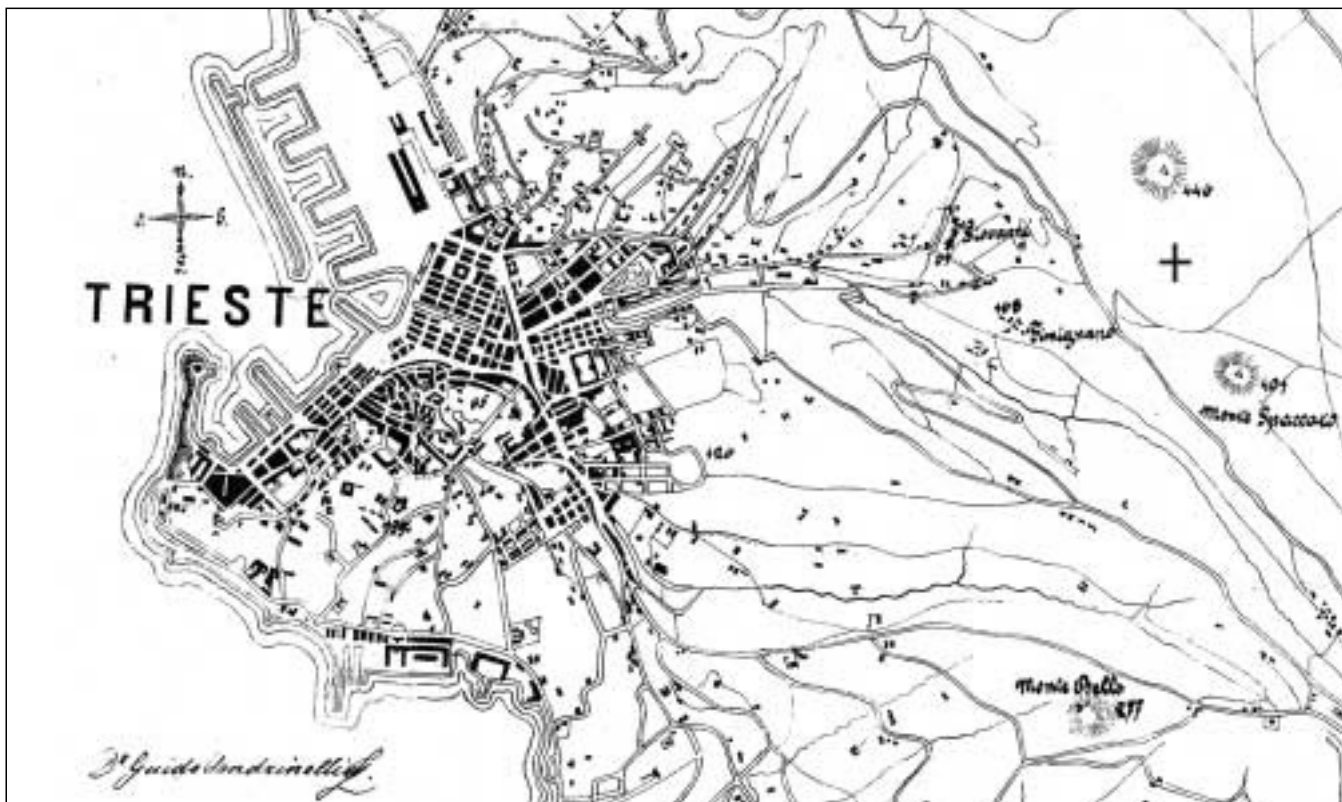
Intanto si va sempre trascinando la questione del rifornimento idrico di Trieste, diventata di anno in anno più grave in una città che raggiunge, a fine Ottocento, i 180.000 abitanti, con un fortissimo incremento annuale. Sembra di aver raggiunto il traguardo nel 1882, quando il Comune emana le delibere necessarie per la realizzazione dell'acquedotto combinato Bistrizza - Recca, che prevede la derivazione di 12.000 mc dalla Bistrizza per l'acqua di uso potabile e di 28.000 mc giornalieri dal Recca per gli usi industriali e lo sciacquamento del sistema fognario (già dal 1875 il Comune di Trieste è in possesso dei terreni nel comune censuario di S. Canziano e delle concessioni relative). Subentrano però incredibili lungaggini e pastoie burocratiche, palleggiate tra il Capitanato di Adelsberg (Postumia), la Reggenza Provinciale di Lubiana, il Ministero dell'Agricoltura e l'imperial regio Tribunale Amministrativo, per cui dopo quasi vent'anni la soluzione del problema rimane sempre al punto di partenza⁷⁷. Proliferano intanto nuovi progetti sempre più ambiziosi — e costosi — che prendono in considerazione anche il lago di Doberdò, il fiume Isonzo, le sorgenti del Vipacco e della "Mühlthal" (Malni) di Planina, ma in attesa delle grandi decisioni si provvede almeno, in via provvisoria, a sfruttare al meglio le magre risorse disponibili. Viene anzitutto prolungata la "galleria alimentatrice" dell'acquedotto di S. Giovanni, con uno scavo di 650 metri di lunghezza — realizzato dal 1898 al 1902 — che attraversa la formazione del flysch e si addentra per 174 metri nel calcare nummulitico (Prolungamento Tschebull). Non si trovano i bacini sotterranei o la falda carsica ipotizzati dal progettista⁷⁸, però viene triplicata la portata del vecchio acquedotto, pur raccogliendo soltanto acque di percolazione: "come nella galleria vecchia, anche nel tratto recentemente perforato lo stillicidio si manifesta tra strato e strato della roccia arenaceo-marnosa e la sua intensità varia a seconda delle condizioni atmosferiche; cessa però del tutto nella parte calcarea, che è completamente asciutta"⁷⁹. Lo scavo della galleria provoca il disseccamento dei pozzi nell'area sovrastante, a causa del drenaggio dei filetti idrici circolanti nelle stratificazioni del flysch; ancora mezzo secolo addietro una relazione di Muzio Tommasini su analoghi lavori ha segnalato l'arretramento del fronte sorgentifero col procedere delle gallerie verso l'interno⁸⁰.

77. Comune di Trieste: *L'Amministrazione Comunale di Trieste nel triennio 1900-1902*, Trieste, 261-275.

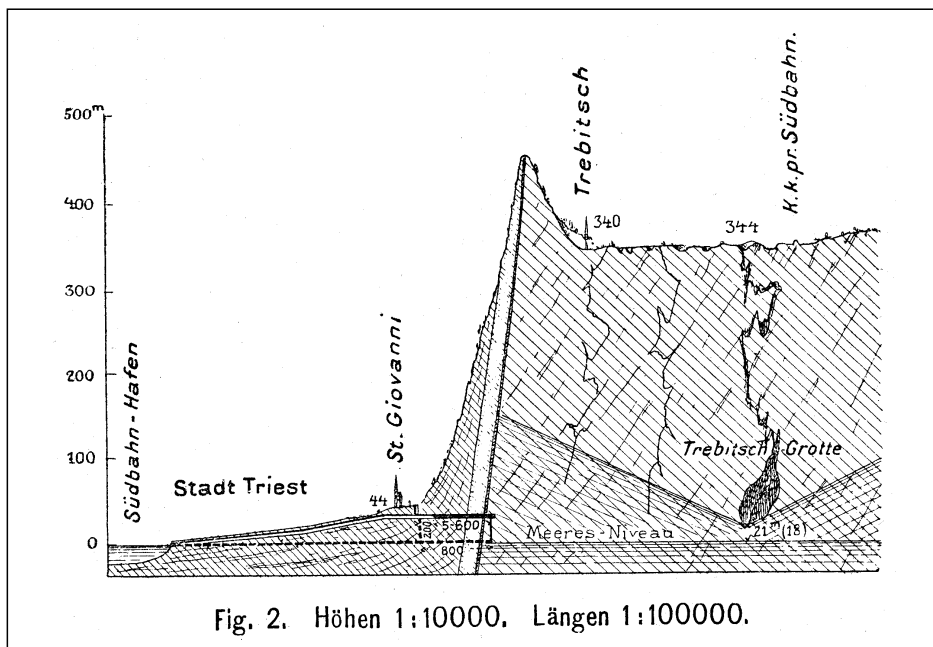
78. Tschebull A. (1896): *Project einer Trinkwasserleitung für die Stadt Triest*, "Zeitschrift des Österr. Ingen. u. Arch. Vereins", Wien, (estr. di 5 pp.).

79. Comune di Trieste: *L'Amministrazione Comunale di Trieste nel triennio 1900-1902*, Trieste, 279-280.

80. Pesaro A. (1995): *Le Wassergalerien dell'acquedotto Teresiano*, "Archeografo Triestino", Trieste, 55:239-293.

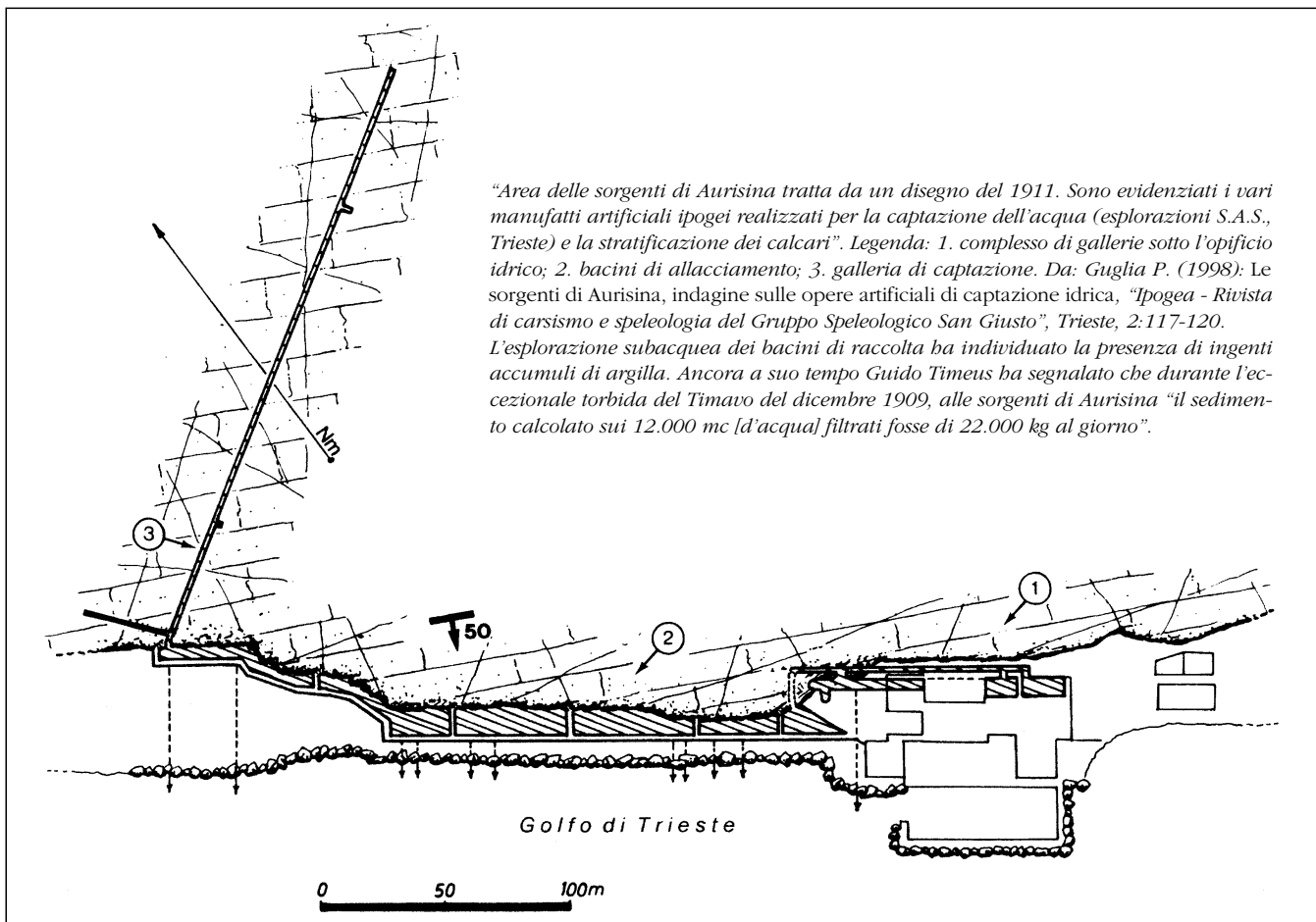


Trieste e la valle di S. Giovanni in una cartina di fine Ottocento. Oggi la zona è completamente urbanizzata e collegata senza soluzione di continuità al centro cittadino. Sulla planimetria è stata aggiunta la posizione — approssimativa — della grotta dei Morti, indicata dalla croce a nord-ovest del Monte Spaccato.



Una figura tratta dal progetto Tschebull (citato nella nota 78). Il prolungamento fino alla roccia calcarea della galleria dell'acquedotto Teresiano non ha intercettato l'ipotetica falda idrica, inclinata dal margine del Carso verso l'interno dell'altopiano (grotta di Trebiciano), come era nei sogni dei teorici della Karstwasser.

Nel 1900 e 1901 vengono anche realizzati grandi lavori di potenziamento dell'acquedotto di Aurisina. Il vecchio impianto infatti utilizza soltanto due delle nove sorgenti che scaturiscono in riva al mare, ai piedi dell'altopiano del Carso; questo fatto provoca vari inconvenienti nei periodi di magra: infiltrazioni di acqua salmastra e persino il completo prosciugamento delle sorgenti allacciate (verificatosi durante le siccità estive del 1865 e del 1868). Si costruisce dunque una diga di sbarramento, lato mare, per tutta la lunghezza della fronte sorgentifera, circa 350 metri, realizzando un bacino di raccolta di oltre 10.000 metri cubi. Viene messa a nudo la roccia calcarea, abbassando la soglia di rocce arenaceo-marnose ed ottenendo un aumento di portata delle polle (in quanto si tratta di sorgenti di trabocco). Si constata "che le acque scaturivano tutte ad una media di 1.30 m sotto lo zero della bassa marea, però sotto pressione" e con lo sbancamento del flysch viene dato libero sfogo a numerosi altri zampilli d'acqua, sempre sotto pressione, in corrispondenza delle fessure della roccia. Il pompaggio dell'acqua provoca l'impoverimento delle



sorgentelle costiere nella zona circostante, interessante indizio dell'esistenza di un unico sistema drenante. Durante i lavori del 1856 è invece accaduto il contrario: costruiti tutti i deflussi per consentire la costruzione del bacino di presa, una forte sorgente è sgorgata improvvisamente a 700 metri di distanza verso Trieste, alla quota di 15 metri sul livello del mare e per la durata di due mesi (causando gravi danni alle vigne sottostanti e alle murature dei terrazzamenti). Nel 1910-1911 dall'estremità del bacino verso Sistiana viene scavata una galleria di 250 metri nell'interno del Carso (il progetto ne prevedeva 500); questa raccoglie l'acqua di percolazione dalla volta e le piccole polle che scaturiscono dalle fessure sul pavimento, per una portata giornaliera, in magra, di oltre 500 metri cubi⁸¹.

A proposito dell'acquedotto del Recca, va ricordata l'azione giudiziaria sorta fra il Comune di Trieste e la Società della Ferrovia Meridionale, privatizzata nel 1858 — un anno dopo la fine dei lavori — e da allora cointeressata nell'utilizzazione dell'acquedotto di Aurisina. Per dirimere la controversia viene effettuato nel 1891 un esperimento di marcatura del Recca a mezzo di coloranti, il primo “moderno” esperimento documentato eseguito sul Carso⁸², anche se rimasto privo di risultati. Il problema da indagare è il percorso sotterraneo delle perdite subalvee a monte di S. Canziano, nel tratto in cui il fiume abbandona il bacino impermeabile di rocce arenaceo-marnose e per circa sette chilometri comincia ad incidere l'altopiano calcareo. Queste perdite vengono allora valutate a circa un terzo della portata del Recca in condizioni normali e fin dai tempi dei primi studi sono oggetto di ipotesi contrastanti: alimenterebbero le sorgenti del Risano e della val Rosandra oppure un ipotetico corso profondo al di sotto della grotta di S. Canziano oppure ancora le sorgenti di Aurisina. Appunto per verificare l'esistenza di quest'ultima relazione idrologica viene effettuata la marcatura con la fluoresceina: la Società della Ferrovia Meridionale infatti teme che queste sorgenti possano essere depauperate dall'impermeabilizzazione del letto calcareo del Recca, prevista dal progetto del nuovo acquedotto (secondo le perizie del Comune invece, le sorgenti di Aurisina sarebbero “emissarie locali di un bacino ristretto”). Il 12 giugno 1891 vengono immessi dieci chilogrammi di colorante a monte degli spandimenti del fiume, nei pressi di Vreme. Collaborano gli speleologi dell'Alpenverein che seguono il percorso del trac-

81. Crevatin G., Guglia P. (1997): *Il complesso delle sorgenti di Aurisina*, Atti del 4. Convegno Nazionale sulle cavità artificiali, Osoppo 1997, Trieste, Club Alpinistico Triestino, 69-86.

82. In realtà un precedente tentativo di marcatura con la fluoresceina viene effettuato nel 1884, probabilmente nella grotta di Trebiciano. Si veda:

Serate della Società adriatica di scienze naturali, “L'Indipendente”, Trieste, 11.1.1888.

Hugues C. (1903): *Idrografia sotterranea carsica*, Gorizia, 49.

ciante nella grotta di S. Canziano e quelli della Società Alpina delle Giulie, che in dodici giorni di lavoro rendono nuovamente percorribili le scale di legno nella grotta di Trebiciano per potervi effettuare le osservazioni⁸³ e di propria iniziativa tengono sotto controllo le sorgenti costiere minori. Ma forse per la quantità troppo esigua del colorante non si consegue, come si è detto, alcun risultato.

La ricerca del Timavo e la speleologia sportiva triestina

Le grandi esplorazioni a S. Canziano, che hanno consolidato il prestigio di Trieste nell'ambiente speleologico internazionale, in città acquistano popolarità sempre crescente ed accendono lo spirito di emulazione tra i giovani, attratti dalla possibilità di scoprire un mondo ancora sconosciuto, pieno di incognite e di fascino, alle porte di casa. Dopo il 1890 si costituiscono tra gli studenti i primi gruppi di "grottisti" che iniziano, con nuove energie e nuove idee, la vera esplorazione sistematica delle grotte del Carso⁸⁴.

Come a suo tempo per la speleologia "imprenditoriale" dei pionieri, anche per la nuova speleologia sportiva la ricerca del Timavo sotterraneo rimane sempre il movente principale. Buoni indizi della sua presenza vengono trovati nella Fovea Martel, tra Prosecco e Rupinpiccolo, intitolata al famoso speleologo francese; esplorata nel 1896 dal Comitato Grotte del Club Touristi Triestini, il gruppo più attivo a Trieste in quel periodo, vi si trovano tracce di sabbia nelle nicchie dei pozzi interni, rami e foglioline sminuzzate e il coleottero *Pterostichus fasciato-punctatus* già rinvenuto nella grotta di Trebiciano. Forti correnti d'aria talvolta escono dalle strette fessure sul fondo dei pozzi interni, le quali però, nonostante i tentativi di forzarle, non si riescono a superare⁸⁵.

I Touristi Triestini si dedicano quindi all'esplorazione della "valsecca" di Castelnuovo, dapprima in maniera sporadica, poi sistematicamente nell'estate 1904 per iniziativa di Giovanni Andrea Perko, uno degli animatori del gruppo (e futuro direttore delle grotte di Postumia). Di particolare interesse, sotto il profilo idrologico, gli inghiottitoi dei torrenti che scendono dalle sovrastanti colline arenaceo-mar-

83. Doria C. (1893): *Cenni intorno alla continuità delle acque del Carso, eseguite con l'impiego della fluoresceina nel giugno 1891*, "Atti e Memorie della Società Alpina delle Giulie", Trieste, 245-253.

84. Guidi P. (1995): *Cenni sull'attività dei Gruppi Grotte a Trieste dal 1874 al 1900*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 32/1994:85-127.

85. Perko G.A. (1896): *Fovea Martel*, "Il Tourista", Trieste, 3(6):53, 3(7):60-63, 3(8):68-69.

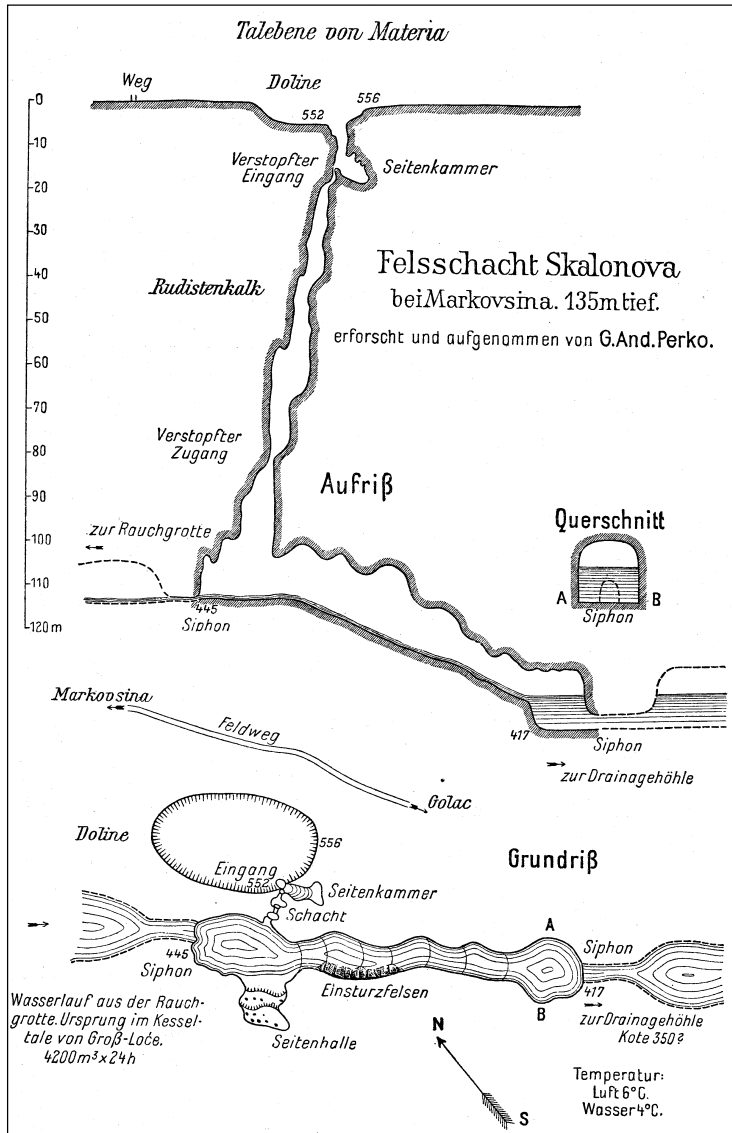
nose dei “Berchini”. Si tratta di condotte di nuda roccia, cavità morfologicamente giovanili che sembrano appena scavate e modellate dalla potenza erosiva delle acque; ben diverse dalla maggioranza delle grotte del Carso ormai fossili, ostruite da depositi di riempimento e da enormi colate di concrezioni di calcite.

Nell'inghiottitoio di Odolina l'esplorazione si ferma in un basso meandro allagato, alla profondità di 130 metri; nell'inghiottitoio di Hotična viene raggiunta la profondità di 194 metri (con uno sviluppo di 302): al suo termine, prima del sifone finale, un affluente laterale entra da un altro canale sifonante. Nella Tončetova jama, una serie di pozzi profonda 190 metri, si incontra a 100 metri di profondità “una potente colonna d'acqua” che si sprigiona da una diramazione laterale e precipita per 90 metri nell'ultimo pozzo (tutte queste misure in seguito saranno riviste e ridotte). Infine nella grotta del Fumo (Dimnice), profonda 124 metri e lunga 1230 (con due pozzi di accesso di 23 e 35 metri), si scopre una galleria percorsa da un torrente sotterraneo; per la sua bellezza viene resa “turistica” dalla Sezione di Trieste dello Slovensko Planinsko Društvo, con grandi lavori ultimati appena alla vigilia della prima guerra mondiale. Nel gennaio 1905 Perko annuncia di aver scoperto un altro corso sotterraneo in una grotta della zona (forse nella Skalonova jama) e grazie all'interessamento del direttore del Museo Civico, Carlo Marchesetti, riceve l'incarico di proseguire le ricerche a spese del Comune di Trieste. Egli continua i lavori per tre mesi e dichiara alla fine di aver trovato “acqua corrente” in sei (?) grotte a valle della strada Trieste-Fiume, ma non l'ipotetico collettore principale di quel vasto bacino carsico, che dovrebbe scorrere — secondo lui — a maggiore profondità. Perko riprende quindi le ricerche nella grotta di Trebiciano, dove afferma di aver continuato l'esplorazione a monte del sifone d'ingresso seguendo una galleria laterale; riportata da Martel⁸⁶, la notizia viene però accolta a Trieste con molta perplessità, né del resto il passaggio verrà mai più ritrovato. In seguito Perko esegue anche una marcatura con sale marino per accertare il collegamento tra la grotta del Fumo e la Skalonova jama, nella quale ha raggiunto, dopo un difficile lavoro di disostruzione, un torrente della portata di 4200 mc giornalieri, che scompare in un sifone a 135 metri di profondità, alla quota di 417 metri sul livello del mare⁸⁷.

Da ricordare inoltre le esplorazioni di un altro importante inghiottitoio temporaneo, la Medjama (oggi chiamata Mejame) presso Dane, considerata — per la sua vicinanza — in collegamento con le gallerie terminali della grotta di S. Canziano. Dopo i tentativi compiuti dall'Alpenverein nel 1887 e nel 1892 (conclusi a 120 me-

86. Martel E.A. (1909): *Le probleme souterrain du Timavo-Recca (Istrie)*, “La Nature”, Paris, 37: 281-284.

87. Perko G.A. (1909): *Die Tropfstein- und Wasserhöhle Dimnice (Rauchgrotte) bei Markovsina in Istrien*, “Mitteilungen der k.k. Geographischen Gesellschaft”, Wien, 52(6):241-262.



Il rilievo della Skalonova jama nel bacino di Castelnuovo; da: Perko G.A. (citato nella nota 87). Sopravvive ancora il ricordo di un intraprendente sacerdote di Slivje, forse lo stesso promotore della valorizzazione turistica della grotta del Fumo, che aveva acquistato il terreno intorno all'imbocco per impiantarvi una segheria, con l'intenzione di utilizzare l'acqua della Skalonova. Mutate le condizioni idrologiche della zona, oggi nella grotta non si riscontra più alcuna traccia del torrente.

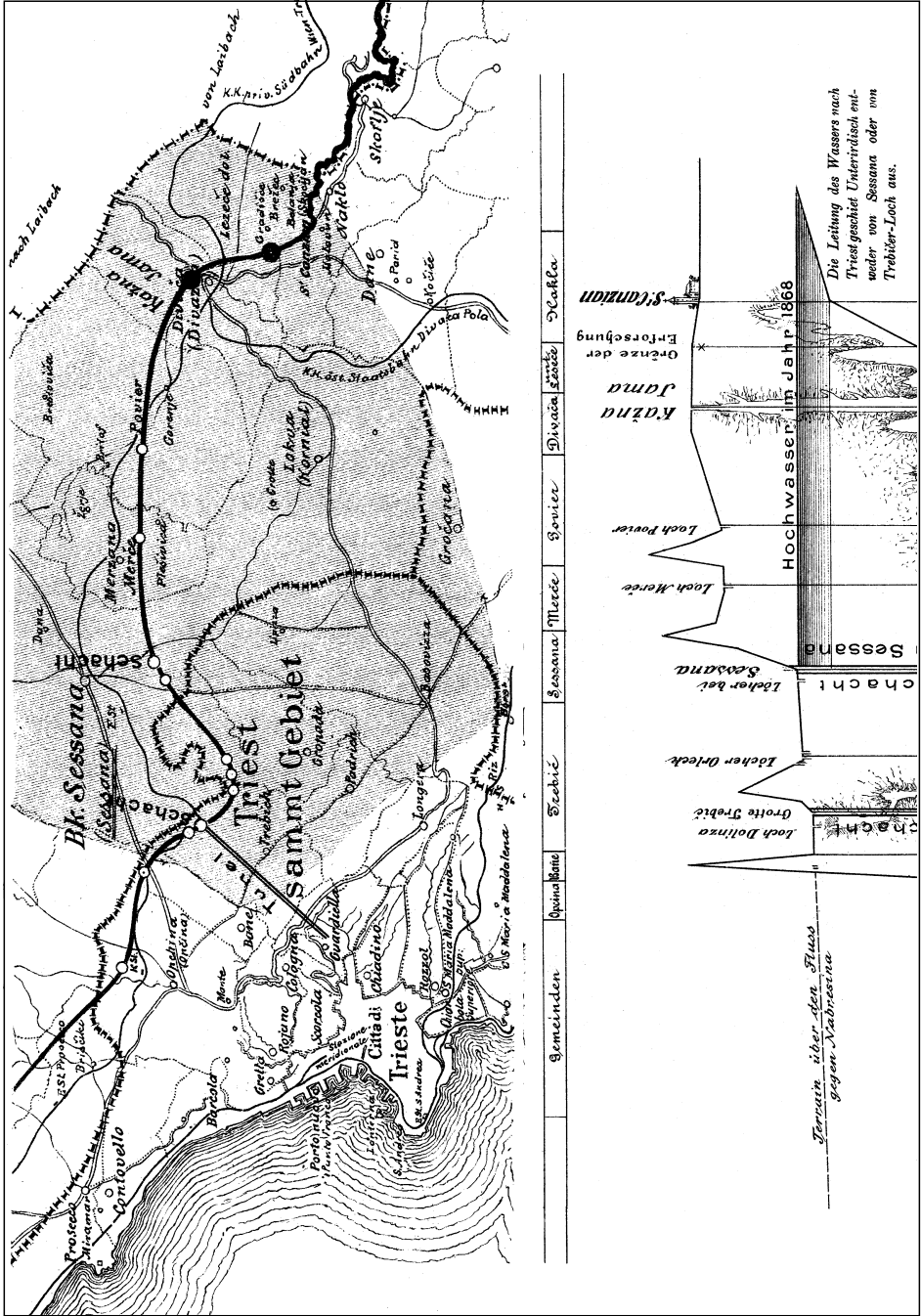
tri di profondità), l'esplorazione è ripresa nel 1909 dall'Hadesverein di Trieste (da non confondere con l'omonimo gruppo speleologico studentesco, attivo nel 1893-94 e poi confluito nel Club Touristi Triestini⁸⁸). Viene raggiunto il sifone terminale senza trovare il Recca sotterraneo e credendo, per la sovrastima della profondità (197 metri invece dei 170 reali) di essere già ad una quota più bassa del lago Morto.

88. Petritsch E.F. (1952): *Der "Hades" - Jugend als Bahnbrecher der Höhlenkunde*, in: Hofman-Montanus H., Petritsch E.F.: *Die Welt ohne Licht*, J. Habbel, Regensburg, 83-163.

Il Timavo sotterraneo e le teorie idrogeologiche

Riguardo il presunto corso sotterraneo del Timavo, una prima ipotesi viene formulata già dalla “Commissione delegata allo studio della Caverna di Trebich” nella sua relazione del 10 luglio 1841 (conservata all’Archivio di Stato di Trieste); vi si legge come sia “più verosimile che esso corra per la valle al di qua del Monte Voinig [in italiano “Lanaro”] che nella valle al di là”, sia pure “diviso in più filoni d’acqua ... e come sulla superficie della terra si formano rigagnoli per versarsi in un canale principale, è verosimile che altrettanto segua sotterraneamente”. Gli estensori della relazione, Giuseppe Sforzi e Pietro Kandler, in seguito hanno precisato in varie occasioni che dalla grotta di Trebiciano il Timavo sotterraneo deve proseguire verso Duino parallelamente alla linea di costa (come raffigurato nella cartina a corredo del *Discorso sul Timavo*) anche se Kandler non ha escluso — e con lui Adolf Schmidl — l’esistenza di un altro corso sotterraneo lungo il vallone di Brestovizza. Questa ipotesi viene ripresa da Luigi Buzzi in un lavoro sulle sorgenti di Aurisina⁸⁹, nel quale sostiene che il Recca sotterraneo scorre nella profondità della “grande depressione di Brestovizza” senza avere alcuna relazione con le acque del “thalweg” di Aurisina, separate da uno spartiacque di “calcari compatti e concordanti” in corrispondenza dei rilievi che costituiscono la catena mediana dell’altopiano. Le sorgenti di Aurisina non sarebbero pertanto “una fuga dell’arteria principale Recca-Timavo”, come allora si credeva, ma sarebbero alimentate soltanto dalle infiltrazioni sul bacino carsico, esteso fino ai rilievi arenacei del “M. Houze” (in italiano “Castellaro”) dal quale potrebbero provenire le sabbie silicee della grotta di Trebiciano.

89. Buzzi L. (1880): *Sulle neoscoperte scaturigini presso Aurisina*, “Atti della Società d’Ingegneri ed Architetti”, Trieste, 3(2):1-17. (Interessante la sua osservazione di una “frattura del calcare submarino”, responsabile della fuoriuscita delle sorgenti di Aurisina.)



Nel suo lavoro sull'idrologia del Carso, Giulio Grablovitz ribadisce a sua volta la funzione di spartiacque sotterraneo della catena mediana del M. Lanaro "costituita dai calcari compatti della creta inferiore, impermeabili e resistenti all'erosione dell'acqua" e ritiene "come certa l'esistenza di due decorsi principali sotterranei riunentisi poco prima di giungere al Timavo ... Il fatto però che la catena del calcare compatto presenta una profonda depressione nei pressi di Corgnale può far supporre che le acque del Recca vi trovino un varco nelle fenditure del calcare radio-litico e raggiungano per quella via la grotta di Trebiciano".

L'argomento viene ripreso e sviluppato da Antonio Polley, che estende il "bacino carsico" di Luigi Buzzi ben più a monte del Castellaro comprendendovi tutta la "valsecca" di Castelnuovo. "Il Recca — egli scrive — non alimenta le acque della caverna di Trebiciano, ma il bacino idrico di questa si trova nel paese dei Berchini (da Rodik a Sapiane) e nella Cicceria"⁹⁰. Dalla caverna di Trebiciano "il fiume continua sempre in direzione di ponente, passando le località di Brisciki, Prosecco, Nabresina e Slivno, poi sotto l'avvallamento presso Mauchinia e Cerovlje sino a Brestovizza. Da Brestovizza il Timavo descrive un arco e volge al meriggio, per ritornare a giorno, diviso in tre rami, presso la chiesa di S. Giovanni di Duino".

"Vecchio tecnico pratico" — come ama definirsi — e facoltoso possidente di Sesana, l'ing. Polley dedica un'attività intelligente e tenace alla ricerca dell'acqua del Carso, nella speranza di utilizzarla per il non ancora realizzato "acquedotto definitivo" di Trieste. Subentra nel 1894 alla Società Alpina delle Giulie nella concessione della grotta di Trebiciano, nella quale fa sostituire le scale di legno ed allestire "del-

90. Polley A. (1902): *Descrizione dei diversi progetti per l'approvvigionamento d'acqua della città di Trieste dal Timavo Trebiciano*, Trieste, 1-21.

Nella pagina a fronte: carta del presunto corso sotterraneo del Timavo, allegata al cartolare Zusammenstellung über den unterirdischen Lauf des Karst-wassers di Antonio Polley; l'andamento ricalca quello ipotizzato da Giuseppe Sforzi mezzo secolo prima, con una deviazione verso Sesana. Dei due pozzi (Schacht), quello collegato con il tunnel a S. Giovanni di Guardiella corrisponde alla grotta di Trebiciano; l'altro — a sud di Sesana — corrisponde alla grotta di Konjedovce dove l'ing. Polley ha fatto eseguire una campagna di scavi a proprie spese. I circoletti bianchi indicano i pertugi (Loch) che diventano soffianti durante le piene. I primi due punti a valle della grotta di Trebiciano sono quelli già segnalati da Adolf Schmidl nel 1851; il terzo non è identificabile. Dei tre punti a monte, due probabilmente si riferiscono al "pozzo primo" fra Orle e Gropada (2262 VG) — esplorato nel 1926 e non più ritrovato — e al pozzo del M. Franco (3224 VG) [si veda: Mikolic U. (1998): Il pozzo del M. Franco, "Progressione", Trieste, 39:10-12]. Sotto la cartina, nell'originale è raffigurata la sezione del Carso da S. Canziano a S. Giovanni di Guardiella.

le zattere per rendere navigabile il fiume”, indispensabili per effettuare le misure di portata; fa eseguire nuovi rilievi e frequentissime misurazioni di portata nell’arco di molti mesi (lavora per lui anche Eugenio Boegan, di cui si parlerà ampiamente in seguito); tenta di aprire con le mine “una breccia all’entrata del fiume sotterraneo”, ma parte dei suoi lavori vengono distrutti nella grande piena del 27 ottobre 1895, quando l’acqua sale all’altezza di m 112,5 sul livello del mare. Fa quindi eseguire, sempre a proprie spese e senza fortuna, grandi lavori di scavo nella grotta Noè (90 VG) e nella grotta Nemec (89 VG) nel tentativo di raggiungere il corso sotterraneo del Timavo; inoltre misure di portata del Recca e della Bistrizza e “terebrazioni” nei pressi delle risorgive del Timavo, dove riscontra che il corso sotterraneo si ramifica subito a monte degli sbocchi formando “dei grandi bacini, la cui acqua ha una profondità di 30 m sotto il livello del mare”. Le opinioni da lui formulate non sono deduzioni astratte ma il frutto di attente ricerche sul terreno, eseguite durante le piene nel bacino del Recca. “Ho appreso a seguire il corso sotterraneo del fiume — egli scrive — valendomi dei così detti sfiatoi che si trovano sulla superficie del suolo; quando l’acqua sale nelle caverne l’aria viene spinta all’esterno con grande forza e con un sibilo che si può udire da lontano. Al tempo delle piene io chiudevo questi buchi con delle tavole e su queste mettevo delle pietre. La corrente d’aria era però così forte da rovesciare la copertura. Il terreno all’intorno tremava e gli alberi si agitavano ... Si deve però ammettere che l’acqua è chiusa per bene nel letto formatosi, poiché se le acque in piena potessero espandersi per tutto il Carso, non dovrebbero formarsi correnti d’aria tanto forti e l’acqua non potrebbe salire a 100 metri ... Se si osserva il Recca in tempo di piena, prima del suo inabissarsi nella voragine di S. Canziano, dopo anche nel burrone Cačna Jama (sic), negli sfiatoi d’aria presso Povir e si osserva nello stesso periodo di tempo le fessure presso Sesana, Orlek, Gropada e finalmente la caverna di Trebiciano (per più giorni naturalmente) si vede che una piena del bacino del Recca non si manifesta sempre a Trebiciano”... Da quanto sino a qui fu esposto segue che noi abbiamo sul Carso due fiumi sotterranei paralleli, i cui corsi corrispondono alle depressioni seguite sulla superficie nella nostra regione. Questi due corsi si uniscono nella valle di Brestovizza e qui formano il Timavo, quindi noi possiamo chiamarli fiume Recca e fiume Trebiciano. Il Recca scorre esattamente sotto al suo antico letto che si può seguire ancora sulla superficie del suolo e precisamente: da S. Canziano verso Divacciano (Cačna Jama) e da qui oltre Papiriano (Povir), Dane, Smarje, nell’avvallamento presso Duttoliano, Velikidol, Tuble, Berie e Brestovizza per unirsi al fiume Trebiciano e formare il Timavo”.

In seguito Antonio Polley modifica in parte le sue opinioni sul corso sotterraneo del Timavo ed afferma che “probabilmente l’acqua della caverna di Trebiciano è un misto di acqua del Recca e delle regioni di Basovizza e Matteria fino a Castel-

nuovo”⁹¹. Nella cartina inserita in una delle sue pubblicazioni⁹², egli delinea un tracciato del corso sotterraneo che poco si discosta da quello elaborato da Giuseppe Sforzi mezzo secolo prima (un corso unico da S. Canziano alla grotta di Trebiciano per Divaccia e Povir), con una curva più accentuata verso Sesana, dove sembra sicura la presenza del Recca nella grotta di Konjedovce, anche questa fatta scavare a sue spese.

Si discosta su questo punto il pensiero di Eugenio Boegan: egli immagina infatti la direttrice principale del deflusso sotterraneo spostata verso sud (secondo l'ipotesi di Adolf Schmidl), da S. Canziano attraverso la soglia di Corgnale (7). Nel suo “profilo longitudinale del Carso da S. Canziano a Duino lungo la traccia presumibile del corso sotterraneo del Timavo” Boegan la individua in corrispondenza delle maggiori cavità conosciute, sull'allineamento grotta dei Serpenti - grotta di Corgnale - grotta di Trebiciano - Ferneti - grotta Gigante - grotta Martel - grotta Nemecc - grotta delle Torri di Slivia - risorgive del Timavo.

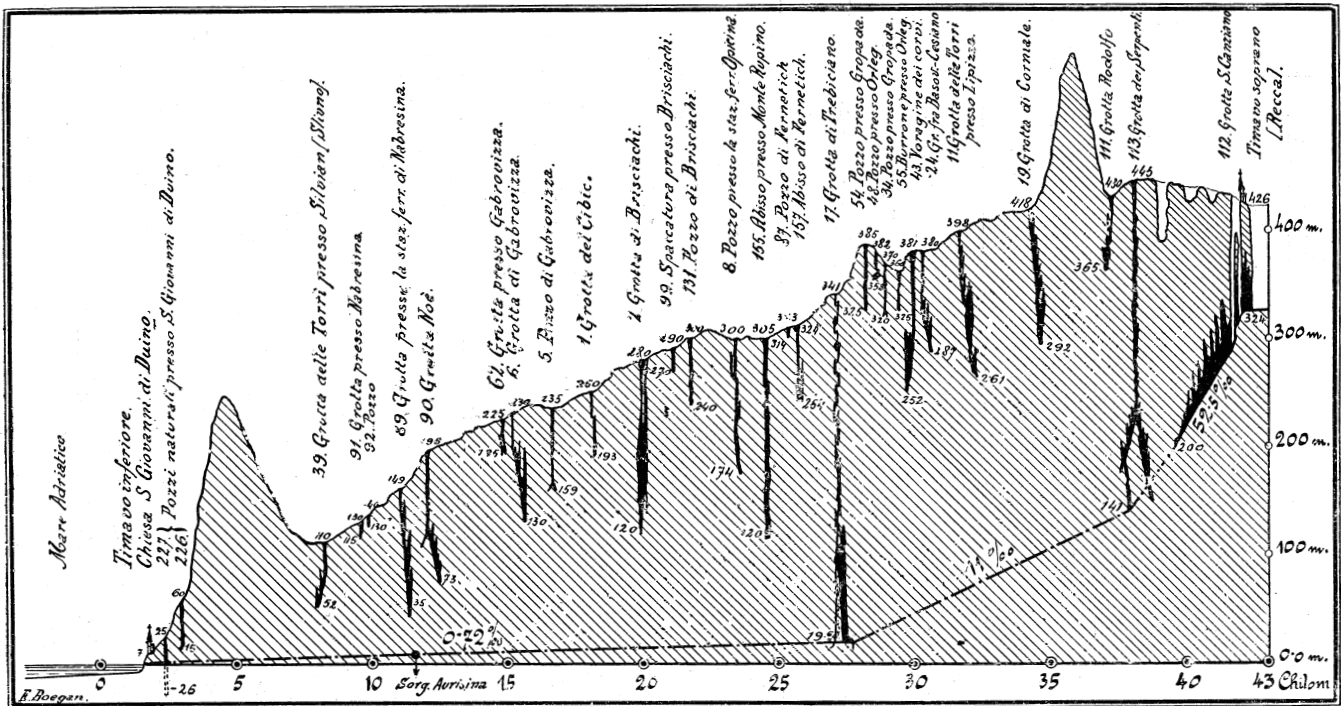
L'ipotesi dei due corsi sotterranei paralleli — e del tutto indipendenti tra loro — viene ripresa da Franz Mühlhofer (85), ufficiale dell'esercito austriaco in servizio a Sesana e capogruppo della nuova associazione speleologica “Hades”, di cui si è detto, che aderirà in seguito (1911) alla Sektion Küstenland dell'Alpenverein di Trieste. Giovanni Andrea Perko (88) sostiene invece l'esistenza di un collegamento tra i due fiumi sotterranei a monte della grotta di Trebiciano, in modo che attraverso di essa possa defluire anche parte dell'acqua di S. Canziano. Tra queste due ipotesi rimane però un disaccordo di base, riguardante l'interpretazione stessa della circolazione profonda del Carso: Mühlhofer infatti precisa che l'acqua sotterranea non segue un corso vero e proprio ma si disperde nell'acqua di fondo, mentre Perko sostiene che tale acqua di fondo non esiste nei massicci calcarei e che i deflussi profondi seguono dei corsi ben distintamente canalizzati⁹³.

Il problema della circolazione carsica sotterranea comincia in quegli anni ad alimentare, a livello internazionale, una controversia scientifica che si è protratta per mezzo secolo, anche se già da tempo a Trieste — come si è visto — questi argomenti sono affrontati e dibattuti in relazione ai vari progetti di rifornimento idrico.

91. Polley A (1909): *Acquedotto da Trebiciano a S. Giovanni presso Trieste oppure invece conduttura dell'acqua del Timavo per la strada recentemente progettata da Monfalcone a Trieste*, Trieste, 1-7.

92. Polley A. (1908): *Zusammenstellung über den unterirdischen Lauf des Karst-wassers*, Triest.

93. Perko G.A. (1908): *Zur Hydrographie des istrischen Karstes*, “Globus”, Braunschweig, 94(19):297-301.
Perko G.A. (1908): *Im Karst ist kein Grundwasser*, “Laibacher Zeitung”, Laibach (Ljubljana), n. 176-179.



Profilo longitudinale del Carso da S. Canziano a Duino lungo la traccia presumibile del percorso sotterraneo del Timavo.
(L'altezza è disegnata in iscala 40 volte maggiore di quella della lunghezza).

Sezione del Carso triestino in corrispondenza del presunto corso sotterraneo del Timavo; da: Boegan E. (7). In confronto all'ipotesi di Giuseppe Sforzi (cartina a pag. 30), a monte della grotta di Trebiciano il corso sotterraneo risulta spostato verso sud di alcuni chilometri; più a valle, all'altezza delle sorgenti di Aurisina, questo avrebbe un'andamento parallelo alla linea di costa, circa due chilometri all'interno dell'altopiano.

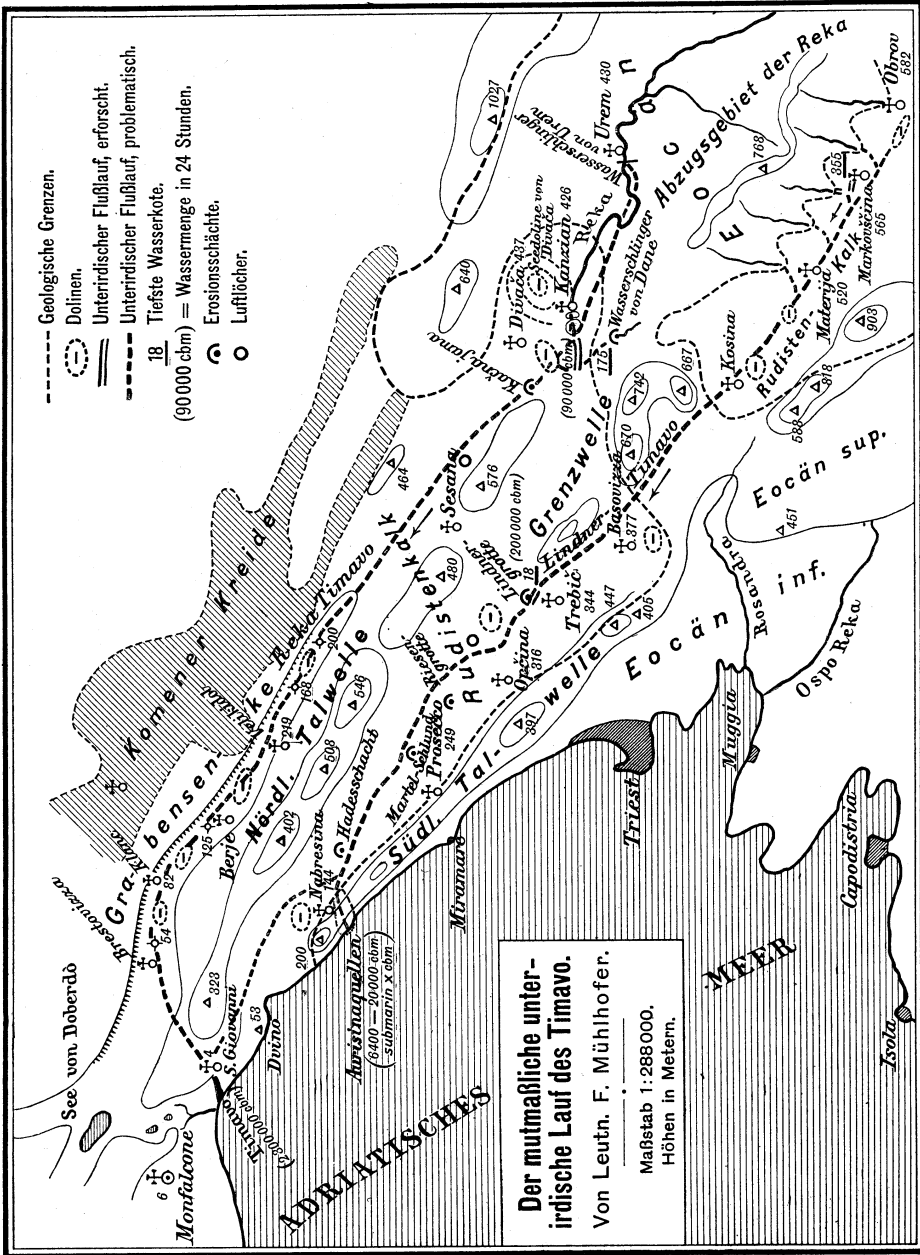
La teoria dell'acqua di fondo (Grundwasser) nella roccia calcarea, sostenuta a fine Ottocento da diversi studiosi, trova il suo maggior illustratore — singolare coincidenza dei nomi — in Alfred Grund, che paragona un calcare fessurato, da un punto di vista idrologico, ad un conglomerato molto grossolano “a blocchi di diametro gigantesco separati da strette fessure”, lungo le quali l'acqua percola in profondità fino alla base del massiccio carsico⁹⁴. In un tale sistema di esilissime vene d'acqua si verrebbe a determinare nei massicci carsici una situazione simile a quella dei terreni incoerenti: una zona di percolazione, analoga alla “zona vadosa”, entro la quale le acque meteoriche si infiltrano lungo le fratture della roccia ed una zona satura sottostante, analoga alla “zona freatica” (letteralmente: “zona nella quale attingono i pozzi” - *phréatos*) che è imbevuta dall'acqua di fondo nel suo infinito sistema di fessure comunicanti, interconnesso su estensione regionale. La zona satura sarebbe limitata superiormente da una superficie che raccorda il livello raggiunto dall'acqua nelle fessurazioni (la “superficie piezometrica” delle falde acquifere nei terreni incoerenti); questa superficie sale o decresce, nella massa calcarea, sotto l'effetto delle precipitazioni e degli eventuali apporti fluviali, in misura variabile, dipendente dalla densità della fratturazione della roccia. Se l'apporto delle piogge è particolarmente intenso, la zona satura può raggiungere la superficie del suolo e causare l'inondazione delle aree più basse. Grund distingue nell'acqua di base un'acqua di fondo vera e propria (Grundwasser) al di sotto del livello di base — cioè il livello delle risorgive — sempre stagnante ed assolutamente priva di qualsiasi circolazione, estesa fino alle rocce incarsificate sottostanti al massiccio calcareo. Al di sopra del livello di base, che nei carsi litoranei è pressoché coincidente con il livello del mare, l'acqua sotterranea sottoposta a carico idrostatico (Karstwasser) è invece in continuo, lento movimento verso i punti di sbocco, frazionata e dispersa in un reticolo di fessure impenetrabili. Su concezioni del tutto diverse si basano le ipotesi di Eduard Alfred Martel, lo studioso più autorevole del tempo in materia di carsismo, con un curriculum ragguardevole di speleologia esplorativa. Egli parte dal presupposto che non possono esistere falde freatiche nei massicci carsici, all'interno dei quali i corsi d'acqua scorrono sempre canalizzati ed è possibile a tutti i livelli la formazione di condotte forzate sottoposte a pressione idrostatica, an-

94. Si vedano le sintesi critiche sull'evoluzione delle teorie idrogeologiche in:

Herak M., Stringfield V.T. (1972): *Karst - Important karst regions of the northern hemisphere*, Elsevier, Amsterdam, 1-24.

Gams I. (1974): *Kras - zgodovinski, naravoslovni in geografski oris*, Slovenska Matica, Ljubljana, 27-60.

Herak M. (1976): *The Yugoslav contribution to the knowledge of karst hydrology and geomorphology*, Karst hydrology and water resources, 1:3-30 (citato nella nota 162).



che con canali sifonanti; osserva che ammettere l'esistenza di "falde discontinue" nei calcari equivale a riconoscere l'esistenza di un reticolo di pieni e di vuoti e che una "falda" può dirsi tale soltanto qualora si estenda con continuità per una grande estensione. La circolazione dell'acqua sotterranea carsica non avviene dunque con un flusso continuo e diffuso, ma con flussi concentrati e isolati nella massa rocciosa, che possono essere sottoposti a differenti pressioni idrauliche anche in canalizzazioni molto vicine. Questa visione del fenomeno viene ripresa e puntualizzata da Friedrich Katzer, che studia come Alfred Grund i grandi polje della Bosnia occidentale giungendo però a conclusioni opposte alle sue. Egli osserva che bacini contigui ed alla medesima altitudine talvolta non vengono contemporaneamente allagati e che durante le inondazioni dei polje alcuni inghiottitoi continuano ad assorbire l'acqua mentre questa sta ancora crescendo, rigurgitata dalle cavità vicine. Inoltre, nel caso di sorgenti vicine situate a diversa altezza, non sempre quelle più elevate si seccano per prime; si tratta in definitiva di un "groviglio" di correnti sotterranee che fluiscono nei sistemi di canalizzazioni della roccia (Karstgerinnen).

Secondo tali vedute la circolazione sotterranea sarebbe condizionata soltanto dalle fratture più grandi ed avrebbe il carattere di un reticolo di canali nettamente individuati, veri e propri corsi d'acqua con alvei propri e con una propria individualità, come i fiumi superficiali, fino alla foce. Queste canalizzazioni si formerebbero per il progressivo confluire di vene d'acqua sempre più ricche e quindi anche in assenza di un apporto fluviale esterno vero e proprio. Non può esistere quindi una superficie piezometrica continua e con uniforme inclinazione su scala regionale, ma il livello dell'acqua nelle canalizzazioni dipende da condizioni esclusivamente locali. Un sifone in una grotta non rappresenta pertanto la superficie di una falda idrica, che permea un sistema di vasi comunicanti nelle fratture, ma al contrario, un tratto di galleria allagata a tenuta stagna, priva del tutto di fessurazioni, oltre il quale la grotta può continuare in profondità anche con vani a pelo libero.

Martel in realtà non respinge l'idea di una massa d'acqua continua che possa riempire tutti i vuoti della roccia, ma questi sono intesi come un reticolo di canali separati tra loro e di vani nettamente individuati, nei quali il livello dell'acqua stessa dipende da condizioni esclusivamente locali e si dispone secondo una superficie di equilibrio variabile nel tempo e nello spazio. Punto cruciale della questione è invece il ruolo delle fessure minori e capillari, inaccessibili all'indagine diretta, re-

Nella pagina a fronte: "Il presumibile corso sotterraneo del Timavo", da: Mühlbofer F. (85). Alle risorgive di S. Giovanni di Duino confluiscono il Reka-Timavo, proveniente dalla grotta di S. Canziano e il Lindner-Timavo proveniente dal bacino di Castelnuovo. Col nome di Lindner-grotte viene indicata la grotta di Trebiciano.

sponsabili dello stabilirsi o meno di una verosimile superficie piezometrica e soprattutto di una ritenzione idrica in grado di esercitare una funzione regolatrice sui deflussi.

Fra i molti studiosi coinvolti nella polemica sulla Karstwasser, ridotta il più delle volte a dispute accademiche da tavolino che si sono protratte ben dopo la scomparsa di Alfred Grund (morto in guerra nel novembre 1914), merita un cenno particolare il geologo Lukas Waagen, che studia per anni l'idrologia sotterranea dell'Istria meridionale per l'approvvigionamento idrico di Pola e di Parenzo. Egli ammette l'esistenza dell'acqua di fondo soltanto nei massicci carsici poco profondi, condizionati da un livello sottostante di rocce impermeabili; in quelli profondi invece, l'acqua di percolazione verticale tenderebbe progressivamente a confluire e a dare luogo ad una circolazione prevalentemente canalizzata, estesa anche molto al di sotto dell'attuale livello del mare, come sarebbe dimostrato dalle grandi sorgenti sottomarine del golfo di Fiume e della Dalmazia. Nei Carsi profondi sarebbe riscontrabile lungo la costa un'acqua di fondo di ristagno (Staugrundwasser), per effetto dell'arginatura provocata sulle acque d'infiltrazione locale dall'equilibrio idrostatico dell'acqua marina, di differente peso specifico⁹⁵.

Inizia la ricerca scientifica

La prova incontrovertibile della continuità Recca-Timavo viene ottenuta per la prima volta appena all'inizio del 1908, quando è coronata dal successo la “gigantesque épreuve physico-chimique” (sono parole di E.A. Martel) realizzata dopo lunga e metodica preparazione da Guido Timeus, direttore del laboratorio chimico del “Civico Fisicato” (Ufficio d'igiene) del Comune di Trieste. Per primo egli riesce a dimostrare le relazioni tra i principali afflussi e deflussi del Carso classico, con l'impiego di coloranti, di traccianti chimici e di sostanze radioattive; mette a punto nuovi e originali metodi di ricerca con la collaborazione di Giorgio Vortmann, triestino anch'egli, che diventa in quegli anni direttore del Politecnico di Vienna. In particolare, per superare i problemi relativi ai lunghi percorsi sotterranei e ai grandi volumi d'acqua, sperimenta l'impiego del cloruro di litio, da riconoscere all'analisi spettroscopica; per aumentare la sensibilità della ricerca i campioni d'acqua vengono sottoposti ad evaporazione (concentrazione), aggiunta di acido cloridrico diluito e

95. Waagen L. (1910): *Die unterirdische Entwässerung im Karst*, “Geographische Zeitschrift”, Leipzig, 16:398-401.

successivo trattamento con alcool del residuo. Accertata preventivamente con questo sistema l'assenza del litio nelle acque da esaminare, a fine dicembre 1907 vengono immessi nel Recca 50 chilogrammi del tracciante (in piccoli sacchetti disposti nella linea mediana della corrente); gli esami spettroscopici di 1380 campioni d'acqua, eseguiti nei laboratori di Vienna, rivelano la presenza del litio nelle risorgive del Timavo — dove giunge dopo 8 giorni e 19 ore — e nelle sorgenti di Aurisina, Barcola e S. Giovanni di Guardiella⁹⁶. In seguito si esprimeranno molti dubbi sulla realtà del collegamento S. Canziano - S. Giovanni di Guardiella, dove l'acqua, in apparenza di sola percolazione, sgorga ad una quota relativamente elevata (56 metri sul livello del mare)⁹⁷. Pure si tratta delle sorgenti nelle quali il litio sarebbe riapparso in quantità maggiore rispetto a tutti gli altri punti di deflusso e più accurate indagini sulla geologia della zona — in particolare sui sistemi di faglie che l'attraversano — non escludono oggi la possibilità di tale relazione idrologica⁹⁸.

I risultati di questo primo esperimento vengono poi verificati nell'aprile e nell'ottobre 1909 con l'impiego di sostanze radioattive. La marcatura consiste nel disporre trasversalmente alla corrente, immersa nell'acqua, una "catena" di sacchetti di pechblenda di Joachimsthal (uraninite) trattenuta da funi; alle risorgive la determinazione quantitativa della radioattività viene effettuata immediatamente, sul posto, con l'impiego di un particolare elettroscopio e senza dover raccogliere campioni da analizzare in laboratorio⁹⁹. Ripetuti varie volte, gli esperimenti sembrano avere risultato positivo, anche se oggi si esprime qualche riserva sulla validità della metodica usata¹⁰⁰. In seguito, durante un altro tentativo, una piena improvvisa nella grotta di S. Canziano trascina nel corso sotterraneo del Timavo 50 chilogrammi di pechblenda, avuti in prestito dal governo austriaco.

96. Vortmann G., Timeus G. (1911): *L'applicazione del cloruro di litio nelle indagini d'idrologia sotterranea*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 25(2):233-237.

97. Nel 1965 viene data la notizia, accolta anch'essa con molte riserve, del ritrovamento di un proteo nella galleria del vecchio acquedotto teresiano di S. Giovanni di Guardiella; si veda:

Scoperta alle porte di casa una rilevante falda acquifera, "Il Piccolo", Trieste, 21.7.1965.

Guidi P. (1970): *L'abisso della Cava Faccanoni*, "Rassegna Speleologica Italiana", Milano, 22(1/4):30-32.

98. Anselmi M., Ballarin L., Forti F., Forti Fu., Semeraro R. (1995): *Geologia e carsismo sotterraneo recente della Cava Faccanoni*, "Ipogea - Rivista di carsismo e speleologia del Gruppo Speleologico S. Giusto", Trieste, 1:17-48.

99. Vortmann G., Timeus G. (1911): *L'applicazione di sostanze radioattive nelle ricerche d'idrologia sotterranea*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 25(2):247-259.

100. Mosetti F. (1985): *Geofisica*, Enciclopedia Monografica del Friuli Venezia Giulia, 1. Aggiornamento, Udine, 123-200 (179).

Viene inoltre dimostrata nel 1910, con l'impiego di cloruri di litio e di stronzio, la relazione tra le perdite del Vipacco a Vertoce (dove il fiume lambisce le rocce calcaree del Carso e sono visibili addirittura dei piccoli vortici nelle fessure) con i laghi di Doberdò e di Pietrarossa, le sorgenti Sardos (Sardotsch) e le risorgive del Timavo (nelle quali, sia pure estremamente diluiti, i traccianti giungono prima che nel lago di Pietrarossa). Ha invece un risultato negativo la verifica del collegamento tra il bacino di Castelnuovo e le acque profonde del Carso triestino: immessi 50 chilogrammi di fluoresceina nell'inghiottitoio di Odolina, il tracciante compare soltanto nelle risorgive del Risano, rimaste fortemente colorate per quattro giorni "con disillusione dei cultori di quella teoria che vuol stabilire una analogia ed una dipendenza tra il corso sotterraneo delle acque ed il supposto loro antico alveo subaereo nelle depressioni del terreno"¹⁰¹.

L'esistenza di una falda idrica indipendente dalle risorgive del Timavo, per quanto ad esse contigua, viene evidenziata nel 1909 con l'immissione di uranina (sale potassico della fluoresceina) nel laghetto al fondo del pozzo della ferrovia (226 VG), ubicato 250 metri a monte del pozzo dei Colombi (227 VG), ma con il livello dell'acqua due metri più basso e circa 20 centimetri — in regime di magra — più basso dello stesso terzo ramo del Timavo (contro l'ipotesi di un teorico sistema di vasi comunicanti). Il colorante esce dopo quattro giorni, in seguito a forti precipitazioni, dalle sorgenti Sardos e Moschenizze, e soltanto in minime tracce, rilevate dall'esame spettroscopico in un'altra occasione, dalle risorgive del Timavo¹⁰².

Contemporaneamente agli esperimenti di marcatura, Timeus esegue sulle acque sotterranee del Carso una serie di sistematiche ricerche chimiche, batteriologiche e mineralogiche, misure termometriche ed analisi del plankton e delle torbide, anticipando nelle metodiche gli orientamenti degli studi idrologici ripresi ai nostri giorni. Sulla base di questa ingente raccolta di dati, egli conferma l'ipotesi della "coesistenza di grandi bacini sotterranei e di un sistema reticolato di canali" nel corso sotterraneo del Timavo, con una funzione equilibratrice nella portata delle risorgive (come sarebbe dimostrato, soprattutto in regime di magra, dalla temperatura e dalle caratteristiche chimiche dell'acqua, che si mantengono costanti). Timeus esclude il prevalere nella circolazione idrica del Carso di acque derivanti da lenta infiltrazione attraverso la roccia calcarea e scorrenti in un reticolo di fessure; nel qual caso l'acqua del Timavo "dovrebbe essere molto più carica di sali ... e la

101. Piacentini G. (1912): *Contributi alla soluzione del problema dell'acqua*, Ufficio Idrotecnico Comunale, Trieste, 47.

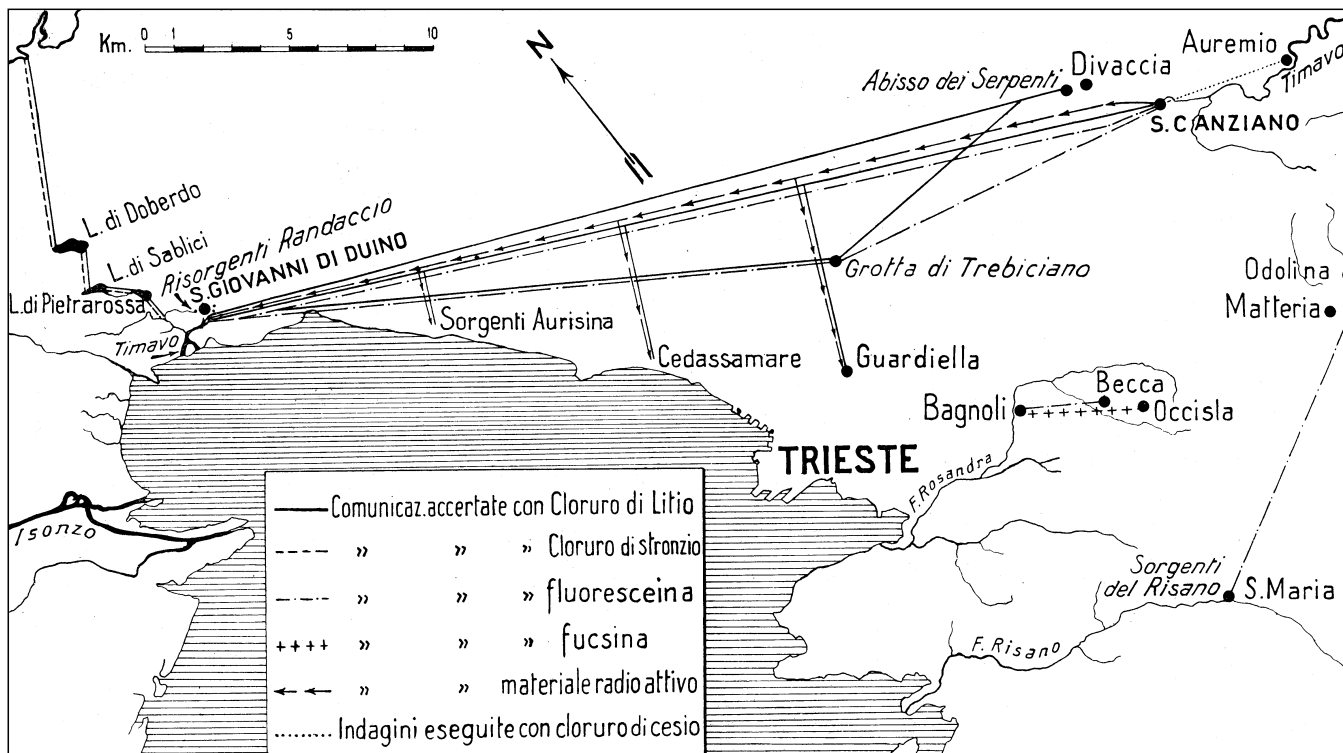
102. Boegan E. (1914): *Pozzi naturali presso S. Giovanni di Duino*, "Alpi Giulie", Trieste, 19(4-6):95-101.

durezza dovrebbe essere notevolmente maggiore di quella che realmente si presenta” (97). Ritiene che il Timavo sotterraneo a valle degli scarichi laterali di Barcola “si diluisce immensamente forse anche con acqua proveniente da altri bacini”¹⁰³; a questo riguardo considera probabile, ma non si sa sulla base di quali elementi, che il Timavo possa ricevere cospicui contributi dalle “grandi vene del sottosuolo del Friuli”.

Mente dinamica nella ricerca scientifica, Guido Timeus come funzionario del Civico Fisicato dimostra però un eccessivo ottimismo riguardo la potabilità e la capacità di autodepurazione delle acque carsiche ed è proprio contro le sue conclusioni sotto il profilo igienico che l’opposizione socialista nel consiglio comunale di Trieste riesce a bloccare nel 1912 il nuovo progetto per l’acquedotto del Timavo. Viene avviata di conseguenza una nuova serie di studi coordinata da una commissione di periti esterni: Karl Kinzer, consigliere edile superiore della città di Vienna, Theodor Schenkel, consulente in ingegneria civile di Graz e Franz Kossmat, docente di geologia al politecnico di Graz. Nella grotta di Trebiciano si sostituiscono nuovamente le scale e si costruisce una zattera per le misure di portata; inoltre vengono sistemati scalarmente quindici idrometri dal fondo alla sommità della collina di sabbia (quota 60 metri) nella grande caverna. L’Ufficio Idrotecnico Comunale esegue un lungo ciclo di misure idrometriche e termometriche del corso sotterraneo; a tale scopo Eugenio Boegan vi compie discese giornaliere dal gennaio 1913 al maggio 1915 (osservazioni poi saltuariamente continuate fino al marzo 1916). Viene così verificata, tra l’altro, la relazione tra il livello dell’acqua e la sua velocità — e di conseguenza la portata — a dimostrazione che l’aumento di carico idrostatico imprime un’immediata accelerazione al drenaggio sotterraneo.

Timeus organizza il 28 gennaio 1913 un esperimento di marcatura del Recca per verificare il collegamento S. Canziano - grotta di Trebiciano - Timavo, impiegando un sensibilissimo fluoroscopio di sua invenzione (un precedente esperimento eseguito nel 1908 a Trebiciano non ha ottenuto un risultato del tutto sicuro). Il colorante compare nella grotta di Trebiciano dopo 135 ore dall’immissione e vi transita per 48 ore; dopo altri quattro giorni fuoriesce alle risorgive del Timavo, sia pure in estrema diluizione, rilevabile soltanto con l’analisi chimica. “La persistenza della colorazione a Trebiciano — scrive Timeus — avuto riguardo al limitato quantitativo di uranina impiegato nelle indagini (17 kg), dimostra che a monte della caverna non debbano sussistere che limitati bacini di raccolta”. Il cloruro di litio viene portato anche nel punto più profondo della Kačna jama, grazie alla collaborazione degli speleologi del Höhlenforscherverein Hades (12 maggio 1913); il trac-

103. *Il problema Recca - Timavo risolto*, “Il Piccolo”, Trieste, 11.4.1908.



La cartina e il quadro sinottico delle relazioni idrologiche accertate con gli esperimenti di marcatura di Guido Timeus (99). Nell'angolo in alto a sinistra, il corso tortuoso del Vipacco. Le sorgenti di Aurisina e di Guardiella alimentavano i vecchi acquedotti di Trieste; quelle di Cedas (Cedas-samare), oggi scomparse, nell'Ottocento erano ancora "perenni e abbondanti" e venivano utilizzate per il rifornimento delle navi.

Esperienze per dimostrare l'esistenza di comunicazioni fra alcuni corsi d'acqua della Regione Giulia.

Metodo usato	LOCALITÀ E QUOTA		Distivello	Distanza	Pendenza ‰	Tempo impiegato (1)	Velocità oraria
	della immissione	della risorgenza					
a) Litio	Grotta S. Canziano m. 317	Foci del Timavo m. 3	m. 314	km. 34,5	m. 9,1	8 g. 19 h.	m. 163,5
b) Radioattivo	Scoglio "Loreley" m. 282	Foci del Timavo m. 3	m. 299	km. 34	m. 7,7	8 g.	m. 177,1
c) Fluoresceina	Grotta S. Canziano m. 317	Foci del Timavo m. 3	m. 314	km. 34,5	m. 9,1	10 g. 3 h.	m. 142
Litio	Fondo Grotta dei Serpenti m. 120	Foci del Timavo m. 3	m. 117	km. 31	m. 3,8	(1)	—
Fluoresceina	Grotta S. Canziano m. 317	Grotta Trebiciano m. 18	m. 299	km. 12,5	m. 23,9	5 g. 5h. 51'	m. 97
Litio	Grotta S. Canziano m. 317	Guardiella m. 56	m. 261	km. 15	m. 17,4	10 g. 14h.	m. 59,05
Litio	idem	Cedaassamare m. 2	m. 815	km. 21	m. 15	7 g. 10h.	m. 114,13
Litio	idem	Sorg. Aurisina m. 0	m. 317	km. 27	m. 11,7	8 g. 19h.	m. 127,9
Cesio	Auremio sup. m. 350	Fondo fr. S. Canziano m. 252	m. 98	km. 7	m. 14	12 ¹ / ₄ h.	m. 549
a) Fluoresceina	Pozzo dei Colombi N. 227 m. 4,35	Foci Timavo m. 2,41	m. 1,94	m. 315	m. 6,2	2 h.	m. 157,5
b) Fluoresceina	Pozzo pr. Ferrovia N. 226 m. 2,27	Foci Timavo m. 2,10 e Sorgenti Randaccio (Sardotsch) m. 2,08	m. 0,17	m. 580	m. 0,3	(2)	—
c) Fluoresceina	2 piccole grotte pr. la risorg. Timavo m. 2,41 Pozzo dei Colombi N. 226 m. 4,35	Foci Timavo m. 2,41 Sorg. Randaccio m. 2,08	m. 0,15	m. 620	m. 0,24	6'	m. 250
Fluoresceina	Nel Vipacco a Vertozza pr. Biglia m. 38	Lago Doherdò m. 6	m. 82	km. 7,5	m. 4,3	—	dopo un'acquazzone
Litio e cloruro di Stronzio	idem	Lago Pietrassa m. 4	m. 34	km. 9	m. 3,8	—	—
idem	idem	Lago Sablici m. 0,88	m. 37,12	km. 10,5	m. 3,5	—	—
idem	idem	Foci del Timavo m. 3	m. 35	km. 12,5	m. 2,8	5 g.	m. 104,1
idem	idem	Insonzo in cui si scarica il Vipacco m. 4	m. 34	km. 6	m. 5,7	3 g.	m. 83,3
Fluoresceina	Torrette Odolina (Valle di Castelnuovo) m. 495	Sorgenti Risano m. 70	m. 425	km. 12,5	m. 3,4	5 g.	m. 104,1
Fluoresceina	Grotta d. Casata N. 169	Risorg. Bagnoli m. 50	m. 298	m. 2850	m. 104,9	(3)	—
Fucsina	Vorag di Occlisa m. 348	idem	m. 248	km. 3	m. 99,5	—	—
Fluoresceina	Lago Sablici m. 0,88	Sorgente Lisaert m. 0,58	m. 0,30	m. 480	m. 0,63	4h. 50'	m. 99,4

(3) Risultato dopo forti precipitazioni; dalla risorgente usci acqua colorata con fluoresceina invece dalla vicina breccia filoclastica l'acqua era tinta dalla fucsina.

(1) Accertato dopo un anno in seguito ad una eccezionale piena.
 (2) Accertato dopo un violento acquazzone.

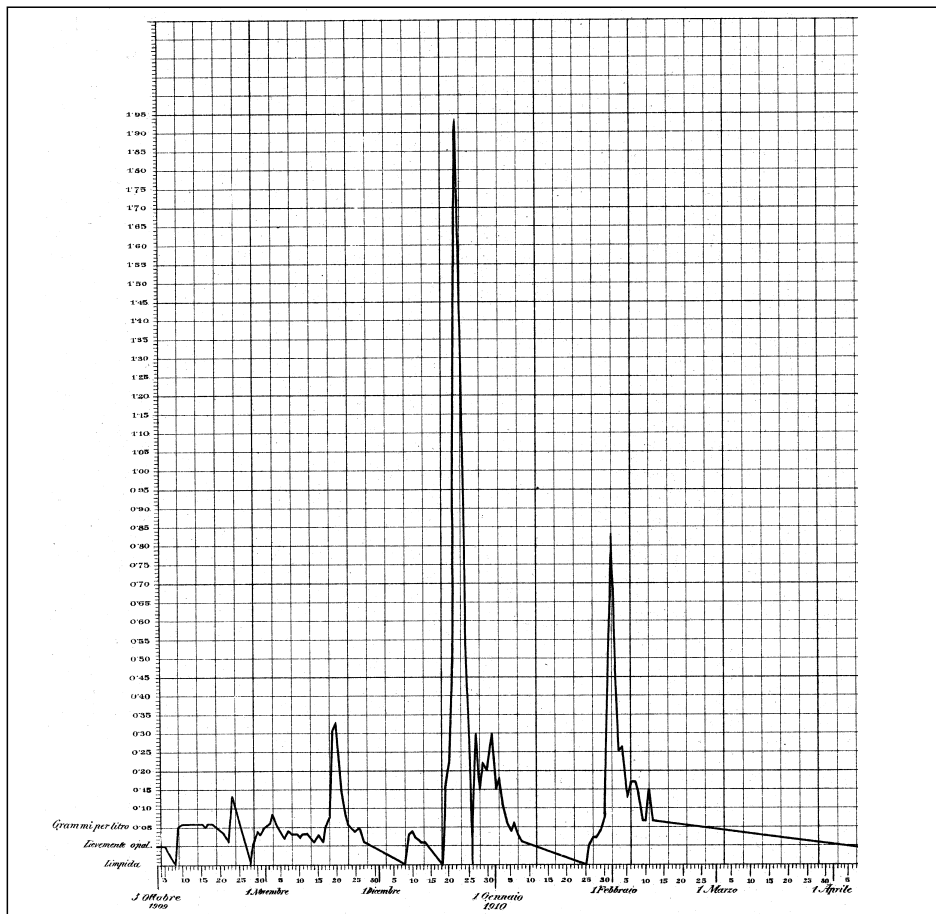
Le esperienze d'idrologia sotterranea, eseguite con i metodi sottoindicati hanno dimostrato le comunicazioni fra i seguenti corsi d'acqua:

- 1) Relazione fra il fiume Timavo superiore a S. Canziano (focca) e le foci del Timavo presso S. Giovanni di Duino (eseguita con cloruro di Litio e con materiale radioattivo con fluoresceina).
- 2) Relazione fra il fiume Timavo superiore a S. Canziano e la sorgente dei Serpenti che scorrono al fondo della voragine del Timavo superiore con le foci del Timavo.
- 3) Relazione del corso del Timavo superiore con il fiume che scorre nel fondo della caverna di Trebiciano.
- 4) La comunicazione fra il Timavo superiore e il corso sotterraneo con le risorgenti di S. Giovanni di Guardella, Cedaassamare e le polle di Aurisina (eseguita con cloruro di Litio e sostanze radioattive).
- 5) E dimostrata l'enorme diluizione nella caverna di S. Canziano delle acque del Timavo superiore presso Auremio con un'acqua colorata (eseguita con cloruro di Cesio) e la velocità del Timavo superiore da Auremio al fondo della grotta (eseguita con fluoresceina).
- 6) La relazione del corso del Timavo sotterraneo con i pozzi naturali esistenti presso lo sbocco dello stesso: Pozzo dei Colombi, N. 227 Grotta Seconda N. 226 e due grotte presso la Risorgenza del Timavo (indagini eseguite con fluoresceina e fucsina).
- 7) La relazione del Timavo, sotterraneo con le risorgenti di Randaccio (Sardotsch) (eseguita con fluoresceina).
- 8) La congiunzione del fiume Vipacco attraverso i laghi di Doherdò, Sablici e Pietra rossa con le foci del Timavo presso S. Giovanni di Duino e le Risorgenze di Randaccio eseguita con cloruro di Litio e di Stronzio.
- 9) Scoperta del fiume Risano; comunicazione fra le acque del torrente di Odolina presso Mattia con le risorgenti di Risano presso Mattia (eseguita con fluoresceina).
- 10) Comunicazione fra il fiume Vipacco e le sorgenti di Grotta d. Casata (eseguita con fluoresceina), di Grotta d. Occlisa (Altipiano di S. Servolo) con le risorgenti di Bagnoli (eseguita con fluoresceina e con fucsina).
- 11) Comunicazione delle acque del lago di Sablici con le sorgenti del Lisaert (eseguita con fluoresceina).

ciante viene riscontrato nel Timavo e nella grotta di Trebiciano appena nel marzo 1914, in seguito ad una forte piena. La possibilità di disporre dei risultati delle analisi eseguite per più giorni consecutivi consente per la prima volta di effettuare una correlazione delle variazioni di portata nella grotta di Trebiciano con la torbidità dell'acqua e le sue caratteristiche chimico-biologiche; la grande variabilità di questi parametri nei diversi regimi idrologici, le forti oscillazioni della temperatura dell'acqua e l'inquinamento riscontrato "durante gli innalzamenti di livello nella caverna" portano al definitivo abbandono del progetto dell'acquedotto di Trebiciano¹⁰⁴:

"Mentre in condizioni normali, quando le acque sono basse, non venne accertata la presenza di acido nitroso né di ammoniaca ed il contenuto di sostanza organica (calcolato come permanganato consumato) si aggira intorno a 2-3 mgr. per litro e l'acqua si mantiene perfettamente limpida, e l'analisi batteriologica dimostra da 40 a 80 microorganismi per centimetro cubo, ed inoltre la durezza si mantiene costante, all'incontro durante l'innalzamento del livello specialmente quando le precipitazioni sono alquanto forti, osserviamo la presenza dell'acido nitroso e l'ammoniaca in quantità da 0,10 a 0,15 mgr. per litro; il contenuto di sostanza organica oscilla da 8 a 10 mgr. per litro; e la durezza dimostra differenze di 3-4 gradi tedeschi. L'acqua durante le precipitazioni si presenta torbidissima, la torbidezza maggiore si osserva nel primo giorno d'innalzamento di livello e persiste talvolta per 5 o 6 giorni. L'analisi batteriologica, che come si è detto durante i periodi normali dimostra da 40 a 80 colonie per centimetro cubo, sale improvvisamente a oltre 1000 colonie per centimetro cubo. Durante i periodi di discesa delle acque il quantitativo dei microorganismi oscilla da 300 a 400 per centimetro cubo. Per quanto concerne le torbide, dalle ricerche finora avviate si deduce che le torbide di Trebiciano arrivano fino a 0,735 grammi per 1000 centimetri cubi cioè 735 grammi per metro cubo. Il Timavo inferiore nella stessa epoca arrivò a un massimo di 0,05875 grammi per 1000 centimetri cubi ossia 58,75 grammi per metro cubo; risulta cioè nel Trebiciano una torbida 12.5 volte maggiore di quella del Timavo inferiore. In altre indagini la torbida di Trebiciano superò soltanto di 3.5 volte quella del Timavo inferiore ... Per quanto concerne il carattere delle torbide, dobbiamo osservare una prevalenza di materiale colloidale e una persistenza maggiore che in quella del Timavo inferiore, carattere e persistenza che sono in perfetto parallelismo col Timavo superiore (Recca)".

104. Costantini A., Timeus G. (1914): *Parere sul provvedimento d'acqua dalla caverna di Trebiciano*, Consiglio comunale di Trieste, Allegato al resoconto stenografico della nona seduta pubblica del 6 maggio 1914, Trieste, 185-189 (i dati delle analisi, eseguite dall'Istituto di Igiene dell'Università di Vienna, sono riportati nelle tabelle alle pag. 68-99).



“Diagramma indicante il grado delle torbide del Timavo inferiore”, realizzato durante gli studi preparatori per l’acquedotto di Trieste; da: Timeus G. (97).

L’acqua è perfettamente limpida soltanto in rare giornate e “lievemente opalescente” per brevi periodi; peraltro non sono frequenti nemmeno le forti torbide (sono considerate torbide medie quelle con 0,020 grammi/litro di materiali in sospensione). I tempi di ritorno alla limpidezza sono molto variabili, ma è impossibile qualsiasi interpretazione in merito, senza una correlazione con le portate del Recca e del Timavo e con le precipitazioni sui diversi settori del Carso. “Il Timavo sottano — scrive Guido Timeus (96) — va soggetto a notevolissime torbide di tre qualità: la torbida rossa, dipendente dalla terra rossa del Carso, la seconda giallastra dipendente dalle terre marnose del Timavo superiore, la terza dipendente dal terriccio che trovasi nel perimetro circostante al tratto di smaltimento. La torbida rossa è la meno comune”. Quest’ultima infatti risulta quasi sempre mascherata dalla torbida giallastra alle risorgive del Timavo mentre, in base alle successive osservazioni, è la più frequente alle sorgenti Sardos a causa della loro diversa alimentazione, soltanto marginalmente influenzata dai drenaggi principali del sistema carsico e dagli apporti del Recca. In occasione delle piene, la torbidità massima delle sorgenti Sardos, come pure la massima concentrazione di sostanze organiche, viene registrata con 24 ore di ritardo rispetto alle risorgive del Timavo; è probabilmente l’indizio di un collegamento indiretto e lontano, verso monte, tra i due sistemi drenanti.

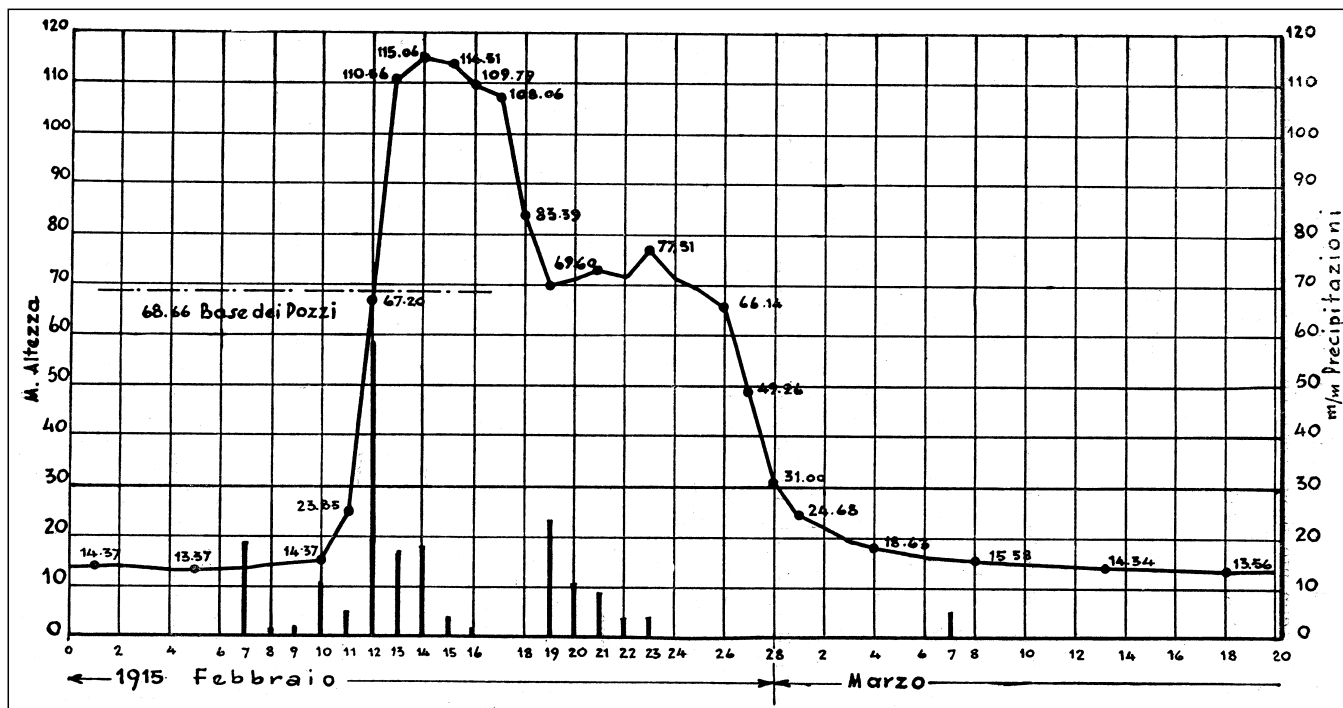


Diagramma del livello dell'acqua nella grotta di Trebiciano nel febbraio - marzo 1915, periodo nel quale viene registrata la massima altezza raggiunta dall'acqua nella cavità (115 metri sopra il livello del mare il 14 febbraio) e la grande caverna rimane completamente allagata per 13 giorni consecutivi; da: Boegan E. (9).

Durante il montare della piena l'aria pompata all'esterno riesce a sollevare la pesante botola metallica dell'ingresso, che rimane fluttuante sulle cerniere. Sergio Englandi (citato nella nota 180) ha dato una bella descrizione di una piena, quando nella caverna si forma un immenso lago. "Arrivati sul fondo dell'ultimo pozzo, ci accolse un frastuono assordante; mentre dalla volta veniva giù una cascata, la superficie del lago appariva sconvolta da enormi bolle d'aria che, intrappolate nelle gallerie sommerse, venivano spinte verso l'alto dalla pressione dell'acqua, esplodendo". Evidentemente nel tratto a monte del sifone le gallerie non offrono all'aria la possibilità di sfuggire verso l'alto.

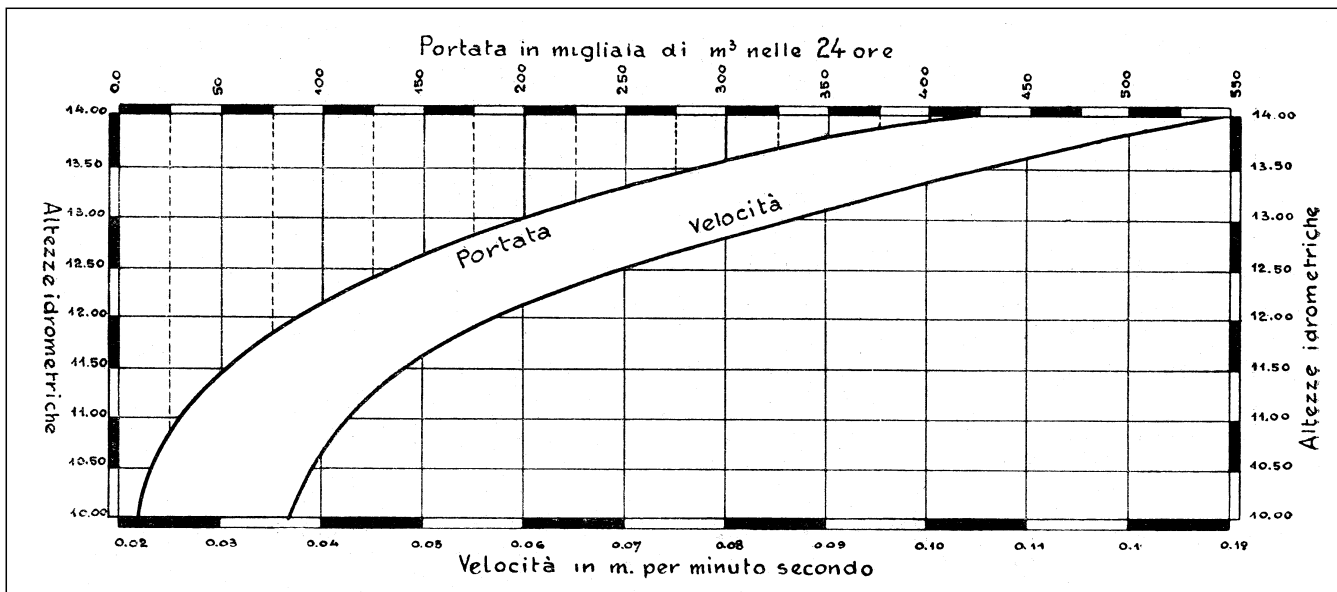


Diagramma della portata e velocità del fiume nella grotta di Trebiciano rispetto alle altezze idrometriche.

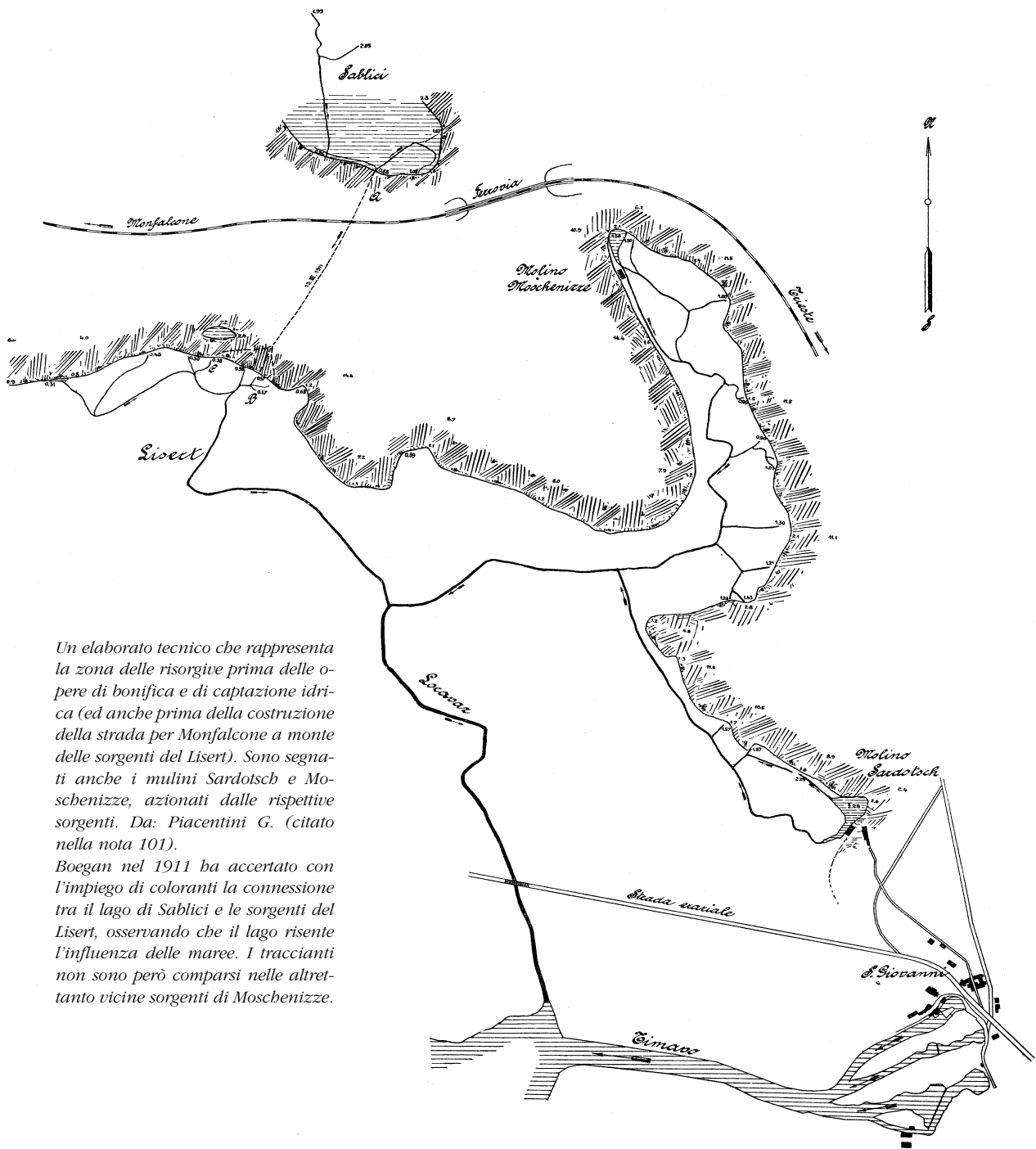
Realizzato sulla base di quattro misurazioni di precisione con l'acqua a diversa quota (m 11.32, m 12.02, m 12.47 e m 13.02), l'elaborato evidenzia l'accelerazione del drenaggio sotterraneo impressa dall'aumento del carico idrostatico nel sistema carsico; da: Boegan E. (9).

In merito all'esperimento di marcatura ed ai caratteri del sedimento in sospensione, Timeus ritiene che a monte della grotta di Trebiciano "devono esistere dei limitati bacini che fermano soltanto il materiale più grossolano, all'incontro nel Timavo inferiore osserviamo un sedimento estremamente fino, ciò che in unione a altri fatti, dimostra l'esistenza di enormi bacini idrici interposti fra Trebiciano e la risorgenza del Timavo inferiore ... Le esperienze mediante la conducibilità elettrica (i campioni furono inviati per controllo a Berlino) dimostrarono che in tempi normali soltanto l'acqua di S. Canziano alimenta il fiume di Trebiciano ... al quale non si riuniscono quantità apprezzabili di altre acque".

Non sono prive d'interesse, tuttavia, le differenti considerazioni fatte in proposito dal direttore dell'Istituto di Igiene dell'Università di Vienna: "... le analisi dell'1-5 settembre 1913 dimostrano quanto poco si faccia notare il passaggio del Recca nella grotta di Trebich dopo forti precipitazioni. Anche la circostanza che la portata del Trebich si mantiene sempre alta in anni di grande siccità e durante il quasi completo inaridimento del Recca dimostra che si tratta dell'emissario di grandissimi bacini sotterranei. Poiché di certo come già detto, non tutta l'acqua del Recca scorre al Trebich, è lecito supporre che soltanto con alti livelli del Recca avvenga tale passaggio; ad ogni modo questo passaggio si fa rilevare abbastanza fortemente, benché di rado". Ed infatti in seguito anche Timeus modifica le proprie opinioni su questo punto, riconoscendo "che nella grotta di Trebiciano confluiscono anche acque di altra origine" (99).

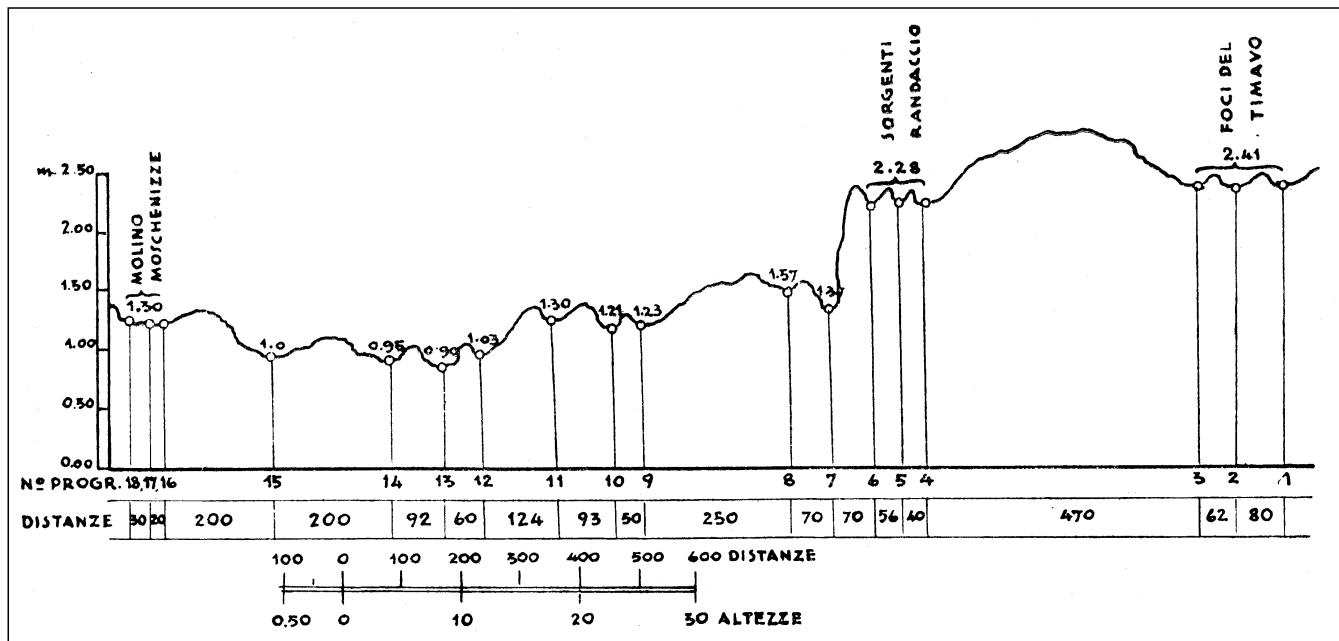
* * *

A conclusione del nuovo ciclo di ricerche, nel maggio 1914 viene deliberata la costruzione dell'acquedotto "provvisorio" del Timavo, da prolungare eventualmente in futuro fino alle ricche falde della piana isontina, ma ormai la guerra è alle porte; alla sua conclusione, il nuovo acquedotto di Trieste diventa per la nuova amministrazione italiana uno dei maggiori problemi da dover affrontare dopo l'acquisizione della Venezia Giulia. Viene data attuazione a un progetto alternativo, proposto ancora nel 1913, che prevede la captazione non delle risorgive principali del Timavo ma delle vicine sorgenti Sardos, che scaturiscono a soli 470 metri di distanza. La scelta di queste sorgenti è originariamente dettata dall'opportunità di effettuare la captazione dell'acqua in luogo più discosto, in quanto si ritiene che "la vista del torbido Timavo in prossima vicinanza della presa sia atto a provocare in chiunque una involontaria ripugnanza di ingerire l'acqua anche dopo depurata". Soltanto le successive osservazioni rivelano le caratteristiche obiettivamente migliori di quest'acqua e l'assenza di torbidità anche nei periodi di piena. Nel 1922 viene realizzata la stazione di pompaggio delle sorgenti Sardos e il collegamento



Un elaborato tecnico che rappresenta la zona delle risorgive prima delle opere di bonifica e di captazione idrica (ed anche prima della costruzione della strada per Monfalcone a monte delle sorgenti del Lisert). Sono segnati anche i mulini Sardoisch e Moschenizze, azionati dalle rispettive sorgenti. Da: Piacentini G. (citato nella nota 101).

Boegan nel 1911 ha accertato con l'impiego di coloranti la connessione tra il lago di Sablici e le sorgenti del Lisert, osservando che il lago risente l'influenza delle maree. I traccianti non sono però comparsi nelle altrettanto vicine sorgenti di Moschenizze.



Prospetto altimetrico delle foci del Timavo e delle sorgenti limitrofe che si scaricano ai piedi della falda carsica orientale.

Dalle risorgive del Timavo verso Monfalcone la quota delle sorgenti progressivamente si abbassa (il prospetto però non comprende le sorgenti del Liser, da m 0,57 a 0,37 sul livello del mare). Le risorgenze più basse sono anche quelle più povere. Da : Boegan E. (10)

con l'acquedotto di Aurisina; il nuovo acquedotto "provvisorio", intitolato al Magg. Giovanni Randaccio (medaglia d'oro, caduto sulle rive del Timavo il 28.5.1917 durante la decima offensiva italiana) funziona infatti per alcuni anni come integrazione di quello di Aurisina, convogliandovi nella stazione dei filtri 6000 metri cubi di acqua greggia al giorno. Si decide quindi di farne l'acquedotto principale di Trieste e nel 1929, dopo soli dieci mesi di lavoro, vengono realizzati i nuovi impianti di filtrazione, la torre piezometrica di Sistiana e la nuova condotta a grande diametro, posata lungo la sede della strada costiera in via di costruzione; la portata è di 20.000 metri cubi giornalieri, raddoppiata nel corso di dieci anni e addirittura quintuplicata dopo la seconda guerra mondiale.

Nuove ricerche

Il Carso triestino costituisce sempre la classica pietra di paragone su cui confrontare le diverse ipotesi idrologiche e ad esso Martel dedica il capitolo più importante (*Absence de nappes d'eau dans les calcaires*) della sua opera maggiore, il *Nouveau traité des eaux souterraines*¹⁰⁵. Commentando i risultati delle esperienze di marcatura di Guido Timeus, nelle quali il tracciante ricompare non solo al Timavo, ma in tutte le sorgenti costiere del golfo di Trieste, egli attribuisce questo fatto alle ramificazioni delle canalizzazioni sotterranee. Contesta l'interpretazione dei seguaci di Grund, secondo i quali sarebbe invece la dimostrazione che le acque dei fiumi assorbiti dai calcari fessurati si mescolino e si perdano nella massa comune dell'acqua di fondo. Non manca di rimarcare come Grund avesse negato a suo tempo una comunicazione diretta fra il Recca e il Timavo e la possibilità stessa di successo degli esperimenti di marcatura, a causa — appunto — della totale dispersione delle correnti superficiali nell'acqua di fondo. In sintonia con lo schema proposto da Jovan Cvijić¹⁰⁶, Martel individua nei massicci calcarei tre zone sovrapposte: una superiore di assorbimento, una intermedia di scorrimento delle correnti sotterranee ed una inferiore in cui i condotti sono perennemente allagati — e costituiscono le riserve permanenti delle risorgive — ma che non presenta caratteri di freaticità (lo scavo di un pozzo cioè potrebbe non intercettare l'acqua). In proposito

105. Martel E.A. (1921): *Nouveau traité des eaux souterraines*, Paris, 267-304.

106. Cvijić J. (1918): *Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst*, "Recueil Trav. Inst. Géogr. Alpine", Grenoble, 1-56.

Martel ha citato a suo tempo¹⁰⁷ alcuni esempi a noi vicini: il pozzo profondo 35 metri fatto scavare nel 1903 da Antonio Polley nella grotta Nemec di Aurisina (89 VG) fino al livello del mare, senza incontrare traccia dell'acqua sotterranea, la galleria Tschebull dell'acquedotto Teresiano e la perforazione artesiana eseguita dentro il perimetro della fabbrica di birra Dreher, nella valle di S. Giovanni di Guardiella, spinta senza risultato a 230 metri di profondità. Si potrebbe aggiungere la trivellazione, profonda 200 metri, effettuata nel 1894, senza trovare traccia di acqua, nell'arsenale della Marina di Guerra a Pola¹⁰⁸, poi continuata senza migliore risultato fino a 297 metri sotto il livello marino¹⁰⁹.

Però almeno in certe zone del Carso l'esistenza dell'acqua di base sembra incontrovertibile. Durante i lavori di presa del nuovo acquedotto di Trieste, nei pressi delle sorgenti Sardos¹¹⁰ si devono azionare le idrovore per prosciugare la trincea delle fondazioni, dove si lavora con l'acqua fino alle ginocchia; essa zampilla da innumerevoli fessure nella quantità di 10.000 metri cubi al giorno ed al cessare del pompaggio lo scavo viene completamente allagato, fino ad un livello più alto di quello delle stesse sorgenti Sardos (indizio di un collegamento con il drenaggio principale delle risorgive del Timavo, soggetto ad una pressione idraulica più elevata) (10).

Una serie di campagne gravimetriche sul Carso viene eseguita dall'Istituto di Geodesia dell'Università di Padova, sotto la direzione di Emmanuele Soler, il futuro presidente del Comitato nazionale per la geodesia e la geofisica. Le prime, nel 1923 e nel 1926, sono orientate alla verifica delle stazioni gravimetriche realizzate dagli operatori austriaci e alla valutazione dell'attendibilità delle formule in uso per la riduzione al geode. Per questa esigenza si dimostrano di particolare interesse le misure effettuate, sulla medesima verticale, all'esterno e all'interno della grotta di Trebiciano (dislivello 273 metri) e della grotta di S. Canziano (dislivello 120 metri), consentendo di studiare l'effetto dello strato di roccia di spessore noto. Si tratta di misure pendolari, estremamente onerose in quanto richiedono osservazioni lunghe, accurate e continue per la determinazione esatta del periodo di oscillazione dello strumento. Soltanto in seguito, con l'adozione della bilancia di torsione, le campagne gravimetriche assumono il carattere di vere e proprie prospezioni del sottosuolo per l'individuazione delle cavità carsiche. Nel 1930 e 31 vengono ese-

107. Martel E.A. (1909): *Nouvelles recherches et explorations dans le Karst*, "Spelunca", Paris, 7(57):35-45.

108. Schiavuzzi B. (1898): *I provvedimenti d'acqua ed il nuovo acquedotto in Pola*, Pola, 16.

109. Hugues C. (1903): *Idrografia sotterranea carsica*, Gorizia, 41.

110. Nelle sorgenti Sardos viene catturato un proteo il 26.12.1908, poi donato al Museo Civico di Storia Naturale di Trieste.

guitte nell'area di Postumia 50 stazioni in un'estensione di 35 chilometri quadrati, con buoni risultati — si afferma — nell'individuazione dei vani sotterranei già conosciuti. Nel 1932 vengono eseguite 68 stazioni su circa 70 chilometri quadrati nella zona tra S. Canziano, Sesana, Basovizza e Trebiciano. Sembra accertata l'esistenza di grandi vuoti nei pressi di Povir e sull'allineamento S. Canziano, Lippiza, grotta di Trebiciano, che può corrispondere — conclude Soler¹¹¹ — al “corso tuttora ignoto del Timavo, confermando alcune induzioni già fatte dagli speleologi”.

Da ricordare inoltre il singolare esperimento di marcatura compiuto nell'ottobre 1927 da Massimo Sella, direttore dell'Istituto di Biologia Marina di Rovigno d'Istria. Constatato che parte delle anguille catturate nelle peschiere del Timavo inferiore proviene sicuramente dal corso sotterraneo, egli pensa di utilizzarle come “traccianti” sfruttando il loro istinto migratorio¹¹². Nel Recca vengono pertanto immesse 494 anguille: 200 a monte delle perdite di Vreme, 162 nelle grotte di S. Canziano e 132 nella grotta di Trebiciano, contraddistinte da incisioni di tipo diverso nelle pinne caudali a seconda del luogo di immissione. La prima anguilla giunge alle risorgive del Timavo dopo 40 giorni, proveniente da Trebiciano; dopo 55 giorni giunge la prima da S. Canziano e dopo 188 giorni la prima dal Timavo superiore. Entro un anno dall'esperimento vengono recuperate in tutto 29 anguille: 13 provenienti da Trebiciano, 10 da S. Canziano e 6 dal Timavo superiore. Le finalità dello studio sono principalmente rivolte alle possibilità della piscicoltura¹¹³; viene comunque dimostrato che le acque del Timavo “non subiscono una vera filtrazione durante il loro percorso sotterraneo” (94).

Il Timavo di Eugenio Boegan

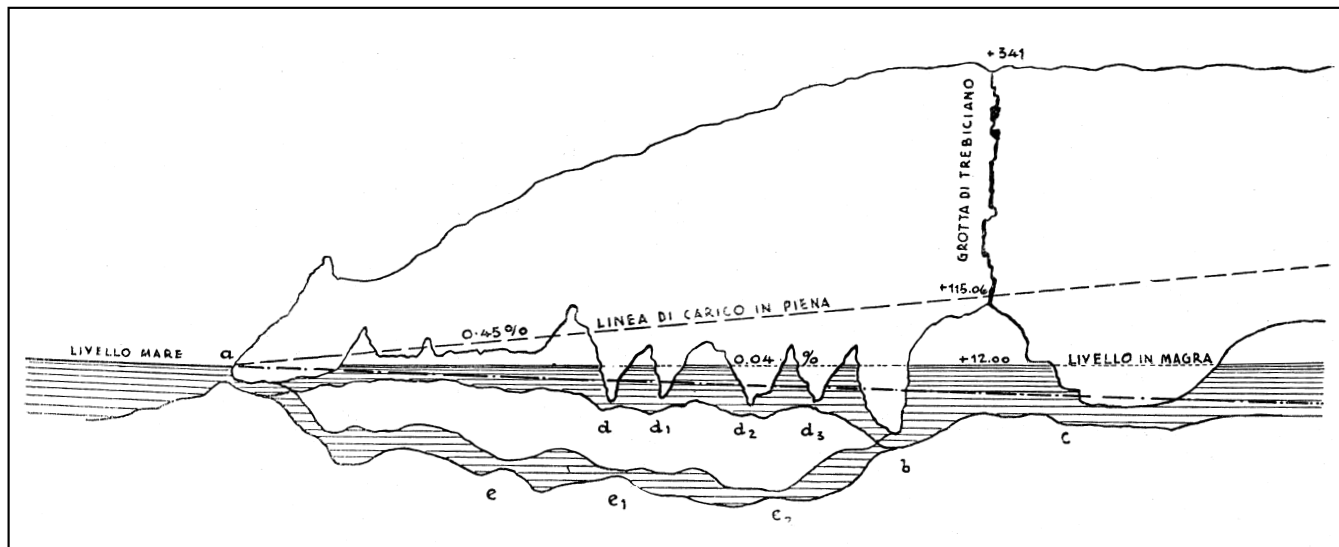
Nel 1938 l'Istituto Italiano di Speleologia, con sede a Postumia, pubblica la fondamentale monografia di Eugenio Boegan sul Timavo (10). Presidente della Commissione Grotte della Società Alpina delle Giulie, idrologo della Società dell'Acquedotto di Aurisina e in seguito dell'Ufficio Idrotecnico Comunale di Trieste, egli

111. Soler E. (1933): *I lavori geofisici eseguiti nel 1931-32 dall'Istituto di Geofisica della R. Università di Padova nella regione carsica*, Atti del 1. Congresso Speleologico Nazionale, Trieste 1933, 156-161.

Soler E. (1934): *Campagna geofisica eseguita dall'Istituto di Geodesia della R. Università di Padova nel 1932 nella zona S. Canziano - Trebiciano*, “Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali”, Trieste, 33:67-90.

112. *Le anguille mezzo di ricerca speleologica*, di A. Davanzo, “Il Piccolo”, Trieste, 24.12.1927.

113. *Sulle prospettive di anguillicoltura nelle acque carsiche*, di R. Baroni, “Il Piccolo”, Trieste, 31.12.1927.



"Schema del presunto corso del Timavo dalla Grotta di Trebiciano alle foci". Vengono ipotizzati un corso sotterraneo in una serie di sifoni oppure in un canale unico sotto il livello marino; da: Boegan E. (10).

raccoglie e sintetizza in quest'opera i frutti dei suoi quarant'anni di studi e di speleologia attiva. Secondo Eugenio Boegan il Timavo sotterraneo scorre in un canale unico (sia pure con "affluenti e canali di perdita") attraverso una serie di caverne interrotte da sifoni. Non esclude la presenza di gallerie sotto il livello del mare, sempre sommerse e sotto pressione idrostatica. Ammette l'esistenza dell'acqua di base, precisando però che "non si può considerarla un grande e unico lago sotterraneo". Non si tratta cioè di un'acqua freatica vera e propria come nei terreni incoerenti, che impregna completamente il sottosuolo e durante una piena "ne risente tutta intera la superficie"; nei terreni calcarei invece "l'acqua invade soltanto i vani, i quali possono venire anche occupati con diversi livelli piezometrici". La circolazione sotterranea avviene lungo "un condotto principale che è una vena superficiale dell'acqua di base, dove il deflusso è più rapido perché le cavità sono più ampie". Egli precisa che in magra deve presentarsi la condizione di "canale unico" e in piena di "canale principale", prevalendo nel primo caso "l'alimentazione" (cioè il flusso dalla falda idrica circostante verso il canale) e nel secondo caso "gli spandimenti" (cioè il flusso laterale dal canale verso la falda).

L'ipotesi del canale unico sarebbe avvalorata, secondo Boegan, dall'eccezionale altezza raggiunta dall'acqua durante le piene nella grotta di Trebiciano (oltre 100 metri sul livello di magra), dalla sua temperatura (che risente notevolmente della temperatura del Recca) e dalle interessanti esperienze della chiusura delle paratoie alle risorgive del Timavo: in seguito all'innalzamento del livello dell'acqua, si verifica una riduzione della portata del Timavo e un deflusso più abbondante alle sorgenti di Aurisina, valutato ad un aumento di portata di oltre un terzo del normale (circa 5000 metri cubi al giorno). Nella grotta di Trebiciano la chiusura delle paratoie del Timavo provoca "il giorno dopo, un alzamento di livello da 10 a 30 centimetri a valle (dell'ammasso di materiali che ingombrano il letto del fiume nella grande caverna) mentre a monte di appena la metà". Boegan ipotizza pertanto che quello sia il primo ostacolo sul percorso canalizzato del fiume sotterraneo a monte delle risorgive; rileva inoltre come il fenomeno sia più accentuato con bassi livelli dell'acqua. In precedenza (9), sulla base delle misure idrometriche effettuate ogni due ore per 30 ore consecutive (2-3 settembre 1914), egli ha precisato che "un abbassamento in periodo di magra al Timavo già dopo 10 ore viene risentito alla grotta di Trebiciano e ... uno sbarramento alla foce dà origine a un rigurgito che viene risentito nella grotta dopo circa 4 ore" (in quell'occasione però si sono registrate variazioni di pochi centimetri, con oscillazioni intermedie di difficile interpretazione).

Non sarebbe confermato, secondo Boegan, il collegamento del Recca sotterraneo con le sorgenti più occidentali (Lisert) e con i laghi del Carso isontino, che egli considera "lembi subaerei dell'acqua di base, originati dalle perdite del Vipacco". In merito alle direttrici di deflusso delle acque sotterranee "è certo — egli scri-

ve — che anche le acque della valle di Brestovizza vanno a finire nel Timavo, ma non è ancora accertato se tali acque formino un affluente del Timavo sotterraneo oppure se esse rappresentano il corso principale del fiume stesso che attraversi l'intera vallata di Brestovizza" (ipotesi quest'ultima destinata a venire smentita).

In un primo tempo, nella sua monografia sulla grotta di Trebiciano (8), Boegan condivide l'opinione allora dominante del letto di rocce impermeabili ("calcari della creta inferiore") nella profondità del Carso, sul quale si raccolgono le acque meteoriche di percolazione "formando dei corsi d'acqua sotterranei"¹¹⁴. Successivamente modifica radicalmente tale opinione e nel *Timavo* egli scrive: "Le acque sotterranee raccolgono quelle d'infiltrazione che attraversano tutti i vani soprastanti. Esse poi occupano le cavernosità inferiori, senza bisogno di trovare il terreno impermeabile che può esistere, come difatti esiste per il Timavo, a parecchie centinaia di metri sotto il livello del mare". Sarebbe dunque l'acqua di base a "sostenere" i deflussi sotterranei, non un livello di rocce impermeabili. Nel *Timavo* inoltre si trova raccolta una quantità di dati e di notizie di grande interesse, in particolare le misure giornaliere da lui effettuate al fondo della grotta di Trebiciano e le osservazioni sulle piene del Timavo e i fenomeni conseguenti, come le forti correnti d'aria che si sprigionano "da alcuni fori esistenti presso Poverio e Merciano e in due vallecole presso la stazione ferroviaria di Divaccia". Nelle piene l'aumento di portata che rapidamente si trasmette da S. Canziano a Duino sarebbe dovuto alla trasmissione di pressione idrostatica, in quanto "l'acqua che s'ingorga nel sottosuolo serve di cacciata a quella trattenuta nel sotterraneo, che ancora attende di scaricarsi in mare". Nel lavoro di Eugenio Boegan si riscontra un tentativo di conciliare le diverse teorie sull'idrologia carsica, sia pure senza mai affrontare esplicitamente l'argomento, ma avvalendosi ora dell'uno ora dell'altro modello interpretativo per spiegare i vari fenomeni esaminati. Viene cioè ammessa la coesistenza nella massa calcarea di un flusso diffuso, che circola lentamente in un infinito sistema di fessure, e di un flusso canalizzato in ampie condotte, che costituiscono le vie di drenaggio preferenziali. Boegan comunque precisa che "non si può pensare ad un canale con le pareti completamente ermetiche" (ed infatti in regime di piena egli ritiene prevalenti gli spandimenti laterali). In merito all'acqua di base ed al suo "livello di carico idrostatico", riconosce che con questo non avrebbero attinenza gli eccezionali innalzamenti dell'acqua nella grotta di Trebiciano, che sono "insaccamenti temporanei prodotti dalla deficienza dei meati scaricatori in confronto a quelli in arrivo" (e che sono dunque un fenomeno localizzato alla grande caverna, mentre a poca distanza da essa si potrebbero trovare vani aereati a maggiore profondità).

114. Forti F. (1989): *Il pensiero di Eugenio Boegan sull'idrologia carsica*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 28:15-33.

La ripresa del dopoguerra

Dopo la seconda guerra mondiale, per la prima volta un confine di stato divide il bacino del Timavo, tra l'altro senza alcun accordo internazionale sul regime giuridico di questo fiume, come invece viene fatto per l'Isonzo. Il confine corre lungo la dorsale mediana dell'altopiano (il presunto spartiacque sotterraneo già citato), per cui all'Italia rimarrà soltanto la fascia costiera del Carso triestino — corrispondente al “solco di Aurisina” — ed il Carso isontino.

Studi e ricerche proseguono separatamente, da parte italiana e da parte slovena, nei territori di propria competenza ed ancora una volta sono i progetti di grandi opere pubbliche a imprimere nuovo impulso alle conoscenze nel campo dell'idrologia carsica.

In Slovenia viene fondato nel 1947 l'Inštitut za Raziskovanje Krasa - S.A.Z.U. (Istituto per le Ricerche Carsiche dell'Accademia Slovena delle Scienze e delle Arti), di livello post-universitario, nella sede di Postumia già occupata dall'Istituto Italiano di Speleologia. Inoltre dedicano almeno un parte della loro attività allo studio dell'idrologia carsica l'Hidrometeorološki Zavod (Servizio Idrometeorologico), il Vodno Gradbeni Inštitut (Istituto per le costruzioni idrauliche) e il Geološki Zavod (Servizio geologico) di Lubiana. Vengono create in tal modo le premesse per realizzare la dovuta “accumulazione di conoscenza” che non tarda a dare concreti risultati; in particolare l'Istituto per le ricerche carsiche ha saputo coltivare nel suo campo una vera e propria scuola scientifica, di rilevanza internazionale.

A Trieste invece gli studi in questo settore rimangono sempre legati alla singola persona e non ad una specifica struttura di ricerca; soltanto saltuariamente e per brevi periodi si riescono a coagulare energie diverse, normalmente rivolte verso altri obiettivi, in un unico “lavoro di squadra”.

Una prima occasione viene data dal Governo Militare Alleato, che come è noto amministra fino al 1954 la Zona A del Territorio Libero di Trieste. In previsione di una riconversione industriale dell'economia prevalentemente commerciale della città, viene avviato un nuovo ciclo di studi sulle risorse idriche disponibili, dapprima nella piana di Zaule, dove devono sorgere i nuovi insediamenti produttivi e successivamente sul retrostante altopiano del Carso. L'incarico di coordinare le ricerche per il nuovo acquedotto è affidato a Sergio Morgante¹¹⁵, direttore dell'Istituto di Mineralogia dell'Università; collaborano l'Osservatorio Geofisico di Trieste appena costituito, la Sezione geo-speleologica della Società Adriatica di Scienze Naturali e

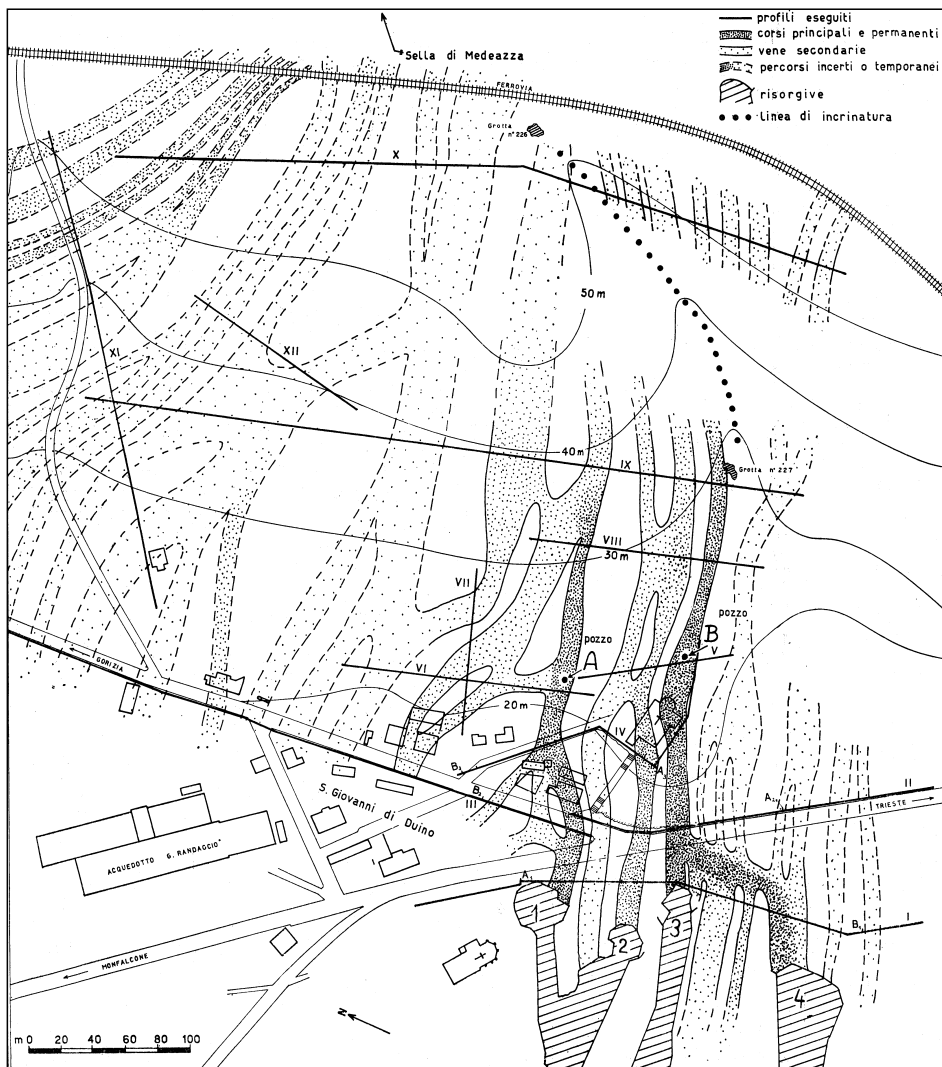
115. Morgante S. (1956): *Ricerche idrologiche nel Carso presso Trieste*, Rapports et procès verbaux de la reunion de Venise 1953, Commission pour l'exploration scientifique de la mer, 13:205-210.

i geologi Roberto Malaroda dell'Università di Padova e Carlo D'Ambrosi, che sta ultimando il rilevamento del foglio Trieste della Carta Geologica delle Tre Venezie iniziato prima della guerra (dopo aver effettuato, alla fine degli anni Venti, il rilevamento del foglio Pisino).

I lavori iniziano nel 1951 con la perforazione di due pozzi geognostici (di ricognizione) nella piana di Zaule, dove l'anno prima Carlo Morelli ha eseguito una prospezione gravimetrica sperimentale, evidenziando l'andamento del substrato roccioso ed una sua profonda depressione davanti l'abitato di S. Dorligo. Nella piana è ancora in esercizio — fino al 1961 — l'acquedotto sussidiario realizzato durante la prima guerra mondiale dal Genio Militare austriaco e potenziato nel 1921 dall'amministrazione italiana: in tutto sette pozzi profondi una decina di metri che attingono nella falda idrica della piana alluvionale a poca distanza dal mare (da letti di "ghiaia acquifera" intercalati tra depositi di argilla) e forniscono un massimo di 6000 metri cubi giornalieri.

Viene quindi organizzata un'articolata indagine sulle acque carsiche, allo scopo di accertare l'esistenza di qualche altro corso sotterraneo più vicino alla città della grotta di Trebiciano o in alternativa, di stabilire se l'acqua di questa grotta — a monte di essa — si avvicini con qualche ansa al margine dell'altopiano. Nel 1952 l'Osservatorio Geofisico, diretto da Carlo Morelli, esegue una serie di rilievi gravimetrici sull'altopiano del Carso tra Opicina e la val Rosandra. Su questa vasta area si distribuiscono 611 stazioni gravimetriche alla distanza media di 250 metri l'una dall'altra, inquadrare in una livellazione di precisione (errori di quota superiori ai 20 centimetri potrebbero compromettere i risultati). Una serie di anomalie gravimetriche (difetti di densità) sembrano individuare una successione di grandi cavità naturali ancora sconosciute nei pressi di Basovizza e di Gropada, dove è presumibile la presenza del Timavo sotterraneo; tali cavità dovrebbero essere cospicue, in quanto i mezzi impiegati non consentono di mettere in evidenza vani larghi meno di 30 metri. Un altro allineamento di vuoti viene segnalato in prossimità del ciglione del Carso tra Opicina, Banne e Padriciano, a poca distanza dalla tamponatura impermeabile del flysch; potrebbe trattarsi del ramo principale del Timavo (nell'ipotesi che per la grotta di Trebiciano passi un suo affluente secondario) oppure di un presunto corso sotterraneo ancora ignoto (69). Anche questi risultati — come quelli già a suo tempo ottenuti da Emanuele Soler — sono però accolti in maniera molto cauta nell'ambiente scientifico¹¹⁶.

116. Mosetti F. (1985): *Geofisica*, Enciclopedia Monografica del Friuli Venezia Giulia, 1. Aggiornamento, Udine, 123-200 (184).



Il delta sotterraneo del Timavo nella zona delle risorgive. Sono segnati i tracciati dei dodici profili geolettici in base ai quali è stata ricostruita la planimetria dei rami del fiume sotterraneo, verificata con la perforazione dei pozzi A e B che intercettano due canali, non intercomunicanti, a circa 25 metri di profondità; da: Mosetti F. (71).

L'Osservatorio Geofisico esegue successivamente un rilievo gravimetrico molto più dettagliato alle risorgive del Timavo, nell'ipotesi del loro sfruttamento per il raddoppio dell'acquedotto Randaccio (68). Su soli 20 ettari di superficie, fino alla linea ferroviaria Trieste - Monfalcone, si eseguono complessivamente 207 stazioni gravimetriche alla distanza media di 35 metri l'una dall'altra; l'interpretazione dei dati porta ad ipotizzare un complesso di ampie gallerie che costituiscono un vero e proprio delta di canalizzazioni sotterranee. Allo scopo di raffinare la ricerca nei dettagli, nel gennaio 1953 viene effettuato un rilievo geoelettrico nella medesima zona, poi ripetuto con un diverso metodo¹¹⁷. Come per il rilievo gravimetrico, l'interpretazione dei dati porta ad ipotizzare l'esistenza di molti rami che "in tutta la zona esaminata, non si riuniscono mai in uno solo, benché parecchi di essi siano in reciproca comunicazione ... Non vi è netta comunicazione neanche tra i rami più deboli posti a settentrione (alcuni dei quali alimentano l'acquedotto Randaccio) e i rami principali, sicché eventuali prese d'acqua pescanti in questi non dovrebbero influire sulla portata dell'acquedotto esistente" (71). Sulla base di questi rilievi, nell'ottobre 1953 vengono perforati due pozzi che intercettano le gallerie sotterranee — indipendenti una dall'altra — ad una profondità di circa 25 metri.

Nel quadro di questi studi, Carlo D'Ambrosi elabora una sua interpretazione geoidrologica del Carso di Trieste¹¹⁸, considerandolo "un naturale serbatoio idrico molto frazionato, in cui l'acqua riempie fino ad un certo livello le infinite diaclasi e litoclasti intercomunicanti, più o meno allargate dal carsismo". D'Ambrosi osserva come l'enorme aumento di portata dalla grotta di Trebiciano alle risorgive del Timavo non si possa attribuire soltanto alla ritenzione idrica del Carso (drenaggio lento delle acque immagazzinate in periodi di abbondanti precipitazioni) e ripropone la vecchia teoria dell'affluente sotterraneo dal bacino di Castelnuovo, che sembra trovare nuove conferme nelle ipotesi paleoidrografiche di Antonio Marussi. Queste acque passerebbero sotto la val Rosandra, sotto la zona di Basovizza e quindi "nel sottosuolo di Padriciano e di Trebiciano, favorite in ciò dalla direzione dei giunti stratigrafici e dalla più intensa fratturazione del suolo nella zona della flessura. Così, oltrepassata Opicina e impedita dalla copertura marnosa laterale di gettarsi subito a mare, andrebbero a confluire con quelle del Timavo ipogeo. Questa fusione avverrebbe tra Opicina Campagna e Monrupino ove il Solco di Trebiciano si con-

117. Moseetti F. (1954): *Una disposizione elettrodica per l'identificazione di anomalie sotterranee fortemente differenziate dal mezzo che le contiene, mediante la localizzazione del loro asse elettrico*, "Metano", Padova, 8(10) (estr. di 6 pp.)

118. D'Ambrosi C. (1953): *Osservazioni geo-idrologiche preliminari presso Trieste*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 46/1951-52:75-90.

giunge a quello di Lipizza per formare il più ampio Solco di Aurisina. È da rilevarsi che proprio in questa zona di unione, la speleologia ci segnala un particolare e caratteristico accentramento di profondi abissi, nonché qualche abisso soffiante”. D’Ambrosi fa riferimento agli studi di Eugenio Boegan soltanto per utilizzare i dati delle portate, nel tentativo di elaborare un bilancio idrico del sistema del Carso; perde però di vista i punti essenziali della sua interpretazione del fenomeno, per seguire invece lo schema “scolastico” — e per certi aspetti fuorviante — riproposto da Antonio Marussi dieci anni prima nel lavoro sul Paleotimavo (sul quale avremo modo di ritornare in seguito): “per i fiumi ipogei non si deve immaginare, come per quelli subaerei, un corso continuo ben delineato entro un letto, una galleria o una rete di canali, ma piuttosto si deve immaginare l’acqua di base che trovasi in continuo movimento verso i livelli inferiori, con la sua superficie limite ove più alta ed ove più bassa a seconda della maggiore o minore permeabilità del terreno attraversato e del maggiore o minore grado di vascolarizzazione di questo per precedenti fenomeni di carsismo; dove la vascolarizzazione è massima, l’acqua di base avrà il suo livello minimo ed il flusso sarà maggiore; e qui tenderanno ad incanalarsi le linee di flusso”.

In questo complesso di ricerche, effettuate per conto del Governo Militare Alleanato, si conseguono alcuni brillanti risultati nel settore, ancora pionieristico, della speleologia subacquea. Dopo una serie di immersioni preparatorie nelle risorgive del Timavo, sotto la guida di Walter Maucci la Sezione geo-speleologica della Società Adriatica di Scienze Naturali affronta il problema del sifone d’ingresso nella grotta di Trebiciano. In condizioni ambientali molto difficili, il solo individuare l’ingresso del sifone e il risalirlo per una ventina di metri per poco non si conclude in una tragedia¹¹⁹. L’operazione riesce il 2 agosto 1953, superando una galleria sommersa lunga circa 80 metri (con piccoli vani a pelo libero sottovolta) e sboccando dopo 46 metri di immersione effettiva in un’ampia sala allagata, denominata “lago Boegan” (61). “In generale — scrive Maucci — il sifone è rappresentato da un labirinto di fessure verticali, riconducibili ad un sistema complesso di diaclasi. Non si tratta quindi di un vero alveo sotterraneo nel quale il fiume corra incanalato, bensì di un reticolo di fratturazioni, poste sotto al livello piezometrico di base e pertanto interamente inondate. La corrente è dovunque praticamente insensibile e questo

119. De Martini L., Maucci W. (1953): *Risultati preliminari di alcune ricerche sul corso ipogeo del Timavo (agosto-ottobre 1952)*, “Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali”, Trieste, 46/1951-52:61-74.

Maucci W. (1953): *Relazione sul primo ciclo di ricerche svolte dalla sezione speleologica della Società Adriatica di Scienze Naturali sul corso sotterraneo del Timavo*, “Rassegna Speleologica Italiana”, Milano, 2:67-74.

fatto, data la ristrettezza dei singoli canali, è indizio di una complessità del labirinto ancora maggiore di quanto non sia stato possibile di constatare nel corso dell'esplorazione. È vano quindi ricercare, a monte di Trebiciano, un vero fiume canalizzato, né è possibile dire a quale distanza dalla caverna Lindner si arrestino le caverne della valle sotterranea del Timavo" (62).

A conclusioni molto diverse giunge però alcuni anni dopo lo speleosubacqueo Giorgio Cobol, che ripete l'esplorazione del sifone di Trebiciano senza giungere al lago Boegan, ma esaminando con maggiore cura le caratteristiche dei vani percorsi. Cobol osserva che l'intricato sistema di gallerie e di pericolose lame di roccia, che formano un vero labirinto, non sarebbe che la particolare accidentalità morfologica della volta sommersa. "Portandosi all'inizio del sifone alla profondità di 3-4 metri dal livello dell'acqua, non si incontra alcun ostacolo all'avanzata subacquea, tranne le pareti laterali che delimitano il vano sommerso ... La galleria esplorata (un'unica galleria a pressione) ha una sezione pressoché triangolare coi lati di oltre 10 metri". Si tratta dunque di un vero e proprio alveo sotterraneo incanalato e non di un reticolo di fratturazioni. Cobol tenta anche l'esplorazione del sifone di uscita, ma lo trova impercorribile, "ostruito da un notevole ammasso di blocchi rocciosi che rallenta il deflusso della massa idrica" (16).

Un nuovo confronto sulle teorie idrogeologiche

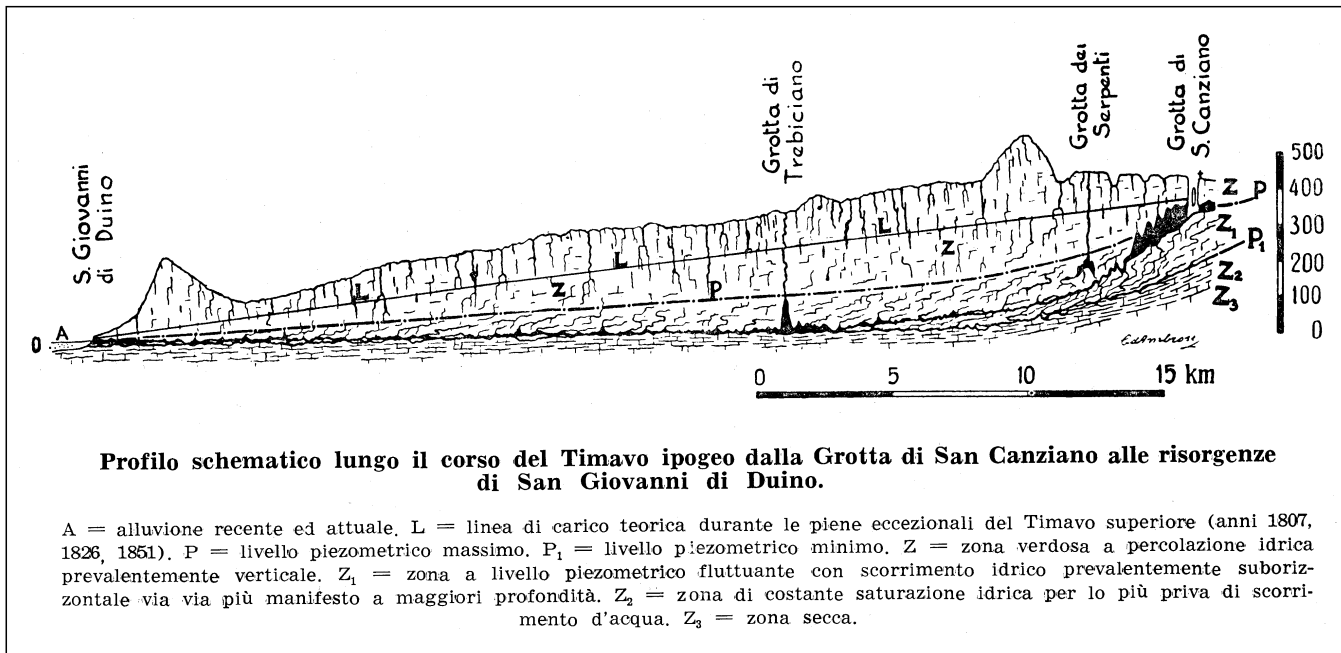
Scrive Guido Timeus che nella fase preparatoria dei suoi esperimenti sul Timavo, per ottenere qualche utile suggerimento si era rivolto ad una trentina di istituti scientifici e di studiosi di tutta Europa. "Fra tanti seri pareri — egli commenta — non mancò il consiglio comico: un tecnico indicò come unico mezzo, per risolvere il problema, deviare il fiume che entra a S. Canziano e osservare poi la portata del Timavo". Questo fatto sembra accadere davvero, e non appare per niente comico, quando i tecnici del citato Vodno Gradbeni Inštitut di Lubiana progettano nel 1954 la deviazione del Recca verso l'Istria per alimentare — mediante un traforo — una centrale idroelettrica nella valle del rio Ospò.

Da parte italiana si leva la voce allarmata di Carlo D'Ambrosi, che prevede gravi conseguenze di una simile eventualità¹²⁰. Egli sostiene che in seguito alla sottrazione prevista di 10 mc d'acqua al secondo, potrebbe verificarsi una riduzione del

120. D'Ambrosi C. (1955): *In merito alle ripercussioni sul regime delle risorgive carsiche presso Duino ed Aurisina (Trieste) conseguenti ad una eventuale derivazione idrica dell'Alto Timavo verso l'Istria*, "Tecnica Italiana", Trieste, 10(2):76-78.

50 per cento dell'attuale portata annua alle risorgive del Timavo, con ripercussioni ancor più gravi in periodo di magra quando potrebbero esaurirsi del tutto le sorgenti di Aurisina. Mancando l'enorme apporto delle piene del Recca, nell'altopiano carsico il livello dell'acqua di base si abbasserebbe considerevolmente, forse sotto le soglie che oggi permettono il suo deflusso verso il mare; in diversi luoghi potrebbe infiltrarsi l'acqua salmastra nelle sorgenti costiere, che tenderebbero ad esaurirsi. "Vari studiosi — scrive D'Ambrosi — per l'enorme differenza tra le minime del Recca e del Timavo, hanno pensato a ingenti contributi del Vipacco o dell'Isonzo, dimenticando l'azione moderatrice della massa carsica sulla portata delle risorgenze". Nei massicci calcarei esisterebbe, secondo lui, un'elevata ritenzione idrica, in grado di esercitare un'azione regolatrice sui deflussi, attenuando gli sbalzi stagionali di portata; egli ripropone il paragone dei laghi, che immagazzinano l'acqua nei tempi piovosi e la cedono durante la siccità. Le correnti idriche profonde sarebbero quindi da considerarsi come correnti in seno all'acqua di base, che saturano l'infinito sistema di vasi comunicanti delle fratture alla base dell'edificio calcareo, nelle quali si raccoglie l'acqua di percolazione meteorica e quella degli apporti fluviali. Infine i bacini sotterranei del Carso — tra il golfo di Trieste e il golfo di Fiume — non sarebbero stabilmente definiti, ma più o meno intercomunicanti e capaci di influenzarsi a vicenda; potrebbero cioè verificarsi persino delle inversioni nella direzione dei deflussi profondi a seconda dell'intensità delle precipitazioni atmosferiche nei vari settori dell'altopiano. Eventuali contributi idrici portati dal Vipacco, dall'Isonzo o (come lui stesso ha sostenuto in precedenza) dal bacino di Castelnuovo, non potrebbero essere che di entità modesta.

D'Ambrosi si dichiara sostenitore della teoria di Grund, che però in parte rielabora; per certi aspetti egli considera infatti il Timavo sotterraneo come un fiume vero e proprio, con una fase a regime torrentizio a monte della grotta di Trebiciano ed una fase di deiezione a valle, verso la foce, dove riceve i maggiori incrementi di portata. Egli ritiene inoltre che sotto il livello dell'acqua di fondo la zona di perenne saturazione idrica non possa essere che di piccolo spessore, al massimo di una ventina metri, "in quanto la tamponatura flyscioide impermeabile ha impedito anche in passato che le acque ipogee agissero a profondità sensibilmente maggiori dell'attuale". (Nel merito si è invece espresso diversamente, a suo tempo, Roberto Malaroda, in occasione delle ricerche effettuate per conto del Governo Militare Alleato. Secondo lui, per effetto dell'abbassamento del mare durante il Pleistocene, si sarebbe sviluppato un sistema di vani comunicanti esteso dalla superficie topografica ad almeno un centinaio di metri sotto l'attuale livello marino). "È possibile inoltre — precisa D'Ambrosi — che la zona corrispondente al normale livello dell'acqua di fondo sia del tipo a vascolarizzazione a maglie larghe, con condotti idrici a sezione piuttosto ampia"; egli comunque insiste sul ruolo, nel bilancio idrico,



La sezione longitudinale del Carso disegnata da Carlo D'Ambrosi (21), con la sua didascalia originale. Non sono più condivisibili le interpretazioni relative alla zona di costante saturazione idrica (Z2) "per lo più priva di scorrimento d'acqua" e tanto meno alla "zona secca" sottostante (Z3). Anche il "livello piezometrico massimo" P, inteso come "superficie piezometrica", può essere accettato soltanto ad una quota notevolmente inferiore. Inoltre dalla grotta di Trebiciano alle risorgive del Timavo oggi si ritiene che le acque di infiltrazione carsica scorrono relativamente indipendenti dalle grandi canalizzazioni del "drenaggio principale" (nelle quali la pressione idraulica è rilevante), alimentando tra l'altro la falda delle sorgenti Sardos e Moschenizze Sud.

del consistente apporto delle precipitazioni sull'altopiano del Carso. In definitiva D'Ambrosi cerca di adattare al Carso triestino le proprie convinzioni geologiche e idrologiche maturate in Istria, nell'anteguerra, sui tavolati carsici che direttamente s'immergono nell'Adriatico, dove — specialmente nelle zone costiere — sembrano prevalenti gli indizi di una circolazione sotterranea frammentata e diffusa¹²¹. Come si vedrà in seguito, sono in realtà diverse le condizioni strutturali dell'Istria e del Carso, dove egli stesso riconosce un grado di fratturazione della roccia in generale molto più elevato, responsabile di una maggiore vascolarizzazione e di una facilitazione dei deflussi sotterranei a scapito della capacità di immagazzinamento.

Da parte slovena replica l'idrologo Franc Bidovec, "superiore" dell'Hidrometeorološki Zavod di Lubiana. Pur non negando in assoluto l'esistenza di una certa ritenzione idrica nei calcari, in grado di livellare le punte massime durante le piene, egli sostiene che "in nessun corso d'acqua, per quanto sia pronunciato il suo carattere carsico, si potrà notare un influsso della ritenzione sul deflusso in periodo di magra". Sarebbero necessari 50 o 60 milioni di metri cubi d'acqua accumulati nel Carso per compensare in magra il deficit tra gli afflussi e la portata totale delle risorgive; il contributo del Recca ai deflussi del Timavo, molto esiguo in magra, diventerebbe preponderante durante le piene, ma la grande massa d'acqua sarebbe smaltita in pochi giorni e non potrebbe rimanere immagazzinata a lungo entro la massa calcarea. "I dati delle portate allo stato di magra dei corsi idrici carsici sul territorio sloveno — conclude Franc Bidovec — non dimostrano alcun influsso della ritenzione carsica e le portate unitarie (deflussi specifici) dei corsi idrici carsici sono approssimativamente uguali ai deflussi specifici di magra dei corsi epigei dei vicini corsi idrici non carsici" (5). Queste opinioni hanno dovuto subire in seguito una significativa revisione da parte di altri studiosi sloveni (52); va comunque riconosciuta la validità dell'approccio scientifico della loro formulazione, basata sui dati del Servizio Idrometeorologico, che ha eseguito in tutta la Slovenia misurazioni sistematiche delle precipitazioni e delle portate allo scopo di determinare l'estensione dei bacini imbriferi delle varie sorgenti ed il coefficiente di deflusso di tali bacini. Assume un particolare interesse idrologico il tentativo di calcolare il "deflusso specifico di magra", ossia la quantità di acqua erogata da un chilometro quadrato di superficie carsica in periodo di siccità e che risulterebbe dell'ordine dei tre litri al secondo; proprio in base all'utilizzo di questo parametro si giunge alla conclusione che le risorgive del Timavo in magra siano alimentate in prevalenza da acque estranee al bacino del Recca ed al bacino del Carso medesimo.

121. Waagen L. (1911): *Grundwasser im Karst*, "Mitteilungen der k.k. Geographischen Gesellschaft", Wien, 54:259-273.

In magra il contributo maggiore alle risorgive del Timavo sarebbe dunque fornito dalle perdite dell'Isonzo, di entità cospicua e pressoché costante nei vari regimi idrologici. Sarebbe pertanto più pericoloso — sostiene Bidovec — anziché il progetto sloveno di deviare il Recca verso l'Istria, quello italiano di deviare l'Isonzo, a scopi irrigui, dalla piana di Gorizia verso le campagne del Cormonese¹²². In previsione poi che dal progettato invaso del Recca sarebbe lasciata sempre defluire verso le grotte di S. Canziano una quantità d'acqua pari all'alimentazione naturale nei periodi di magra, la portata alle risorgive del Timavo non dovrebbe mai scendere sotto la minima attuale, pur sempre consistente, ricevendo comunque l'apporto delle precipitazioni meteoriche sull'altopiano del Carso.

Bidovec fa evidentemente riferimento nei suoi studi ai sistemi carsici dei grandi polje dell'entroterra sloveno, nei quali i veri e propri fiumi sotterranei incanalati costituiscono la regola (quello di Postumia è l'esempio più famoso). Si tratta però di corsi d'acqua che, a quota relativamente elevata e lontani dai drenaggi marini, per buona parte dell'anno — e soprattutto in regime di magra — si trovano in condizione di "sospensione" al di sopra di una zona freatica più profonda. Risulta pertanto problematico stabilire esattamente sia l'entità dei deflussi sia l'estensione stessa dei bacini imbriferi, che nelle regioni carsiche risulta spesso indeterminabile¹²³.

Nella formulazione delle sue tesi Bidovec si è avvalso della collaborazione scientifica di Franc Jenko, idrologo di formazione ingegneristica con una grande esperienza maturata "sul campo" nei vari Carsi dinarici. Egli pubblica nel 1959 un pregevole trattato di idrologia carsica (51) nel quale inserisce numerosi riferimenti anche alla situazione del Carso triestino. In particolare, per quanto riguarda il corso sotterraneo del Timavo, Jenko sottolinea l'importanza degli esperimenti di chiusura delle paratoie alle risorgive ed osserva che riveste un'importanza determinante la misura esatta del tempo di "risposta" (innalzamento dell'acqua) nella grotta di Trebiciano. Infatti, in base alla formula della velocità d'onda per l'acqua a pelo libero (radice quadrata dell'accelerazione di gravità moltiplicata per il dislivello) si ottengono valori dell'ordine dei metri al secondo e quindi di qualche ora; nel caso invece della propagazione dell'impulso in condotte a pressione, la cui velocità ammonta a circa 1500 m/sec, ossia alla velocità di propagazione del suono nell'acqua, i valori sarebbero inferiori al minuto e la risposta dovrebbe quindi essere quasi istantanea.

122. Fornasir G. (1967): *Utilizzazione irrigua delle acque dell'Isonzo nella parte interessante il territorio italiano*, Atti del Convegno "Attualità e nuovi orizzonti nel reperimento e nell'uso di acque nelle Venezia", Associazione Idrotecnica Italiana, Padova 1966, 147-158.

123. Žibrik K., Lewicki K., Pičinin A. (1976): *Hidrologic investigations in Ljubljana river basin*, 3. SUWT - Third Internat. Symposium of Underground Water Tracing, Institute for Karst Research, Postojna, 43-55.

In merito alla controversa questione della dinamica dell'idrologia carsica, Jenko considera soltanto apparentemente contraddittorie la teoria dell'acqua di fondo e quella del reticolo di canalizzazioni, in quanto il livello di base delle acque sotterranee "permanenti" realmente coesiste con veloci correnti profonde, che talvolta si comportano come veri e propri fiumi. L'acqua carsica non ha comunque le caratteristiche di una falda freatica vera e propria in quanto può essere discontinua e localizzata; la permeabilità della massa carbonatica infatti viene in certi casi ridotta o annullata dall'intasamento delle fessure profonde con materiali fini. Egli nega l'esistenza della ritenzione idrica nelle aree carsiche, pur constatando in esse velocità di deflusso molto minori rispetto ai bacini imbriferi superficiali e portate di piena fino a dieci volte più piccole, a parità di superficie.

Alla fine degli anni Cinquanta l'Istituto Talassografico di Trieste effettua nel golfo una serie di campionature della salinità e misurazioni termometriche in superficie¹²⁴ (ripetute successivamente da Mario Bussani¹²⁵) allo scopo di verificare l'esistenza di grosse risorgive sottomarine al largo dalla costa. Questa è un'altra radicata certezza della "sapienza popolare", peraltro confermata dai raddomanti in varie occasioni. In particolare durante la prima guerra mondiale il Magg. Beichl, ufficiale dell'esercito austriaco, dice di aver individuato un cospicuo fiume sotterraneo sotto la costiera di Barcola e di Cedas ed importanti corsi d'acqua sotto la piana di Zaule ad oltre 100 metri di profondità¹²⁶ (dunque nel basamento roccioso, ben al di sotto delle falde idriche del manto alluvionale, ubicate a circa dieci metri dalla superficie e utilizzate durante la prima guerra mondiale per l'acquedotto sussidiario). Lo stesso Guido Timeus non esclude queste eventualità e ritiene anzi che "forse un fiume potente scorre tuttora nella profondità della vallata di S. Giovanni". Le misurazioni di salinità e temperatura sembrano escludere l'esistenza di consistenti deflussi profondi dall'altopiano del Carso verso il mare; la loro affidabilità non è però assoluta, in quanto eseguite, le une e le altre, in maniera sporadica ed a maglia larga, in uno specchio di mare dove il totale ricambio dell'acqua è molto rapido per effetto delle maree e della circolazione stessa — in senso antiorario — dell'alto Adriatico.

124. Perin-Luca L. (1960): *Osservazioni di temperatura e salinità nel golfo di Trieste*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze", Trieste, 51:86-104.

125. Bussani M. (1972): *Influenza delle acque sotterranee carsiche sulle isoterme superficiali del golfo di Trieste*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 11/1971:95-107.

126. Timeus G. (1924): *Le indagini sull'origine delle acque sotterranee con i metodi fisici, chimici e biologici*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 28(2):191-293 (capitolo Raddomanti)

Medeot S.L., Tomei G. (1971): *La raddomanzia nell'evoluzione delle ricerche idriche dalla mitologia alla storia*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 53-73.

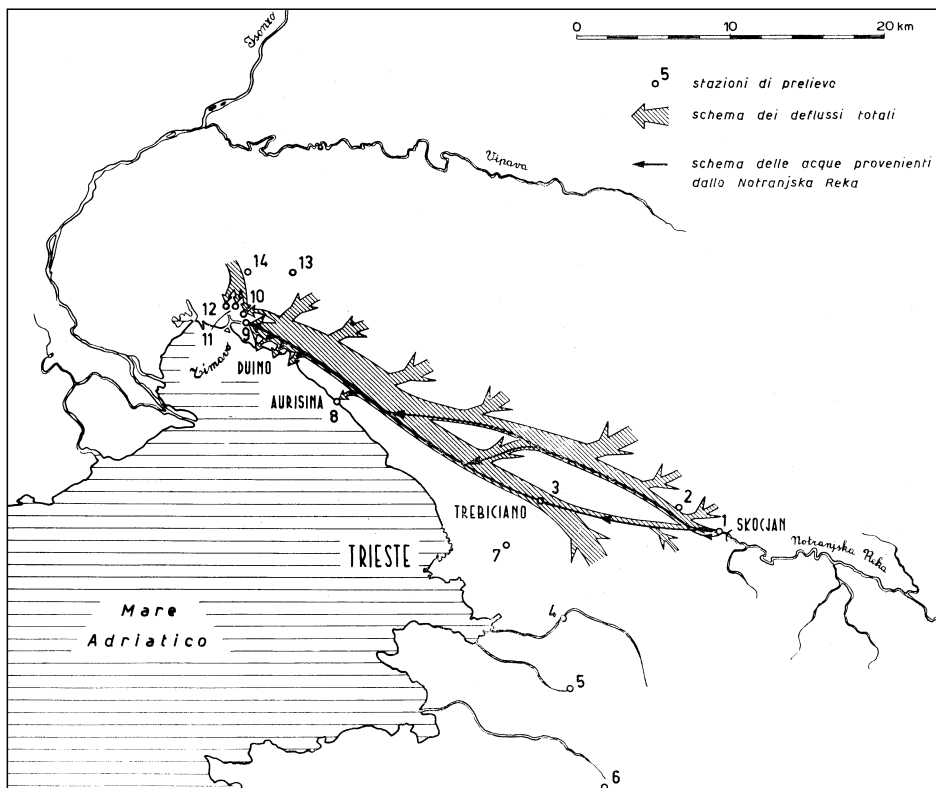
L'Osservatorio Geofisico di Trieste

Con le prospezioni geofisiche sul Carso si apre il lungo ciclo di ricerche svolto dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste sotto la direzione di Ferruccio Mosetti, cui si deve la formulazione di nuove e originali "idee" sperimentali nello studio dell'idrologia carsica sotterranea e la realizzazione di sofisticati modelli matematici, sia pure talvolta impiegati nell'elaborazione di dati approssimativi o non sufficientemente significativi. Con lui — precursore in molti campi — ha comunque inizio un nuovo ciclo di ricerche che continua ancora ai nostri giorni.

Nel luglio 1962, con la collaborazione tra l'I.A.E.A. (Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica) di Vienna, l'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste, l'Hi-drometeorološki Zavod e il Nuclearni Inštitut J. Stefan di Lubiana, viene effettuato un nuovo esperimento di marcatura radioattiva delle acque del Recca, impostato secondo i criteri messi a punto da Mosetti ed Eriksson¹²⁷. Un particolare modello di calcolo consente di rendere quantitativa l'interpretazione dei risultati: non ci si limita a stabilire soltanto la relazione tra due punti del bacino carsico e a calcolare la "velocità apparente" del deflusso — nota la loro distanza in linea d'aria — come ai tempi di Guido Timeus, ma in base alla concentrazione del tracciante, misurata per tutto il tempo del suo deflusso, si intende determinare la quantità di acqua che passa dall'inghiottitoio alle risorgive. In tal modo si cerca di valutare quanta acqua si disperde in altre direzioni lungo il percorso sotterraneo e quant'altra invece confluisce lungo di esso. Allo scopo viene impiegato il trizio, isotopo radioattivo dell'idrogeno, un tracciante che consente la determinazione precisa della curva della concentrazione nel tempo in quanto non viene assorbito strada facendo (adsorbimento colloidale delle argille, in deposito o in sospensione). Vengono controllati tutti i possibili punti di deflusso: risorgive del Timavo, sorgenti Sardos, sorgenti del Lisert e di Moschenizze, sorgenti di Aurisina, di Guardiella e di Bagnoli, risorgive di Bagnoli, del rio Osopo e del Risano, Kačna jama, grotta di Trebiciano e grotte del vallone di Brestovizza; nella stessa grotta di S. Canziano si accertano considerevoli perdite di portata, nelle fessurazioni dell'alveo roccioso (75). A scopo sperimentale vengono immessi nel Recca anche 100 chilogrammi di fluoresceina, valutando l'inaffidabilità di questo tracciante per grandi quantità di acqua e lunghi percorsi sotterranei. Le interferenze della fluorescenza naturale e della torbidità dell'acqua falsano infatti le misure al punto da far risultare defluita una quantità di colorante maggiore di quella realmente impiegata (79).

127. De Santis L., Mosetti F. (1961): *Alcuni ragguagli sulle ricerche idrologiche con traccianti*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 3(10):121-136.

Eriksson E., Mosetti F. (1962): *Sur l'emploi du tritium comme traceur dans des problèmes d'hydrologie souterraine*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 4(16):357-360.

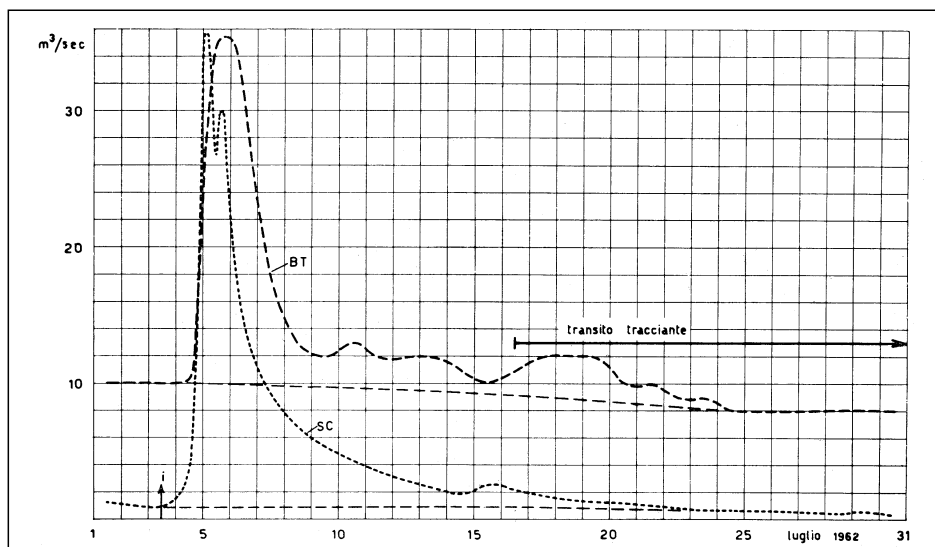


“Schema rappresentante i vari possibili rapporti idrologici nel sottosuolo carsico, ottenuto mediante l'esperimento di marcatura con tritio delle acque della Reka. La posizione delle linee di deflusso è solo indicativa e non vuole rappresentare la reale topografia del corso sotterraneo”. Da: Mosetti F. et al. (75). I numeri indicano le stazioni di prelievo: 1. Grotta di S. Canziano; 2. Grotta dei Serpenti; 3. Grotta di Trebiciano; 4. Sorgenti di Bagnoli; 5. Sorgenti dell'Ospo; 6. Sorgenti del Risano; 7. Sorgenti di Guardiella; 8. Sorgenti di Aurisina; 9. Risorgive del Timavo; 10. Sorgente Sardos; 11. Sorgenti di Moschenezze; 12. Sorgenti del Lisert; 13. Grotta di Brestovizza; 14. Grotta di Comarie. L'immissione del tracciante è stata effettuata il 3 luglio 1962; i prelievi dal giorno 8 luglio al 4 agosto. Le confluenze di “acque estranee” a monte della grotta di Trebiciano e di acque marcate a valle, provenienti direttamente dalla grotta di S. Canziano, spiegano la grande diluizione del tracciante a Trebiciano e la sua maggiore concentrazione alle risorgive.

L'acqua triziata subisce un forte mescolamento con acque di altra provenienza prima di raggiungere le risorgive costiere. Al fondo della grotta di Trebiciano si ritrova soltanto una modesta percentuale (20-25%) dell'acqua che s'inabissa a S. Canziano: questo sarebbe solamente un “ramo” del corso sotterraneo, arricchito da altri apporti (forse dal bacino di Castelnuovo, forse dalle stesse perdite subalvee del

Recca). Alle sorgenti di Aurisina il tracciante compare in ritardo rispetto al Timavo, con una minore velocità media di deflusso ma persiste qualche giorno in più; si tratterebbe di un collegamento di tipo filtrante, come del resto ha già ipotizzato Eugenio Boegan, osservando che la portata delle sorgenti risente molto prima delle precipitazioni sul circostante bacino del Carso che non delle piene nelle grotte di S. Canziano. Una dubbia presenza del tracciante, al limite della sensibilità strumentale, viene registrata nelle sorgenti di Bagnoli. Il trizio non compare nelle sorgenti a nord delle risorgive del Timavo, nemmeno nelle vicine sorgenti Sardos da sempre considerate anch'esse, come le sorgenti di Aurisina, "scarichi secondari del Timavo". A sud del bacino carsico, nelle risorgive del rio Osopo e del Risano, come pure a nord, nelle grotte del vallone di Brestovizza, non vengono registrate quantità apprezzabili di trizio, per cui sarebbe da escludere un loro diretto collegamento con il Recca; il deflusso sotterraneo principale dovrebbe dunque seguire il solco di Aurisina.

Si conclude che il contributo del Recca alle risorgive del Timavo sia molto rilevante in periodo di piena, quasi trascurabile invece in periodo di magra. "Se non e-



Poche ore dopo l'immissione dell'acqua triziata, il 3 luglio 1962 è giunta a S. Canziano, del tutto imprevista, una moderata piena del Recca (30 mc/sec), transitata molto rapidamente. L'onda di piena ha raggiunto nei pressi della grotta di Trebiciano l'acqua marcata, che è risultata improvvisamente diluita ma che assai rapidamente è ritornata alla concentrazione normale. Il trizio è apparso alle risorgive del Timavo appena il 14 luglio, senza subire alcuna accelerazione; il passaggio della cresta dell'onda marcata è avvenuto il giorno 19. Da: Mosetti F. (79).

sistesse il Timavo superiore — osserva Mosetti — le portate di minima al Timavo inferiore resterebbero pressoché inalterate e ad esse si avvicinerrebbe di più la portata media; non vi sarebbero probabilmente imponenti fenomeni di piena in queste risorgive. L'effetto del Timavo superiore si manifesta, sovrapposto alla portata di magra, con forti escursioni di portata nelle punte e, ovviamente, con l'aumento della portata media". In regime di piena il Timavo sotterraneo si comporta pertanto "come un torrente che si sovrappone alle acque della falda carsica".

Basandosi sulle vecchie misurazioni di portata delle risorgive del Timavo, che non tengono conto delle ingenti perdite al di sotto delle opere di imbrigliamento dell'acqua, si giunge alla conclusione (in seguito smentita da nuovi studi¹²⁸) che dal Timavo inferiore sia transitata soltanto la metà del tracciante immesso a S. Canziano, per cui sembra acquistare un carattere di verisimilitudine l'ipotesi di forti deflussi dall'altopiano del Carso direttamente nel golfo di Trieste.

L'esperimento di marcatura con il trizio ripropone anche il problema degli "afflussi ipotetici", e tra questi il presunto corso sotterraneo proveniente dal bacino di Castelnuovo e dall'Istria montana. Allo scopo di accertarne l'esistenza, l'Osservatorio Geofisico esegue nel 1963 delle misurazioni geofoniche nella Val Rosandra, perforando in prossimità dell'alveo due pozzi nella roccia calcarea, profondi 73 e 90 metri, nei quali si sistemano i sensori degli strumenti di registrazione¹²⁹; i geofoni effettivamente raccolgono degli impulsi che sono attribuiti alla turbolenza dell'acqua scorrente in profondità, senza peraltro poter precisare la quantità né le condizioni di movimento¹³⁰. Promotore dell'iniziativa è Antonio Marussi, studioso di larga fama nel campo della geodesia astronomica e autore, a suo tempo, dei discussi lavori sull'idrografia precarsica (Paleotimavo) e sul suo ruolo nello sviluppo del carsismo¹³¹. Fiducioso nel buon esito di queste ricerche, egli redige un progetto preliminare per lo sfruttamento idrico del presunto corso sotterraneo e valuta a

128. Fabio Gemiti (1984) calcola per il periodo 1972-83 una portata media del Timavo di 30 metri cubi al secondo, di cui 20 al solo terzo ramo: esattamente il doppio di quella utilizzata per il calcolo della quantità di trizio fuoriuscita.

129. *Occorrono quasi tre miliardi per risolvere il problema idrico*, "Il Piccolo", Trieste, 3.10.1967.

130. Mosetti F. (1963): *Relazione provvisoria sulle ricerche eseguite in Val Rosandra per conto del Prof. Antonio Marussi*, Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste, Ricerca n. 220/63, 1-4.

Marussi A. (1966): *Impiego dei geofoni nella ricerca di acque carsiche correnti*, Atti del Convegno F.A.S.T. "Il problema delle acque in Italia", Milano 1965, Ed. Tamburini, 161-168.

131. Marussi A. (1975): *Geomorphology, Paleohydrography and Karstification in the Karst of Trieste and Upper Istria*, "Steirische Beiträge zur Hydrogeologie", Graz, 27:45-53 (sintesi dei suoi studi precedenti).

350.000 mc giornalieri la quantità di acqua disponibile¹³². La cifra sembra però esagerata in rapporto all'estensione del probabile bacino idrografico e alle sue sicure "perdite" verso sud in direzione delle valli istriane. Come si è visto infatti, la marcatura effettuata da Guido Timeus nell'inghiottitoio di Odolina ha dimostrato l'esistenza di una relazione idrologica tra la "valsecca" di Castelnuovo e le sorgenti del Risano e non con il bacino del Timavo. Riprovato in varie riprese dai ricercatori sloveni all'inizio degli anni Sessanta, l'esperimento si conclude però con esito incerto e in un caso la marcatura simultanea di tre torrenti con fluoresceina e spore diversamente colorate rimane del tutto senza risultato (80). L'evento dimostrerebbe — secondo Carlo D'Ambrosi — una certa labilità nelle connessioni sotterranee ed "un'interdipendenza variabile e temporanea fra sistemi carsici contigui, tra i quali i flussi di alimentazione potrebbero anche invertirsi nei diversi regimi idrologici".

Il Carso isontino

Gli studi per il nuovo acquedotto di Gorizia, iniziati in maniera organica nel 1958, portano all'acquisizione di importanti conoscenze sull'alimentazione della falda sotterranea del Carso isontino¹³³. Con perforazioni e rilevamenti geoelettrici si determina anzitutto l'andamento delle isofreatiche (curve di livello della superficie della falda freatica) nella piana alluvionale di Gorizia, estesa allo sbocco delle valli dell'Isonzo e del Vipacco; viene accertato che in regime di magra il livello della falda si abbassa di una decina di metri al contatto coi calcari, in corrispondenza dello sbocco settentrionale del "vallone" di Doberdò. Qui, nei pressi di Gabria, si effettuano prove con la fluoresceina per verificare il movimento dell'acqua in alcuni pozzi, già usati durante la prima guerra mondiale per un acquedotto campale dell'esercito austriaco; viene osservato un lento deflusso verso sud, all'interno dell'altopiano del Carso (ma alla luce delle ricerche successive, questi pozzi sembrano attingere in una falda locale e superficiale, che in realtà non viene alimentata in maniera significativa né dall'Isonzo né dal Vipacco).

132. *Val Rosandra potrebbe risolvere il problema del nuovo acquedotto*, "Messaggero Veneto", ed. Trieste, 1.10.1964.

Ribadita necessità di realizzare quanto prima il nuovo acquedotto, "Messaggero Veneto", ed. Trieste, 10.3.1966.

133. D'Ambrosi C., Mosetti F. (1960): *Risultati preliminari di una ricerca geoidrologica per il nuovo acquedotto di Gorizia*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 2(7):487-496.

Quindi si eseguono misurazioni termometriche, indagini idrochimiche e analisi sulla composizione isotopica naturale delle acque (un nuovo campo di ricerca ulteriormente sviluppato negli anni successivi), sia in territorio italiano che oltre confine (70). Viene accertato che una parte della falda freatica della piana di Gorizia defluisce verso sud entro l'altopiano del Carso in corrispondenza del "vallone"; non è però determinabile l'entità di tale apporto, che viene considerato quasi costante nei vari regimi idrologici. Il maggior contributo esterno non proviene pertanto dal Vipacco — come finora si è creduto — ma dalle perdite di subalveo dell'Isonzo.

È inoltre ipotizzata l'esistenza di un deflusso sotterraneo, anch'esso di entità indeterminabile, dall'altopiano di Doberdò verso la piana di Ronchi, in base all'andamento del livello dell'acqua di base nella roccia calcarea. Questo viene studiato¹³⁴ in una cavità naturale che si apre sulle pendici del Carso nei pressi del sacario di Redipuglia, a brevissima distanza dalla pianura (il pozzo di Polazzo, già noto a suo tempo per il ritrovamento di esemplari di proteo¹³⁵); in seguito osservazioni più accurate non escludono anche occasionali deflussi in senso inverso, dalla pianura al Carso, durante le piene dell'Isonzo¹³⁶.

Ulteriori ricerche idrochimiche sono eseguite nel 1965 sotto la guida di Sergio Morgante¹³⁷, in 24 pozzi ubicati lungo tutto il bordo del Carso isontino, con misurazioni di livello dell'acqua, temperatura, pH, durezza e rapporto calcio/magnesio.

134. D'Ambrosi C. (1962): *Sul significato idrologico del pozzo carsico di Polazzo presso Fogliano-Redipuglia (Gorizia) nel problema dell'alimentazione idrica del Timavo e dei pericoli che ne derivano per la città di Trieste*, "Tecnica Italiana", Trieste, 27(7):483-489.

135. Comar M. (1987): *Quel piccolo drago biancastro - la diffusione del Proteus anguinus Laurenti nelle acque sotterranee del Carso Isontino*, "Il Territorio", Ronchi dei Legionari, 20/21:60-69 (esauriente bibliografia).

Frequentemente segnalato nel Carso isontino, il proteo viene avvistato nel Carso triestino appena all'inizio degli anni Settanta, nella Kačna jama e successivamente nel pozzo della Ferrovia (226 VG) e al fondo della grotta di Trebiciano; si veda:

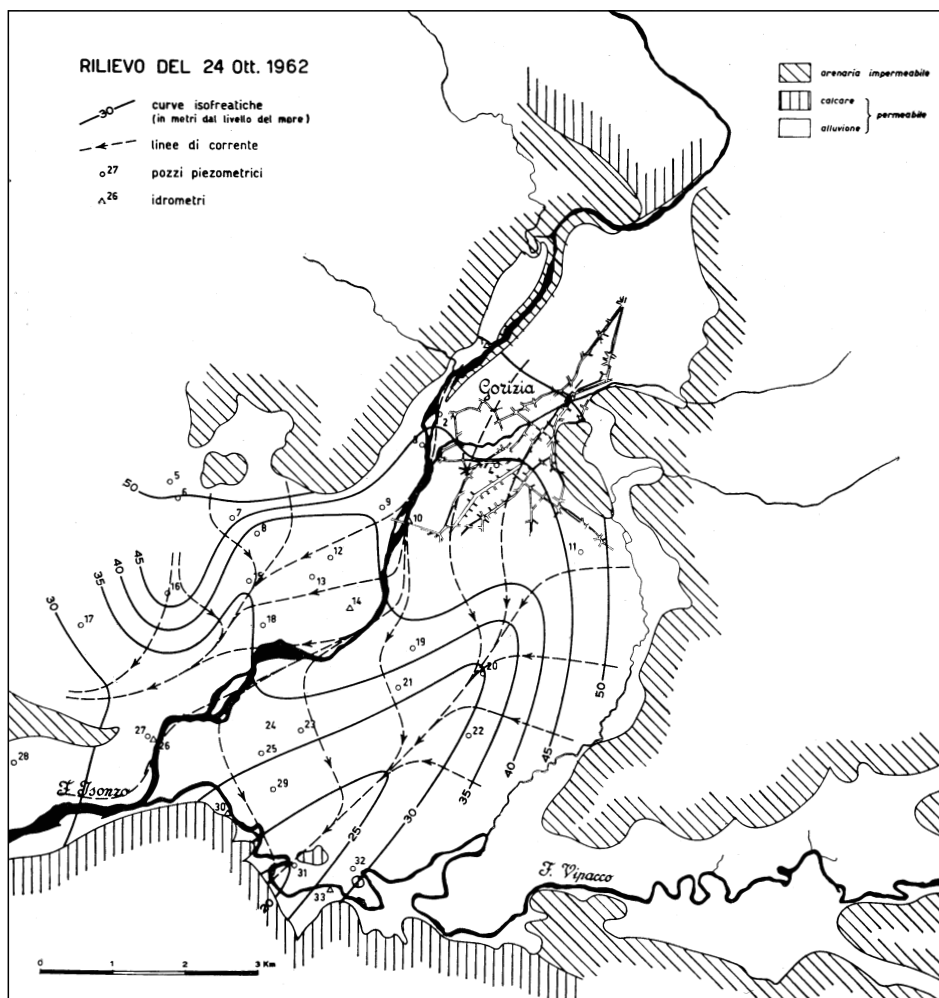
Pichl E. (1978): *Una stazione del Proteus anguinus Laurenti (1768) nelle acque del Timavo sotterraneo*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze", 61/1977:105-109.

Per la presunta cattura di un proteo nelle risorgive del Timavo, citata nel 1955 da Carlo D'Ambrosi, si veda:

Canu E. (1969): *Sulla presenza del Proteus anguinus Laurenti nelle acque della provincia di Gorizia (Italia) e sulla sua presumibile presenza in quelle del bacino del fiume Timavo inferiore (Carso di Trieste)*, Actes du 4. Congrès International de Spéléologie, Ljubljana 1965, 4/5:35-40.

136. Cancian G., Marchi F., Miniussi D. (1996): *L'idrologia del Pozzo di Polazzo (Carso goriziano) mediante un monitoraggio chimico e microbiologico*, "Studi e Ricerche della Società di Studi Carsici A.F. Lindner", Fogliano (GO), 3:51-69.

137. Tesi di laurea Jlda Braida: *Ricerche sull'origine delle acque delle sorgenti del Timavo inferiore*, Università degli Studi di Trieste, 1965 (notizia privata Ferruccio Mosetti).



“Distribuzione delle isofreatiche e delle linee di corrente nella Piana di Gorizia in base a rilevamenti simultanei nei pozzi. Situazione di magra autunnale” da: Mosetti F., D'Ambrosi C. (77). Viene evidenziato un deflusso sotterraneo verso il Carso in corrispondenza dell'imbocco settentrionale del “val-lone” di Doberdò.

Si conclude che l'influenza delle precipitazioni atmosferiche sull'idrografia sotterranea dell'altopiano deve essere piuttosto trascurabile, rispetto alla grande quantità d'acqua proveniente dalle perdite dell'Isonzo, che lambisce la roccia calcarea al margine occidentale dell'altopiano del Carso ad una quota quasi venti metri più alta del livello normale del lago di Doberdò. All'alimentazione della falda carsica sarebbe da attribuire, almeno in parte, il deficit di portata del fiume — circa 10 mc/sec in periodo di magra — riscontrato tra Gorizia e Sagrado.

Successive indagini più sistematiche precisano però come il contributo della falda dell'Isonzo sia prevalente in regime di magra delle acque carsiche, mentre in regime di piena diventerebbe rilevante quello dell'acqua meteorica di percolazione; in tali circostanze potrebbe inoltre invertirsi il rapporto di alimentazione tra l'Isonzo e il Carso. L'apporto del Vipacco appare in ogni caso trascurabile, tanto da non essere evidenziato dalle analisi chimiche; misurazioni simultanee di portata effettuate a Montespino e a Merna durante le magre, mostrano infatti un deficit di appena 300 o 400 litri al secondo.

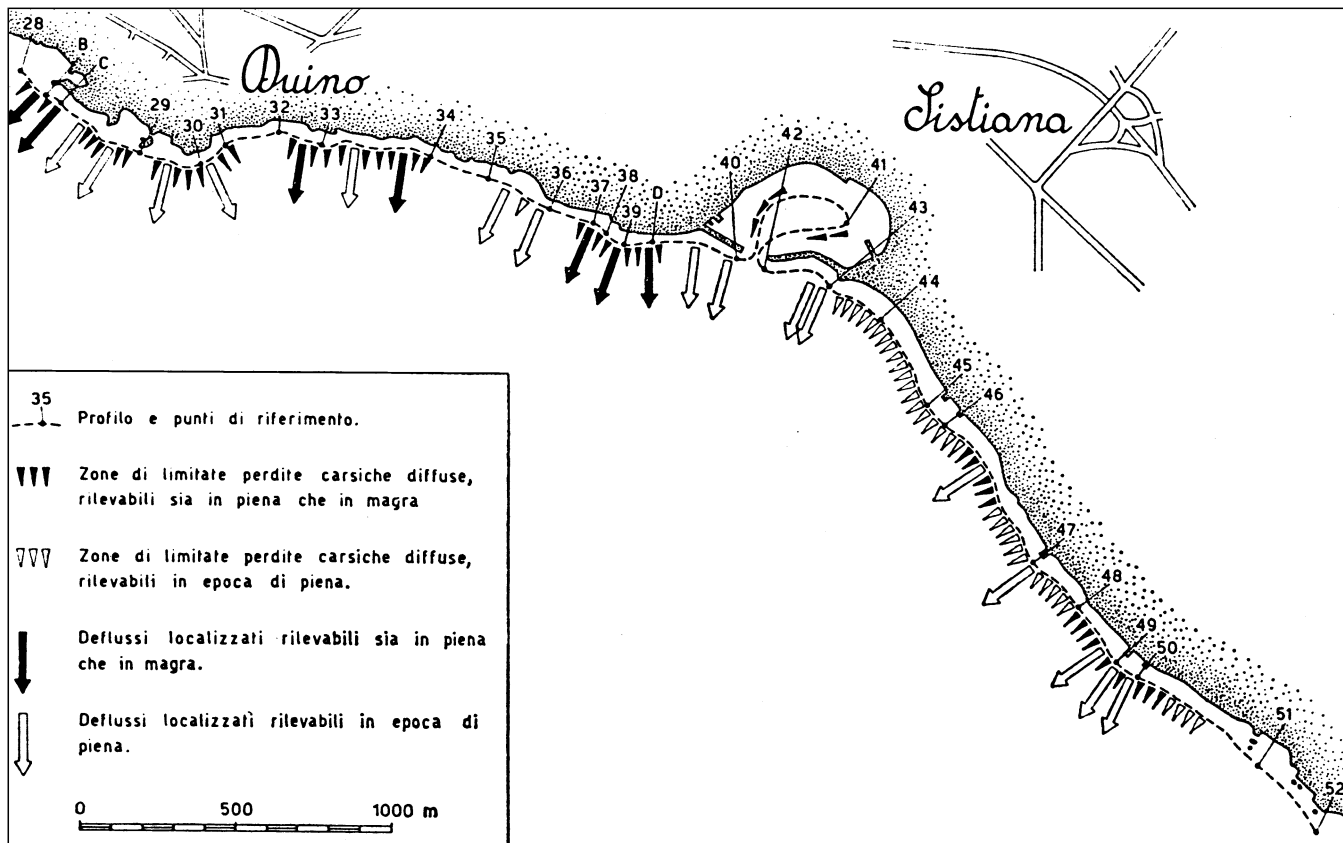
* * *

Iniziata negli anni Cinquanta con i primi rilevamenti geoelettrici e gravimetrici, l'attività dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste sul fronte dell'idrologia carsica in seguito si intensifica e si articola in diversi filoni di ricerca, portando nuovi contributi di conoscenza. Rilievi geoelettrici di dettaglio e perforazioni, eseguiti per lo studio delle fondazioni della cartiera del Timavo, evidenziano una profonda incisione nel basamento di roccia calcarea sepolto sotto decine di metri di depositi alluvionali, sabbiosi e argillosi¹³⁸. “In riva sinistra — scrive Mosetti (80) — questa incisione raccoglieva un corso proveniente dalle attuali sorgenti Sardotsch e successivamente più a sud un altro corso corrispondente agli attuali tre rami [del Timavo]. In corrispondenza a queste incisioni dovevano sfociare delle grosse caverne, ora parzialmente ostruite dai sedimenti ... L'esistenza di queste grandi caverne è determinante perché ci fa vedere che le risorgive non sono costituite dalla riunione di tanti piccoli spandimenti percolanti fratture della roccia¹³⁹, bensì ci pone

138. Mosetti F. (1957): *Prospezione geoelettrica per la cartiera del Timavo*, “Tecnica Italiana”, Trieste, 12(4):3-7.

D'Ambrosi C., Mosetti F. (1963): *Caratteristiche strutturali della zona tra Monfalcone e il Timavo*, “Adriatico”, Trieste, 9(5/6):12-16.

139. Si veda la tavola “Sifoni di risorgenza nel bacino del ramo terzo del Timavo” dell'ing. Giuseppe Piacentini (Ufficio Idrotecnico Comunale: *Il provvedimento di acqua dal Timavo*, 2. parte), riportata in (10) tav. 80.



Schema dei deflussi carsici in mare, fra le sorgenti di Aurisina e le risorgive del Timavo, evidenziati con profilo termoconduttometrico continuo (linea tratteggiata) eseguito lungo la costa; da: Accerboni E., Mosetti F. (1).

di fronte ad un'imponente carsificazione e ad un vero e proprio delta sotterraneo, di cui forse, quello che oggi è visibile non è che il residuo di un'imponente costruzione del carsismo, ora sepolta sotto decine di metri di sedimento marino". Del resto ancora Eugenio Boegan ha segnalato l'esistenza nell'alveo del Timavo, a circa 150 metri dalle risorgive, di "uno scaricatore attivo soltanto nei periodi di piena", ipotizzando fosse lo sbocco originario del fiume.

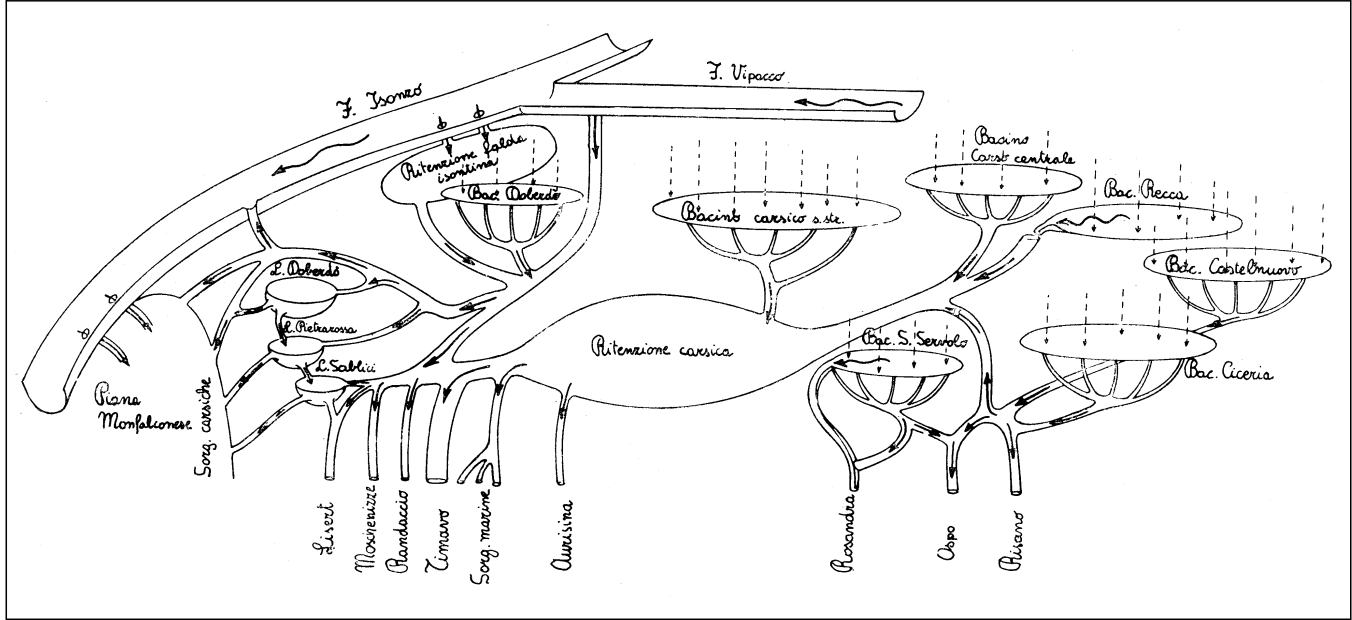
Nel 1963 l'Osservatorio Geofisico Sperimentale installa un termografo registratore nella grotta di Trebiciano per la determinazione dell'onda termica annua nel corso d'acqua sotterraneo¹⁴⁰. Si utilizzano anche le serie termometriche misurate da Eugenio Boegan cinquant'anni prima, allo scopo di calcolare la velocità media annua del corso sotterraneo del Timavo (parametro in realtà piuttosto astratto) in base allo studio dello smorzamento e sfasamento delle curve delle temperature medie annue a S. Canziano, nella grotta di Trebiciano e alle risorgive, punti tra i quali la distanza apparente è nota. L'onda termica rilevata nella grotta non si accorda comunque con le escursioni riscontrate a S. Canziano e al Timavo, in quanto "non tutta l'acqua di Trebiciano proviene dal Recca e non tutta e non la sola acqua di Trebiciano defluisce a Duino" (78).

Nel 1966 viene eseguito un singolare esperimento di marcatura con l'impiego di cariche esplosive, che però non raggiunge alcun risultato. Nel sifone di uscita della grotta di Trebiciano vengono immerse "bombe a tempo" semigalleggianti e sferiche, dopo aver predisposto in superficie un sistema di rilevamento con geofoni per individuare la posizione dei punti di scoppio; alcune non riescono a superare la frana di grossi blocchi (già vista da Giorgio Cobol) ed esplodono nei pressi del punto di immissione, le altre scompaiono senza che le apparecchiature riescano a registrare alcun segnale¹⁴¹.

Per localizzare eventuali deflussi di una certa consistenza nel golfo di Trieste, vengono effettuate specifiche ricerche con la registrazione in mare, navigando lungo rotte opportunamente predisposte, della temperatura e della conducibilità elettrica. Con tale procedimento si individuano con buona precisione i punti di risorgenza dell'acqua dolce lungo la costa fra il Timavo e le sorgenti di Aurisina nelle diverse situazioni idrologiche (1), rilievi che trovano in seguito conferma dall'ana-

140. Mosetti F. (1964): *La grotta di Trebiciano finestra aperta sull'idrologia sotterranea del Carso*, "Adriatico", Trieste, (5/6):12-16.

141. Un analogo esperimento viene effettuato in Bosnia nel gennaio 1974, ma anche in questo caso i risultati non compensano i laboriosi preparativi. Si veda: Arandjelović D., Milanović P., Filip A., Ramljak P. (1976): *Determination of space position of underground karst channels*, in: Karst hydrology and water resources, 2:627-661 (citato nella nota 162).



“Schema dei rapporti e delle connessioni idrologiche del Carso triestino”; da: Mosetti F. (76). Viene evidenziata la complessità della circolazione sotterranea, però con una semplificazione eccessiva nel “cuore” dello schema dove l’apporto del Recca sembra disperdersi, insieme agli altri, in una indistinta “ritenzione carsica”. Oggi si ritiene che il deflusso del Recca avvenga lungo le grandi condotte del drenaggio principale, attraverso le quali si scaricano rapidamente le grandi piene, con una violenta trasmissione della pressione idraulica ed incrementi di livello di decine di metri all’interno della massa calcarea. Durante il regime normale e di magra invece, l’acqua di fondo defluisce attraverso un esteso reticolo di drenaggi interdipendenti; si veda Civita M. et al. (15).

lisi delle immagini termografiche LANDSAT (15). Altre ricerche sulla temperatura e sulla salinità dell'acqua a contatto del fondo marino evidenziano quasi ovunque, lungo la fascia costiera, una piccola ma sensibile variazione di salinità, come se esistesse un lento movimento filtrante di acqua carsica attraverso il materasso dei depositi alluvionali del fondo.

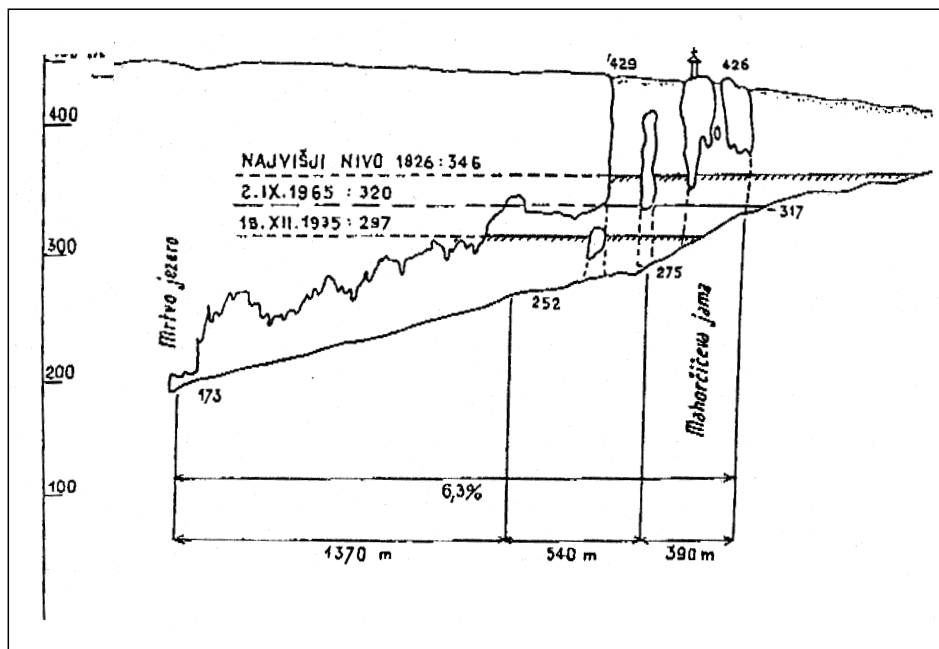
Nel 1964 e '65 vengono ripetute ed estese a tutti i deflussi del complesso sorgentizio del Timavo le nuove ricerche sulla composizione isotopica naturale delle acque, evidenziandone la differente alimentazione. Tali ricerche si basano sulla determinazione del rapporto tra gli isotopi stabili dell'ossigeno di massa 18 e 16, naturalmente presenti nell'acqua però a differenti concentrazioni a seconda della temperatura alla quale è avvenuta la condensazione del vapore acqueo. Le prime condensazioni sono più ricche di O^{18} , mentre il vapore residuo dà origine a condensazioni più povere di questo isotopo; poiché queste ultime sono possibili solo a basse temperature, le acque meteoriche che presentano un'abbondanza percentuale inferiore di O^{18} sono quelle precipitate in montagna o in inverno¹⁴². In certi periodi dell'anno le acque delle risorgive costiere hanno una composizione intermedia fra le acque dell'Isonzo e quelle del Recca, in altri invece una composizione molto simile a quella del Recca e della grotta di Trebiciano (ma tale coincidenza potrebbe anche derivare da un mescolamento in opportune proporzioni di acque locali con acque isontine).

Viene quindi avviata la misurazione sistematica anche di altre caratteristiche delle acque (ossigeno disciolto, composizione chimica e rapporti fra i vari elementi, pH, temperatura ecc.), considerandole come veri e propri "traccianti naturali" in grado di fornire utili indicazioni sulla loro provenienza. Si ottengono però anche in questo caso risultati di incerta interpretazione, constatando che la composizione delle acque non si mantiene costante nelle diverse stagioni e nei vari regimi idrologici (magra e piena), ad ulteriore riprova di quanto complesse siano le miscelazioni che avvengono nella profondità del Carso tra le acque di apporto fluviale (Recca), le acque di provenienza isontina, le acque di ritenzione carsica e le acque meteoriche di percolazione.

I risultati delle indagini idrologiche — chimiche e fisiche — eseguite nel corso degli anni Sessanta confermano in definitiva la gran parte delle conoscenze acquisite in precedenza; vediamo una sintesi realizzata dal loro principale artefice¹⁴³.

142. Si veda: Mosetti F., Pomodoro P. (82); inoltre, per un resoconto dettagliato su questi studi: Mosetti F. (84) 147-150.

143. Mosetti F. (1983): *Sintesi sull'idrologia del Friuli - Venezia Giulia*, "Quaderni E.T.P.", Ente Tutela Pesca, Udine, 6:3-292 (158-159).



Profilo della grotta di S. Canziano con i livelli massimi raggiunti dall'acqua durante le piene eccezionali del 1826, 1965 e 1935. Da: Habe F. (1966): Katastrofalne poplave pred našimi turističnimi jamami, "Naše Jame", Ljubljana, 8:45-54.

La quota 173 del sifone di uscita è stata in seguito corretta, con un rilevamento di precisione, a m 214; si veda: Drole F. (1997): New survey of Škocjanske jame, *Proceedings of 12. International Congress of Speleology, Switzerland*, 6:25-28.

Le altre storiche piene del Recca, durante le quali "per circa metà le voragini erano invase dalle acque", si sono verificate nel 1807 (quota 343), nel 1851 (quota 336) e nel 1868 (per la quale mancano dati precisi).

Le acque della grotta di Trebiciano sarebbero simili a quelle della grotta di S. Canziano, benché denotino un mescolamento con altre acque ("forse locali, forse provenienti dal bacino di Castelnuovo"). Le sorgenti di Aurisina sarebbero alimentate soltanto durante le forti piene con apporti preponderanti del Recca, ma normalmente con l'acqua proveniente da un limitato bacino carsico circostante. Le risorgive del Timavo "risultano da un mescolamento di acque locali (cioè di precipitazione sul bacino carsico più immediato), di acque carsiche e di acque del Timavo superiore che, nelle sue piene, rimpingua da un lato il bacino carsico ipogeo e d'altro lato invia una assai cospicua parte della portata a defluire per le risorgive". Almeno sporadicamente il Timavo riceverebbe contributi dalla falda isontina. Le sorgenti Sardos sarebbero influenzate dal Timavo soltanto in casi eccezionali, ma

normalmente drenano l'acqua della falda carsica, con un probabile contributo di acque isontine, ancora non ben chiarito nella sua reale entità. Le acque delle sorgenti di Moschenizze e del Lisert "risentono progressivamente di meno del Timavo e progressivamente di più dell'Isonzo"; le acque dei laghi di Doberdò, Pietrarossa e Sablici derivano dall'Isonzo e da consistenti contributi locali di infiltrazione superficiale.

"Il Recca scorrerebbe nel sottosuolo carsico quasi fosse un fiume a cielo aperto, attraverso ampi canali ... In tutta la parte centrale del Carso non esiste un'acqua di fondo nel vero senso della parola, ma si trovano vie preferenziali percorse dall'acqua, localizzate qua e là; muovendo verso valle, cioè in direzione delle sorgenti costiere della zona Aurisina-Monfalcone, nonché il Carso di Doberdò, la vascolarizzazione si allarga e si presenta una vera e propria acqua di fondo" (80).

In merito al problema della ritenzione idrica, Mosetti ritiene che l'acqua delle precipitazioni sull'altopiano del Carso (un afflusso stimato attorno al milione di metri cubi all'anno per chilometro quadrato) si raccolga lentamente in profondità, "impiegando, per il deflusso alle risorgive costiere, tempi che sono stati valutati (dallo studio sul contenuto in trizio naturale) in media da uno a tre mesi". Pur contribuendo a stabilizzare notevolmente la portata alle risorgive la ritenzione comunque non interessa periodi di tempo molto lunghi. Sull'acqua di base, sufficientemente livellata nelle portate, durante le piene si sovrappone quella del Recca "con carattere tipicamente torrentizio".

Lo sviluppo delle indagini idrochimiche

Le prospezioni geofisiche che a più riprese vengono effettuate sul Carso negli anni Sessanta, per la ricerca dell'acqua, non danno sempre risultati di sicura interpretazione. L'acqua di base viene accertata dai sondaggi geoelettrici soltanto sul Carso isontino e nella parte più settentrionale del Carso triestino; più "a monte" di Slivia la presenza dell'acqua non viene registrata e si ipotizza pertanto una "vascolarizzazione a maglie larghe" o meglio un reticolo di canalizzazioni a sezione piuttosto ampia e notevolmente distanziate tra loro, in maniera da sfuggire alla sensibilità dei sondaggi elettrici (21).

Nel Carso isontino la falda idrica evidenziata con le prospezioni viene di fatto trovata durante gli studi per l'installazione del protosincrotrone del CNEN (60). Due perforazioni, profonde un centinaio di metri, raggiungono l'acqua di base alla quota di circa 12 metri sul livello del mare, con oscillazioni di due o tre metri simili a quelle del lago di Doberdò (un terzo pozzo viene fermato a 150 metri di profondità, circa 50 metri sopra il livello del mare).

Anche in territorio sloveno le indagini geoelettriche confermano l'esistenza dell'acqua di base, poi raggiunta dalle perforazioni effettuate — sempre all'inizio degli anni Sessanta — nella valle del Vipacco, sulle pendici del Carso presso Merina¹⁴⁴; in un caso viene intercettata una vera e propria grotta piena d'acqua, con il livello in magra una decina di metri più basso di quello del Vipacco e in piena molto più alto della vicina piana di Gorizia (27).

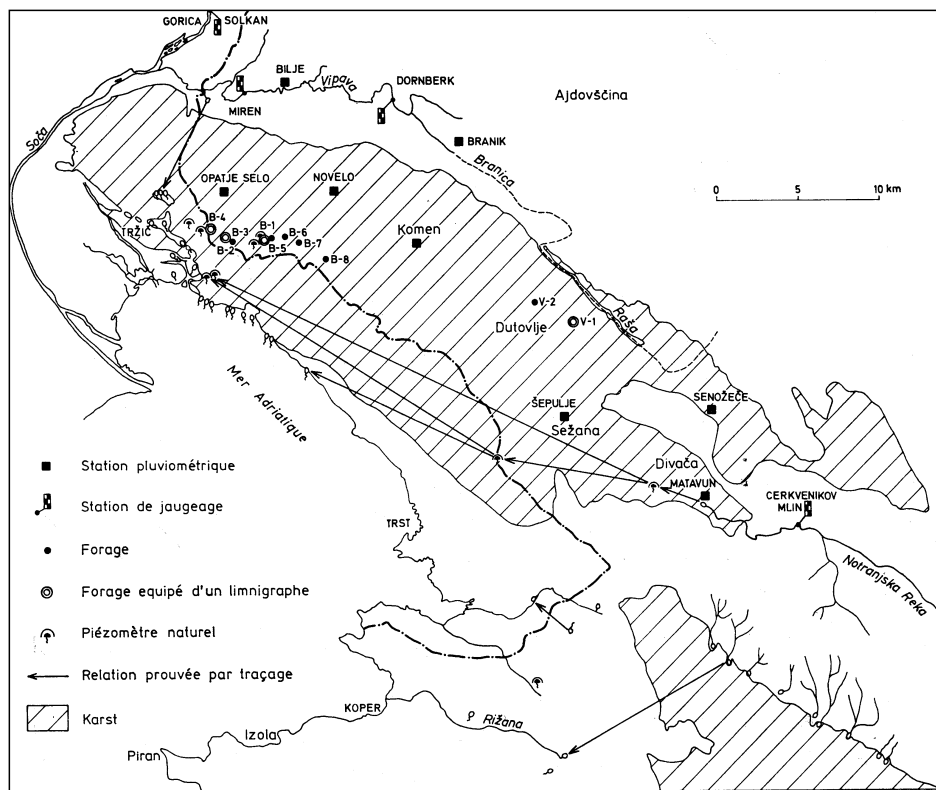
Successivamente (1977) vengono effettuate sul Carso sloveno dieci perforazioni di ricognizione per lo studio del nuovo acquedotto, in esercizio dal 1983. Le due perforazioni nei pressi di Duttogliano (Kazlje e Auber), profonde oltre 200 metri ma che non raggiungono il livello di base, non presentano al pompaggio una portata di qualche interesse pratico; un esito migliore viene conseguito nel vallone di Brestovizza, dove la scoperta del proteo nella Drča jama ha indicato la probabile esistenza di una importante circolazione idrica sotterranea¹⁴⁵. (Ancora durante la prima guerra mondiale del resto, in questa zona, vicinissima al fronte, l'esercito austriaco ha alimentato i propri acquedotti campali con l'acqua di alcune grotte: il pozzo di Jamiano, la grotta di Comarie e l'inghiottitoio di Brestovizza - Dolenc jama, dopo averlo disostruito). Le otto perforazioni effettuate, profonde dai 140 ai 200 metri e spinte dai 30 ai 50 metri sotto il livello del mare, intercettano tutte delle fessurazioni acquifere, però di portata molto differente (54). Quella di Klariči, nei pressi del valico confinario di Jamiano, penetra in una vera e propria canalizzazione drenante, nella quale viene in seguito trivellato un pozzo "di produzione" del diametro di 60 centimetri (questo raggiunge una cavità sommersa nella quale si incaglia la fresa: per poterla liberare bisogna calarvi, attraverso la perforazione, uno speleosubacqueo di Lubiana).

Per contro in una perforazione effettuata nel 1959 allo sbocco della Val Rosandra nei pressi della risorgiva di Bagnoli e condotta fin sotto il livello del mare, viene trovata la roccia calcarea perfettamente compatta ed asciutta "senza traccia di un livello di acqua basale". Così pure la perforazione profonda 182 metri eseguita poco lontano, presso il bivio S. Dorligo - Crogle, attraversa tutta la formazione del flysch e raggiunge, negli ultimi sei metri, i calcari sottostanti che però "sono apparsi completamente impermeabili e privi di flusso idrico"¹⁴⁶.

144. Mosetti F. (1965): *Moderni mezzi di indagine geofisica e idrologica in studi sulle acque carsiche sotterranee*, Atti del 9. Congresso Nazionale di Speleologia, Trieste 1963, 105-114.

145. Breznik M. (1998): *Storage reservoirs and deep wells in karst regions*, Balkema, Rotterdam, 171-173.

146. Mosetti F. (1962): *Risorse idriche della zona del porto industriale di Trieste*, "Tecnica Italiana", Trieste, 27(1) (estr. di 27 pp.)



Le perforazioni di Brestovizza (da B-1 a B-8) e di Kazlje (V-1) e Auber (V-2); da Krivic P. (54). Sono indicate anche le stazioni pluviometriche, le stazioni idrometriche sull'Isonzo, sul Vipacco e sul Recca ed i "piezometri naturali" ossia le grotte in cui viene raggiunta l'acqua di fondo.

L'acquedotto del Carso sloveno, in esercizio dal 1983, viene alimentato con una portata di 250 litri al secondo dai pozzi di produzione, trivellati vicino alla perforazione B-4 fino a 30-50 metri sotto il livello del mare.

Sul Carso di Comeno, che si estende tra il vallone di Brestovizza e il margine settentrionale dell'altopiano, rivestono importanza idrologica la grotta di Ponikve, a meno di due chilometri dalla perforazione V-2 (è percorsa da un ruscello che scompare in un sifone a quota 234) e la grotta di Presse-rie/Preserska jama, distante nove chilometri in linea d'aria dalle perforazioni dell'acquedotto. Nel pozzo terminale della grotta il livello dell'acqua, normalmente a quota 154, presenta oscillazioni di diverse decine di metri, tanto da allagare la cavità fino alla base del pozzo di accesso.

Significativi poi sono i risultati ottenuti in una perforazione tra Sistiana e Duino, a meno di 400 metri di distanza dalla costa, eseguita negli anni Settanta a scopo industriale. Raggiunta l'acqua sotterranea, per incrementarne la portata si fa brillare sul fondo una carica di esplosivo, ottenendo un buon risultato; una seconda mina, molto più forte provoca però la scomparsa dell'acqua e il pozzo da "sorgente" diventa "inghiottitoio" (e da allora viene utilizzato per gli scarichi)¹⁴⁷.

* * *

L'occasione per un ulteriore sviluppo delle indagini idrochimiche viene offerta dal progressivo inquinamento delle acque del Carso, provocato da scarichi fognari e discariche di rifiuti sull'altopiano e soprattutto dalle nuove industrie sorte in territorio sloveno lungo il corso del Recca¹⁴⁸. L'inquinamento prodotto da questi scarichi industriali viene paragonato, in base alla determinazione del COD (Chemical Oxygen Demand, l'ossidabilità al permanganato dell'acqua), all'apporto di sostanza organica di una città di 500.000 abitanti¹⁴⁹.

Vengono così sottoposte ad un costante controllo igienico-sanitario le fonti di approvvigionamento idrico della città: le sorgenti di Aurisina, rimaste in esercizio fino al 1977, le sorgenti Sardos e le stesse risorgive del Timavo, nelle quali dal 1952 è in funzione una presa per l'integrazione dell'acquedotto Randaccio. Alte concentrazioni di sostanze organiche, bassi tenori di ossigeno disciolto, presenza di schiume e di cattivi odori costringono talvolta ad interrompere addirittura l'emunzione dell'acqua. Le indagini vengono iniziate negli anni Settanta dal Laboratorio provinciale di igiene e profilassi di Trieste, a cura di Fabio Gemitì, che passa poi a dirigere il Laboratorio chimico dell'A.C.E.G.A.T., l'azienda comunale che gestisce l'acquedotto. Si determinano le sostanze organiche presenti nell'acqua mediante metodiche spettrofotometriche (assorbimenti all'ultravioletto), inoltre l'ossigeno disciolto, la durezza, la conducibilità elettrica, il contenuto in calcio, magnesio, sodio, potassio, silice, solfati, nitrati e fosfati, da cui risalire ai rapporti dei sali disciolti. Viene confermato che la diversità riscontrata nelle tre acque è imputabile alla provenienza da falde idriche diverse, per quanto tra loro in un rapporto di interdipendenza non ben chiarito. Viene accertato inoltre, dallo studio di altri due componenti dell'inquinamento (le alte concentrazioni di potassio, specifiche degli inqui-

147. Notizia privata Ferruccio Mosetti.

148. Zanetti M. (1979): *Les expériences de coopération locale et régionale en matière de pollution transfrontalière dans la région de Trieste*, Council of Europe, CONG-TFP (79)10, 1-7.

Habe F. (1984): *Problem sanacije Notranjske Reke in Škocjanskib jam*, Zbornik 9. jugoslovanski speleološki kongres, Zagreb, 841-843.

149. Relazione interna del Laboratorio chimico dell'A.C.E.G.A.T.

nanti in questione, e gli alti valori delle cariche batteriche) che sotto questo profilo non vi è una differenza significativa tra le acque del Timavo e quelle di Aurisina, mentre vi è una differenza profondamente significativa tra queste due acque e quelle delle sorgenti Sardos. In particolare durante le piene l'onda inquinante del Recca, evidentissima nelle risorgive del Timavo, è molto attutita o non si risente affatto nelle pur vicinissime sorgenti Sardos (37).

Gli studi idrologici vengono intensificati sul Carso isontino con l'obiettivo di reperire fonti di alimentazione meno inquinate per l'acquedotto di Trieste. In particolare nel 1975 viene svolta una sistematica campagna di misurazioni e di analisi (36 prelevamenti nei vari regimi idrologici) su tutti i deflussi carsici dalle sorgenti di Aurisina all'Isonzo (39). Per le risorgive del Timavo e le sorgenti di Aurisina si conferma un'alimentazione dal bacino carsico con influenze massicce del Recca nei periodi di piena. Le piene provocate dalle precipitazioni sul solo bacino del Carso vengono rivelate dalle caratteristiche chimiche dell'acqua: gli apporti dalle acque di rapida percolazione presentano infatti una maggiore durezza calcica rispetto agli apporti fluviali esterni o alle acque di lento stillicidio (che si sono demineralizzate nei processi di concrezionamento). Le sorgenti Sardos sembrano alimentate da acque che drenano il complesso calcareo-dolomitico dei rilievi lungo il confine e in certi casi da acque provenienti dal Carso isontino. Viene messa in evidenza la differente alimentazione della sorgente Moschenizze Nord e delle sorgenti Moschenizze Sud: queste appartengono al "sistema Sardos" mentre la prima presenta una composizione chimica pressoché uguale a quella dell'acqua del lago di Doberdò, degli altri laghi carsici e delle sorgenti del Lisert (si tratta di acque che hanno origine dalle precipitazioni sul bacino del Carso isontino e dagli spandimenti della falda dell'Isonzo, prevalenti nei periodi di magra; per tali acque viene esclusa una relazione con il corso sotterraneo del Timavo, come ipotizzato dai vecchi autori). Procedendo dal Sardos verso nord-ovest prevalgono dunque le acque di provenienza isontina; il contributo del Vipacco anche in questa circostanza appare dubbio, tanto da non poter essere evidenziato dall'analisi chimica. Le sorgenti Sardos sarebbero scarichi della falda carsica (che circola più lentamente in una rete di piccole canalizzazioni e fratturazioni della roccia) e non "scarichi del Timavo" come si è creduto in precedenza; l'innalzamento dell'acqua delle sorgenti, ottenuto con la chiusura delle paratoie del Timavo (10), sarebbe dovuto alla trasmissione di pressione idrostatica attraverso i collegamenti sotterranei e non ad un vero e proprio travaso d'acqua, riscontrabile esclusivamente nelle grandi piene¹⁵⁰.

150. Non si conosce in quale regime idrologico si siano effettuati gli esperimenti delle paratoie; probabilmente in regime di magra - o meglio durante la magra del Recca - quando la falda carsica ha una pressione più elevata dell'acqua che scorre nelle grandi canalizzazioni del Timavo sotterraneo.

In uno studio sulle caratteristiche chimiche della falda nella piana di Gorizia e in cinque pozzi ai suoi margini, Fabio Gemiti accerta l'esistenza di un consistente contributo dell'Isonzo alla falda carsica di Doberdò, a fronte di uno molto scarso del Vipacco. Osserva in proposito che il Vipacco, nel tratto Rupa-Gabria, scorre in un letto praticamente impermeabile e non influenza apprezzabilmente la falda sottostante; ulteriori ricerche confermano infatti che i sedimenti fini del suo alveo intasano anche le fessurazioni del contiguo altopiano carsico¹⁵¹.

Viene inoltre constatato che nella grotta di Comarie (4221 VG), situata allo sbocco del vallone di Brestovizza, l'acqua presenta una composizione simile a quella del lago di Doberdò; ciò fa pensare ad un movimento di acque verso il vallone di Brestovizza e non viceversa, come in precedenza si è creduto (40). L'ipotesi viene confermata dai successivi studi (11) e dalle misure piezometriche: in maggio il livello del lago di Doberdò, "finestra aperta sulla falda carsica" e nella vicina grotta Andrea (4804 VG)¹⁵² è più alto del livello dell'acqua nelle perforazioni di Brestovizza¹⁵³. In queste il flusso dell'acqua carsica proviene da nord e da nord-ovest, che sono le direzioni prevalenti delle fessurazioni acquifere (52).

Alimentate dalle perdite di subalveo e pertanto filtrate attraverso uno spesso materasso alluvionale, quindi drenate nella profondità di un altopiano calcareo poco abitato e privo di insediamenti industriali, le acque del Carso isontino presentano i migliori requisiti per il potenziamento dell'acquedotto di Trieste ed infatti nel 1984 entrano in funzione le nuove prese Sablici - Moschenizze Nord, con un terzo circa della portata totale, che sostituiscono completamente l'emuntore sussidiario del Timavo (realizzato, come si è detto, nel 1952).

Ma l'idrologia del Carso isontino non è studiata soltanto per le esigenze di pubblica utilità; gioca un ruolo importante anche l'amore per la ricerca scientifica che mette radici nell'ambiente speleologico monfalconese e goriziano, dal quale in seguito prende vita, nel 1986, la Società di Studi Carsici A.F. Lindner di Fogliano-Redipuglia. Sistematiche misurazioni idrometriche, effettuate nel 1975 e '76 nella grotta Nevio (4729 VG) — che si apre sull'estremo lembo del Carso alle spalle di Monfalcone — ed al lago di Doberdò, evidenziano le correlazioni tra la marea del-

151. Marusic A., Miniussi D. (1992): *Indagini chimiche, microbiologiche e mineralogiche in alcuni pozzi tra Gabria e Castel Rubbia*, "Studi e Ricerche della Società di Studi Carsici A.F. Lindner", Fogliano (GO), 1:69-78.

152. Gruppo Speleo L.V. Bertarelli (1991): *Trenta grotte del Carso Goriziano*, Gorizia, 121-122 (l'esplorazione subacquea ha raggiunto la quota di nove metri sotto il livello del mare).

153. Habič P. (1985): *Vodna gladina v notranjskem in primorskem Krasu Slovenije (Water table in slovene Karst of Notranjsko and Primorsko)*, "Acta Carsologica" 1984, Ljubljana, 13/1984:39-77.

l'Adriatico e la circolazione sotterranea nell'altopiano carsico, con uno sfasamento — in regime di magra — tra le oscillazioni della falda e quelle del mare (87). Viene anche dimostrata una stretta relazione tra la piovosità locale ed i livelli del lago di Doberdò, contrariamente a quanto si è creduto finora e cioè che le piene del lago fossero in relazione con quelle del Vipacco e non con le precipitazioni sul bacino del Carso.

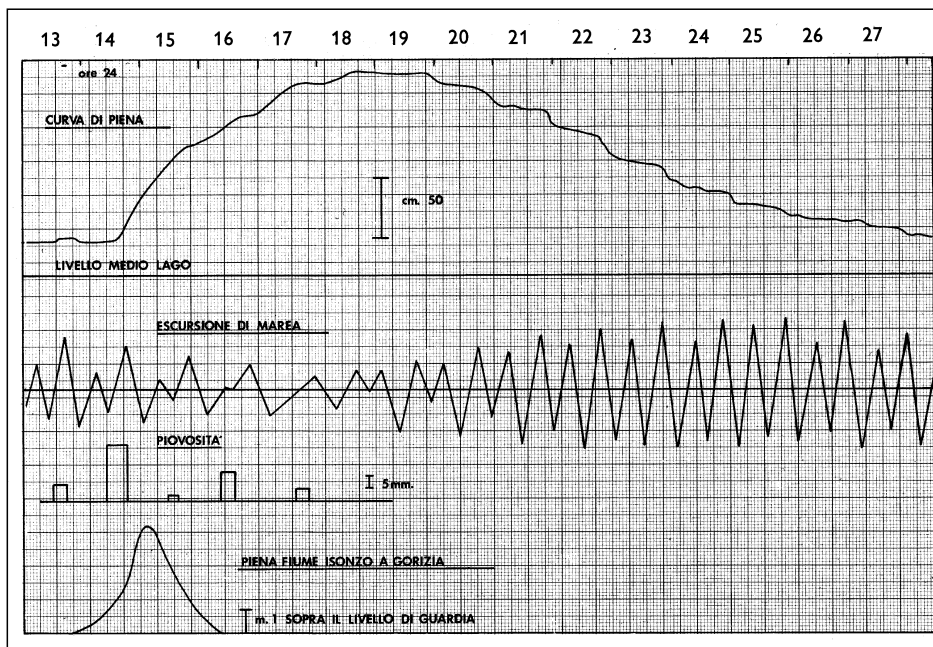
* * *

Un tentativo di sfruttare anche le acque di percolazione come traccianti naturali viene successivamente effettuato da Enrico Merlak (64), dopo uno studio preliminare sulle caratteristiche chimiche delle medesime, campionate in quattro grotte del Carso¹⁵⁴. Questi dati sono comparati con il rapporto calcio/magnesio dei principali deflussi del Carso (Timavo, Aurisina, Sardos e Moschenizze), partendo dal presupposto che le acque di percolazione si arricchiscono in magnesio scorrendo a contatto con le rocce del “complesso dolomitico” cenomaniano (la parte stratigraficamente più alta dei “calcari della creta inferiore” che secondo i vecchi autori costituiscono lo spartiacque sotterraneo tra il solco di Aurisina e il solco di Bre-stovizza). Tali acque alimenterebbero in misura rilevante — nei periodi di magra e di morbida — le sorgenti Sardos e Moschenizze, ubicate nel punto in cui il “complesso dolomitico” cenomaniano si avvicina maggiormente alla costa; il loro apporto sarebbe molto inferiore alle risorgive del Timavo e del tutto assente alle sorgenti di Aurisina.

Lo studio dei traccianti naturali viene anche esteso all'esame mineralogico dei sedimenti fini trasportati dalle acque sotterranee del Carso, metodica sperimentata ancora nel 1905 da Francesco Salmojrighi, che ha analizzato le sabbie della Kačna jama, della grotta di Trebiciano e delle risorgive del Timavo, confermando la loro provenienza dalla valle del Recca. Nel 1977 Piero Comin-Chiaramonti e Mario Busani studiano le argille di S. Canziano, Trebiciano e delle risorgive del Timavo, giungendo alle medesime conclusioni (17).

Un'indagine sistematica viene svolta in seguito da Graziano Cancian (14), che analizza campioni di sedimenti prelevati nei fiumi Isonzo, Vipacco, Recca, nella grotta di Trebiciano, alle sorgenti di Aurisina, alle risorgive del Timavo e sorgenti limitrofe e ai vari deflussi del Carso isontino.

154. Gemiti F., Merlak E. (1977): *Caratteristiche chimiche di acque di percolazione del Carso triestino*, Atti del 2. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Udine 1975, 135-144.

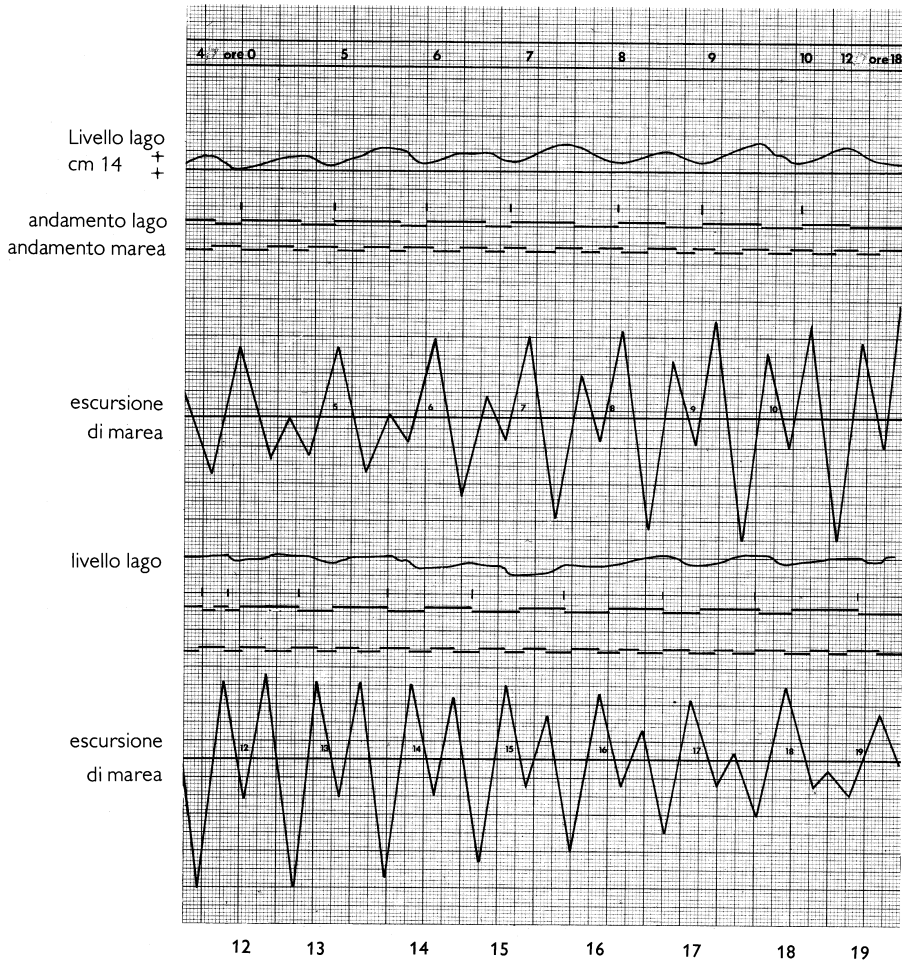


In alto e nella pagina a fronte: correlazione tra il livello del lago di Doberdò e le escursioni di marea. Il livello del lago risente immediatamente dell'alimentazione delle precipitazioni atmosferiche e soltanto in un secondo momento dell'apporto Isonzo-Vipacco, che si rivela in tutta la sua importanza da tre a cinque giorni dopo. La curva di decrescita presenta un andamento scalare in funzione delle escursioni di marea; quando il mare si alza si registra un rallentamento nello svuotamento del lago e al contrario una più forte decrescita quando il mare si abbassa.

In regime di magra, si riscontrano regolari oscillazioni del livello del lago però con andamento inverso rispetto alle maree. "In corrispondenza degli innalzamenti del mare, abbiamo un abbassamento del livello del lago e in corrispondenza degli abbassamenti del livello del mare, notiamo un innalzamento del lago". Questo sfasamento potrebbe essere spiegato con il ritardo della propagazione della marea in un acquifero carsico caratterizzato da una circolazione idrica dispersa in un reticolo di fessurazioni. Da: Nicoletti P. (87).

Viene confermata la discriminazione delle acque effettuata in base ai loro parametri chimici: acque del Carso isontino (alimentate in buona parte dall'Isonzo e in maniera solo subordinata dal Vipacco), sistema idrico del Timavo, sorgenti Sardos e Moschenizze (dalle caratteristiche intermedie tra le acque isontine e quelle del Timavo, con un importante apporto di acqua di infiltrazione delle precipitazioni sul Carso), sorgenti di Aurisina (per le quali viene evidenziata una notevole influenza della tamponatura arenaceo-marnosa del Carso nel lato verso il mare: si ipotizza pertanto l'apporto di acque di scorrimento verticale, di infiltrazione, me-

Lago di Doberdò - Regime di Magra dal 4 al 12 settembre 1977



Lago di Doberdò - Regime di magra dall'11 al 19 marzo 1977.

scolate ad acque di scorrimento orizzontale, lungo la tamponatura in questione). In merito alle sospensioni argillose nell'acqua di Aurisina, ancora nel 1911 Guido Temeus ha osservato la differenza di queste torbide con le torbide del Timavo, dove "dopo breve sedimentazione l'acqua rimane perfettamente limpida, o lievemente opalescente; all'incontro nell'Aurisina, sedimentata la parte grossolana, resta in sospensione il terriccio marnoso in polvere sottilissima in uno stato quasi colloidale, che non deposita neppure dopo decine di giorni"¹⁵⁵.

155. Relazione del sottocomitato tecnico in merito ai pareri dell'ing. Kinzer, Trieste, novembre 1911, 6.

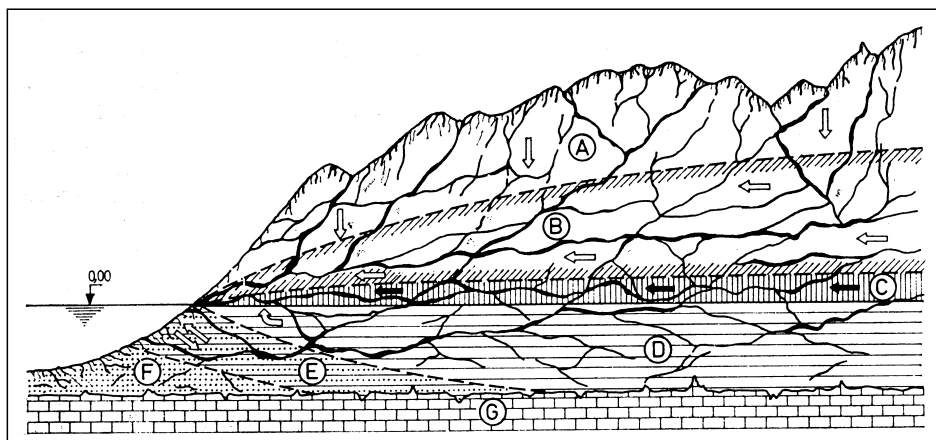
La nuova idrogeologia carsica

Le ricerche di riserve d'acqua meno inquinate per l'acquedotto di Trieste vengono estese anche alle falde profonde della piana di Ronchi, destinate a diventare in futuro (dal 1995) la sua principale fonte di alimentazione. Queste ricerche offrono l'occasione per una nuova importante scoperta, fortuita quanto fortunata. Poco lontano dalla sponda sinistra dell'Isonzo, vengono perforati nel 1974 due profondi pozzi che attraversano tutta la coltre alluvionale fino al substrato roccioso. In uno di essi, nei pressi di Cassegliano, a 193 metri di profondità (178 sotto il livello del mare) si incontra il basamento di roccia calcarea: la perforazione viene prolungata ancora per constatare l'eventuale presenza di acqua e, dopo quattro metri di calcare compatto, la sonda penetra nella volta di una caverna. Si scopre così una cavità carsica di grandi dimensioni e il sondaggio viene fermato a 198 metri sotto il livello del mare senza raggiungerne il fondo roccioso. Vi si rinvennero depositi di concrezioni calcitiche, argilla rossa e ciottoli arrotondati, nonché un flusso idrico di discreta portata¹⁵⁶. Viene in tal modo accertato lo sviluppo dell'incarsimento in profondità, molto al di sotto dell'attuale livello del mare e anche molto al di sotto di quanto fino ad allora immaginato (83).

Il fenomeno peraltro non è per niente eccezionale, come confermano le perforazioni profonde eseguite altrove, che in quegli anni raggiungono rocce carsificate fino a 2300 metri di profondità¹⁵⁷. L'esistenza di una circolazione idrica profonda nei massicci calcarei viene ormai codificata nei nuovi schemi dell'idrologia carsica,

156. Mosetti F. (1977): *Contributo alla conoscenza della profondità dell'incarsimento nel Carso Triestino*, Atti del 3. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Gorizia 1977, 273-278.

157. Milanović P. (1981): *Karst Hydrogeology*, Water Research Publications, Littleton, Colorado.



Schema della circolazione sotterranea in un carsismo costiero, elaborato da Petar Milanović dell'Istituto di Ricerche sull'Idrologia Carsica di Trebinje. Legenda: A. zona di percolazione; B. zona delle riserve dinamiche a ricambio idrico assai veloce; C. parte delle riserve dinamiche a lento ricambio idrico; D. zona della circolazione sifonante; E. zona dell'acqua salmastra; F. zona dell'acqua salsa; G. zona al di sotto della base della carsificazione. Da: Milanović P. (1979): Hidrogeologija karsta i metode istraživanja, Trebinje, 83.

Le acque più profonde, come è intuitivo, sono quelle di provenienza più lontana; più superficiali rimangono le acque di percolazione alimentate dalle precipitazioni meteoriche sul bacino carsico.

che sta diventando una vera e propria disciplina scientifica a sé stante. Sulla base delle esperienze accumulate nelle numerosissime aree carsiche del mondo si sta infatti costruendo una teorizzazione sempre più sofisticata della circolazione sotterranea nelle rocce fessurate, nel tentativo di giungere alla valutazione del fenomeno secondo modelli quantitativi. Nel lessico dell'idrogeologia, e della speleologia medesima, vengono importati termini e concetti finora pertinenti soltanto all'idraulica ingegneristica: il "moto laminare" e il "moto turbolento" dell'acqua nelle fessure — introdotti da Otto Lehmann¹⁵⁸ ancora negli anni Trenta — l'"acquifero" (ossia la massa rocciosa che immagazzina e "trasmette" l'acqua), la "conduttività idraulica" dell'acquifero e la sua "trasmissività" (ossia la capacità dell'acquifero di trasmettere acqua, dipendente dal suo spessore e dalla conduttività), il "deflusso specifico" dell'acquifero (proporzionale al gradiente idraulico), la "ricarica" dell'acquifero, le "risorse dinamiche", le riserve "regolatrici" e "permanenti" e così via. Nella nuova manualistica scientifica ritornano nell'uso corrente i termini che all'ini-

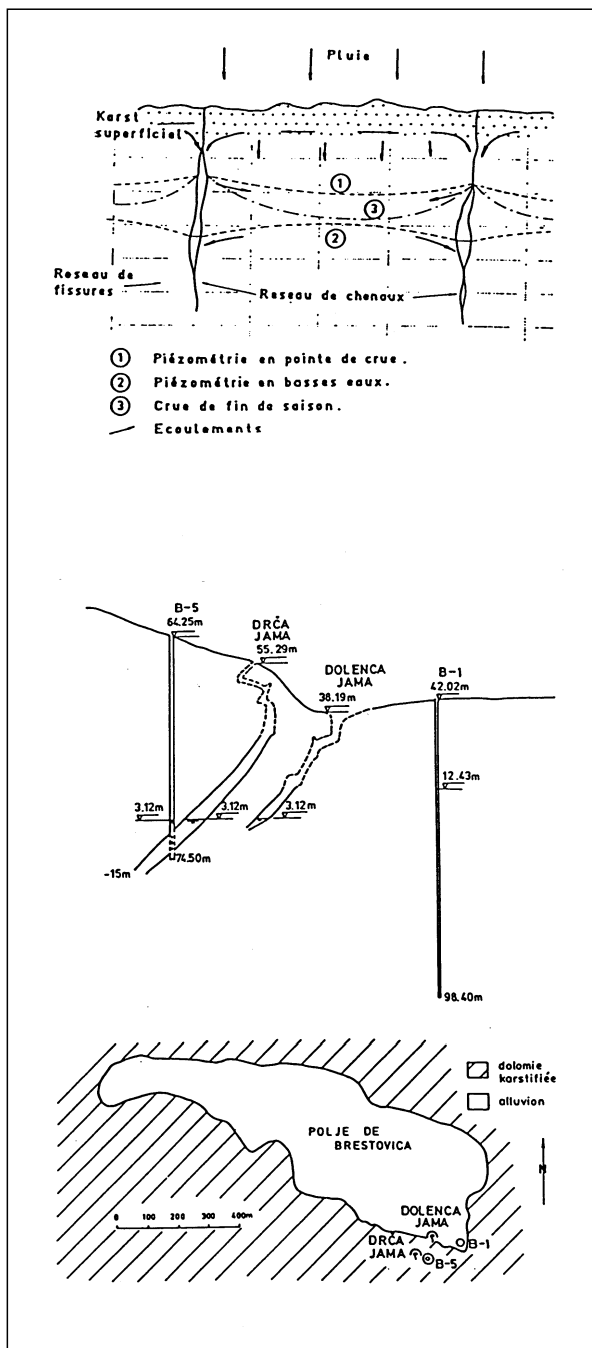
158. Lehmann O. (1932): *Die Hydrographie des Karstes*, Enzyklopädie der Erdkunde, Leipzig und Wien.

zio del secolo hanno scatenato le polemiche fra Grund e Martel: in particolare “zona freatica”, “acqua di fondo” e “water table” o superficie piezometrica. La loro validità è indiscutibile, purché si ammetta — anche se sembra un gioco di parole — una zona freatica senza caratteri di freaticità e sistemi di vasi comunicanti nei quali l’acqua non raggiunge il medesimo livello. Una perforazione cioè potrebbe non incontrare affatto le fessure acquifere o incontrarne di poco drenanti che risultano, al pompaggio, di minima portata. Inoltre i sistemi di fessure possono essere ostruiti da sedimenti argillosi o da concrezioni calcitiche in modo da ostacolare la circolazione dell’acqua; questa a sua volta nel reticolo delle canalizzazioni può essere sottoposta a pressioni idrostatiche di diversa entità anche in luoghi molto vicini.

In definitiva bisogna tenere presente che al di sotto della superficie piezometrica l’acquifero è comunque costituito da incommensurabilmente molta più roccia che acqua e che la validità degli schemi teorici, per usare un linguaggio cartografico, è soltanto una questione di scala. Infatti è indubbio che, considerando l’intero altopiano del Carso, si possa ammettere l’esistenza di una superficie teorica dell’acqua sotterranea convergente con una certa pendenza verso i punti di sbocco; è altrettanto indubbio però che nel dettaglio questa superficie risulta estremamente irregolare e discontinua. Sono indicativi in proposito i dati emersi dalle perforazioni di Brestovizza, di cui già si è detto in precedenza. Ad un centinaio di metri dalla grotta sfruttata dagli austriaci per un acquedotto campale (Dolenca jama) un’altra cavità raggiunge l’acqua sotterranea alla medesima quota (Drča jama); quasi alla stessa distanza, ma in altra direzione, viene perforato un pozzo geognostico fino a 50 metri sotto il livello del mare, nel quale il livello dell’acqua è quasi dieci metri più alto di quello misurato nelle due grotte vicine (ma con una portata, al pompaggio, estremamente scarsa).

In teoria l’acqua di base tende bensì a disporsi, in tempi più o meno lunghi, secondo un’uniforme superficie di equilibrio negli interstizi della massa rocciosa, ma nella realtà, sotto l’incessante azione dei fattori perturbatori (precipitazioni meteoriche, apporti e deflussi sotterranei) la pressione idraulica presenta valori diversi anche in canalizzazioni molto vicine; dovunque si siano effettuate perforazioni ravvicinate nei massicci calcarei, si è sempre avuto modo di constatare questo fenomeno.

I modelli matematici di idraulica sperimentale elaborati a metà Ottocento in base agli studi sui movimenti dei liquidi nelle tubature e attraverso i filtri di sabbia, vengono successivamente estesi alla circolazione sotterranea nei terreni incoerenti ed ora sono applicati anche alle rocce fessurate. In base a tali modelli, l’analisi degli idrogrammi (le curve della quantità di deflusso nel tempo) e in particolare il loro coefficiente di recessione (calcolato sul tempo di decrescita delle piene) forniscono utili indicazioni sulla proporzione tra il flusso diffuso e quello canalizzato nei

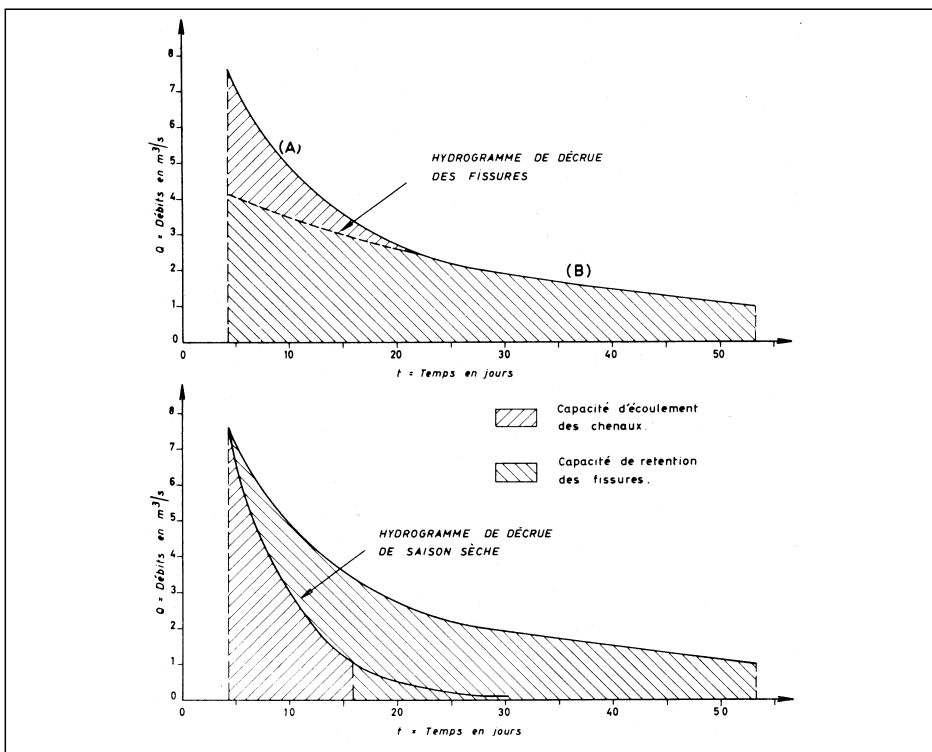


Le canalizzazioni drenano o alimentano i "blocchi" di roccia minutamente fessurata a seconda del regime idrologico. In magra e in condizioni normali l'acqua nei canali si dispone ad un livello più basso rispetto al reticolo di fessure, in piena invece ad un livello più alto; da Drogue C. (citato nella nota 161).

Trova spiegazione in tal modo la particolare situazione rilevata nelle perforazioni di Brestovizza (B-1 e B-5) nella zona circostante la Dolenca jama. In questa cavità, come pure nella vicina Drča jama e nel pozzo B-5 che ne intercetta la galleria sommersa, il livello dell'acqua viene misurato alla medesima quota di m. 3,12 sul livello del mare. Contemporaneamente, nel vicino pozzo B-1, che attraversa rocce sottilmente fessurate e a debole trasmissività idraulica, il livello è quasi dieci metri più alto (ma la portata, al pompaggio, estremamente scarsa). da: Krivic P. (55).

Anche nella Dolenca jama, che pure raggiunge le canalizzazioni sotterranee di un'importante direttrice drenante, la trasmissività idraulica varia sensibilmente nelle diverse condizioni dell'acquifero. In una prova di pompaggio effettuata a scopo irriguo nell'agosto 1953, in epoca di siccità (con il livello dell'acqua alla quota di m 0,80), i risultati sono infatti deludenti: con un prelievo di soli 7 litri al secondo la cavità in breve tempo viene quasi interamente vuotata. Si veda: Jenko F. (1959): Poročila o novejših raziskavah podzemeljskih voda na Slovenskem krasu, "Acta Carsologica", Ljubljana, 2:209-227.

Nella Drča jama l'esplorazione subacquea ha raggiunto la profondità di 15 metri sotto il livello del mare.



L'esistenza di una rete di sottili fessure nel sistema carsico è provata dal fatto che, dopo il brusco aumento di portata delle risorgive a seguito di forti precipitazioni, il deflusso decresce dapprima rapidamente, per stabilizzarsi poi su valori quasi costanti o lievemente decrescenti per effetto dello svuotamento lento dell'acqua dalla fitta rete di fessure compresa fra le canalizzazioni maggiori. L'analisi della curva di recessione consente di stabilire il rapporto fra il drenaggio canalizzato e il drenaggio diffuso. Le figure rappresentano due diversi metodi di valutazione della capacità di ritenzione nelle fessure e nelle canalizzazioni: in alto con la separazione dei componenti dell'idrogramma (A - deflusso rapido nelle canalizzazioni, B - scarico più lento delle fessure); in basso con la scomposizione dell'idrogramma in base alla decrescita nella stagione secca (al termine della quale una piena si esaurisce rapidamente attraverso le canalizzazioni maggiori, senza ricevere significativi apporti dal sistema delle fessure, ormai completamente scaricato); da: Drogue C. (1963): Essai de détermination des composantes de l'écoulement des sources karstiques, "Annales de Spéléologie", C.N.R.S. Paris, 18(4):415-420. La rapida decrescita delle piene nella grotta Lindner e nella grotta di Trebiciano (più di un metro all'ora nella grande caverna) dimostrerebbe l'esistenza di grandi canalizzazioni nella massa calcarea e, apparentemente, una scarsa ritenzione idrica. La valutazione di quest'ultima però può essere effettuata soltanto con l'analisi della curva di recessione alle risorgive; Drogue infatti (citato nella nota 161) osserva che, in generale, una decrescita inizialmente troppo rapida può indicare un'elevata capacità di ritenzione e può essere spiegata con la sottrazione dal deflusso di una parte dell'acqua della piena per ricostituire le riserve idriche del sistema carsico. Nel caso del Carso triestino sarebbe problematico — ad ogni modo — distinguere il deflusso da una rete di sottili fessure da quello proveniente da un labirinto di cavità vere e proprie, estese in prossimità del livello di base e parzialmente intasate dai riempimenti argillosi.

sistemi carsici. Inoltre il confronto della curva delle portate con le curve dei parametri idrochimici, della torbidità e della conducibilità elettrica consente di definire le caratteristiche del sistema e in particolare il grado della “eterogeneità idraulica” che nel tempo aumenta progressivamente. Ciò significa che, nel complesso reticolo di meati e fratture del massiccio calcareo, coesistono canalizzazioni a elevata conduttività e reticoli di sottili fessure a debole conduttività idraulica; inoltre che l’allargamento delle canalizzazioni è comunque più rapido di quello delle fessure, per cui aumenta sempre più la differenza di conduttività fra le direttrici di drenaggio preferenziale e le zone di ritenzione¹⁵⁹. L’idea di un’evoluzione dinamica della circolazione carsica viene espressa già a suo tempo da Jovan Cvijić, che immagina un progressivo aumento della permeabilità del sistema idraulico in conseguenza dell’allargamento delle fessure (permeabilità “secondaria”). Diversi studiosi, tra i quali anche il triestino Walter Maucci¹⁶⁰, in questa ottica tentano di conciliare le teorie di Grund e di Martel, considerandole “espressioni di diverse fasi evolutive di un medesimo fenomeno”: l’acqua di base nelle fessurazioni sottili sarebbe caratteristica della fase giovanile, i corsi canalizzati della fase senile del ciclo carsico. Questa concezione legata all’evoluzione ciclica del rilievo — il “ciclo geografico” proposto a fine Ottocento da W.M. Davis — si traduce però in astratte esercitazioni accademiche; in realtà le due forme di circolazione sotterranea coesistono nel medesimo tempo ma in spazi diversi del massiccio calcareo, come intuito quarant’anni prima da Otto Lehmann e come ora viene efficacemente schematizzato da Claude Drogue¹⁶¹, che nelle perforazioni effettuate nella regione del Languedoc studia l’interazione fra l’acqua di base e le correnti a rapido deflusso. Secondo lui, lo sviluppo più o meno grande delle discontinuità tettoniche nel massiccio calcareo consente di distinguere nel sistema drenante una rete di sottili fessure, nelle quali la circolazione si mantiene lenta e laminare, e una rete ben più larga di canalizzazioni a deflusso rapido e turbolento. La maglia delle fessure sottili che interessa l’insieme della massa calcarea è dell’ordine del metro o della decina di metri; la maglia delle ca-

159. Mangin A. (1975): *Contribution à l’étude hydrodynamique des aquifères karstiques*, “Annales de Spéléologie”, C.N.R.S. Paris, 29/1974(3):283-332; 29/1974(4):495-601; 30/1975(1):21-124.

Williams P.W. (1983): *The role of subcutaneous zone in karst hydrology*, “Journal of Hydrology”, Amsterdam, 61:45-67.

Bonacci O. (1985): *Hidrologija Krša*, Metode mjerenja i obrade s računskim primjerima, Predavanja održana na 4. seminaru J.D.H. (Jugoslovensko Društvo za Hidrologiju), Bled, 481-545.

160. Maucci W. (1962): *Considerazioni sistematiche sul problema dell’idrografia carsica ipogea*, Actes du 2. Congrès International de Spéléologie, Bari-Lecce-Salerno 1958, 1:23-43.

161. Drogue C. (1974): *Structure de certain aquifères karstiques d’après les résultats de travaux de forages*, “Comptes Rendus de l’Académie des Sciences”, Paris, Série D, 278:2621-2624.

Nella pagina a fronte:

“L’interpretazione della provenienza dell’acqua dall’idrogramma di una sorgente carsica”. L’analisi degli idrogrammi e la sua correlazione agli altri parametri idrologici consente di ricostruire le diverse fasi del drenaggio. Si tratta di uno schema teorico e semplificato, riferito ad un ipotetico sistema carsico di piccole dimensioni ed alimentato dalle sole precipitazioni meteoriche; da: Bonacci O. (citato nella nota 159).

Legenda della figura B: a. acqua immagazzinata nei canalizzazioni della zona satura (freatica); b. acqua immagazzinata nella zona sottocutanea e nella zona vadosa, trasportata da un flusso turbolento nelle canalizzazioni; c. acqua di percolazione trasportata velocemente attraverso il sistema di canalizzazioni; d. acqua circolante nelle strette fessure della zona satura, trasportata da un flusso prevalentemente laminare. Nella figura A, l’istante t_0 corrisponde all’inizio delle precipitazioni (i); nell’istante t_1 si registra l’inizio dell’incremento di portata (Q); nel periodo fra t_1 e t_2 l’idrogramma è formato dall’acqua accumulata nelle canalizzazioni della zona freatica (a) “spremuta” dalla pressione della sopravveniente onda di piena; con l’incremento della portata aumentano la torbidità e, nel caso di precipitazioni dopo una siccità prolungata, la concentrazione di microrganismi (c); l’istante t_2 coincide con la repentina diminuzione della durezza dell’acqua (H), causata dall’arrivo alla risorgiva dell’acqua della piena che ha attraversato la zona vadosa (b); la portata raggiunge il suo massimo (IM); l’istante t_3 coincide con un ulteriore deciso aumento della torbidità (c) e l’arrivo dell’acqua di veloce percolazione (c); t_4 coincide con il ripristino dei valori iniziali della durezza (H) e da questo istante, fino ad una nuova precipitazione, la sorgente è alimentata dall’acqua immagazzinata nelle strette fessure della zona freatica.

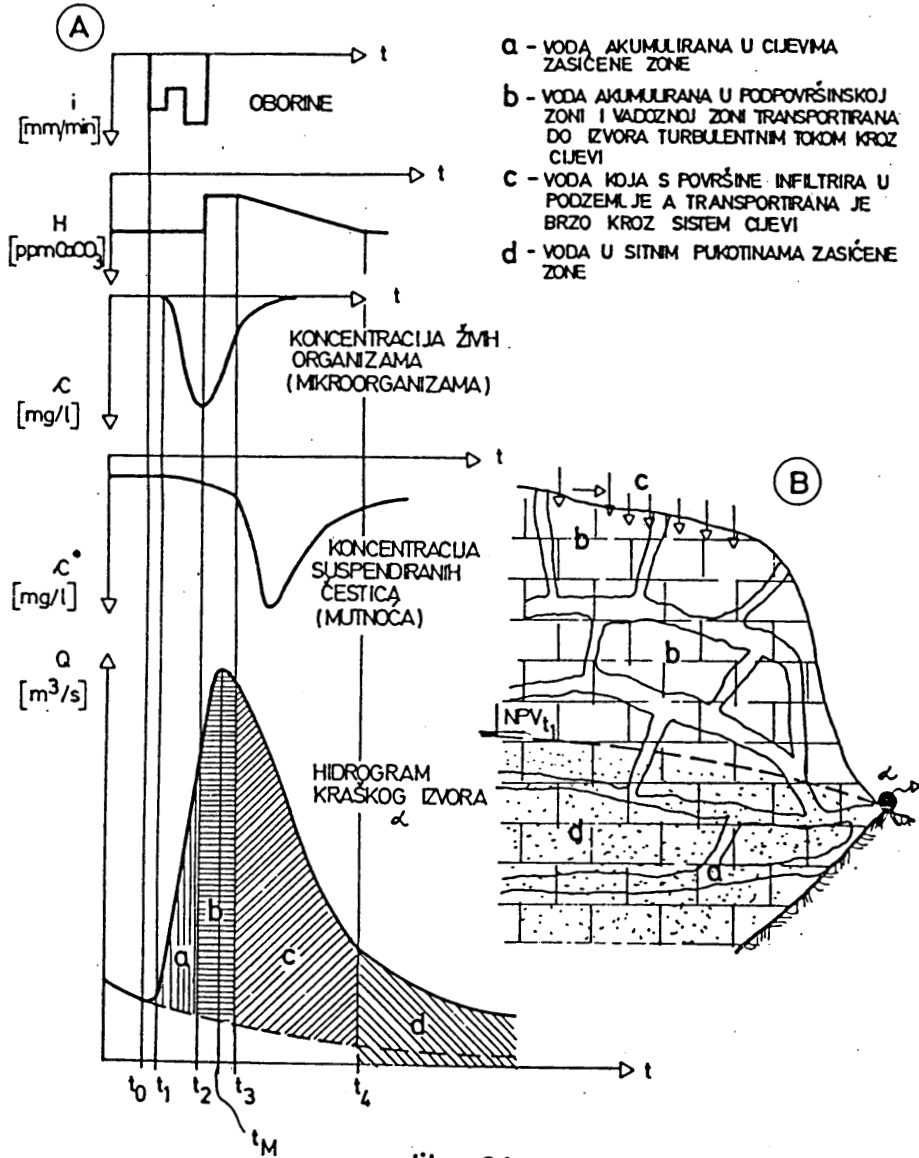
Va rilevato come questo caso teorico sia riferibile ad un acquifero carsico “parzialmente omogeneo”, nel quale l’apporto dei blocchi fessurati è paragonabile a quello delle canalizzazioni (rapporto tra portata massima e minima alle risorgive compreso tra 100 e 300); l’iniziale diminuzione della durezza totale dell’acqua è riferibile all’inizio dell’onda di piena. L’andamento della durezza totale sarebbe diverso in un acquifero carsico omogeneo, in cui l’apporto idrico delle canalizzazioni — scarsamente sviluppate — è trascurabile (rapporto fra portata massima e minima inferiore a 50); in questo caso la durezza totale tende ad aumentare col montare della piena, in quanto viene recapitata alle risorgive l’acqua che stazionava già da tempo all’interno dei blocchi fessurati e che viene “spremuta” dal carico piezometrico delle acque di infiltrazione.

Diverso ancora sarebbe l’andamento della durezza totale in un acquifero carsico del tutto “inomogeneo”, in cui l’apporto dei blocchi è irrilevante rispetto a quello delle canalizzazioni; in questo caso le variazioni della durezza totale presentano un andamento di difficile interpretazione, senza differenze significative tra regime di magra e di piena; si veda: Forti P. (1987): Gli acquiferi carsici, “Speleologia - Rivista della Società Speleologica Italiana”, Milano, 16:28-30.

Nel caso del Timavo, alimentato da un corso superficiale con un bacino imbrifero esteso quanto il bacino carsico vero e proprio, la durezza totale diminuisce quando la portata raggiunge il valore massimo ed alle risorgive arriva l’acqua delle piene del Recca; la durezza torna ad aumentare quando la piena si è esaurita e cala la pressione idrostatica nelle canalizzazioni per cui viene nuovamente drenata la falda carsica. Si veda: Gemiti F. (47).

L’aumento delle sostanze inquinanti durante le piene è dovuta non soltanto all’apporto diretto del Recca, ma anche alla mobilizzazione e “restituzione” delle sostanze inquinanti stesse sedimentate lungo il corso sotterraneo.

OBJAŠNJENJE PORIJEKLA VODE U HIDROGRAMU KRAŠKOG IZVORA



- a - VODA AKUMULIRANA U CJEVIMA ZASIĆENE ZONE
- b - VODA AKUMULIRANA U PODPOVRŠINSKOJ ZONI I VADOZNOJ ZONI TRANSPORTIRANA DO IZVORA TURBULENTNIM TOKOM KROZ CJEVI
- c - VODA KOJA S POVRŠINE INFILTRIRA U PODZEMLJE A TRANSPORTIRANA JE BRZO KROZ SISTEM CJEVI
- d - VODA U SITNIM PUKOTINAMA ZASIĆENE ZONE

slika 24
540

nalizzazioni è invece dell'ordine delle centinaia di metri. In questo schema teorico, nelle canalizzazioni il livello dell'acqua in magra è più basso che nella rete delle fessure circostanti ed è più alto in piena; le canalizzazioni dunque al mutare del regime idrologico invertono la loro funzione, per cui drenano oppure alimentano gli adiacenti "blocchi" rocciosi sottilmente fessurati.

* * *

Il governo jugoslavo impegna somme ingenti nelle perforazioni e negli studi relativi, finalizzati al reperimento di risorse idriche ad uso potabile ed irriguo nei Carsi dinarici. Nell'entroterra della Dalmazia vengono effettuati grandiosi lavori di bonifica nei grandi polje tettonici e in alcuni vengono creati bacini d'invaso a scopo idroelettrico, fatto questo che costituisce la verifica sperimentale delle diverse teorie sul comportamento delle acque nei massicci calcarei¹⁶². La quantità enorme di osservazioni e di dati così ottenuti consente ai ricercatori e ai tecnici coinvolti in queste operazioni di collocarsi all'avanguardia nello studio dell'idrologia carsica sotterranea.

Il Servizio geologico di Lubiana, che dispone di un Dipartimento di idrogeologia e geologia tecnica, intraprende nel 1978 un ciclo di ricerche nei pozzi geognostici perforati l'anno prima nel vallone di Brestovizza. I lavori sono coordinati da Primož Krivic, uno dei pionieri della speleologia subacquea in Slovenia, che ora sta preparando la sua tesi in ingegneria (*Etude hydrodynamique d'un aquifère karstique*) all'Università di Montpellier.

Si eseguono regolari misure piezometriche nei diversi pozzi, che vengono correlate con le precipitazioni sul bacino del Carso e con le misure idrometriche del Recca, del Vipacco e dell'Isonzo all'ingresso nella piana di Gorizia (54); l'onda di piena si propaga attraverso l'acquifero in due giorni sia dal Recca che dalle perdite del Vipacco — benché questo fiume sia molto più vicino — e in due giorni e mezzo dall'altrettanto vicino Isonzo, il quale però alimenta la falda carsica attraverso uno spesso materasso alluvionale. Krivic osserva come la celerità di propagazione dell'onda di piena da lui riscontrata sia molto più elevata della velocità effettiva delle particelle d'acqua, misurata tra il Recca e le risorgive del Timavo nel corso dell'esperimento di marcatura col trizio. Successive prove di marcatura effettuate in periodo di piena (44) dimostrano però — come vedremo — che anche l'ef-

162. Mikulec S. (1976): *Engineering works in karst regions of Yugoslavia*, Proceedings of the U.S.-Yugoslavian Symposium "Karst hydrology and water resources", Dubrovnik 1975, Water Resources Publications, Fort Collins Co., 2:443-488.

fettiva velocità dell'acqua diventa molto elevata in queste particolari condizioni idrologiche e che soltanto le fasi iniziali dell'aumento di portata alle risorgive possono essere attribuite alla trasmissione della pressione idraulica attraverso l'acqua di base. Il sistema drenante dell'acquifero carsico presenta comunque dei collegamenti sotterranei molto più diretti e veloci nel solco di Aurisina (drenaggio concentrato) rispetto al solco di Brestovizza (drenaggio diffuso), come risulta dagli esperimenti di marcatura e dalla diffusione degli inquinanti.

Krivic studia inoltre la propagazione attraverso l'acqua carsica delle onde di marea dell'Adriatico, registrate — con un certo sfasamento — nel pozzo B4 a quattro chilometri dalla costa. Questi dati sono oggetto di complesse analisi matematiche allo scopo di caratterizzare il comportamento idrodinamico dell'acquifero e di valutarne la diffusività (55); i risultati sono comunque di difficile interpretazione per la particolare natura della falda carsica. Infatti l'acqua di base nel massiccio calcareo non è una superficie libera — libera di innalzarsi senza ostacoli — come le falde idriche nei terreni incoerenti, ma presenta un certo grado di artesianità (si tratterebbe di una “falda imprigionata con un effetto di ristagno parziale al tetto della zona drenante”), in quanto le fessurazioni profonde non sono indefinitamente aperte verso l'alto né sono tanto immediatamente interconnesse sul piano verticale da consentire all'acqua, sotto carico idrostatico, di compiere oscillazioni indisturbate.

Oltre a queste ricerche sulle variazioni naturali del livello piezometrico, che considerano il sistema carsico nel suo insieme, vengono effettuate prove di pompaggio nelle singole perforazioni per determinare la loro portata di produzione ed i valori locali dei parametri idrodinamici della falda; la curva di abbassamento e di rimonta del livello dell'acqua permette infatti di risalire alla trasmissività e al coefficiente di immagazzinamento dell'acquifero (56).

Le ricerche nel vallone di Brestovizza confermano l'elevata eterogeneità idraulica del massiccio carsico, che si configura come un sistema complesso in cui i principali canali di drenaggio sono interconnessi con canalizzazioni minori e con blocchi intermedi sottilmente fessurati, a bassa conduttività, dove l'acqua è più o meno ritenuta e accumulata (52). È probabile che proprio la mobilitazione di queste riserve idriche lentamente filtranti, realizzata dal pompaggio, sia la causa dell'elevato tenore salino riscontrato nell'acqua dei pozzi di Brestovizza; sono attualmente allo studio casi analoghi verificati altrove¹⁶³.

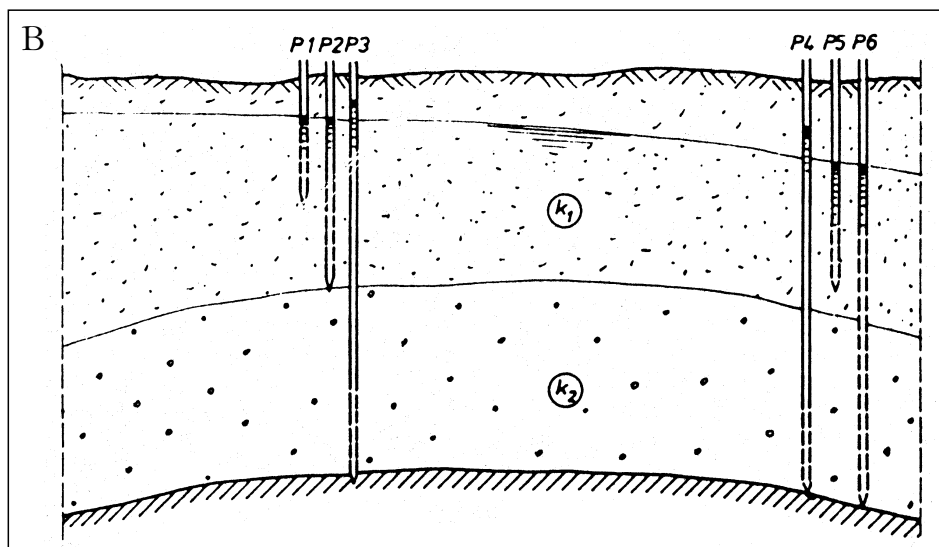
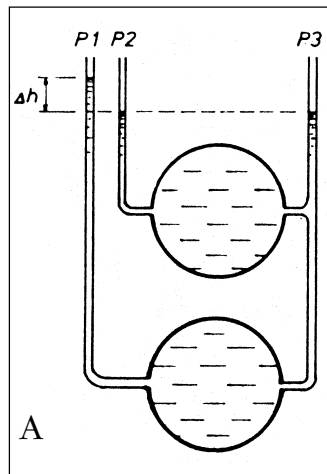
163. Pulido-Bosch A., Morell I., Andreu M. (1996): *Modifications hydrogéochimiques provoquées par la surexploitation d'un aquifère karstique*, “Comptes Rendus de l'Académie des Sciences”, Paris, 323(2.a):313-318.

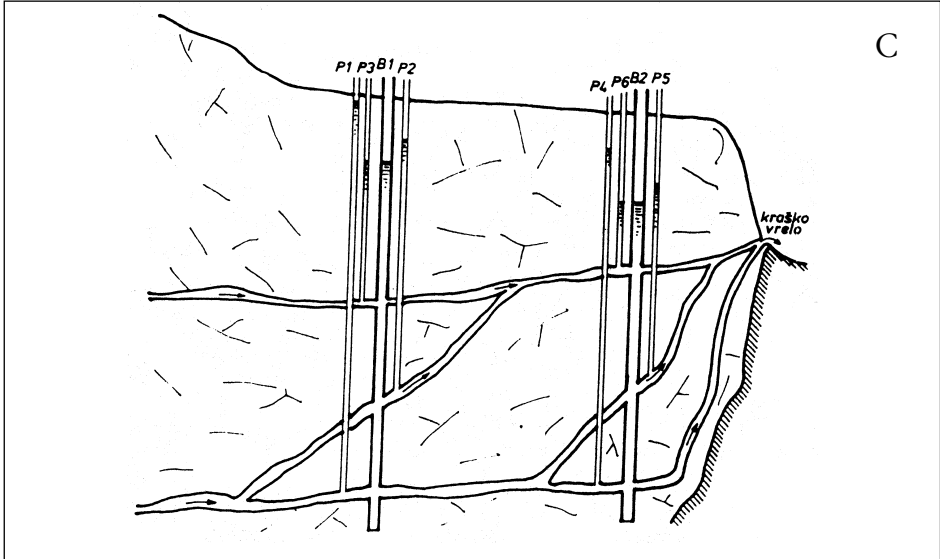
La complessità delle pressioni idrauliche che agiscono nei massicci carsici; da: Kupusović T. (1989): Measurements of piezometric pressures along deep boreholes in karst area and their assessment, "Naš Krš", Sarajevo, 15(26/27):21-30.

Nello schema A i piezometri P1 e P2 indicano che la pressione nella condotta inferiore è più alta di quella nella condotta superiore. In collegamento con entrambe, P3 si stabilizza in accordo con la pressione più bassa della condotta superiore.

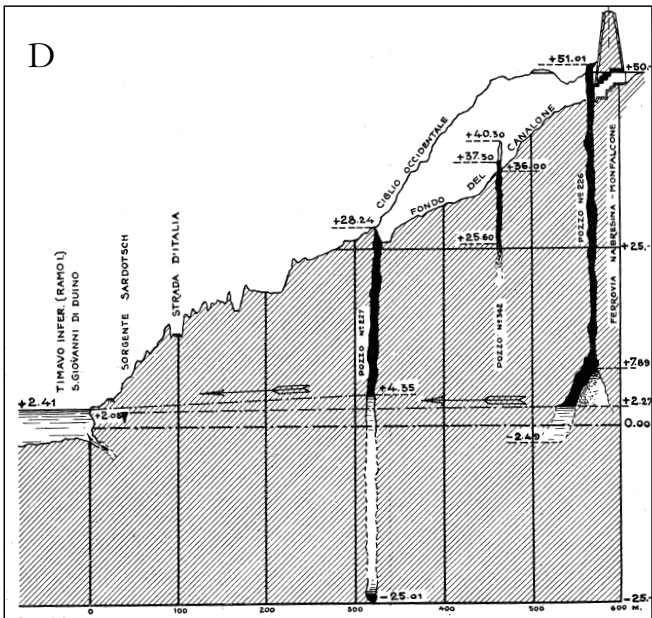
Nello schema B, che rappresenta una serie di perforazioni nella roccia calcarea, P1 e P2 indicano lo stesso livello in quanto le perforazioni giungono, sia pure a differente profondità, sempre nella medesima falda (k_1). Per lo stesso motivo, il piezometro P5 indica il livello corrispondente alla stessa superficie piezometrica. P3 e P4 indicano un livello più alto in quanto attingono in una falda più profonda (k_2), soggetta ad una pressione idraulica più alta. P6 raggiunge la medesima falda profonda, ma non è a tenuta stagna per cui attinge contemporaneamente anche nella falda superiore ed il livello si stabilizza sulla superficie piezometrica di quest'ultima.

Passando dal concetto teorico di falda al modello del reticolo di canalizzazioni (schema C), si osserva come il livello più alto si riscontri nelle perforazioni P1 e P4 che intercettano i canali più profondi dove la pressione è più elevata; il livello è più basso nelle perforazioni P2 e P5 e più basso ancora nelle perforazioni P3 e P6 che intercettano le canalizzazioni superiori. Il livello nei pozzi B1 e B2, che intercettano le canalizzazioni a varia profondità, si stabilizza sui valori minimi. I livelli del gruppo di perforazioni "a valle" sono tutti più bassi dei rispettivi livelli nelle perforazioni "a monte" per effetto della cadente piezometrica. In questo modello trova rispondenza la situazione riscontrata da Eugenio Boegan, ancora all'inizio del secolo, nei pozzi carsici vicini alle risorgive del Timavo (schema D). Da una misurazione di precisione — ripetuta per tre volte nel pozzo 226 VG "con grosso filo di ottone" — il livello dell'acqua risulta alla quota di m 2.41 alle risorgive del Timavo (con una differenza tra il





primo e il terzo ramo!), m 2.08 alla sorgente Sardos, m 4.35 nel pozzo dei Colombi (227 VG) e m 2.27 nel pozzo della Ferrovia (226 VG). Le due cavità raggiungono falde idriche diverse e sottoposte a differenti pressioni idrauliche; il pozzo dei Colombi è in collegamento diretto con le condotte principali del corso sotterraneo, più profonde e sottoposte a pressione idraulica più elevata, mentre il bacino di



“acqua morta” insaccata nel pozzo della Ferrovia è in saltuaria relazione, in occasione delle piene, con la falda più superficiale che alimenta le sorgenti Sardos. Da: Boegan E. (citato nella nota 102). Va comunque precisato che i rapporti fra il drenaggio principale del corso sotterraneo e la falda carsica cambiano col mutare del regime idrologico. Nei periodi di magra del Recca la pressione idraulica nelle grandi condotte del corso sotterraneo diminuisce al punto da diventare inferiore a quella della falda carsica ed in tali occasioni il livello della risorgive del Timavo è più basso della sorgente Sardos.

Anche nel Carso isontino viene accertata in seguito l'esistenza di "uno scorrimento idrico sotterraneo sia lungo fessure che entro canalizzazioni situate sotto il livello del mare, dove i movimenti sono più rapidi" (13) (in quanto avvengono nelle ampie condotte rimaste affogate dal recente innalzamento del mare Adriatico). Analogamente nella zona delle risorgive del Timavo, a poca distanza dalle grandi gallerie di deflusso, la roccia carsica risulta permeata da una falda idrica dispersa in un comminuto reticolo di fratturazioni. Questa falda viene drenata da una serie di spandimenti diffusi, piccole sorgenti carsiche sottomarine il cui regime sarebbe "direttamente legato alle risorgive del Timavo, anche se alle piene del fiume non corrispondono deflussi locali particolarmente abbondanti e non si notano fenomeni di torbidità delle acque in tali occasioni: i dati misurati indicano d'altronde, a conferma della connessione, un diverso comportamento chimico delle acque al variare delle portate e delle condizioni meteorologiche"¹⁶⁴ (valutazioni peraltro formulate sulla sola base di osservazioni e di misure della temperatura e della conducibilità elettrolitica dell'acqua). Queste sorgenti risultano inoltre contaminate dall'acqua salmastra con l'alternarsi delle maree, contaminazione che interessa anche l'acqua nella grotta presso la Peschiera del Timavo (3948 VG) e nella grotta nuova del Villaggio del Pescatore (5842 VG). Dalle successive indagini idrochimiche (45) quest'ultima risulta in probabile collegamento con il drenaggio principale del Timavo, a differenza della grotta presso la Peschiera che raggiunge la falda idrica dispersa, alimentata dalle acque di percolazione.

* * *

L'ipotesi del livello di base costituito da rocce impermeabili, già formulata dai vecchi autori, viene rivalutata in occasione dei nuovi studi geologici e geomorfologici avviati negli anni Settanta sull'altopiano del Carso. È un nuovo momento di collaborazione fra l'ambiente speleologico triestino e l'Istituto di Geologia dell'Università, che coordina l'applicazione del metodo della ricerca integrale sul carsismo; questo metodo consiste "nell'analisi sistematica e comparata delle varie forme carsiche superficiali e sotterranee, mediante lo studio dei rapporti intercorrenti tra le morfologie esistenti e le condizioni geolitologiche e strutturali che le hanno determinate"¹⁶⁵. Dalla campionatura litologica eseguita nella grotta di Trebicia-

164. Cucchi F., Forti F. (1983): *Primi risultati dello studio di alcune sorgenti carsiche marine presso S. Giovanni di Duino*, Atti del 6. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, "Mondo Sotterraneo", Udine, 7(2):67-76.

165. D'Ambrosi C. (1972): *Il "metodo della ricerca integrale sul carsismo" a proposito di fenomeni carsici, paracarsici e pseudocarsici con particolare riguardo al Carso di Trieste*, "Atti del Museo Civico di Storia Naturale", Trieste, 28(1):111-136.

no¹⁶⁶ risulta che gli ultimi cinque pozzi e la grande caverna finale sono scavati nel “complesso dolomitico” cenomaniano, considerato a suo tempo lo spartiacque sotterraneo tra il solco di Brestovizza e il solco di Aurisina. Queste rocce scarsamente carsificabili si incontrano a circa 150 metri sul livello del mare nel tratto da S. Canziano alla grotta di Trebiciano; a valle di questa si immergono progressivamente fino a centinaia di metri di profondità in corrispondenza della zona assiale del solco di Aurisina. Fabio Forti ipotizza che il Timavo sotterraneo da S. Canziano a Trebiciano si sia “scavato il suo alveo in corrispondenza del piano di contatto tra i soprastanti calcari e le sottostanti dolomie, erodendo quest’ultime” (35). Egli ritiene che nel tratto a monte della grotta di Trebiciano le acque scorrano incanalate a pelo libero e in condizioni di sospensione (cioè più alte del livello di base), mentre nel tratto a valle scorrono sotto il livello del mare, parte in una canalizzazione “assai frazionata” e parte nei sistemi di fratturazione della roccia (ipotesi che ricalca il “ricco e assai diffuso sistema vascolare intercomunicante” di Carlo D’Ambrosi).

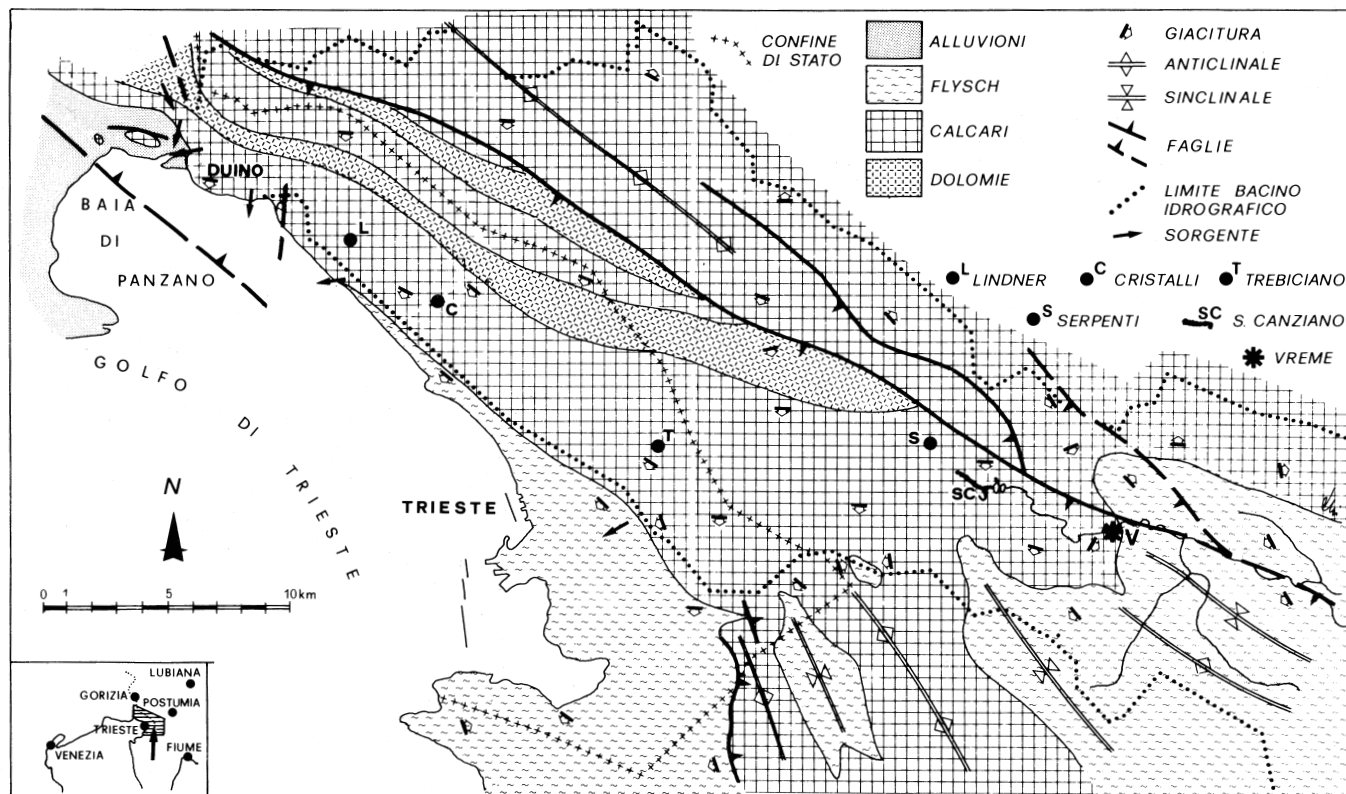
In realtà le canalizzazioni si spingono ben al di sotto del contatto calcari-dolomie, che dovrebbe costituire il piano di scorrimento della circolazione idrica profonda. Nella grotta di Trebiciano, tutta la parte inferiore della cavità si è sviluppata all’interno del complesso dolomitico per una profondità di oltre 150 metri: la alleria immissaria — in una situazione di ringiovanimento morfologico — si sviluppa a nove metri sotto il livello del mare, effetto questo del “recente” innalzamento dell’acqua di base carsica di cui diremo più avanti. Del resto vengono avanzati seri dubbi sulla reale incarsificabilità delle dolomie e dei calcari dolomitici, una volta che la loro compagine sia stata intersecata da un esteso sistema di fratturazioni; tali rocce inoltre, più resistenti del calcare al potere dissolvente delle acque, lo sono di meno nei riguardi della loro azione erosiva. L’eventuale funzione di livello di base del complesso dolomitico e la conseguente condizione di “sospensione” della circolazione idrica sotterranea deve pertanto ritenersi limitata soltanto ad una fase iniziale del suo sviluppo.

166. Ulcigrai F. (1977): *Successione stratigrafica dell’Abisso di Trebiciano*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 16/1976:21-44.

Forti F., Semeraro R., Ulcigrai F. (1979): *Carsogenesi e geomorfologia dell’Abisso di Trebiciano (Carso Triestino)*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 18/1978:51-100.

In precedenza viene già segnalata la presenza di ghiaie dolomitiche, sicuramente autoctone, al fondo della grotta di Trebiciano; si veda:

Bussani M. (1970): *Segnalazione sul ritrovamento di ghiaie dolomitiche nella caverna “Lindner” nell’abisso di Trebiciano*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 9/1969:63-64.



“Carta geologica schematica del bacino idrografico inferiore del Fiume Timavo”; da Cucchi F., Forti F. (19).

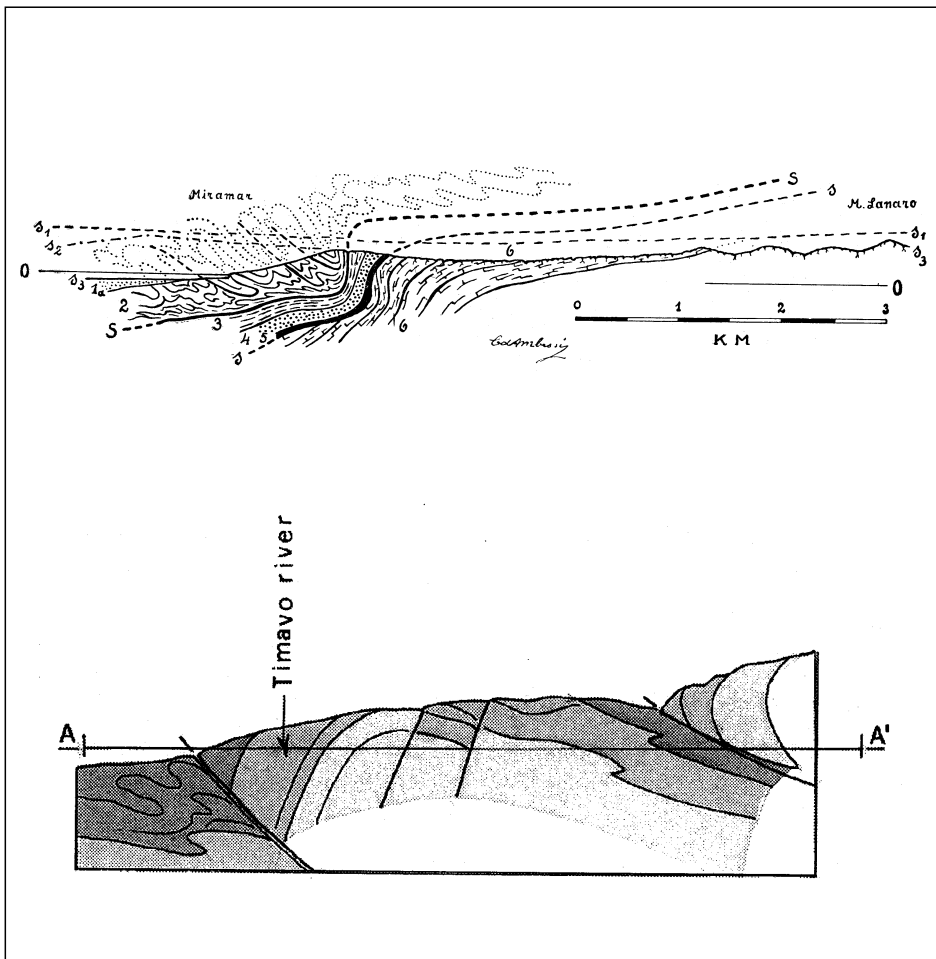
Una nuova interpretazione strutturale dell'altopiano del Carso viene formulata nel 1981 da Ladislav Placer del Servizio geologico di Lubiana¹⁶⁷. L'ampia anticlinale debolmente asimmetrica dei vecchi autori (con una flessura "a ginocchio" al margine sud-occidentale) sarebbe in realtà una piattaforma dislocata da modesti horst e graben, con una netta prevalenza degli elementi disgiuntivi sugli elementi plicativi. La struttura non sarebbe radicata al substrato bensì parzialmente sovrascorsa sull'antistante piattaforma di Capodistria e del golfo di Trieste; la traslazione sarebbe più accentuata ed evidente verso sud, nella "struttura embriata della Ciceria". Questo "complesso parautoctono" sarebbe a sua volta sovrascorso sull'autoctono istriano in corrispondenza della faglia di Buie.

La nuova interpretazione implica un differente rapporto tra flysch e calcare al margine sud-occidentale dell'altopiano¹⁶⁸, dove le acque sotterranee del Carso traboccano nel mare. Il tamponamento impermeabile delle rocce arenaceo-marnose, che costituisce con poche interruzioni la linea di costa del Carso triestino, non risulta infatti semplicemente addossato alla piattaforma calcarea (in quanto stratigraficamente più elevato) né semplicemente scivolato e ripiegato lungo il suo margine per colamento gravitativo (come un tempo si è creduto); la piattaforma calcarea risulta invece sovrascorsa sul flysch per una distanza non ancora valutata, lungo un piano di scorrimento poco inclinato sull'orizzontale. Procedendo verso sud-est tale piano si presenta sdoppiato in più faglie parallele, assetto tettonico che risulta meglio evidente nella "struttura embriata della Ciceria", dove tra l'altro le gallerie

167. Placer L. (1981): *Geološka zgradba jugozabodne Slovenije (Geologic structure of southwestern Slovenia)*, "Geologija", Ljubljana, 24(1):27-60.

168. Forti F. (1998): *Condizionamenti idrogeologici tra calcare e flysch*, "Sopra e sotto il Carso", Centro Ricerche Carsiche C. Seppenhofer, Gorizia, 4:30-35.

Nella pagina a fronte: il complesso dolomitico superiore (fascia più estesa) sembra effettivamente rappresentare un elemento di separazione idrogeologica fra la zona meridionale (corso sotterraneo del Timavo) e quella settentrionale dell'acquifero carsico. Questo settore contiene acqua di fondo di migliore qualità, originata dai sostanziali contributi dell'infiltrazione primaria (meteorica), che sono ben distribuiti attraverso l'ampia area carsica. Prima di raggiungere le risorgive, queste acque si mescolano con quelle di cattiva qualità circolanti nel drenaggio principale del Timavo sotterraneo, migliorandone in tal modo le caratteristiche soprattutto durante i periodi di magra. Si veda: Civita M. et al. (15); per una sintesi geologica: Cucchi F., Pugliese N., Ulcigrai F. (1990): Il Carso Triestino, note geologiche e stratigrafiche, "International Journal of Speleology", 18/1989(1-2):49-64; per vari approfondimenti, conoscitivi e bibliografici: Proceedings of the International Symposium on Evolution of the Karstic Carbonate Platform, Trieste 1987, "Memorie della Società Geologica Italiana", Roma, 1989.



Il rapporto flysch-calcareo al margine sud-occidentale del Carso nelle diverse interpretazioni.

Sopra: fessura con scivolamento gravitativo; da: D'Ambrosi C. (1959): Sul colamento per gravità del Flysch lungo la riviera di Trieste, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 49/1958-59:102-136. Legenda: 0. livello del mare; 1a. depositi recenti e attuali; 2. flysch interessato dal fenomeno di colamento gravitativo; 3. calcareo a nummuliti e alveoline; 4. calcareo a milioliti; 5. formazione spilecciana; 6. serie dei calcari a rudiste; S. superficie di slittamento del flysch sul calcareo; s. superficie di spianamento senoniana; s1. superficie di spianamento cattiano-langhiana; s2. superficie del suolo intorno alla metà del Pliocene; s3. superficie del suolo attuale.

Sotto: sovrascorrimento; da: Eraso A. et al. (28). Sezione geologica semplificata del Carso triestino, che ne evidenzia le caratteristiche strutturali. In grigio scuro il flysch, in grigio medio i calcari e in grigio chiaro le dolomie e i calcari dolomitici.

della grotta di Ospò, incise nel flysch e con il tetto di calcare, sono sviluppate appunto lungo il piano di scorrimento inclinato¹⁶⁹. Lungo la costa, dove il tamponamento arenaceo-marnoso s'interrompe sul fianco del Carso e scende quasi al livello del mare, risulta evidente — sia pure in settori molto circoscritti — la sovrapposizione sul flysch delle rocce calcaree¹⁷⁰. Altrove i piani di scorrimento sono di individuazione molto difficile, in quanto non mettono a contatto il calcare con il flysch, bensì il flysch con sé medesimo ed attraversano le pendici estremamente antropizzate delle colline addossate all'altopiano; la parte stratigraficamente superiore della formazione marnoso-arenacea della piattaforma di Capodistria e del golfo risulta in tal modo sovrastata dalle arenarie stratigraficamente inferiori ("Untere Flyschsandsteine" di Guido Stache), sospinte e corrugate, pertinenti alla piattaforma sovrascorsa del Carso (3).

Come sarebbe confermato dalle persistenti sospensioni argillose nelle sorgenti di Aurisina — di cui si è detto — questo piano di contatto arginerebbe verso il mare il deflusso delle acque carsiche orientato lungo l'asse strutturale dell'altopiano; le sorgenti costiere sarebbero da mettere in relazione con i sistemi di fratture sub-verticali ad andamento antidinarico (con direzione NE-SW), che intersecano l'asse strutturale dell'altopiano e le direttrici del drenaggio sotterraneo¹⁷¹. Ancora nel 1985 Fabio Forti ha segnalato l'esistenza di una faglia a piano subverticale, però "con direzione SE-NW, leggermente divergente rispetto alla linea di costa, in corrispondenza delle sorgenti di Aurisina", ipotizzando "la risalita delle acque del Timavo sotterraneo lungo tale piano"¹⁷². Ulteriori studi hanno però chiarito, confermando le vecchie ipotesi, che in regime normale e di magra fuoriesce da queste sorgenti l'acqua proveniente in prevalenza da una falda carsica locale; soltanto nelle forti piene sono accertate "risalite" di acqua dalle condotte profonde del corso sotterraneo del Timavo.

169. Malečkar F., Morel S. (1987): *Osapska jama v Bržaniji*, "Naše Jame", Ljubljana, 29:47-49.

170. Carulli G.B., Cucchi F. (1991): *Proposta di interpretazione strutturale del Carso Triestino*, "Atti Ticinesi di Scienze della Terra", Pavia, 34:161-166

171. Cucchi F., Forti F. (1983) citato nella nota 164; Cucchi F. (1994) citato nella nota 211.

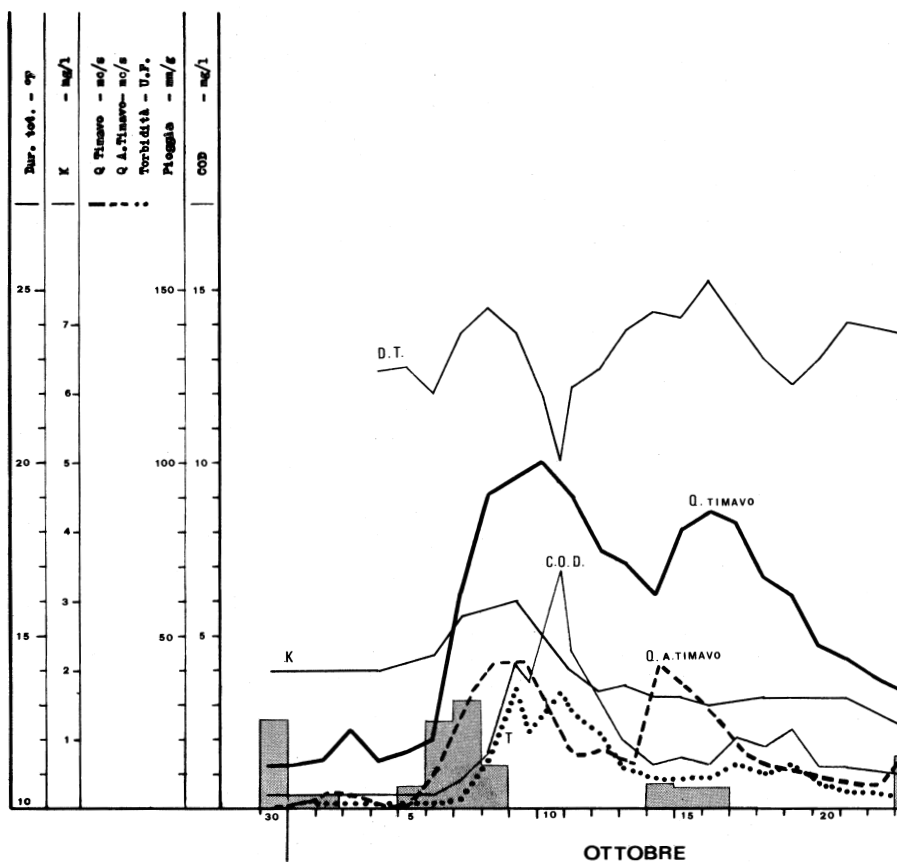
172. Forti F. (1985): *Fenomeni di carsismo marino (studi sul Carso Triestino)*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 23:47-60.

Gli esperimenti di marcatura

Fabio Gemiti effettua nel novembre 1982 due importanti esperimenti di marcatura con tetracloruro di carbonio nella grotta di Trebiciano (44), il primo in regime di morbida, l'altro — due settimane dopo — in regime di forte piena. Nel primo caso la portata del Recca all'idrometro del mulino di Cerkvénik (a monte delle perdite) è di 7 mc/sec, in progressiva riduzione; la cresta dell'onda marcata impiega undici giorni per raggiungere le risorgive del Timavo ed il deflusso del tracciante si protrae per cinque giorni, con un volume d'acqua complessivamente scaricata di 27 milioni di metri cubi. Nel secondo caso la portata del Recca, al transito della piena, è di 112 mc/sec e nella grotta di Trebiciano l'acqua sale di quasi 50 metri; la cresta dell'onda marcata impiega tre soli giorni per raggiungere le risorgive ed il deflusso del tracciante si completa in quattro giorni, con un volume d'acqua complessivo di 31 milioni di metri cubi. Viene così smentita l'opinione dei vecchi autori, secondo i quali la velocità dei deflussi sotterranei sarebbe maggiore ad acque medie che in piena, a causa del rallentamento provocato dagli ingorghi nelle canalizzazioni (Jenko lo ha definito a suo tempo "il paradosso idraulico"); almeno nel caso del drenaggio principale del Carso triestino, l'ampiezza delle condotte deve essere dunque tale da consentire un aumento della velocità dell'acqua proporzionale all'aumento della portata.

I tempi di transito del tracciante artificiale sono confrontati con quelli delle variazioni della torbidità e dell'inquinamento organico — concentrazione di potassio e COD (Chemical Oxygen Demand) — considerati come traccianti naturali ed i risultati non sono molto diversi. Viene esaminata anche la durezza totale, che presenta valori molto elevati nell'acqua di percolazione e via via più bassi col prevalere in percentuale dell'acqua del Recca. La grande velocità apparente dell'acqua durante le piene e la modesta dispersione del tracciante confermano le ipotesi dell'esistenza di grandi canalizzazioni fino alle risorgive del Timavo, con scarsi contributi laterali. Le acque carsiche provenienti dal bacino imbrifero situato a valle di Trebiciano sembrano cioè convergere verso le risorgive attraverso drenaggi indipendenti, senza confluire nelle grandi condotte dove scorre l'acqua del Recca. Viene anche confermata l'alimentazione indipendente delle sorgenti Sardos, nelle quali l'acqua del Timavo si travasa soltanto in occasione delle maggiori piene.

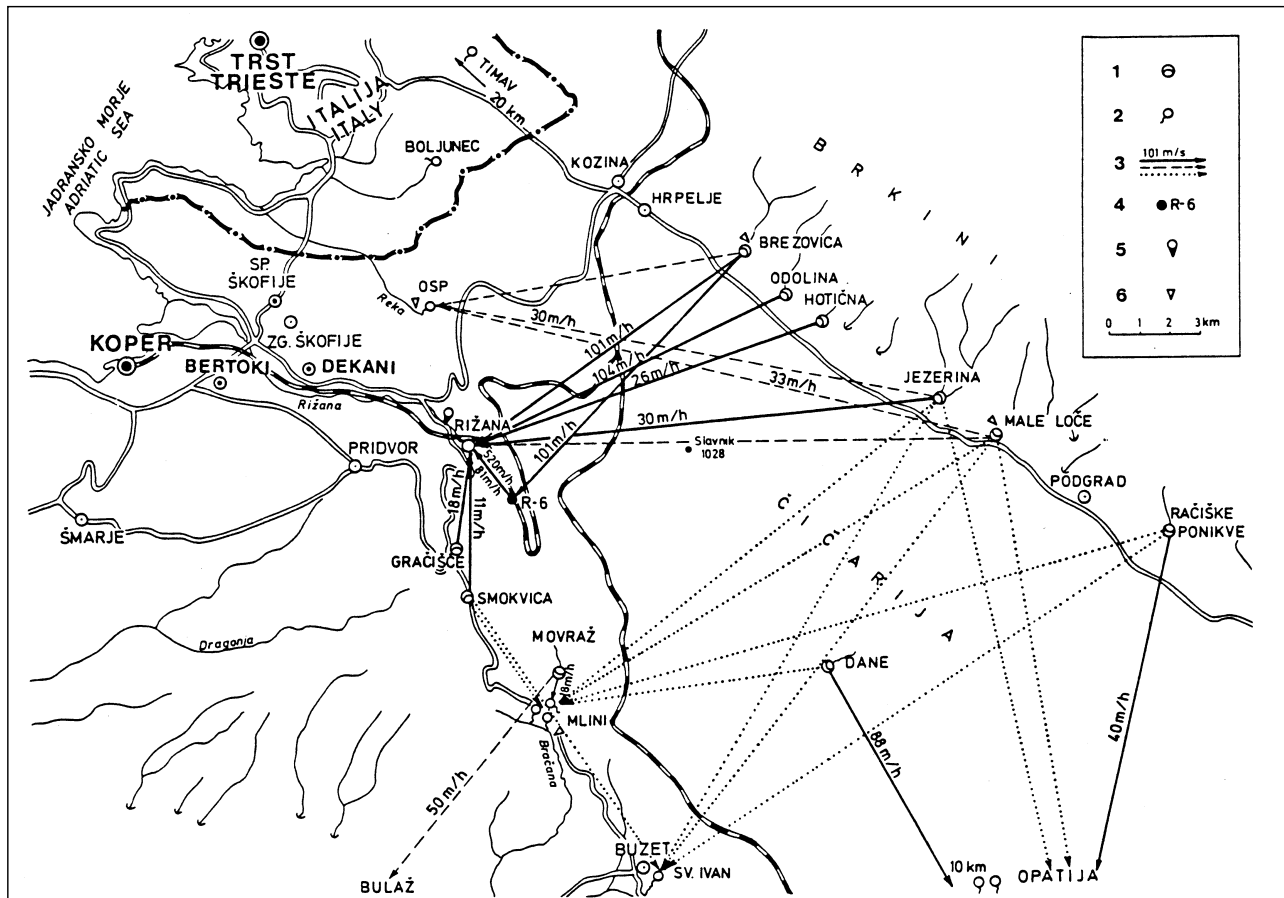
Gemiti cerca anche una correlazione tra i dati piezometrici registrati nel pozzo dei Colombi (227 VG) ed il livello del terzo ramo del Timavo, della grotta di Comarie, della grotta Lindner e della grotta di Trebiciano; giunge alla conclusione che in quest'ultima "l'innalzamento dell'acqua fino ad una quota di 50/60 metri è dovuto proprio all'elevazione della superficie piezometrica, mentre ulteriori innalzamenti sono sicuramente dovuti all'incapacità del sifone di uscita di smaltire tutta l'acqua che entra nella caverna" (18).



Riproduzione parziale del "diagramma di alcuni parametri chimici e delle portate del Timavo e dell'alto Timavo, rilevati nell'ottobre-novembre 1982"; da: Gemiti F. (44).

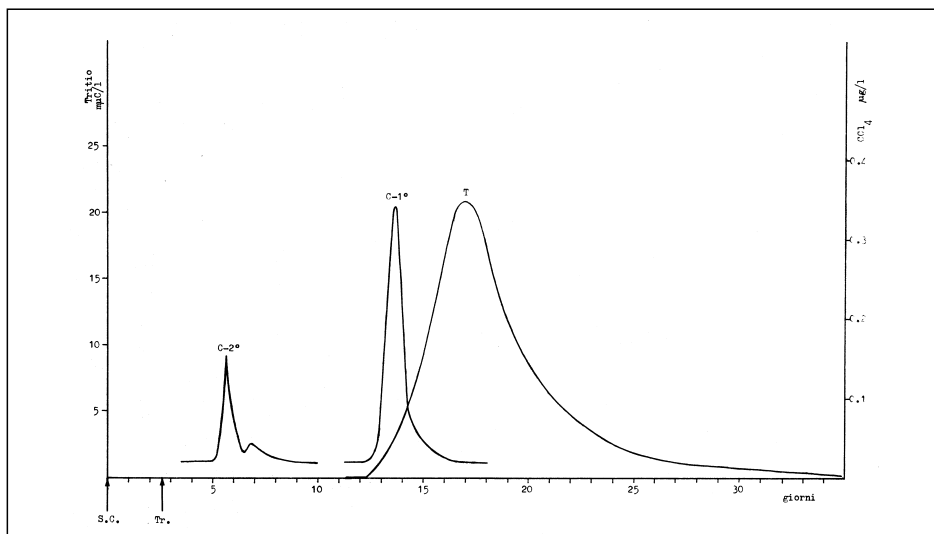
Torbidità (T), Chemical Oxygen Demand (COD), potassio (K) e durezza totale (D.T.) sono utilizzati come traccianti dell'onda di piena, evidenziata dalla curva delle portate (Q Timavo e Q Alto Timavo).

In sintesi, secondo Gemiti, a valle della grotta di Trebiciano l'acqua del Carso viene convogliata alle risorgive del Timavo in grandi condotte forzate sotto il livello del mare; esisterebbe contemporaneamente una circolazione più superficiale e vascolarizzata, quasi un reticolo idrico indipendente ed alimentato dalle acque di percolazione, dal quale dipenderebbero le altre sorgenti costiere (Sardos e Aurisina). Normalmente il sistema superficiale alimenterebbe quello profondo, con un'inversione della circolazione durante le forti piene, quando per effetto di elevati carichi idraulici, le acque profonde verrebbero travasate verso l'alto. Non si tratterebbe dunque della "vena superficiale nell'acqua di base" di Eugenio Boegan, e come tale considerata anche dagli autori successivi (in particolare, sia pure con diverse interpretazioni, da Carlo D'Ambrosi e Ferruccio Mosetti) ma di una corrente "dentro" l'acqua di base, in una successione di grandi gallerie sommerse (ipotesi in accordo con il recente innalzamento del livello del mare).



Carta delle connessioni idrologiche del bacino di Castelnuovo, accertate con gli esperimenti di marcatura; da Krivic P. et al. (58).

Legenda: 1. inghiottitoi dove sono stati immessi i traccianti; 2. sorgenti mantenute sotto controllo; 3. direzione e velocità apparente dei deflussi determinate con le marcature (collegamenti principali, secondari, incerti); 4. perforazione mantenuta sotto controllo; 5. stazione idrometrica a registrazione automatica; 6. stazione idrometrica.



“Curve di fuoriuscita del tritio (T), immesso a S. Canziano (S.C.) e del tetracloruro di carbonio (C - 1. e C - 2. = prima e seconda prova) immesso a Trebiciano (Tr.)”; da: Gemiti F. (44).

Il transito del tracciante è tanto più veloce quanto più grande è la portata (64 ore dalla grotta di Trebiciano alle risorgive del Timavo durante una forte piena, con una portata del Recca di 112 mc/sec). La minore quantità di tetracloruro di carbonio fuoriuscita con la seconda prova è dovuta alle particolari condizioni dell'immissione, con la grotta di Trebiciano piena d'acqua fino a quasi la sommità della collina di sabbia (circa 60 metri sul livello del mare). In una tale situazione il tracciante è entrato nel sifone di uscita con un ritardo valutabile in non meno di 24 ore ed una parte è sicuramente andata dispersa, trattenuta dal fondo sabbioso.

Anche da parte slovena vengono effettuati nuovi esperimenti di marcatura, in un programma di ricerca di ampio respiro sulle relazioni idrologiche esistenti, ai fini della gestione delle risorse e della prevenzione degli inquinamenti (l'acqua carica garantisce circa la metà del rifornimento di acqua potabile in un paese che è carsico per oltre il 40 per cento della sua estensione). Tali esperimenti sono interessanti anche per il simultaneo impiego di diversi traccianti e per la valutazione del differente comportamento dei medesimi. A cura del Servizio geologico di Lubiana, nell'aprile 1985 vengono iniettati 15 chilogrammi di fluoresceina nel torrente di Bresovizza e 32 quintali di cloruro di potassio in quello di Male Loče (57), nel bacino di Castelnuovo. La fluoresceina compare dopo quattro giorni nelle sorgenti del Risano e nella vicina perforazione nella valle di Hrastovlje, profonda 50 metri di cui 30 nella falda idrica; incerta invece la comparsa del cloruro di potassio, al limite della sensibilità strumentale. Nel maggio 1986 vengono marcati con differenti traccianti i torrenti di Male Loče (fluoresceina), Hotična (traccianti microbici) e Je-

zerine (rodamina); viene accertata la relazione dei due ultimi con le sorgenti del Risano, di Male Loče e Jezerine con la grotta di Ospò, sia pure con il tracciante estremamente diluito ed in percentuale piccolissima rispetto alla quantità iniettata. La grotta di Ospò risulta essere dunque un troppo-pieno del Risano, senza relazione con le vicine sorgenti del rio Ospò. Le determinazioni della curva della concentrazione nel tempo consentono interessanti valutazioni quantitative. Nel maggio 1987 infine la fluoresceina e la rodamina immesse a Račice (e a Dane, nell'altopiano della Ciceria) emergono — in piccola percentuale — nelle sorgenti sottomarine lungo la costa di Abbazia, nel golfo di Fiume (58).

Con una serie di esperimenti di marcatura eseguiti dall'Istituto per le ricerche carsiche di Postumia, nell'estate 1987 viene accertata la connessione del torrente Raša (affluente del Vipacco che lambisce il margine nord-orientale del Carso) e degli inghiottitoi del bacino di Senosecchia - Dolenja Vas¹⁷³ con il sistema sotterraneo del Timavo. La rodamina iniettata nel torrente Raša compare dopo quasi due mesi alle risorgive del Timavo, dopo 78 giorni alle sorgenti di Aurisina e dopo 105 giorni al Sardos. I traccianti biologici del bacino di Senosecchia vengono segnalati dopo 75 giorni alle sorgenti di Aurisina. In un'altra occasione viene dimostrato anche il collegamento con le sorgenti Sablici (rivalutando le ipotesi dei vecchi autori).

Viene marcato anche il Sajeovski potok, un modesto torrente che scende dai rilievi arenaceo-marnosi al margine meridionale della conca di Postumia. Al contatto con il calcare, il torrente ha formato la valle chiusa di Sajevočce — poco distante da Senosecchia — e scompare in un inghiottitoio di notevoli dimensioni (Markov spodmol, una galleria lunga oltre 600 metri). La fluoresceina immessa compare dopo 40 giorni nella falda di Brestovizza, dopo un altro mese nelle risorgive del Timavo e dopo 80-90 giorni nelle sorgenti del Sardos e di Aurisina. In un'altra occasione invece il tracciante raggiunge il Sardos molto più velocemente delle risorgive Timavo. Gli esperimenti sono eseguiti tutti in periodi di magra.

Il sistema idrografico del Sajeovski potok costituisce un fenomeno di particolare interesse; si ritiene che la sua acqua ricompaia nella lunga galleria della Vodna jama, distante un paio di chilometri, quindi nella grotta Gabranca in valle di Košana, circa dieci chilometri ad est di S. Canziano, una grotta che funziona da inghiottitoio o da risorgiva a seconda dei regimi idrologici¹⁷⁴. In magra il livello dell'acqua nella Gabranca si trova a 122 metri di profondità e a 292 sul livello del mare, quin-

173. Habič P. (1990): *Sledenje kraških voda v Sloveniji (About waters tracing in Slovenia)*, "Geografski Vestnik", Ljubljana, 61/1989:3-20.

174. Habe F., Hribar F. (1964): *Sajevoško Polje*, "Geografski Vestnik", Ljubljana, 36:13-46.
Vasseur F. (1997): *Expédition Notraniska 1997*, "Spelunca", Paris, 68:10.

di più in basso dell'ingresso del Recca nella grotta di S. Canziano (m 317), mentre in piena dal pozzo di accesso a quota 415 fuoriesce un torrente della portata di 3-4 metri cubi al secondo; nel primo caso viene convogliata nella falda carsica l'acqua di un limitato bacino locale, tra cui gli scarichi inquinatissimi dell'allevamento di polli di Neverke¹⁷⁵, nel secondo invece il torrente temporaneo alimenta il torrente Sušica e la Gabranca diventa in tal modo tributaria "superficiale" del Recca. Il livello di magra nella Gabranca non può comunque essere considerato corrispondente alla superficie piezometrica, ma soltanto ad una zona sifonante delle canalizzazioni, che può trovarsi ben più in alto dell'acqua di base vera e propria. Lo stesso corso del Recca nella grotta di S. Canziano si trova infatti in condizioni di "sospensione", come è confermato dalle perdite subalvee accertate lungo il canyon sotterraneo. Nell'agosto 1988 viene effettuata una marcatura con rodamina nell'inghiottitoio presso Rakitnik nella conca di Postumia, attivo nei periodi di piena (per effettuare l'esperimento viene scavato un canale convogliandovi l'acqua del torrente Stržen); risulta dimostrata la sua connessione con il Vipacco e con il Timavo, sia pure a concentrazioni minime del tracciante comparso dopo due mesi dall'immissione. Il bacino della Piuca è dunque tributario del mar Nero attraverso le grotte di Postumia e il sistema carsico Unica-Ljubljana confluyente nella Sava, ma è anche tributario del mare Adriatico per il tramite delle perdite subalvee lungo il suo corso — a valle dell'abitato di Pivka e nella stessa conca di Postumia — le quali vanno ad alimentare le sorgenti del Vipacco e la falda carsica. Lo spartiacque sotterraneo non è ben definito né stabile nel tempo, ma risulta essere "fluttuante" a seconda delle condizioni idrologiche.

L'argomento viene trattato in un importante lavoro di Peter Habič (50), nel quale sono anche menzionati gli esperimenti di marcatura ed è ripresa, trent'anni dopo la polemica D'Ambrosi-Bidovec, la questione del "deflusso specifico di magra". Con una portata minima di circa nove metri cubi al secondo, il Timavo dovrebbe avere un bacino imbrifero di circa tremila chilometri quadrati, mentre in base alle attuali stime il bacino — superficiale e sotterraneo — non supera i mille chilometri quadrati. Le possibilità secondo Habič sono due: o il Timavo ha un coefficiente di deflusso tre volte maggiore della media oppure riceve apporti da zone non ancora identificate. Probabilmente si verificano entrambe. Anche se non accertato con esperimenti di marcatura¹⁷⁶, il contributo delle acque isontine è infatti confermato — come si è visto — da numerosi riscontri idrochimici. In merito poi al coefficiente

175. Habič P., Gospodarič R., Kogovšek J. (1984): *Kraške in hidrogeološke značilnosti Košanske doline (Karst and hydrogeological properties of Košana Valley and its contribution to Notranjska Reka pollution)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 12/1983:69-89.

minimale specifico di deflusso, le ricerche sperimentali di Srebrenović (1970) hanno dimostrato che nei massicci carsici questo aumenta considerevolmente in confronto ai bacini idrografici a circolazione esclusivamente superficiale¹⁷⁷, confermando per i primi una funzione regolatrice delle portate nei vari regimi idrologici. La questione comunque attende ancora una precisa definizione.

La conca di Postumia è coperta dalla formazione del flysch: le rocce arenaceo-marnose sono impermeabili all'acqua, ma attraverso le loro fessurazioni avvengono consistenti perdite subalvee che raggiungono le sottostanti rocce carbonatiche, nelle quali si sviluppa il carsismo nascosto (o "soggiacente") rivelato dagli esperimenti di marcatura¹⁷⁸. Anche il contermino bacino di Senossecchia è circondato dai rilievi del flysch che si mantengono ovunque più alti del margine del Carso, dove convogliano le acque di una serie di modesti corsi d'acqua. Si tratta di una morfologia residuale di un'epoca in cui la copertura arenaceo-marnosa si è presentata ovunque molto più estesa di oggi e ad una quota più elevata¹⁷⁹, determinando l'instaurarsi di un diffuso fluvio-carso o carsismo di contatto.

176. L'indizio di una probabile "marcatura naturale" è costituito dalla contaminazione di mercurio riscontrata nei materiali in sospensione e nei sedimenti del Timavo e delle sorgenti circostanti; verosimilmente è causata dalle acque provenienti dall'Isonzo, inquinato dalla secolare attività estrattiva delle miniere d'Idria. Si veda:

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (1992): *Studio integrativo per l'approfondimento delle conoscenze relative all'inquinamento da mercurio*, Seadata, Trieste, 1-12.

Per gli apporti dell'Isonzo e del Vipacco all'acquifero carsico di Brestovizza, evidenziati dallo studio degli isotopi stabili dell'ossigeno, dell'idrogeno e del carbonio, si veda:

Pezdič J., Dolenc T., Krivic P., Urbanc J. (1986): *Environmental isotope studies related to groundwater flow in the central Slovenian karst region, Yugoslavia*, 5. SUWT, Fifth Internat. Symposium on Underground Water Tracing, Athens, 91-100.

177. Bonacci O. (1987): *Karst hydrology with special reference to the dinaric karst*, Springer Verlag, Berlin, 121.

178. Gospodarič R. (1989): *Prispevek k vodogospodarskim osnovam Pivke (The contribution to water economy bases of Pivka)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 18:21-37.

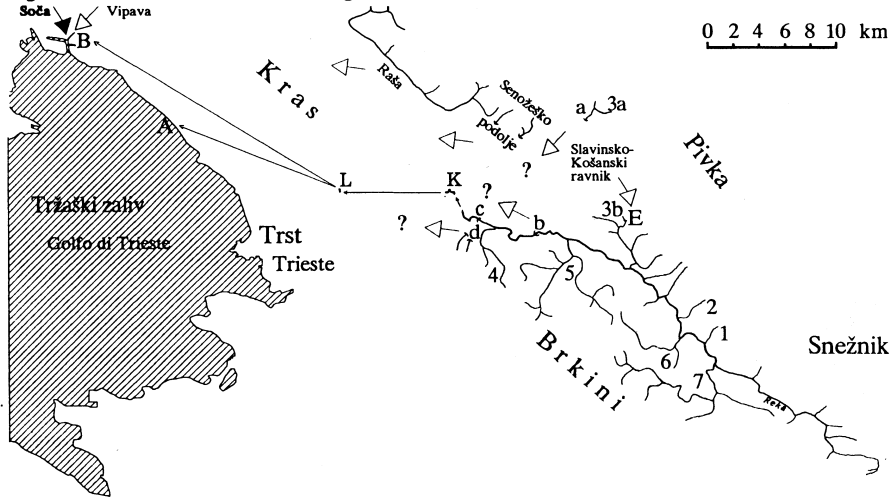
Habič P. (1990): *Spoznavanje skritega krasa s sledenjem voda (Recognition of subjacent karst by water tracing)*, "Naš Krš", Sarajevo, 16(28/29):77-84.

179. Radinja D. (1972): *Senožesko podolje*, "Geografski Zbornik", Ljubljana, 13:83-126.

Radinja D. (1974): *Matični Kras v luči širšega reliefnega razvoja, (Le Karst proprement dit è la lumiere de l'évolution plus large du relief)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 6:21-33.

Nella pagina a fronte: La rete del drenaggio superficiale del Recca e delle connessioni sotterranee del Carso; da: Rojsek D. (91). Il Recca costituisce il principale "afflusso allogeno" (infiltrazione secondaria) in un complesso sistema fluvio-carsico, nel quale la superficie del bacino imbrifero fluviale risulta pressoché uguale a quella del bacino carsico propriamente detto, alimentato dalle precipitazioni meteoriche (infiltrazione primaria). Per questo motivo può essere considerato "un caso eccezionale di carsismo di contatto"; si veda, per le ipotesi sulle varie fasi evolutive dell'inghiottitoio di S. Canziano: Gams I. (1983): Škočjanski kras kot vzorec kontaktne krasa, Mednarodni simpozij Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škočjanskih jam, Lipica 1982, Sežana, 22-26.

Fig. 1: The *Velika voda-Reka* drainage network and the *Kras* karst water junctions



KARST TRIBUTARIES:

- 1 Bistrica
- 2 Podstenjšek
- 3a Rakulšca - 3b Sušica
- 4 završka Sušica

PONOR CAVES:

- a Markov spodmol
- b Požiralnik Reke
- c Škocjanska jama
- d Mejame

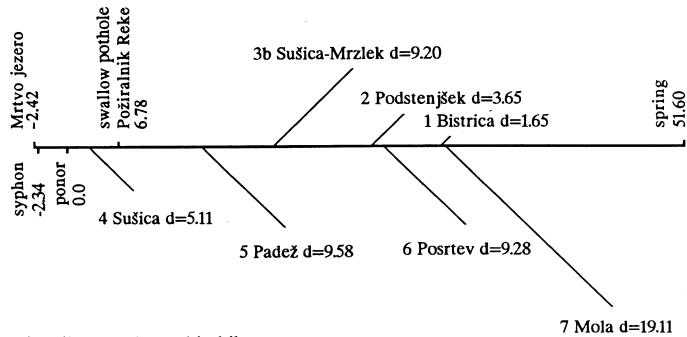
KARST SPRINGS:

- A Brojnice - Sorgenti di Aurisina - Nabrežina
- B Timav - Il Timavo

ESTAVELLE:

- E Gabranca
- WATER CAVES:**
- K Kačja jama
 - L Lobodnica - Grotta di Trebiciano

Scheme of the main channel network



d=5.11 - length of the main tributary channel in kilometres

6.78 - distance from the ponor in kilometres

Un nuovo capitolo di scoperte speleologiche

Seguendo il filo delle indagini scientifiche, abbiamo perduto di vista l'aspetto più romantico e avventuroso della ricerca — e non meno ricco di importanti risultati — quello delle esplorazioni speleologiche. Il loro vero obiettivo infatti, più o meno dichiarato, è rimasto quello di sempre: scoprire in qualche altra grotta il Timavo sotterraneo, ormai diventato un vero mito per gli speleologi triestini. Le tensioni che seguono la fine della seconda guerra mondiale li costringono a concentrare l'attività nel piccolo lembo di territorio carsico rimasto disponibile dentro il nuovo confine. Nel 1953 il Gruppo Triestino Escursionisti scopre l'abisso dei Cristalli (3960 VG), nei pressi di Gabrovizza, dopo aver forzato la stretta fessura soffiante dell'ingresso. Una successione di pozzi profonda 205 metri giunge quasi al livello dell'acqua di base (12 metri sul livello del mare), ma dal fondo argilloso l'acqua rimonta per una decina di metri soltanto in occasione delle grandi piene (15).

Il livello dell'acqua carsica viene nuovamente raggiunto nel 1967, nella grotta che oggi porta il nome di A.F. Lindner, in onore del pioniere della speleologia triestina. La cavità è conosciuta da tempo nel suo tratto iniziale, ma la sua prosecuzione viene trovata grazie all'intuizione di un solitario simpatizzante del Gruppo Grotte Carlo Debeljak, che per una fortunata circostanza si accorge di un eccezionale andirivieni di pipistrelli attraverso un piccolo pertugio¹⁸⁰. Il forzamento della strettoia porta alla scoperta, oltre una "finestra" alta, di una grandiosa galleria inclinata; una diramazione laterale porta alla galleria inferiore, che termina a metri 177,5 di profondità e a soli 2,5 sul livello del mare. Questa, normalmente asciutta, viene temporaneamente invasa dall'acqua di base, che durante le piene risale fino ad un'altezza di circa 14 metri¹⁸¹. Nella grotta Lindner viene installato nel 1972 dall'Associazione Trenta Ottobre di Trieste un impianto di registrazione automatica in continuo del livello piezometrico basato sul principio della campana idropneumatica: non si misura l'altezza dell'acqua, ma la pressione dell'aria all'interno della campana quando questa viene sommersa (30). Da queste ricerche risulta che l'innalzamento dell'acqua nella grotta non è in relazione con le precipitazioni meteoriche locali, ma con il regime idrico delle risorgive del Timavo; le piene nella grot-

180. Englandi S. (1996): *Come fu scoperta la grotta Lindner*, "El Teston de Grota - Notiziario del Gruppo Speleologico San Giusto", Trieste, 3:58-61.

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

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

ta hanno inizio con livelli superiori ai due metri del terzo ramo del Timavo e si presentano sempre in ritardo rispetto alle risorgive (38). Interessanti in proposito le registrazioni dell'estensimetro a laser installato nel 1970 dall'Università di Trieste nella galleria abbandonata dell'acquedotto provvisorio Randaccio nei pressi di Aurisina¹⁸² (poi sostituito da uno strumento meccanico) per la misura delle deformazioni della crosta terrestre. Si evidenzia una deformazione indotta dalle piene dell'acqua sotterranea¹⁸³, confermando che le onde di piena alle risorgive del Timavo sono sempre in anticipo rispetto all'inizio della piena al fondo della grotta Lindner. Del resto ancora dieci anni prima Antonio Marussi ha ipotizzato, in base alla misura delle "maree terrestri" con i pendoli orizzontali installati nella grotta Gigante¹⁸⁴, il verificarsi di un vero e proprio "basculamento" dell'altopiano del Carso in occasione delle piene del Timavo (le quali "generano un sollevamento generale del livello dinamico delle acque di fondo"). L'allagamento di cavità normalmente vuote, prossime al livello di base, determinerebbe una flessione elastica della crosta dapprima in direzione del margine sud-occidentale del Carso e successivamente in direzione opposta (est-nord-est). Queste ultime derive, che si manifestano dopo il verificarsi delle torbide, "potrebbero essere messe in relazione con il più lento defluire dell'acqua di piena dalle cavernosità esistenti nella parte più interna del Carso triestino [vallone di Brestovizza], ove il drenaggio sarebbe reso più difficile dalla minore vascolarizzazione e dalla maggiore distanza degli sfoghi naturali delle acque di fondo". Marussi ha stimato che "il tempo necessario al riempimento delle cavernosità in conseguenza delle torbide risulterebbe di 3 giorni; il tempo necessario per lo svuotamento della zona carsica marginale maggiormente vascolarizzata e più prossima agli sfoghi verso il mare sarebbe di 4-5 giorni e di 5-6 giorni per le piene maggiori; quello invece richiesto per lo smaltimento delle acque della zona più interna sarebbe invece di circa 14-16 giorni, e di 20 giorni per le piene maggiori".

Diversi gruppi speleologici intraprendono sul Carso grandi lavori nella speranza di realizzare il sogno di raggiungere il corso sotterraneo del Timavo. Nel 1968 la Commissione Grotte E. Boegan effettua onerosi scavi — senza fortuna — in due "soffiatoi" indicati ancora a metà Ottocento da Adolf Schmidl nella sua cartina: uno

182. *All'opera il laser nel cuore del Carso*, "Il Piccolo", Trieste, 15.10.1972.

183. Manzoni G., Marchesini C. (1977): *Possibili correlazioni fra piene registrate nella caverna Lindner di S. Pelagio e transienti registrati dall'estensimetro a laser di Aurisina*, "Annali del Gruppo Grotte", Associazione Trenta Ottobre, Trieste, 6:31-41.

184. Si tratta di pendoli bifilari Zöllner, con i fili superiori di sospensione lunghi 80 metri. Si veda: Marussi A. (1960): *I primi risultati ottenuti nella stazione per lo studio delle maree della verticale della Grotta Gigante*, "Bollettino di Geodesia e Scienze Affini", Firenze, 19(4):645-667.

a poca distanza dalla grotta di Trebiciano (forse la “valletta chiamata Recca” di Matteo Bilz), l'altro in una dolina nei pressi di Percedol¹⁸⁵ (segnalato nel 1832 dal “villico” Lazzaro Jerko alle autorità municipali di Trieste per il “mormorio di una forte corrente sotterranea la quale fa tremare la valletta”).

Un soddisfacente risultato viene conseguito nel 1983 dal Gruppo Speleologico S. Giusto con la scoperta dell'abisso Massimo, tra Gabrovizza e Prosecco, che giunge fino al livello del mare senza però incontrare le condotte dell'acqua carsica. Una serie di pozzi profonda 227 metri, la cui esplorazione richiede parecchi mesi di scavi, termina con due stretti pozzi paralleli che nei periodi piovosi temporaneamente si allagano, per effetto di un accumulo del tutto locale di acqua di percolazione; infatti, a differenza della grotta Lindner, si constata una risposta molto veloce tra le precipitazioni sul Carso e l'innalzamento dell'acqua al fondo della cavità (2).

* * *

L'interesse degli speleologi viene anche attratto dal carsismo di contatto della “valsecca” di Castelnuovo¹⁸⁶, considerata — come abbiamo visto — in probabile relazione con il bacino del Timavo sotterraneo. Nel 1966 il Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre inizia un ciclo di esplorazioni, in collaborazione con gli speleologi sloveni, nelle grotte attive delle valli cieche più occidentali¹⁸⁷. Si riscontra una direzione preferenziale delle gallerie verso nord-ovest, tanto da far pensare ad una confluenza dei deflussi idrici con il corso sotterraneo del Recca¹⁸⁸ (non sono ancora effettuati i nuovi e più sicuri esperimenti di marcatura che hanno confermato la direzione del drenaggio verso la valle del Risano e il golfo di Fiume). Con grandi aspettative viene riesplorato anche l'inghiottitoio di Slivje, dichiarato profondo 303 metri nel 1931 dalla Sezione speleologica del Fascio Giovanile di Combattimento di Trieste, a caccia del risultato strepitoso¹⁸⁹; il sifone terminale viene però raggiunto a soli 84 metri di profondità.

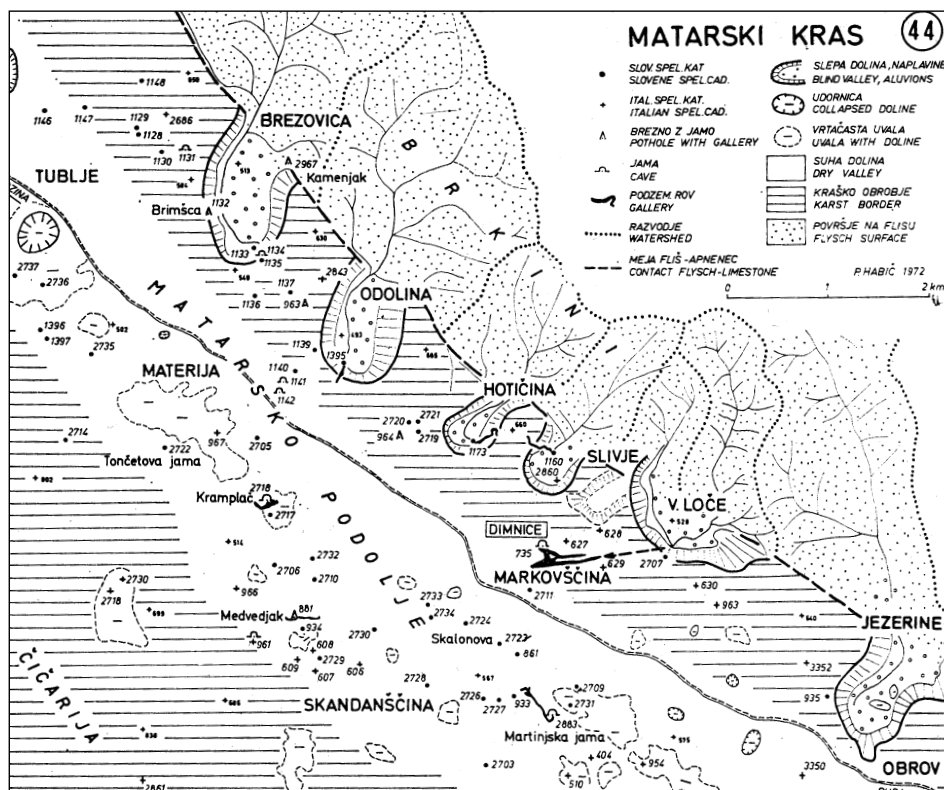
185. Marini D. (1973): *La dolina soffiante di Monrupino (Carso Triestino)*, “Mondo Sotterraneo”, Udine, 143-146.
Guidi P. (1999): *Grotta meravigliosa di Lazzaro Jerko*, “Alpi Giulie”, Trieste, 93(1): 44-50.

186. Mihevc A. (1994): *Contact Karst of Brkini Hills*, “Acta Carsologica”, Ljubljana, 23:99-109.

187. Merlak E. (1976): *L'inghiottitoio di Slivje di Castelnuovo e la situazione idrografica della zona S. Canziano - Divaccia - Valsecca di Castelnuovo*, Atti del 10. Congresso Nazionale di Speleologia, Roma 1968, “Memorie dello Speleo Club Chieti” 2:37-56.

188. Merlak E. (1983): *Nota sulle caratteristiche idrologiche della zona nord-ovest del Solco di Castelnuovo (Jugoslavia)*, Atti del 4. Convegno Speleologico Friuli Venezia Giulia, Pordenone 1979, 277-280.
Malečkar F., Morel S. (1989): *Janičja jama v luči raziskovanja podzemlja Matarskega podolja*, “Naše Jame”, Ljubljana, 26:31-38.

189. Guidi P. (1989): *La speleologia esplorativa triestina nel ventennio 1920/1940*, “Mondo Sotterraneo”, Udine, 13(1/2):73-100.



Carta del "Carso di Materija" con l'indicazione della dorsale arenaceo-marnosa dello spartiacque con la valle del Recca (Brkini) e i bacini imbriferi dei torrenti catturati nelle sei valli cieche più occidentali. Da: Gams I. (citato nella nota 94).

Dal 1969 al 1978 gli speleologi del Club Tamesis di Londra si dedicano alla grotta del Fumo nella quale superano i sifoni di entrata e di uscita e scoprono lunghe gallerie percorse dall'acqua. Con le successive esplorazioni del Gruppo Grotte Dimnice di Capodistria lo sviluppo complessivo della grotta viene portato ad oltre sei chilometri¹⁹⁰. Questo gruppo svolge un'intensa attività nella zona, verificando sistematicamente le osservazioni e i dati raccolti in precedenza¹⁹¹. Non viene riscon-

190. Malečkar F., Gospodarič R. (1982): *La geologia della grotta Dimnice (Matarsko Podolje - Slovenia)*, Atti del 5. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Trieste 1981, 243-249.

Morel S. (1989): *Povojna odkritja v Dimnicab*, "Naše Jame", Ljubljana, 31:90-93.

191. Malečkar F., Morel S. (1984): *Razvojna jamarska odkritja v Matarskem podolju*, in: Sežanski Kras, Sežana, 30-37.

trata la presenza dei corsi sotterranei segnalati da Giovanni Andrea Perko nella Tončetova e nella Skalonova jama¹⁹², neanche in periodi di forti precipitazioni. Probabilmente si tratta di un generalizzato e veloce cambiamento delle condizioni idrologiche che interessa questo fluvio-carso nel suo complesso. Infatti in tutte le valli cieche e nella valle di Bresovizza in particolare, si sono recentemente verificate diverse catture dei torrenti in cavità e punti idrovori che si sono aperti lungo gli alvei; analogamente il torrente di Cacitti ha subito nell'ultimo secolo una serie di catture progressivamente spostate verso monte¹⁹³.

Nel 1977 entra in campo la ricostituita Sezione grotte dell'Associazione Alpina Slovena (Slovensko Planinsko Društvo) di Trieste, che riesplora tutti gli inghiottitoi e le grotte attive della zona ottenendo in tal modo "una visione abbastanza chiara e unitaria dei fenomeni, il che ha permesso una serie di scoperte interessanti"¹⁹⁴. Negli inghiottitoi di Odolina e di Hotična vengono scoperti due rami nuovi, percorsi ciascuno per circa 200 metri da corsi d'acqua perenni ed indipendenti dai torrenti superficiali; l'andamento delle gallerie è suborizzontale, circa alla stessa quota di quelle della grotta del Fumo. Nei tratti sifonanti vengono trovate concrezioni sommerse, indizio di un recente ringiovanimento idrico delle cavità; inoltre la presenza di rapide, sia pur modeste, che interrompono il profilo delle lunghe gallerie, esclude la presenza di una falda idrica "di sostegno" dei corsi d'acqua sotterranei.

Gli speleologi dello Slovensko Planinsko Društvo si dedicano in seguito all'esplorazione sistematica dell'altopiano di Beca e Occisla e del suo piccolo sistema fluvio-carsico ed eseguono anche una serie di interessanti studi idrologici nella sottostante val Rosandra, per la quale non si possono escludere interconnessioni sia pur precarie con il bacino del Timavo sotterraneo, per lo meno durante le piene di quest'ultimo. Di particolare interesse sono le prove di pompaggio eseguite nell'antro delle sorgenti di Bagnoli, che dimostrano i rapporti di dipendenza fra le sorgenti vicine e consentono di calcolare l'entità del contributo dato dagli spandimenti sotterranei dell'antro alla falda della piana di Bagnoli (10-20 l/sec), in base alla portata delle pompe, alla velocità di abbassamento del livello dell'acqua e alla successiva velocità di rimonta. Come ha già osservato Eugenio Boegan a proposito delle misure di portata delle sorgenti di Aurisina, soltanto le prove di pompaggio possono dare risultati sicuri nella valutazione dei deflussi secondari di una falda carsica.

* * *

192. Malečkar F. (1983): *Skalonova jama v Matarskem podolju*, "Naše Jame", Ljubljana, 25:62.

193. Mihevc A. (1989): *Kontaktni kras pri Kačičab in ponor Mejame (Contact karst near Kačiče and ponor cave Mejame)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 18:171-195.

194. Sancin S. (1988): *Gruppo Grotte dell'Associazione Alpina Slovena di Trieste*, "Rassegna di attività della Federazione Speleologica Triestina", Trieste, 30-32.

La vera scoperta “del secolo” nelle grotte del Carso è quella effettuata nella Kačna jama dagli speleologi sloveni¹⁹⁵. Nell'estate 1972 il Gruppo speleologico di Logatec esplora in maniera sistematica il ramo orientale della grotta, al cui termine una forte corrente d'aria fa sperare in una prosecuzione. Boris Marusič raggiunge in arrampicata un passaggio alto, da dove penetra in una serie di grandi gallerie che si sviluppano ad un livello più profondo. In una successiva esplorazione, in collaborazione con l'Istituto per le ricerche carsiche di Postumia, viene raggiunto il corso di un vero e proprio fiume sotterraneo; non c'è dubbio alcuno che sia lo stesso che scompare nella grotta di S. Canziano: lo confermano non solo la portata, ma i grossi tronchi d'albero (persino il pneumatico di un camion) e le masse di schiuma trasportate dalla corrente¹⁹⁶. Lo sviluppo della cavità viene portato ad oltre nove chilometri (le esplorazioni sono tuttora in corso) con una profondità di 280 metri (65); le nuove gallerie sono scavate nella dolomia, come risulta da una — sia pur saltuaria — campionatura litologica (95).

L'acqua entra da un sifone all'estremità dello Škocjanski Kanal (canale di S. Canziano) e dopo un percorso di circa un chilometro, attraverso un sifone interno raggiunge l'Ozki Rov (galleria stretta) al cui termine defluisce dal sifone meridionale, alla quota di 156 metri sul livello del mare, in direzione di Corgnale (potrebbe, beninteso, cambiare completamente direzione pochi metri dopo il sifone). Quando la portata aumenta, l'acqua sale molto rapidamente a causa della sezione limitata dei canali di scarico ed allaga la “galleria dei dieci laghi”, da dove raggiunge con un giro più lungo l'Ozki Rov. Quando l'acqua sale ulteriormente — dopo la completa sommersione delle gallerie inferiori — invade sia il Peščeni Rov, un ramo solitamente asciutto che termina con un'enorme frana a poca distanza dal sifone di uscita, sia le gallerie Petkovšek e Zimmermann (Cimermanov Rov). Costituite da vani più larghi, queste gallerie terminano nel sifone settentrionale attraverso il quale le acque si scaricano in direzione di Povir; si tratta dunque di un fenomeno di “cattura” sotterranea verso sud, da parte di canalizzazioni più recenti ma anche meno ampie. Il sifone settentrionale è situato a quota 178, soltanto due metri più in

195. Per la polemica sull'esclusione degli speleologi triestini dalle ricerche, già avviate in collaborazione, si veda:

Tarabocchia G. (1975): *Contributo sulla migliore conoscenza del corso ipogeo del Timavo alla luce delle recenti scoperte dell'Abisso dei Serpenti*, Atti del 1. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Trieste 1973, 176-178.

D.Z.R.J.L. (1984): *Delež Gruppo Speleologica San Giusto pri odkrivanju Reke v Kačji jami*, “Naše Jame”, Ljubljana, 26:105-106.

196. Mihevc A. (1983): *Onesnaževanje Kačne jame (The Kačna jama Pollution)*, Mednarodni simpozij Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, Lipica 1982, Sezana, 57-59.

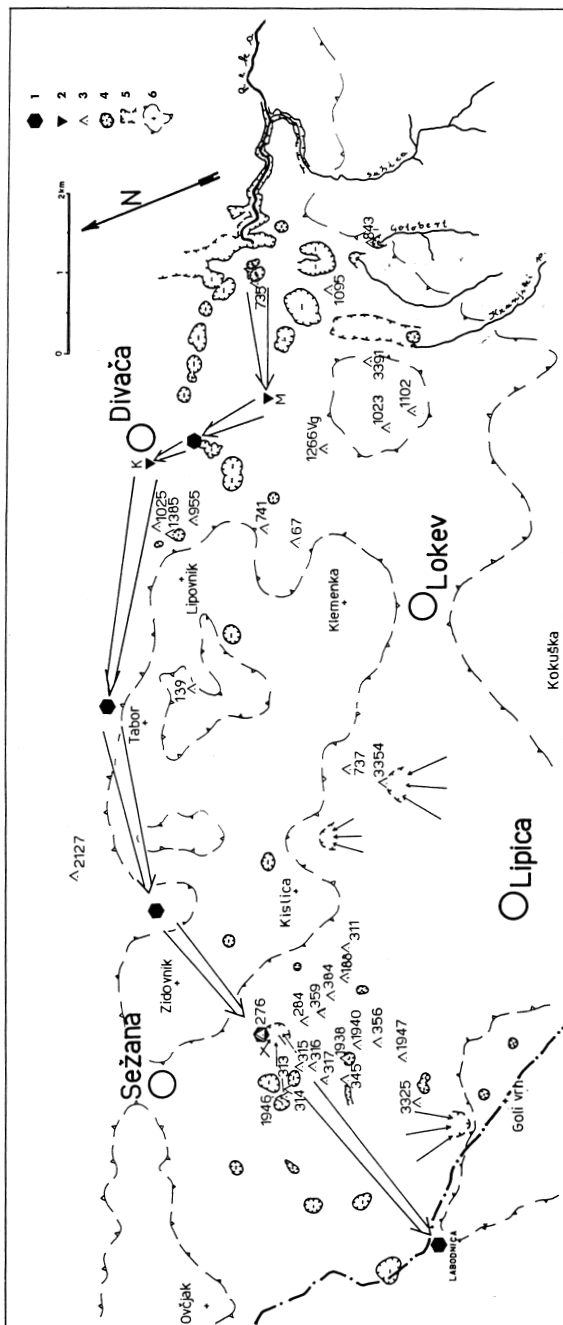
basso del sifone di entrata ma con diverse contropendenze intermedie. A differenza di S. Canziano, in queste gallerie l'acqua calma, in alcuni tratti immobile, sembra aver raggiunto una fase di equilibrio e di deiezione fluviale, ma è ipotizzabile l'esistenza di un ulteriore livello di gallerie più profonde, perennemente allagate ed inaccessibili all'indagine diretta. Nelle gallerie finora esplorate il corso sotterraneo si trova evidentemente — come nelle grotte di S. Canziano — in condizioni di “sospensione”; il lago Morto di S. Canziano non può dunque costituire il bacino di carico del sistema idrografico, come ipotizzato dai vecchi autori.

Il punto più profondo della Kačna jama si trova nella parte vecchia della grotta, chiamata “sala del Recca” da Giuseppe Marinitsch che ha riscontrato nell'ottobre 1895 un innalzamento dell'acqua di 60 metri. Forzata una fessura, gli speleologi di Capodistria hanno scoperto una breve galleria percorsa da un affluente sotterraneo, che però con il Recca non ha in realtà niente a che fare. Attualmente un nuovo ciclo di esplorazioni “contro corrente” tende al congiungimento della Kačna jama con la grotta di S. Canziano, dopo aver trovato, oltre il sifone dell'Ogabno jezero (lago Disgustoso), una prosecuzione che consente di raggiungere il canale principale a monte del sifone di entrata. La distanza tra i punti estremi raggiunti non supera oggi un chilometro in linea d'aria.

* * *

In seguito a queste scoperte, il percorso sotterraneo del Recca torna ad essere un argomento di attualità. Secondo France Šušteršič¹⁹⁷ il ramo principale dovrebbe descrivere un'ampia curva verso nord, da Divaccia ai pressi di Sesana, toccando gli “sfiatatoi” di Povir già menzionati da Antonio Polley e da Eugenio Boegan. Dalle pendici meridionali del monte Zidovnik dovrebbe poi dirigersi verso la grotta di Trebiciano passando sotto la “Jama v Kaniaducuh” (conosciuta un tempo come Konjedovce, nella quale gli speleologi di Sesana hanno eseguito faticosi lavori senza però superare gli 80 metri di profondità), che soffia o aspira anch'essa col crescere o decrescere dell'acqua sotterranea. L'ipotesi sembra trovare conferma nelle esalazioni maleodoranti emesse dagli sfiatatoi durante le piene del Recca sotterraneo inquinato (49). Questo dovrebbe dunque seguire un percorso spostato verso nord di cinque chilometri rispetto a quello immaginato a suo tempo da Schmidl e da Boegan, passante per Corgnale e Lippiza in direzione della grotta di Trebiciano.

197. Šušteršič F. (1972): *Med Škocjanom in Labodnico*, “Proteus”, Ljubljana, 35(5):212-215, 239, 35(6):281-287, 35(7):320-322.



Il presunto corso sotterraneo del Recca da S. Canziano alla grotta di Trebiciano; da: Šusteršič F. (citato nella nota 197).

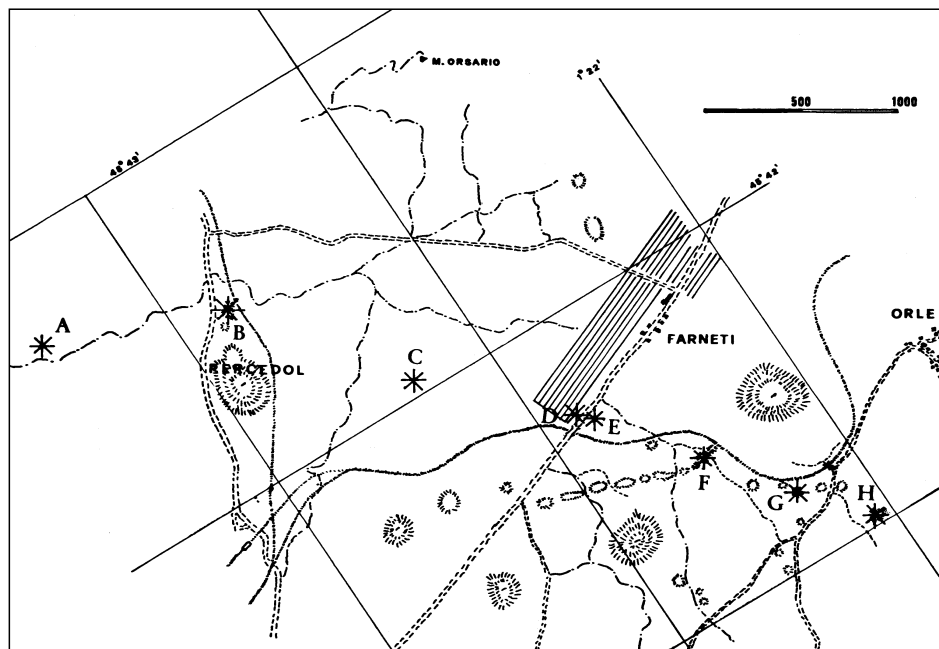
Legenda:

1. sfiatatoio;
2. posizione certa del Recca sotterraneo (M = lago Morto, K = Kačna jama);
3. grotta;
4. dolina di crollo;
5. fronte di valle cieca e morfologie simili;
6. catena di colline.

Labodnica è il nome sloveno della grotta di Trebiciano.

Sotto, l'elenco delle grotte segnate sulla cartina, con il numero del catasto speleologico sloveno.

- 67 Trhlovca
- 139 Jama na Konjičih
- 188 Križmančičeva jama
- 276 Jama v Kanjaducah
- 284 Čebulceva jama
- 311 Lipiška jama
- 313 Jama I v Sežanskem dolu
- 314 Koblarska jama
- 315 Brundlova jama
- 316 Škamprlova jama
- 317 Ukmarjeva jama
- 345 Jama pri Ukmarjevem dolu
- 356 Jama na Trebanjskem
- 359 Rebčeva jama
- 384 Jama v p. pri Ogradi
- 735 Škocjanske jame
- 737 Vilenica
- 741 Divaška jama
- 843 Medjamah
- 955 Kačja jama
- 1023 Jama pod Gougam
- 1025 Košava jama
- 1095 Jama na Prevali
- 1102 Jama nad Škrinjarco
- 1382 Jama v Bukovniku
- 1938 Brezno v Ukmarjevem dolu
- 1940 Jama na Gropajskem
- 1946 Jama II v Sežanskem dolu
- 1947 Golokratna jama
- 2127 Podjunčna jama
- 3325 Jama v Golokračini
- 3354 Ribošca jama
- 3391 Pečica
- 1266 VG Globoka jama



A - Cava vecchia; B - Grotta meravigliosa di Lazzaro Jerko; C - Pozzo della volpe; D - 87;
E - Grotta decapitata; F - Dolina delle cloce; G - Scavo de sette nani; H - Hrovatinova Jama.

Cartina degli "sfiatatoi" sul presunto corso sotterraneo del Timavo, con la didascalia originale; da: Marini D. (citato nella nota 198). I punti segnati da Adolf Schmidl nel 1851 sono A, B, D e G. Il punto H è la grotta di Trebiciano; il punto G è probabilmente la "valletta chiamata Recca" delle antiche tradizioni (si veda: Galli M. citato nella nota 24, tav. 27); per i punti D - E si veda: Boegan E. (1899): Pozzo presso il casello ferroviario di Fernetich, "Alpi Giulie", Trieste, 4(4):50.

Gli indizi del corso sotterraneo del Timavo in territorio italiano vengono segnalati in una nota di Dario Marini, che ne indica le posizioni nella zona compresa fra la grotta di Trebiciano e Rupingrande¹⁹⁸. Nella mappa sono riportati i quattro fori soffianti della "storica" cartina di Adolf Schmidl (riprodotta anch'essa, o meglio una sua copia parzialmente modificata) e ne sono aggiunti altri tre, tutti situati lungo il medesimo allineamento da sud-est a nord-ovest. Tra questi è compreso anche il profondo pozzo della Volpe (155 VG), nel quale viene segnalata nel marzo 1954 — dopo alcuni giorni di pioggia — una forte corrente d'aria che esce "a 140 m di profondità da una fessura sulla parete, alla quale non era possibile accostare la scala"¹⁹⁹.

198. Marini D. (1980): *Plesiocriptoscopia tra politica e scienza*, "Progressione", Trieste, 6:2-4.

199. Pipan L. (1956): *Ricerche preliminari di meteorologia ipogea nelle grotte del Carso Triestino*, Atti del 6. Congresso Nazionale di Speleologia, Trieste 1954, 225-261.

Novità di grande interesse si registrano anche nel comprensorio di S. Canziano. Nei pressi di Vreme, circa 6 chilometri a monte della grotta, dove il Recca comincia a scorrere sul calcare, nel settembre 1982 si apre improvvisamente al centro dell'alveo una larga voragine (circa metri 10x6), nella quale scompare l'intero fiume — peraltro in stato di magra — per una ventina di giorni. La grotta di S. Canziano, come pure le nuove gallerie della Kačna jama, rimangono a secco, a parte un rigagnolo di acqua di percolazione; in quest'ultima grotta si constata un abbassamento del livello dell'acqua di circa tre metri ed il sifone terminale dell'Ozki Rov diventa accessibile, sia pure ingombro di tronchi, per una cinquantina di metri. La voragine dell'inghiottitoio di Vreme, nella quale sono franate grandi quantità di detriti, può essere esplorata soltanto fino alla profondità di una trentina di metri; sopravvenuta una piena, altrettanto improvvisamente la cavità viene ostruita e il Recca riprende a defluire lungo il suo solito corso, attraverso la grotta di S. Canziano (19). Da allora però frequentemente, nei mesi estivi, la "cattura" del Recca si ripete²⁰⁰.

Le perdite del Recca nel suo percorso sul calcare, da sempre conosciute, sono oggi valutate a circa un metro cubo al secondo. In passato, in quel tratto di alveo i proprietari dei mulini hanno dovuto spesso otturare i punti idrovori con ingegnosi sistemi di grossi cunei di legno e travi²⁰¹, ma nonostante ciò in varie occasioni il Recca è rimasto completamente asciutto: "nell'anno 1828 verso la fine di agosto lo si transitava a piedi asciutti presso i mulini di Nacla, prossimi alle voragini assorbenti ... e non diverso si fu il caso nei mesi di luglio, settembre e ottobre dell'anno 1834. L'identico caso si verificò anche nel settembre 1865 e nel giugno 1868 ed è sommamente probabile che siasi ripetuto altre volte ancora, ma non essendone stati fatti appositi rilievi ... non se ne potrebbe avere la voluta certezza"²⁰². Anche nel 1928 l'improvvisa apertura di un inghiottitoio all'altezza della chiesa di S. Maria, provoca la scomparsa di "gran parte dell'acqua del fiume, allora in periodo di magra" (10). Sembra sia il medesimo punto idrovoro utilizzato a suo tempo da Guido Timeus per l'immissione del cloruro di cesio, allo scopo di verificare se l'acqua delle perdite ricompaia più a valle nella grotta di S. Canziano (l'esito è stato però negativo, a conferma che queste acque raggiungono le risorgive del Timavo seguendo un percorso tuttora ignoto).

200. Halupca A. (1992): *Il Timavo temporaneo di Vreme*, "Bollettino della Società Adriatica di Speleologia", Trieste 1980/1992, 38-41.

201. Cuscito G., Dolce S., Foscan L., Forti F., Habe F., Halupca E., Leben F., Stoch F., Ursic B. e M. (1990): *Il Timavo, immagini, storia, ecologia di un fiume carsico*, Ed. B. & M. Fachin, Trieste, 233.

202. Consiglio comunale di Trieste, Allegato al resoconto stenografico della quinta seduta pubblica del dì 28 febbraio 1873, Trieste, 22.

Nel 1986 la grotta di S. Canziano viene inclusa nell'elenco del patrimonio naturalistico mondiale dell'UNESCO, a condizione di risanare la qualità dell'acqua del Recca, progressivamente inquinata negli ultimi venti anni. Un parziale miglioramento, evidenziato dalla riduzione della "domanda di ossigeno"²⁰³, viene ottenuto con l'adozione di pretrattamenti delle acque di scarico industriale e la conversione del sistema produttivo della fabbrica di truciolare Lesonit, ma l'inquinamento rimane sempre troppo elevato per i processi di autodepurazione. Appena con la chiusura nell'autunno 1990 della fabbrica di acidi organici (TOK - Tovarna organiških kislin) si ottiene un effettivo risanamento, anche se intanto sono aumentati gli inquinanti di origine agricola e antropica²⁰⁴. Per assicurare un costante ricambio d'acqua e la pulizia della grotta di S. Canziano, nei periodi di secca viene scaricato nell'alveo del Recca un quantitativo d'acqua di un metro cubo al secondo dai laghi artificiali dei bacini Mola e Klivnik.

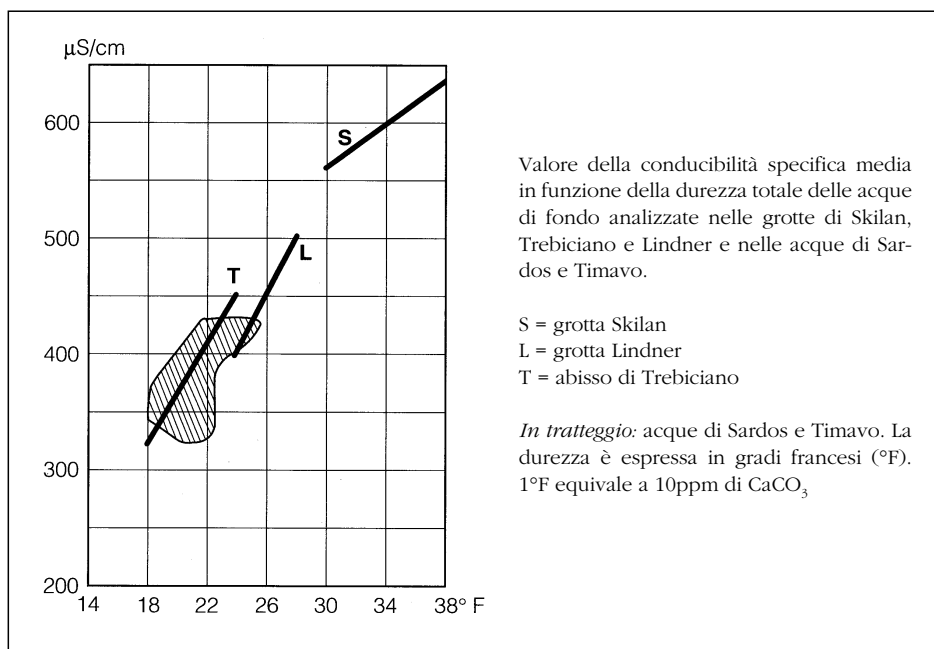
Vengono anche effettuati specifici studi sulle modalità della percolazione degli inquinanti attraverso la roccia calcarea, ottenendo risultati enormemente variabili e legati — come per tutti gli altri aspetti del carsismo — alle condizioni del luogo e del momento. La velocità di percolazione attraverso 100 metri di roccia può variare, ad esempio, da un'ora a molti mesi.

Nell'ambiente speleologico triestino ormai si è radicata la convinzione che a valle della grotta di Trebiciano non sia possibile raggiungere il Timavo in vani a pelo libero di una certa estensione. Le ricerche pertanto si concentrano "a monte", dove — nei pressi di Basovizza — nel 1991 il sempre attivo Gruppo Grotte Carlo Debeljak coglie un risultato esplorativo di importanza eccezionale. Forzata una stretta fessura d'ingresso e vuotato dall'argilla un successivo cunicolo orizzontale lungo 40 metri, agli speleologi si presenta una grotta di proporzioni grandiose. Un pozzo interno profondo 140 metri conduce in un sistema di enormi gallerie, per uno sviluppo complessivo di oltre 6 chilometri. La grotta, intitolata a Claudio Skilan, è la più grande del Carso triestino e raggiunge oggi la profondità di 378 metri, a soltanto tre metri sul livello del mare. La scoperta premia la tenacia del gruppo grotte che si è impegnato nei più gravosi lavori di scavo realizzati sul Carso triestino; tra questi va ricordata la riapertura della grotta dei Morti nel 1958, effettuata in sei mesi di la-

203. Mejač B., Roš M., Dular M., Rejic M., Ponikvar-Zorko P. (1983): *Onesnaževanje Notraniske Reke (Pollution of the River Notraniska Reka)*, Mednarodni simpozij Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, Lipica 1982, Sežana, 48-51.

204. Kogovšek J. (1995): *Some examples of the Karst water pollution*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 24:305-312.

Grbovič J., Kosi G., Krušnik C., Saradjen J. (1996): *Water rehabilitation plan of the Timav River Basin*, Hydrometeorological Institute of Slovenia, Ljubljana, 1-34.



L'acqua di fondo della grotta Lindner, a differenza di quella della grotta di Trebiciano, è soltanto in parte identificabile con le acque di Sardos e Timavo; non lo è per niente l'acqua della grotta Skilan (bacini del "vecchio fondo" a -346). Da: Merlak E. (1998): La misura della conducibilità elettrolitica nello studio delle acque del Carso Triestino, "Annali del Gruppo Grotte", Associazione Trenta Ottobre, Trieste, 10: 77-92.

voro con la rimozione di 82 tonnellate di materiale detritico²⁰⁵. La certezza di aver trovato nella grotta Skilan un'altra "finestra" sul corso sotterraneo del Timavo viene però delusa: al termine di una galleria fangosa che porta segni evidenti del rimontare dell'acqua, si raggiungono a 346 metri di profondità due bacini di acqua stagnante le cui caratteristiche chimiche ed isotopiche fanno escludere un collegamento diretto con il sistema idrico alimentato dal Recca. Peraltro la presenza di organismi viventi, a differenza delle pozze di acqua di stillicidio, completamente azoiche, delle gallerie più alte, confermerebbe un collegamento almeno saltuario con la circolazione profonda del Carso. Rispetto alla grotta di Trebiciano, nella grotta Skilan (come pure nella grotta Lindner) l'acqua presenta una maggiore concen-

205. Ferlatti C. (1992): *Una grotta per "el Furlàn"*, "Speleologia - Rivista della Società Speleologica Italiana", Milano, 27:4-10.

trazione di sali e una composizione più costante, con minori variazioni nel tempo; sul fondo di queste cavità si raccoglierebbero “acque di percolazione locali che successivamente si immettono nella circolazione idrica del Carso Triestino”²⁰⁶; l’acqua montante durante le piene è quella che si accumula nella massa calcarea circostante e che viene sollevata dalla trasmissione della pressione idraulica propagatasi attraverso l’acquifero.

Nel 1997 viene scoperta una nuova diramazione (galleria Hanke) nella quale sprofonda un pozzo di 110 metri che immette nella parte più profonda della cavità, completamente allagata nei periodi di piena, quando l’acqua rimonta per 60 metri di altezza; lo stesso fenomeno riscontrato a fine Ottocento nella “sala del Recca” della Kačna jama. Le morfologie erosive nel deposito di argilla alla base del grande pozzo, a 40 metri di altezza dal punto più profondo, testimoniano la violenta azione del deflusso dell’acqua. Per il momento però non si sono ancora effettuate campionature idrochimiche in questa diramazione.

* * *

La speranza di aprire un’altra “finestra” sul corso sotterraneo del Timavo si riaccende oggi grazie ai risultati raggiunti dalla Commissione Grotte E. Boegan nella grotta intitolata a Lazzaro Jerko, nei pressi di Percedol, della quale si è già accennato in precedenza. Dopo trent’anni, le medesime persone che li avevano iniziati, hanno ripreso i lavori, che si sono rivelati i più impegnativi mai effettuati nella nostra zona. Dopo aver seguito diverse false strade nell’ammasso caotico di blocchi di roccia che costituisce il collo d’imbuto dell’asse della dolina, profondo più di 80 metri, lo scavo attualmente (estate 1999) è sbocato in una grotta vera e propria nella quale si sono superati i 260 metri di profondità, sempre con l’incoraggiante guida della corrente d’aria che si sprigiona in occasione delle piene. Mancano dunque meno di 30 metri per raggiungere il livello normale dell’acqua carsica, circa 3500 metri a valle della grotta di Trebiciano (senza voler ammettere a priori, naturalmente, una connessione idrologica fra le due cavità).

206. Flora O., Gemiti F. (1994): *Indagine chimica e isotopica sulle acque*, in: La Grotta Claudio Skilan VG 5720 - prime indagini scientifiche sul complesso ipogeo, Trieste, 20-24.

Importanti risultati della speleologia subacquea

Osservazioni importantissime per la conoscenza dell'idrologia sotterranea del Carso provengono dall'indagine diretta nella sua espressione tecnicamente più difficile e pericolosa, condotta al limite estremo dell'ardimento: l'esplorazione subacquea delle risorgive del Timavo. Ancora negli anni Cinquanta vengono risalite per un centinaio di metri le gallerie di sbocco del primo e terzo ramo, nel quale Giorgio Cobol raggiunge nel 1968 la lunghezza di 168 metri (allora record mondiale di immersione in grotta). Esplorazioni di dettaglio vengono continuate negli anni seguenti, in particolare nel labirinto di entrata del terzo ramo²⁰⁷, che viene rilevato accuratamente nel 1979 dalla Sezione geo-speleologica della Società Adriatica di Scienze²⁰⁸.

Nel 1980 la squadra subacquea della Federazione francese di studi e sport sottomarini di Marsiglia, coordinata da Claude Touloumdjian, risale il primo e il terzo ramo per 350 e rispettivamente 270 metri, alla profondità massima di 40. L'anno dopo l'esplorazione viene spinta a 60 metri di profondità, in un'enorme vano allagato (la "grande frattura") di cui non si riescono a vedere le pareti. Un'ordinanza della Prefettura di Trieste vieta ulteriori immersioni fino al novembre 1988²⁰⁹, quando lo svizzero Jean Jacques Bolanz ottiene il permesso di riprendere le esplorazioni; dalla "grande frattura" prosegue risalendo una conoide detritica ed emerge in una caverna a pelo libero: si tratta della grotta del Lago (4583 VG), una cavità diventata accessibile accidentalmente nel 1971 dopo il crollo della volta causato da una mina (lo scandaglio è sceso allora nell'acqua per 44 metri)²¹⁰. Lo sviluppo complessivo delle gallerie sommerse — rilevate l'anno successivo dall'équipe cecoslovacca di Michael Piškula — raggiunge i 1000 metri di lunghezza: l'esplorazione completa del "delta sotterraneo" del Timavo diventa ora un obiettivo ambito dagli speleosub di diversi Paesi europei. Gli speleologi locali, che non possiedono una tecnica adeguata per effettuare in sicurezza immersioni in grotta a grande profondità, si fanno promotori del "Progetto Timavo", per coordinare le ricerche in un articolato piano di collaborazione internazionale. Con immersioni rischiosissime nel 1990

207. Priolo G. (1971): *Esplorazioni subacquee a Duino*, "Alpi Giulie", Trieste, 66:114-115.

208. Crevatin G., Longo L. (1983): *Note preliminari sull'esplorazione della terza risorgiva del fiume Timavo*, Atti del 4. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Pordenone 1979, 23-26.

209. Fabbricatore A. (1989): *Un fiume misterioso - il Timavo*, "Speleologia - Rivista della Società Speleologica Italiana", Milano, 20:61; id. (1994): *Progetto Timavo*, "Speleologia - Rivista della Società Speleologica Italiana", Milano, 30:99-100.

210. Marini D. (1972): *Grotte della Venezia Giulia (dal n. 4543 al n. 4667 VG)*, Supplemento di Atti e Memorie 10/1971, 1-28.

viene seguita la “grande frattura”, che presenta pareti concrezionate e colonne stalagmitiche — indizio certo di un’antica circolazione a pelo libero in quegli enormi vani — fino a raggiungere il pozzo dei Colombi (227 VG). Da questo nel 1991 e nel 92 Frederic Bernard risale controcorrente una grande galleria per oltre 200 metri in direzione nord, toccando gli 82 metri di profondità²¹¹. L’operazione viene conclusa nel 1993 con il sistematico rilevamento delle gallerie sommerse; lo sviluppo complessivo cartografato è di quasi due chilometri (48).

Le risorgive del Timavo non sono dunque un insieme di spandimenti che sgorgano dalle fessure della roccia — ipotesi dei vecchi autori — oppure un reticolo di gallerie sommerse superficiali, come è sembrato ai primi esploratori subacquei, ma davvero “il residuo di un’imponente costruzione del carsismo” immaginato da Ferruccio Mosetti trent’anni prima. Attualmente l’acqua sotterranea è dunque costretta a traboccare al di sopra del tampone alluvionale che ne ha ostruito gli sbocchi, depositato lungo la costa dalle acque del Tagliamento, dell’Isonzo e dello stesso Timavo, in seguito al recentissimo — alla scala dei tempi geologici — innalzamento del livello del mare Adriatico²¹².

Nel 1990 vengono riprese le esplorazioni subacquee anche nel sifone di entrata della grotta di Trebiciano, dove si esaminano nel dettaglio, per quanto consente la visibilità limitatissima, le pareti della galleria sommersa e vengono individuate nuove possibilità di prosecuzione. Il sifone si rivela “ben più largo e complesso di quanto osservato nelle precedenti visite”²¹³. Nel 1993 intervengono i subacquei francesi che percorrono in una diramazione laterale, parallela al sifone conosciuto,

211. Cucchi F. (1994): *Geologia dell’area di San Giovanni al Timavo*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, 31/1992-93:49-58.

Gauche B. (1994): *The Timavo project*, “U.I.S. Cave Diving Magazine”, Gorizia, 6:40-45.

212. Per le variazioni del livello e delle coste del mare Adriatico, si veda:

Mosetti F., D’Ambrosi C. (1964): *L’oleodotto Trieste-Austria-Baviera ed il problema del suo terminal*, “Adriatico”, Trieste, (11/12):11-14.

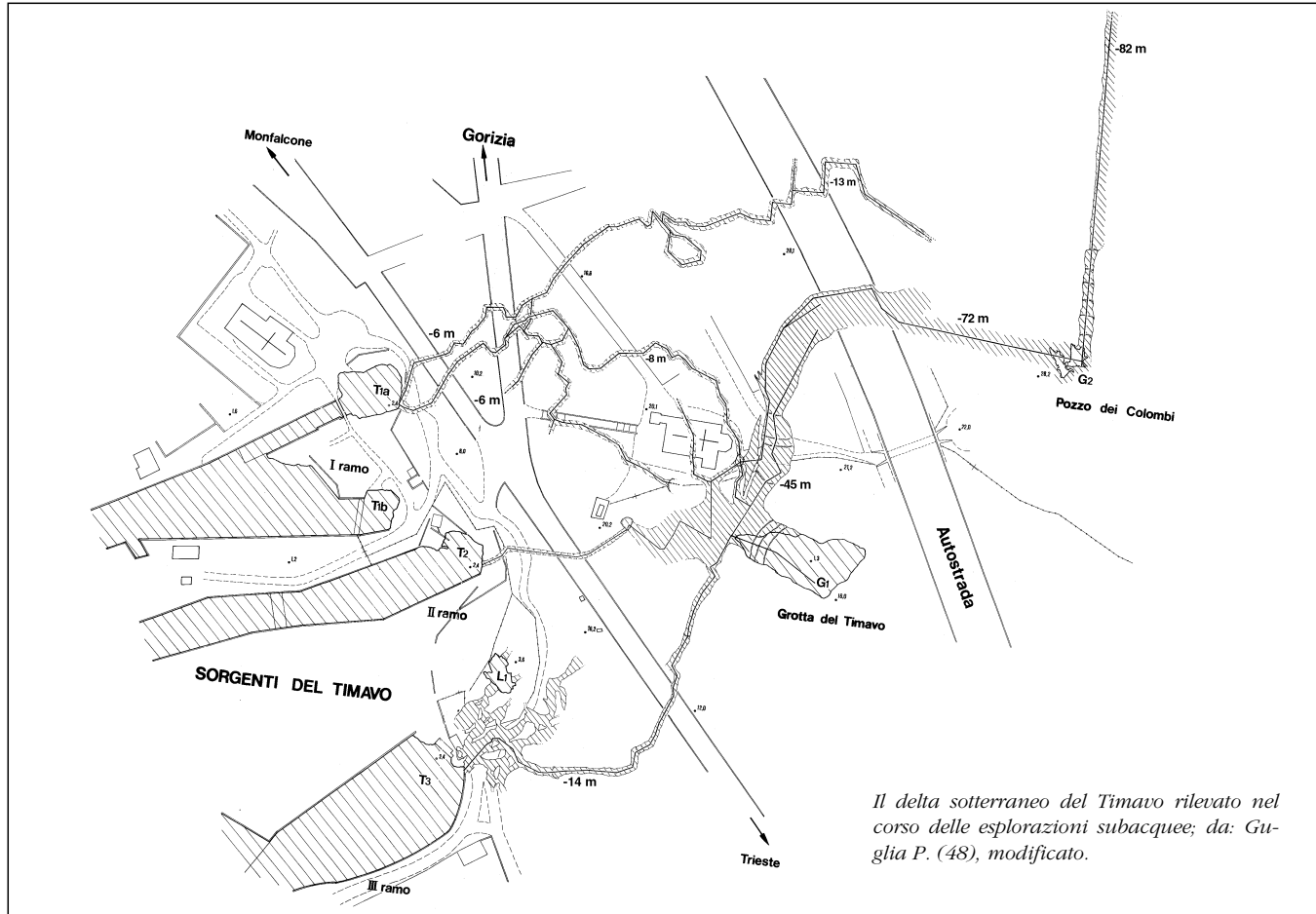
Mosetti F., D’Ambrosi C. (1967): *Cenni sulle vicissitudini costiere dell’Alto Adriatico dedotte dall’attuale morfologia del fondo marino*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 6/1966:19-31.

Šegota T. (1968): *Morska razina u holocenu i mladem Würmu*, “Geografski Glasnik”, Zagreb, 30:15-39.

Albrecht P., Mosetti F. (1989): *Karst evolution and sea level*, “Memorie della Società Geologica Italiana”, 40/1987:383-387.

Marocco R. (1990): *Lineamenti geomorfologici della costa e dei fondali del Golfo di Trieste e considerazioni sulla loro evoluzione tardo-quadernaria*, “International Journal of Speleology”, Trieste, 18/1989(3-4):87-110

213. Guglia P. (1992): *Risorgive di San Giovanni - nuovi risultati esplorativi*, “Progressione”, Trieste, 27:49-50.



oltre 400 metri di vani inesplorati, a una ventina di metri di profondità. Le condizioni di visibilità nel sifone non permettono però di verificare se si tratti di un'unica larghissima galleria, frazionata da blocchi franati e da lame di roccia che la dividono in più vani adiacenti, oppure da un vero e proprio reticolo di canali paralleli.

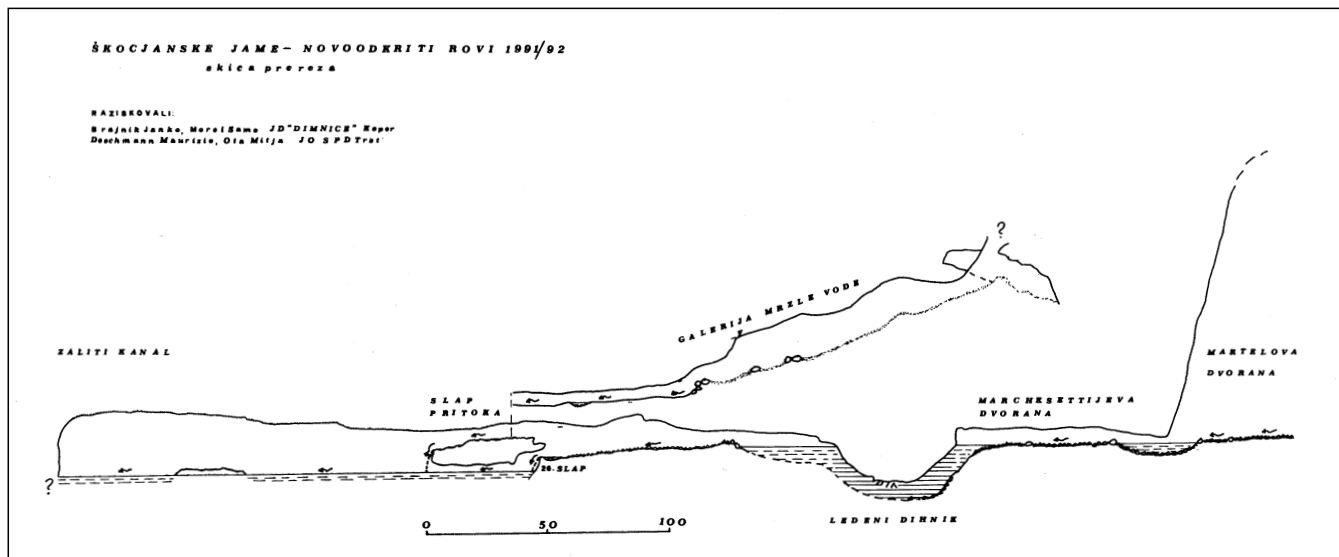
Dopo la chiusura dell'industria di acidi organici nell'alta valle del Recca, avvenuta nel 1990, in breve tempo nella grotta di S. Canziano le acque ritornano pulite e scompaiono gli ammassi di schiume. Si decide allora di tentare l'esplorazione del sifone di uscita ed allo scopo viene ripristinato il percorso attrezzato in parete ("via ferrata Hanke"), per poter raggiungere agevolmente la caverna terminale con tutti i materiali necessari. Il 15 settembre 1991 Janko Brajnik e Samo Morel, speleosubacquei del Gruppo grotte Dimnice di Capodistria, riescono a superare una galleria sommersa lunga sessanta metri, ad una ventina di metri di profondità²¹⁴; si immergono nel lago Marchesetti, meno ingombro di legname marcescente che non il lago Morto (ma anche in quest'ultimo gorgogliano le bolle d'aria dei loro respiratori, segno che è in comunicazione anch'esso con la galleria del sifone). È questo l'inizio di una serie di esplorazioni subacquee compiute dagli speleologi sloveni, cui collaborano attivamente i membri della Sezione speleologica dell'Associazione Alpina Slovena di Trieste.

Si tenta dapprima di approfittare del basso livello del fiume durante le secche invernali, ma con una temperatura dell'acqua di 1.5 gradi si deve constatare che gli erogatori congelano e diventa impossibile l'impiego dei respiratori ad aria compressa. Le temperature estremamente basse dell'acqua del Recca nei mesi invernali sono del resto cosa nota. Guido Timeus ha riportato due interessanti citazioni in proposito, una di Adolf Schmidl, che osserva nella grotta di Trebiciano "in una misurazione, eseguita in una torbida, una temperatura dell'acqua di 3.7 C, mentre in quel periodo il Recca aveva una temperatura di 0.7"²¹⁵, l'altra di Giuseppe Marinitsch, che il 16 gennaio 1900 riscontra nel lago Martel una temperatura di 0.5 gradi (aria + 3.4) (96). Anche nella serie di 1012 misure termometriche effettuate da Eugenio Boegan nella grotta di Trebiciano (anni 1913-1916), ne risultano sei con temperatura da 4 a 5 gradi e ben 123 con temperatura da 5 a 7 gradi. Inoltre le misurazioni in continuo nella grotta di S. Canziano hanno evidenziato nel periodo

214. La relazione di Samo Morel viene pubblicata a Trieste, tradotta in lingua italiana, con qualche mese di anticipo rispetto alla versione in lingua slovena (66) e questo provoca in Slovenia una reazione risentita; si veda:

Kranjc A. (1992): *Zadnji "veliki problem" Škocjanskib Jam po sto letih rešeni*, "Naše Jame", Ljubljana, 34:149-151.

215. Consiglio Comunale di Trieste, Seduta pubblica del 13.8.1912, 23.



Le nuove gallerie esplorate oltre il sifone della grotta di S. Canziano. Alla 26.a cascata ricompare il fondo in roccia viva della galleria, non più coperto da materiale alluvionale e detritico come nel tratto a monte del sifone. Da: Morel S. (66).

gennaio-marzo 1995 ben quattro giornate con la temperatura dell'acqua inferiore a un grado. Una vera e propria "onda marcata" di acqua gelida attraversa dunque l'altopiano del Carso quando le nevi si sciolgono nel bacino del Recca.

Alla conclusione dei lavori nella grotta di S. Canziano, i risultati esplorativi sono importanti: il rilievo di circa 600 metri di nuove gallerie e soprattutto l'acquisizione di elementi di grande interesse per la conoscenza dell'evoluzione della cavità. Oltre il sifone viene superata una frana alta circa sette metri, la cui presenza spiega l'innalzamento dell'acqua nel lago Marchesetti anche con modesti aumenti di portata. La galleria continua fino ad una cascata (la 26.a dall'ingresso) e prosegue nel "canale allagato" con dimensioni enormi, più di trenta metri di altezza per quindici di larghezza, fino ad un nuovo sifone terminale, distante 300 metri in linea d'aria dal lago Marchesetti e complessivamente oltre due chilometri dall'ingresso del Recca nella grande voragine. Da una diramazione laterale, riccamente concrezionata, confluisce nel lago sottostante un piccolo corso d'acqua "sospeso", che sgorga dalla base di una grossa frana²¹⁶; la galleria, in leggera salita, diventa di grandi dimensioni e termina in un'ampia sala alla base di un camino, a circa 50 metri di altezza sul livello del fiume. La genesi di questa diramazione viene attribuita ad un antico corso del Recca, che si sarebbe dovuto aprire una strada alternativa per aggirare l'occlusione di sedimenti quando questi — durante le glaciazioni²¹⁷ — hanno riempito completamente il canyon sotterraneo fino alla caverna Martel, costringendo l'acqua a scavarne la volta in modo antigravitazionale (come si osserva nel canale Hanke).

Gli studi attuali

Un risveglio d'interesse per l'idrogeologia del Carso si riscontra anche nell'attività di ricerca dell'Università di Trieste; convergono l'interesse scientifico per una conoscenza sempre più approfondita del fenomeno e le esigenze tecniche della sperimentazione di nuove metodiche e di nuove strumentazioni, in un eccezionale laboratorio naturale alle porte di casa.

216. *San Canziano, svelato un mistero*, di S. Sancin, "Trieste Oggi", Trieste, 3.10.1991; *Grotte di S. Canziano, ecco un nuovo fiume*, di S. Sancin, "Trieste Oggi", Trieste, 2.11.1991.

217. Radinja D. (1967): *Vremška dolina in Divaški Kras (La vallée de Vreme et le karst de Divača - Problèmes de la morphogénèse karstique)*, "Geografski Zbornik", Ljubljana, 10:157-256.
Gospodarič R. (1984): *Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskib Jam (Cave sediments and Škocjanske jame speleogenesis)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 12/1983:29-48.

Nuovi studi sulla composizione isotopica naturale delle acque carsiche vengono coordinati da Antonio Longinelli, direttore del Laboratorio di geochimica isotopica dell'Istituto di Mineralogia (33). Basato sui rapporti degli isotopi dell'ossigeno di massa atomica 18 e 16, questo metodo evidenzia un'inversione estiva dei valori isotopici (se comparati con quelli di una sorgente normale); l'ossigeno 18 è infatti presente in quantità maggiore — di norma — nelle piogge estive o cadute al livello del mare, minore nelle piogge invernali o cadute in zone di montagna. Il fatto che nelle risorgive del Timavo i valori più alti del rapporto O^{18}/O^{16} vengano registrati nella stagione invernale, anziché d'estate, rivela un ciclo stagionale della miscelazione di acque provenienti da riserve idriche diverse, una riferibile al bacino del Carso triestino, l'altra ad aree più elevate ed interne. Nella stagione invernale, a piovosità elevata e conseguente elevata pressione idraulica nella massa calcarea, tale da impedire l'apporto di contributi esterni, sarebbe prevalente l'alimentazione dal bacino del Carso triestino. Nella stagione estiva invece il progressivo calo della pressione idraulica all'interno del Carso consentirebbe un apporto via via più consistente di acqua di provenienza lontana, da un ipotetico bacino alimentato con acque meteoriche cadute a quote sensibilmente maggiori (8-900 metri in media anziché i circa 400 del bacino del Carso) ed individuabile — secondo Longinelli — nelle conche di Postumia e di Cerknica, oppure — secondo l'interpretazione di Fabio Gemiti (45) — nella stessa falda dell'Isonzo, il cui bacino montano ha una quota media di circa 1000 metri (Longinelli ammette la possibilità di un'alimentazione dall'Isonzo soltanto in particolari casi, quando la pressione idraulica in entrambi i "serbatoi" carsici principali decresce al di sotto di un certo valore²¹⁸). Da notare che l'alimentazione stagionale da differenti riserve d'acqua del complesso sorgentizio del Timavo viene intravista ancora negli anni Sessanta da Fabio Forti e Tullio Tommasini, sulla base di un quadriennio di misure termometriche (1964-67). Viene da loro evidenziato anche il diverso comportamento della sorgente Moschenitze Nord dalle sorgenti Moschenitze Sud ed ipotizzata la probabile miscelazione, nella stagione estiva, delle acque carsiche con acque di provenienza diversa e più lontana (100).

Le ricerche del Laboratorio di geochimica isotopica sono tuttora in corso con lo studio del trizio naturale come tracciante delle acque carsiche²¹⁹.

218. Flora O., Longinelli A. (1989): *Stable isotope hydrology of a classical karst area, Trieste, Italy*, Isotope techniques in the study of the hydrology of fractured and fissured rocks, I.A.E.A., Vienna, 203-213.

219. Tesi di laurea Andrea Krokos: *Ulteriori studi geochimico-isotopici su alcune sorgenti carsiche costiere dell'area triestina: considerazioni idrologico-ambientali*, Università degli Studi di Trieste, 1998 (notizia privata Onelio Flora).

Nel 1992 l'Istituto di Geologia effettua un'analisi strutturale del Carso triestino, con particolare riguardo all'area sorgentifera del Timavo, sulla base delle immagini da satellite, delle foto aeree e dei rilevamenti sul terreno. Vengono individuate le principali "lineazioni", ossia le superfici verticali di discontinuità della massa rocciosa, che nella zona delle risorgive presentano una direzione trasversale rispetto agli assi strutturali ed ai deflussi sotterranei del Carso²²⁰.

Sempre dall'Istituto di geologia viene effettuata nel 1993 un'indagine elettromagnetica VLF (Very Low Frequency) nel settore nord-occidentale del Carso. Oltre a dati di incerta interpretazione sulla presenza di livelli di acqua sotterranea, più o meno diffusa, nella zona di Malchina, viene individuato un ramo del Timavo circa 850 metri a est delle risorgive, in corrispondenza di un punto a 150 metri di quota sulle pendici meridionali del Dosso Petrinia, a monte della ferrovia²²¹.

Nuove ricerche idrochimiche vengono eseguite a partire dal 1993 dal Dipartimento di Scienze Chimiche, dapprima nel golfo di Trieste per la determinazione dell'inquinamento, quindi sui vari deflussi carsici allo scopo di caratterizzarli e differenziarli sulla base di alcuni parametri chimico-fisici, scelti quali indicatori naturali. Interessanti gli elevatissimi valori di nutrienti registrati all'esterno del porticciolo dei Laboratori di biologia marina (sorgenti di Aurisina), dove sboccano in mare apporti del bacino idrografico del Timavo²²². Riguardo i deflussi carsici, si esaminano dapprima le risorgive del Timavo (primo e secondo ramo), nelle quali vengono campionati alcuni microelementi (piombo, rame, zinco e cadmio) e studiata la loro eventuale funzione di traccianti naturali²²³. Vengono quindi presi in considerazione, oltre ai deflussi della regione sorgentifera del Timavo, le sorgenti di Aurisina e i laghi del Carso isontino; inoltre l'Isonzo, il Vipacco, il Rosandra e la fonte Oppia (la storica "Klinciza" dei primi studi, così tradotta da Domenico Rossetti). Sul luogo vengono misurate temperatura, conducibilità elettrica e pH, mentre in labo-

220. Tesi di laurea Roberto Mandler: *Aspetti geologico-strutturali del Carso triestino*, Università degli Studi di Trieste, 1992 (notizia privata Franco Cucchi).

Cucchi F., Marinetti E., Potleca M., Zini L. (1998): *Influence of geostructural conditions on the speleogenesis of Trieste Classical Karst (Italy)*, "Geodinamica Acta", (estr. di 9 pp.)

221. Cucchi F., Giorgetti F., Pillinini F. (1994): *Risultati di indagini elettromagnetiche eseguite sul Carso triestino*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 31/1992-93:85-92.

222. Reisenhofer E., Adami G., Predonzani S., Favretto A. (1994): *Determinazione di nutrienti nelle acque superficiali di costa nel Golfo di Trieste*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze", Trieste, 75(2):353-363.

223. Reisenhofer E., Adami G., Barbieri P. (1996): *Trace metals used as natural markers for discriminating some karstic freshwaters near Trieste (Italy)*, "Toxicological and Environmental Chemistry", Amsterdam, 54:233-241.

ratorio si determinano con la tecnica HPIEC (High Performance Ion Exchange Chromatography): sodio, potassio, calcio, magnesio, cloruri, nitrati e solfati. Vengono individuate “sorgenti tipicamente carsiche”: Aurisina, Timavo, Sardos e Moschenizze Sud e “sorgenti di acque miste” che ricevono contributi dall’Isonzo e dal Vipacco (89). L’applicazione dell’analisi multivariata conferma che acque provenienti dall’Isonzo possono estendersi verso S. Giovanni di Duino in particolari condizioni idrologiche, per esempio con l’Isonzo in piena e le acque carsiche in magra, ed influenzare le sorgenti Sardos e Moschenizze Sud ed occasionalmente anche le risorgive del Timavo. La discriminazione tra le sorgenti Moschenizze Nord e Moschenizze Sud viene successivamente confermata da ulteriori applicazioni dell’analisi multivariata (analisi delle componenti principali - PCA e analisi discriminante lineare - LDA) dei parametri chimico-fisici determinati per le acque esaminate. Come già constatato in precedenza, la sorgente Moschenizze Nord risulta influenzata dalle perdite dell’Isonzo e del Vipacco²²⁴.

Nella grotta di Trebiciano, attrezzata nel 1989 con scale metalliche fisse²²⁵, vengono installati nel 1994 particolari strumenti per la registrazione in continuo del livello della falda, della temperatura dell’acqua e delle sue caratteristiche (conduttività elettrica, pH, ossigeno disciolto); strumenti e connessioni elettriche devono essere protetti in speciali contenitori impermeabili, appositamente progettati per resistere alle elevati pressioni e alla violenza dell’acqua²²⁶. La medesima strumentazione, dopo verifiche preliminari molto laboriose, viene sistemata nella grotta di S. Canziano ed alle risorgive del Timavo, con il registratore di livello “distaccato” nel pozzo dei Colombi (227 VG)²²⁷. Strumenti registratori per la misurazione del livello della falda sono funzionanti dal 1996 nell’abisso Massimo e dal 1997 sul lago

224. Tesi di dottorato Pierluigi Barbieri: *Chemometric investigations on the water body of the Venezia Giulia region*, Dottorato in Scienze Merceologiche, Università degli Studi di Trieste, 1998 (relatore Edoardo Reisenhofer).

Barbieri P., Adami G., Reisenhofer E. (1998): *Multivariate analysis of chemical-physical parameters to characterize and discriminate karstic waters*, “Annali di chimica”, Roma, 88:381-391.

Barbieri P., Adami G., Reisenhofer E. (1999): *Searching for a 3-way model of spatial and seasonal variations in the chemical composition of karstic freshwaters*, “Annali di Chimica”, Roma, 89 (estr. di 10 pp.).

225. Crevatin G., Guglia P., Halupca E. (1992): *L’Abisso di Trebiciano, la Ferrata Adriatica ed il nuovo rilievo in vista delle future esplorazioni subacquee del Timavo sotterraneo*, “Bollettino della Società Adriatica di Speleologia”, Trieste, 1980/1992:4-20

226. Crevatin G., Cucchi F., Marinetti E., Zuppin C. (1998): *Strumentazione per il monitoraggio in continuo di acque carsiche*, “Mondo Sotterraneo”, Udine, 21/1997(1-2):13-23.

227. Cucchi F., Giorgetti F., Marinetti E., Kranjc A. (1997): *Experiences in monitoring Timavo River (Classical Karst)*, in Kranjc A. (ed.): *Tracer Hydrology 97*, Balkema, Rotterdam, 213-218.

di Doberdò²²⁸ (dove si è rilevata una risposta quasi istantanea alla chiusura delle paratoie del Timavo). Il ciclo di ricerche — tuttora in corso — è frutto della collaborazione tra l'Università di Trieste e l'Istituto di ricerche carsiche di Postumia, con il quale i rapporti si sono progressivamente intensificati dall'inizio degli anni Novanta.

Le registrazioni in continuo delle misure costituiscono un salto di qualità enorme rispetto alle tradizionali rilevazioni e campionature, nelle quali oltretutto non sono mai mancate le incognite del “fattore umano” (il prelievo, ad esempio, di una decina di campioni in una volta sola, anche per le giornate successive, come ricordato da qualche anziano protagonista delle ricerche di Guido Timeus²²⁹). Soprattutto la disponibilità di misure di portata precise e molto frequenti consente la costruzione degli idrogrammi che sono la base per lo studio della struttura dell'acquifero. Dalla loro analisi — e in particolare dall'analisi delle curve di recessione del flusso di piena — è possibile infatti determinare la capacità di immagazzinamento e di trasporto (trasmissività) dell'acquifero, l'entità delle riserve, i tempi di esaurimento e i meccanismi di svuotamento del sistema carsico, nonché il rapporto fra i drenaggi della zona non satura e quelli della zona satura o freatica, fra il flusso canalizzato e il flusso diffuso²³⁰. Un'applicazione di questi metodi viene proposta da Marco Menichetti dell'Università di Perugia (63), utilizzando i dati idrometrici del Recca registrati al mulino di Cerkenik e quelli delle portate giornaliere delle risorgive del Timavo calcolati da Fabio Gemit, dei quali diremo tra breve, che consentono “per la prima volta di ottenere degli idrogrammi attendibili”. La complessa analisi idrodinamica, eseguita con diversi procedimenti matematici di elaborazione dei dati disponibili (analisi di autocorrelazione, analisi spettrale di frequenza e analisi di cross-correlation eseguite sulle portate del Recca e del Timavo) porta alla conclusione che “la portata del Reka modula l'uscita di tutto il sistema sia mediante un flusso di base significativo che attraverso un deflusso rapido in occa-

228. Per le misurazioni idrometriche del lago effettuate nel 1985-87 dalla Società di Studi Carsici “A.F. Lindner” di Fogliano, correlate con la piovosità e con la durezza delle acque, si veda:

Cancian G. (1987): *Doberdò e il suo lago*, “Il Territorio”, Ronchi dei Legionari, 20/21:52-58.

Per le successive misurazioni idrometriche e le campionature chimiche e microbiologiche effettuate dal gruppo speleologico sloveno “Talpe del Carso” di Gorizia, peraltro in maniera saltuaria, si veda:

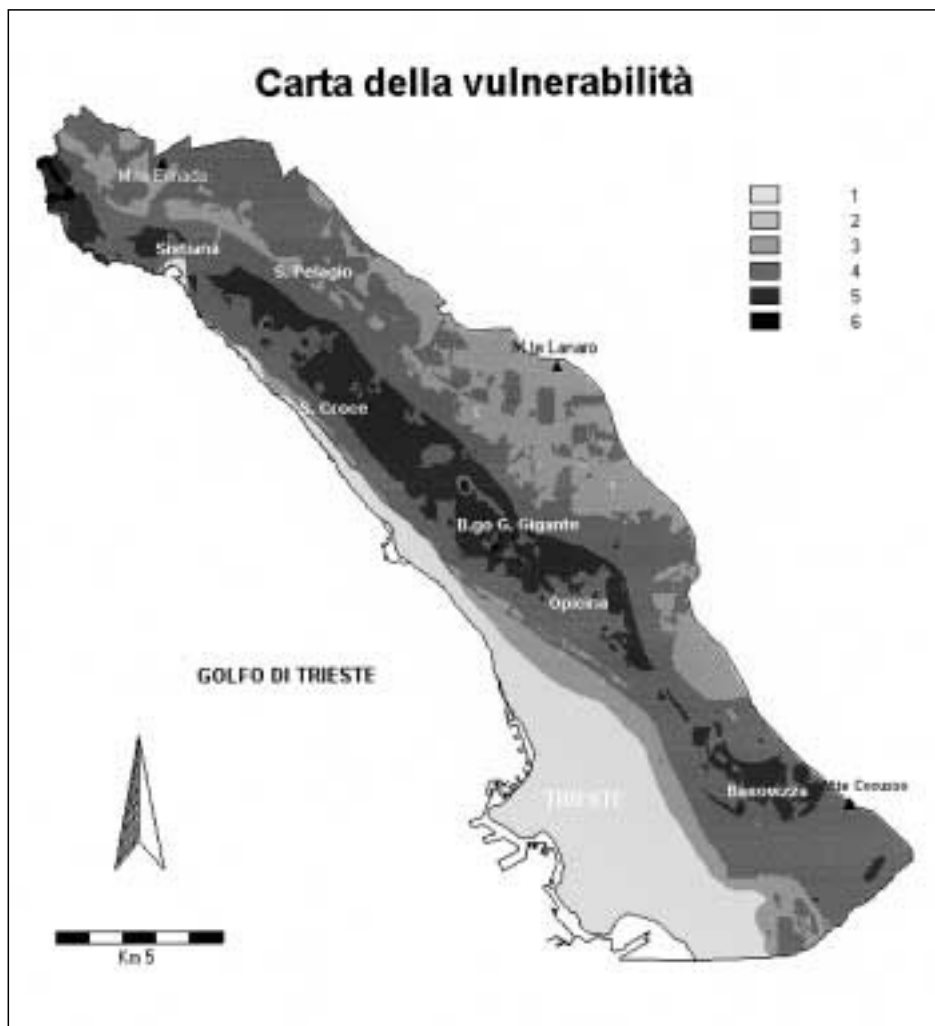
Klemše V. (cur.) (1998): *Med Timavo, Sočo in Vipavo*, Jamarški Klub Kraški Krti, Gorizia, 17-43.

229. Notizia privata Stojan Sancin.

230. Bonacci O. (1993): *Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers*, “Journal of Hydrol. Sciences”, 38(1-2):51-62.

Padilla A., Pulido-Bosch A., Mangin A. (1994): *Relative importance of baseflow and quickflow from hydrographs of karst spring*, “Ground Water”, Urbana Ill., 32(2):267-277.

Vasileva D., Komatina M. (1997): *A contribution to the (a) recession coefficient investigation in karst terrains*, “Theoretical and Applied Karstology”, Bucuresti, 10:45-54.



Carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero carsico triestino. Da: Cucchi F. (1997): Rapporto sull'attività scientifica svolta nel decennio 1986-1995. Unità operativa 4.07, C.N.R. - Gruppo Nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, (estr. di 7 pp.). Il complesso lavoro di sintesi, svolto dall'Università di Trieste, consiste nell'individuazione delle aree a diverso rischio d'inquinamento delle acque carsiche, basata sulla correlazione di una serie di parametri idrogeologici (caratteristiche litologiche e morfologiche, caratteristiche dell'infiltrazione e dell'azione autodepurante, conduttività idraulica, grado di carsificazione) elaborata al computer. Maggiormente vulnerabili per l'elevata capacità d'infiltrazione primaria (pluviale) risultano le aree adiacenti alle risorgive e quelle a bassa acclività caratterizzate dalle grandi doline nelle unità calcaree più carsificabili tra Borgo Grotta Gigante e Aurisina. Si veda: Bensi S., Cucchi F., Marinetti E., Zini L. (1998): Studi sulla vulnerabilità dell'acquifero carsico triestino, "Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei", Roma, 4 pp. (in stampa).

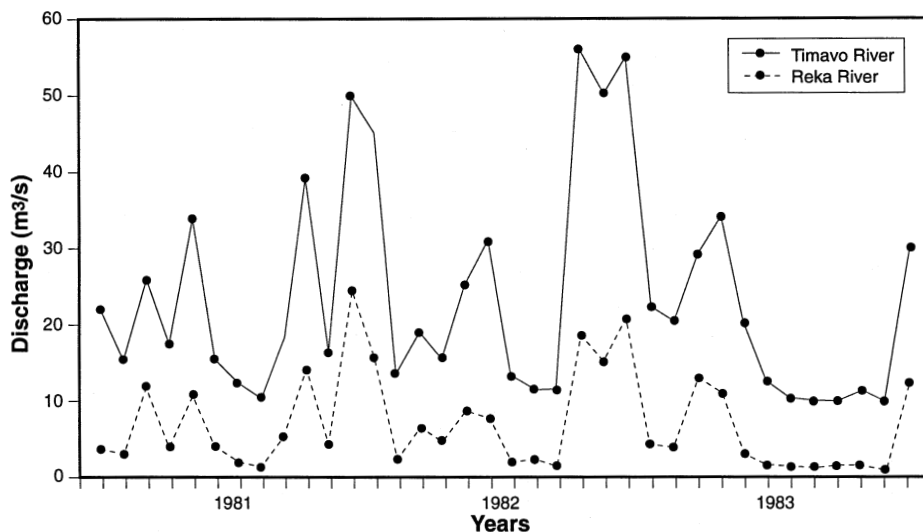


Diagramma del deflusso medio mensile del Recca e del Timavo; da: Civita M. et al. (15). L'apporto del Recca, valutabile a circa un terzo della portata annua del Timavo, è però in grado di "modulare" il deflusso dell'intero sistema. Si veda anche: Menichetti M. (63).

sione delle piene". Il contributo principale al sistema idrogeologico (oltre il 60%) sarebbe comunque dato dall'infiltrazione primaria sull'area carsica (acqua meteorica di percolazione) che alimenta direttamente il flusso di base.

Nell'estate 1996 l'Istituto di Geologia (ora diventato Dipartimento di scienze geologiche, ambientali e marine) esegue nella piana del Lisert una serie di sondaggi elettrici verticali, correlandoli ai risultati delle perforazioni eseguite in passato in diverse occasioni²³¹. La rete più fitta delle prospezioni consente di individuare la morfologia del substrato calcareo — sepolto sotto decine di metri di depositi alluvionali — con una precisione maggiore dei precedenti studi. In particolare sotto la cartiera e in corrispondenza dei tre rami del Timavo viene accertata la presenza in profondità di conche carsiche, riempite di sedimenti argillosi, sul fondo del "solco fluviale" individuato a suo tempo da Ferruccio Mosetti.

231. Tesi di laurea Alessio Stacul: *La geologia della piana del Lisert - geomorfologia del substrato e litostratigrafia della copertura*, Università degli Studi di Trieste, 1996 (notizia privata Franco Cucchi).

Nel 1996 Fabio Gemiti pubblica un nuovo lavoro sulle misure di portata del Timavo (46); è il seguito dell'importante studio sull'argomento eseguito dodici anni prima, che gli ha consentito di determinare con buona approssimazione — per la prima volta — la quantità media annua dei deflussi del bacino del Carso (43). Questo studio si è basato sulla correlazione tra il livello del ramo principale del Timavo (terzo ramo) e la portata globale delle risorgive, considerando le perdite dei bacini di raccolta al di sotto delle briglie, i prelievi per l'acquedotto e per la cartiera e le oscillazioni in corrispondenza delle maree. In tal modo è diventato possibile trasformare in dati di portata le misure idrometriche effettuate giornalmente a partire dal 1972 dal personale dell'acquedotto. Viene inoltre precisata la differenza tra "portata normale", corrispondente al livello idrometrico che più frequentemente si registra nel corso dell'anno e "portata media", ossia la media aritmetica delle portate determinate giornalmente nell'arco di un anno. Il risultato è una rideterminazione della portata media annua del Timavo, ora valutata 30,2 metri cubi al secondo (variabile, da anno in anno, da 18 a 39,4), quasi il doppio del valore calcolato da Eugenio Boegan per gli anni 1911-12 e poi utilizzato, tra l'altro, anche nell'esperimento di marcatura col trizio nel 1962. Secondo questi dati, tutto il trizio immesso nella grotta di S. Canziano sarebbe dunque fuoriuscito attraverso le risorgive e non soltanto la metà come allora si è creduto. Lo stesso Mosetti del resto ha calcolato in seguito — in via del tutto teorica — un'entità presumibile dei deflussi carsici pari a 32 metri cubi al secondo (84).

Dal luglio 1986 vengono resi più dettagliati, ma anche più complessi, i calcoli della portata giornaliera delle risorgive, tenendo conto dei cambiamenti sopravvenuti nella gestione delle acque del Timavo (costruzione delle nuove paratoie sul terzo ramo, riduzione dei prelievi, aumento delle perdite dai bacini di raccolta). La serie di 24 anni di rilievi idrometrici, trasformati in portate medie giornaliere, porta il valore della media annua a 29,3 metri cubi al secondo e della minima annua da 9,1 a 7,4.

Sempre in questo suo nuovo lavoro, Gemiti affronta anche il tema della portata solida del Timavo, che deve essere tenuta nella dovuta considerazione — come potenzialità di interrimento — nel progetto dei grandiosi impianti della SNAM nella piana del Lisert. Viene individuata la correlazione fra la quantità di solidi in sospensione e la torbidità dell'acqua, misurata giornalmente, ciò che consente il calcolo dell'ammontare del trasporto solido. Il valore medio annuo trovato per il periodo 1975-1984, cioè 22.655 tonnellate (ma con punte massime di quasi 5000 tonnellate al giorno) è considerato abbastanza congruente con il valore di erosione stimato per il bacino del Recca (50.000 tonnellate all'anno) in base ai calcoli della Zveza Vodnih Skupnosti Slovenije²⁵², tenendo conto che gli elementi più grossolani non possono essere trasportati in sospensione nel corso sotterraneo fino alle ri-

sorgive. La concentrazione media dei solidi sospesi (24 mg/l) risulta molto simile a quella calcolata da Guido Timeus (21,3 mg/l) per gli anni 1909-1912.

In base agli elementi raccolti in varie circostanze, Gemiti giunge alla conclusione che le acque del Recca “si muoverebbero nel sottosuolo in una o più canalizzazioni di grande diametro, situate probabilmente sotto il livello del mare a valle di Trebiciano. Le acque carsiche di infiltrazione, o parte di esse, alimenterebbero l'onda di piena dell'alto Timavo fino a Trebiciano; a valle di tale località scorrebbero relativamente indipendenti verso le risorgive e alimenterebbero tra l'altro anche le sorgenti Sardos e Moschenizze Sud”.

Queste ipotesi vengono confermate in un successivo lavoro, nel quale Gemiti analizza una “marcatura accidentale” verificatasi nel novembre 1972 in seguito ad un versamento nel Recca di un grande quantitativo di idrocarburi, causato dal rovesciamento di un'autocisterna (47). I frequentissimi controlli subito messi in atto hanno consentito di seguire con precisione l'andamento dell'onda marcata, che viene messo in relazione anche con la piovosità, i dati di portata e gli altri parametri rilevati (temperatura, torbidità, ossigeno disciolto, durezza totale, potassio, sostanze organiche). Nel periodo considerato, cioè tra il 15 e il 22 novembre, la portata del Recca si è mantenuta elevata, superiore alla media annua, con due moderate piene. Gli idrocarburi sono comparsi dopo cinque giorni alle risorgive del Timavo ed alcune ore più tardi anche nelle polle di Aurisina, a conferma che queste ultime sorgenti, pur alimentate da “acque carsiche locali”, sono in comunicazione con le condotte del drenaggio principale. Tale collegamento risulta più o meno attivo a seconda della pressione idrostatica nella condotta in cui scorrono le acque del Recca. Quando la pressione è modesta le acque risalgono lentamente verso le polle, per cui un tracciante immesso a S. Canziano può arrivare prima a S. Giovanni di Duino che alle sorgenti di Aurisina; il giorno 22 novembre invece, con una pressione del Recca più elevata, “il grosso degli idrocarburi è fuoriuscito prima ad Aurisina (con una maggiore concentrazione) e dopo al Timavo”. Le sorgenti Sardos sono invece sempre rimaste esenti da inquinamento.

In questo importante lavoro Gemiti elabora anche un interessante schema delle fasi evolutive di una “piena tipica” del Timavo, sulla base dell'andamento dei parametri idrochimici; confronta inoltre la marcatura con idrocarburi del 1972 con le marcature con il trizio (1962) e con il tetracloruro di carbonio (1982). Riesaminan-

232. Kranjc A. (1983): *Recentni fluvialni sedimenti v Škocjanskib jamab*, Mednarodni simpozij Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, Lipica 1982, Sezana, 27-31.

Kranjc A. (1986): *Transport rečnih sedimentov skozi kraško podzemlje na primeru Škocjanskib jam (Underground fluvial sediments as an example from Škocjanske jame)*, “Acta Carsologica”, Ljubljana, 14/15:109-116.

SUCCESSIONE DEI FENOMENI IDROCHIMICI

- A. *Primo giorno*: inizia ad aumentare la portata del Timavo.

- B. *Secondo e terzo giorno*: diminuzione dell'ossigeno disciolto fino ad un valore minimo e contemporaneo aumento della concentrazione di potassio e delle sostanze organiche (assorbimento U.V. e ossidabilità al permanganato).

- C. *Quarto giorno*: aumento della torbidità e delle sostanze organiche, l'ossigeno comincia ad aumentare, la portata raggiunge il valore massimo; diminuzione della temperatura, del potassio, della durezza e in genere della salinità (conducibilità).

- D. *Quinto giorno*: torbidità e sostanze organiche raggiungono il livello massimo, l'ossigeno disciolto continua ad aumentare, temperatura, durezza e salinità raggiungono il valore minimo, la portata sta diminuendo.

- E. *Sesto giorno*: l'ossigeno raggiunge un valore massimo; temperatura, durezza e salinità aumentano, torbidità e sostanze organiche diminuiscono.

Schema delle fasi evolutive di una "piena tipica" del Timavo. Da: Gemiti F. (47).

FASI EVOLUTIVE DI UNA “PIENA TIPICA” DEL TIMAVO

- A. Le piogge cadute nella parte bassa del bacino fanno aumentare la portata del Timavo, le acque della Recca in piena si inabissano a S. Canziano e percorrono il tratto canalizzato in direzione di Trebiciano. Il tratto in pressione non ha ancora una sufficiente spinta idrostatica, per cui l'acqua contenuta, parzialmente disinquinata per autodepurazione ma estremamente impoverita di ossigeno specialmente nel tratto più prossimo a Duino, si muove lentamente e fornisce un trascurabile apporto alle risorgive. Il livello di sostanze inquinanti e di torbidità delle acque carsiche di rapida percolazione, che scorrono prevalentemente sopra il livello del mare e comunque a non grandi profondità, è molto modesto rispetto alle acque della Recca e quindi l'acqua che fuoriesce a S. Giovanni di Duino è sufficientemente limpida e senza grave inquinamento.
- B. Le acque della Recca, assieme alle acque carsiche a rapida percolazione che confluiscono nel tratto S. Canziano-Trebiciano, cominciano a caricare il tratto in pressione, di conseguenza alle risorgive aumenta l'apporto delle “vecchie acque” in esso contenute rispetto a quello delle acque carsiche. Ossigeno disciolto, potassio e sostanze organiche risultano ottimi indicatori delle acque inquinate originate dagli scarichi di Villa del Nevoso.
- C. Il contenuto del tratto in pressione è stato ricambiato, comincia ad arrivare la nuova acqua della Recca, ben ossigenata, che trasporta i sedimenti, sia organici che inorganici, risollepati lungo il corso superficiale e sotterraneo. l'elevata velocità e turbolenza dell'acqua non permettono la sedimentazione di questi materiali. Diminuiscono alle risorgive durezza e temperatura perché la Recca in piena presenta nel suo corso superficiale una durezza di soli 8-10 gradi F e la sua temperatura nei mesi invernali è spesso inferiore ai 5 gradi centigradi. Il tratto S. Canziano-Duino viene percorso in pochi giorni e la temperatura di questa enorme massa d'acqua in movimento non fa a tempo a modificarsi nonostante la temperatura della roccia circostante sia mediamente di 12 gradi centigradi.
- D. Il contributo delle acque della Recca è massimo, e in certi casi superiore a quello delle acque carsiche.
- E. La piena della Recca, corso d'acqua a regime torrentizio, si è esaurita da alcuni giorni nel tratto superficiale; di conseguenza, in mancanza di una sufficiente alimentazione, cala bruscamente la spinta idrostatica del tratto in pressione e quindi anche l'apporto alle risorgive delle acque da esso convogliate.

do i dati di quest'ultima, egli conclude che in piena la velocità dell'acqua è ancora superiore a quanto calcolato in precedenza; il tracciante avrebbe impiegato appena 37 ore per transitare da Trebiciano alle risorgive, con una velocità media apparente di circa 600 m/ora, valore molto prossimo a quello (730 m/ora) calcolato da Primož Krivic per la propagazione dell'onda piezometrica dal mulino di Cerkenik a S. Giovanni di Duino. Durante le maggiori piene del Recca il tempo di percorrenza dell'acqua da S. Canziano al Timavo è dunque valutabile in 2,5 - 3 giorni soltanto (e si tratta di un vero e proprio trasporto di acqua e non di un effetto "di cacciata" provocato dalla pressione idraulica come in precedenza si è creduto).

Gemiti ribadisce che nel corso sotterraneo del Timavo "l'acqua fluisce a pelo libero in regime di magra, normale e di morbida, prevalentemente in pressione durante le piene. Nel primo caso l'apporto delle acque carsiche di percolazione può diventare rilevante ... durante le piene la percentuale di acque carsiche sarebbe invece modesta. Dopo Trebiciano le acque della Recca scorrerebbero in un canale principale di grande diametro, sotto il livello del mare, in pressione e quindi senza possibilità di scambi gassosi con l'esterno" (e, naturalmente, senza la possibilità di ricevere, in condizioni normali, apporti dal bacino del Carso).

Il Timavo e gli studi sul carsismo

Non si può concludere questa rassegna senza accennare ad una serie di studi che, se pure non hanno portato alcun contributo alla conoscenza del Timavo come fenomeno idrogeologico, hanno stimolato però un proficuo dibattito scientifico sull'origine e sullo sviluppo del carsismo in una visione globale. Si tratta del complesso di ricerche geomorfologiche iniziate con il famoso e discusso lavoro di Antonio Marussi sul Paleotimavo²³³, che riguardano l'evoluzione dell'antica idrografia superficiale del Carso e le sue correlazioni con il carsismo attuale.

Diversi autori prima di lui hanno accennato all'esistenza di presunti solchi paleofluviali sull'altopiano, a cominciare da Pietro Kandler e Adolf Schmidl, all'epoca dei pionieri degli studi carsici. Marussi stesso ricorda a questo proposito — tra gli altri — il geografo Norbert Krebs, che ha individuato e descritto come tale la "superficie di spianamento oligocenico-miocenico"²³⁴ di estensione regionale.

233. Marussi A. (1941): *Il paleotimavo e l'antica idrografia subaerea del Carso Triestino*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 38:104-126.

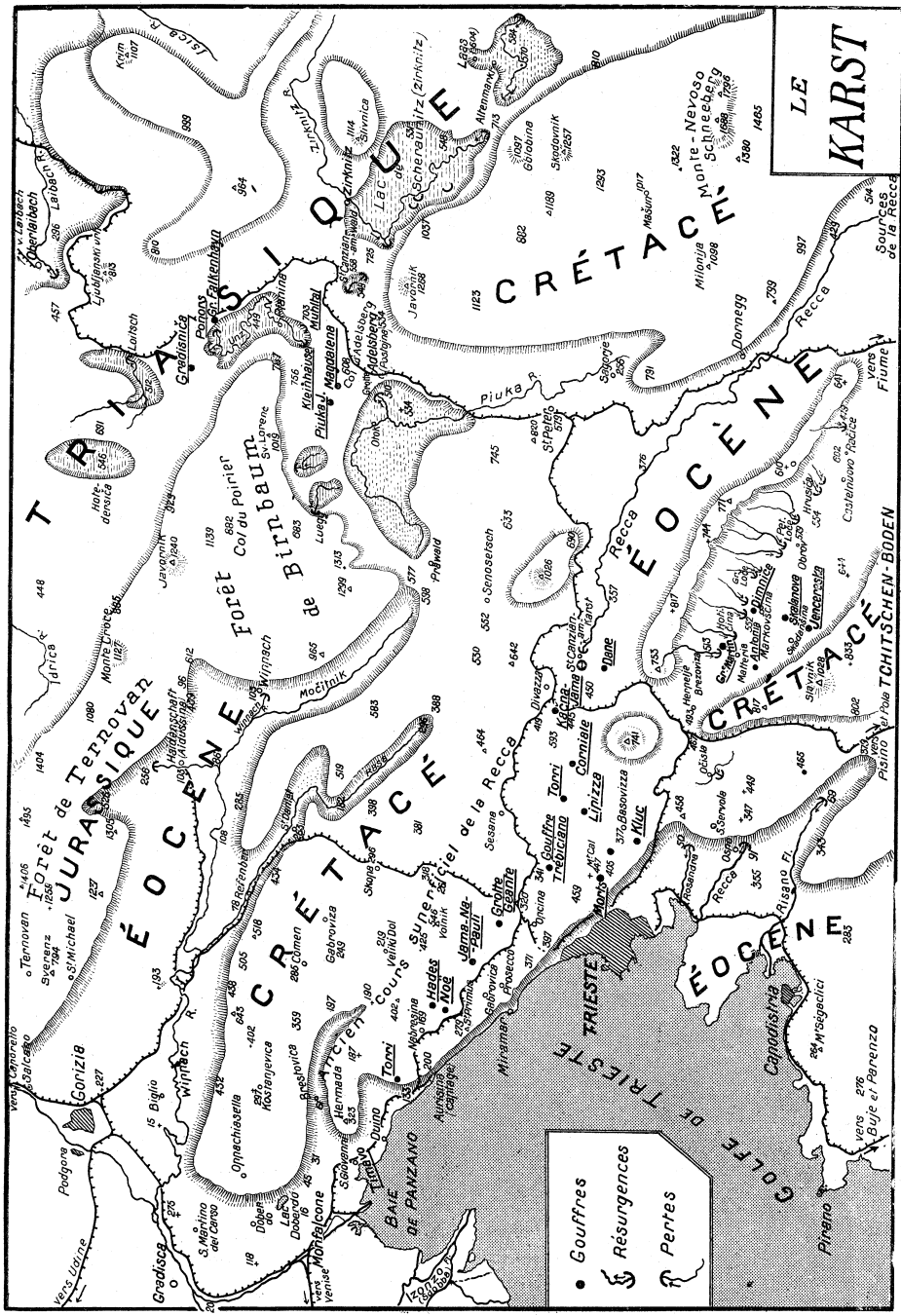
234. Krebs N. (1906): *Verbogene Verebnungsflächen in Istrien*, "Geogr. Jahresbericht aus Österreich", Wien.

Antonio Marussi sviluppa il presupposto — enunciato a suo tempo da Giulio Grablovitz — che “i corsi sotterranei seguono prossimamente la via segnata alla superficie dalle grandi depressioni” ed enuncia il principio che “ogni allineamento di doline od uvala può rappresentare il corso di un antico fiume scomparso per carsismo”. Spiega “la ragione per la quale noi troveremo di preferenza i corsi ipogei in corrispondenza degli antichi corsi subaerei” con la maggiore vascolarizzazione della massa rocciosa provocata dalle perdite subalvee. Queste sarebbero particolarmente aggressive — egli precisa — in quanto imbevono “il mantello alluvionale di acque chimicamente attive” ed elabora la sua *Ipotesi sullo sviluppo del carsismo*²³⁵ proprio sul meccanismo dell’azione dissolvente sotto copertura alluvionale: man mano che le cavità si allargano, vengono completamente riempite dai depositi che ne mantengono le pareti costantemente bagnate e sottoposte all’azione dissolvente su tutta la loro superficie. In tal modo, senza l’apporto di grossi fiumi, si sarebbero formate a breve distanza una dall’altra cavità enormi e grandi doline, “la cui genesi a cielo scoperto ... non potrebbe essere soddisfacentemente giustificata”. Sarebbe spiegata inoltre “la possibilità del graduale assorbimento di un fiume per carsismo, con formazione contemporanea di un corso ipogeo corrispondente a quello subaereo”. Marussi delinea quindi una ricostruzione dell’antica idrografia precarsica: il Paleotimavo in origine segue il solco di Aurisina con l’apporto del fiume che scende dal vallone di Castelnuovo; successivamente viene catturato dal corso parallelo del solco di Brestovizza, mentre il paleocorso di Castelnuovo devia verso mare ed incide la gola della Val Rosandra per una profondità di oltre 300 metri. Il corso sotterraneo del Timavo dovrebbe coincidere oggi con il tracciato del più antico Paleotimavo “che scorreva lungo il solco di Lipizza e di Aurisina”. A questi paleofiumi Marussi aggiunge vent’anni dopo (1961) il Paleosiaris²³⁶, solco fossile che dalla sella del Monte Maggiore d’Istria attraversa i monti della Ciceria fino alla Val Rosandra (prima della sua incisione) dove confluisce nel paleocorso di Castelnuovo²³⁷. L’inizio del “ciclo carsico” corrisponderebbe all’abbassamento del livello dell’acqua di fondo rispetto alla superficie topografica, abbassamento causato da un generale sollevamento della regione oppure dal “crearsi di nuove vie di deflusso al-

235. Marussi A. (1941): *Ipotesi sullo sviluppo del carsismo*, “Giornale di Geologia”, Bologna, 15, 12 pp.

236. Marussi A. (1966): *Correlazione fra carsismo epigeo e ipogeo*, Atti del Convegno F.A.S.T. “Il problema delle acque in Italia”, Milano 1965, Ed. Tamburini, 153-160.

237. Una sintetica comunicazione sull’argomento viene pubblicata da un suo collaboratore: Onofri R. (1961): *Ipotesi sulla paleoidrografia nella fascia dei terreni a S-E del Torrente Rosandra, corrispondente ai Monti della Vena fino al Monte Alpe Grande*, Istituto di Geologia dell’Università di Trieste, pubbl. n. 2, 3-18.



LE
KARST

E.-A. MARTEL, STRUX., 1920.

0 1 2 3 4 5 10 15 20 KM

Tous droits réservés.

le acque di fondo”, per esempio, nel caso del Carso triestino, in seguito alla distruzione del tamponamento impermeabile arenaceo-marnoso tra Aurisina e Monfalcone. L’abbassamento dell’acqua di fondo provocherebbe un’infiltrazione sempre più attiva delle acque superficiali, in particolare delle perdite subalvee dei fiumi, scorrenti sulla coltre alluvionale che ricopre la superficie di spianamento. Si tratta in definitiva di un’applicazione della teoria di Grund nella sua ultima versione²³⁸, sia nella concezione ciclica dell’evoluzione geomorfologica del Carso (erosione fluviale che precede la carsificazione, prima dell’abbassamento del livello di base regionale), sia — come abbiamo visto in precedenza — nelle implicazioni idrogeologiche (drenaggio diffuso di un’acqua di fondo in lento movimento verso i punti di sbocco).

Una puntualizzazione più precisa dell’evoluzione dell’idrografia precarsica viene tentata da Carlo D’Ambrosi²³⁹, che però contesta la regola della coincidenza fra paleocorsi superficiali e deflussi sotterranei. Egli ritorna sull’argomento in varie occasioni, collegando “il rapido inabissamento” del Paleotimavo con la demolizione della tamponatura costiera del flysch, responsabile dell’abbassamento della superficie piezometrica²⁴⁰.

Sempre in questo quadro interpretativo, Walter Maucci²⁴¹ studia lo sviluppo del reticolo idrografico carsico dopo la cattura del Paleotimavo a S. Canziano. Ipotizza per il Carso triestino una situazione analoga a quella che oggi si riscontra nella “val-secca” di Castelnuovo (chiamata appunto “fase castelnoviana”), dove i torrenti che scendono dai rilievi arenaceo-marnosi della destra orografica, giunti in contatto con i calcari del fondovalle vengono inghiottiti in altrettante cavità carsiche. Immaginando affiancata al ciglione del Carso triestino, lato mare, una dorsale di rilievi arenaceo-marnosi più alta del ciglione stesso, Maucci ricostruisce una serie di undici “valli chiuse” nelle quali ipotizza scendessero gli affluenti di sinistra del Paleoti-

238. Grund A. (1914): *Der geographische Zyklus im Karst*, “Zeitschrift Ges. Erdkunde”, Berlin, 621-640.

239. D’Ambrosi C. (1956): *Ipotesi sulle deviazioni del Paleotimavo*, Atti del 6. Congresso Nazionale di Speleologia, Trieste 1954, 88-95.

240. D’Ambrosi C. (1982): *Nuove precisazioni in merito all’antica idrografia subaerea del Carso di Trieste ed alla sua scomparsa, relativa all’evoluzione geologica regionale*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 21/1981:65-81.

241. Maucci W. (1955): *Inghiottitoi fossili e paleoidrografia epigea del Solco di Aurisina (Carso Triestino)*, Actes du 1. Congrès International de Spéléologie”, Paris 1953, 2:155-199.

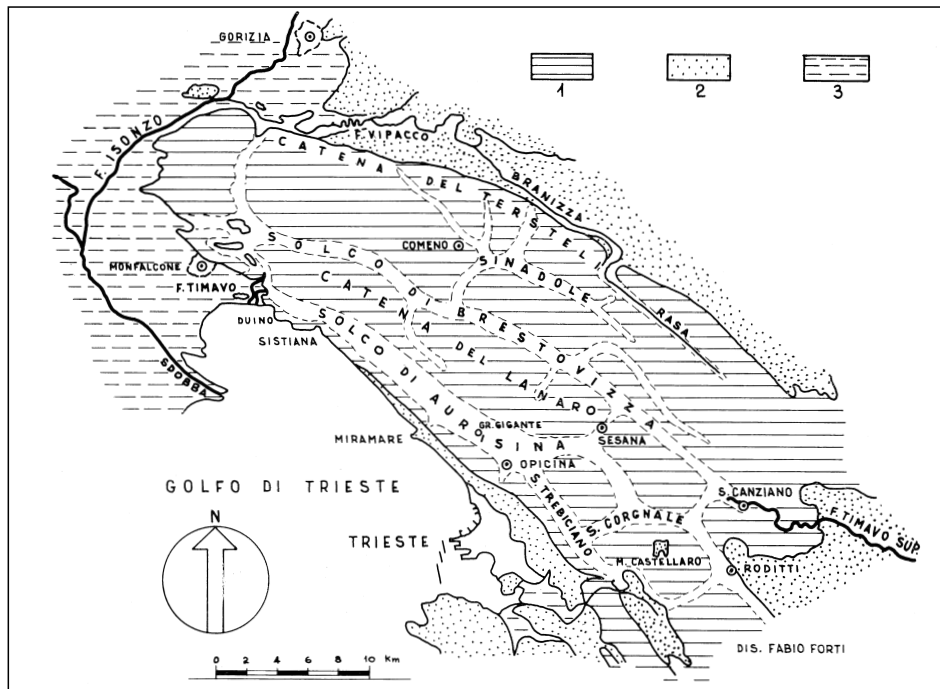
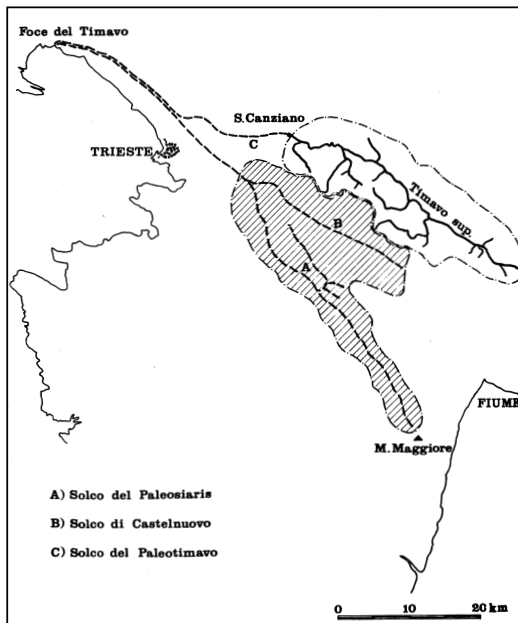
Nella pagina a fronte: Carta del Carso di Eduard Alfred Martel (citato nella nota 105). In corrispondenza del vallone di Brestovizza è indicato: “Ancien cours superficiel de la Recca”.

L'ipotetica paleoidrografia del Carso triestino nella sua fase iniziale, secondo Antonio Marussi (citato nella nota 236) e, sotto, il dettaglio dei vari "solchi" paleofluviali e delle relative "soglie".

Legenda:

1. Carbonatiti nelle quali sono stati incisi i solchi paleofluviali (lasciati in bianco);
2. Torbiditi marnoso arenacee in facies di Flysch;
3. Depositi alluvionali del Quaternario, Attuale compreso.

Da: D'Ambrosi C. (1971): Sulle attuali vedute riguardo l'evoluzione del Carso di Trieste, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 10/1970:29-43.



mavo: “All’idrografia longitudinale dei paleofiumi si sostituì quindi una idrografia trasversale, di natura ormai perfettamente carsica, con una serie di bacini chiusi a smaltimento sotterraneo”²⁴². Egli armonizza queste ipotesi con la sua nuova teoria dell’erosione inversa (nella zona di percolazione le cavità si formano lungo i “plessi di fratture” entro la massa calcarea) e i postulati relativi (retroversione degli inghiottitoi ecc.). Individua una fase precarsica, con un reticolo di corsi d’acqua superficiali; una fase di carsismo giovanile, con la genesi di un sistema di inghiottitoi a prevalente sviluppo suborizzontale; una fase di carsismo maturo e senile, con la completa scomparsa dell’idrografia subaerea e la “fossilizzazione” degli inghiottitoi; quindi la fase attuale, definita di “ringiovanimento”, dovuta — egli ritiene — ad un accentuarsi della fratturazione della massa calcarea, con la formazione di cavità (per erosione inversa) a prevalente sviluppo verticale. Tullio Piemontese cerca in seguito di completare questo quadro evidenziando nell’ambito dell’ampio solco di Aurisina un più antico solco di Samatorza ed esamina gli inghiottitoi della cosiddetta destra orografica del Paleotimavo²⁴³.

In Slovenia vari studi sull’idrografia precarsica sono effettuati da Anton Melik, che tenta una ricostruzione dell’evoluzione paleoidrografica della Piuca e del vallone di Chiapovano²⁴⁴. Egli evidenzia il carattere policiclico della formazione delle cavità, “interamente ostruite, durante il periodo würmiano, dai depositi alluvionali, che però sono stati riescavati a più riprese e in seguito nuovamente accumulati”²⁴⁵.

Un ulteriore tentativo di ricostruzione paleoidrografica viene effettuato da France Šušteršič nel suo lavoro — già citato — sul percorso sotterraneo del Timavo. Le grotte di Corgnale e di Divaccia non sarebbero secondo lui gli inghiottitoi fossili del Recca, come immaginato da qualche “vecchio autore”, ma di altrettanti affluenti meridionali del corso sotterraneo, che dovrebbe scorrere più a nord sotto l’allineamento Povir - Sesana. Il ritrovamento di ghiaie di arenaria nelle grotte in questione indicherebbe la provenienza di tali affluenti da una dorsale di flysch estesa in passato sulla prosecuzione dell’attuale spartiacque tra la valle del Recca e

242. Maucci W. (1960): *Evoluzione geomorfologica del Carso Triestino successiva all’emersione definitiva*, “Bollettino della Società Adriatica di Scienze”, Trieste, 51:165-188.

243. Piemontese T. (1966): *La Grotta della Fornace (3913 VG) e l’antico reticolo idrografico del Solco di Aurisina*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 5/1965:73-91.

244. Melik A. (1951): *Pliocenska Pivka (The Pliocene Pivka)*, “Geografski Vestnik”, Ljubljana, 23:17-39.
Melik A. (1963): *O dolib na krasu (Sur les vallons du karst)*, “Arheološki Vestnik”, Ljubljana, 13/14:223-240.

245. Melik A. (1961): *Fluvialni elementi v krasu (Les elements fluviatiles du karst)*, “Geografski Zbornik”, Ljubljana, 6:335-362.

il bacino di Castelnuovo (colli dei “Berchini”), di cui il M. Castellaro, immediatamente a sud di Corgnale, costituisce oggi un lembo residuo.

Già a suo tempo, la scoperta nei pressi di S. Canziano (a circa 90 metri sopra il corso del Recca) di una cavità riempita di depositi fluviali arenacei ha indotto Antonio Marussi a considerarla come la conferma della teoria del carsismo sotto copertura alluvionale. Depositi fluviali simili (ciottoli arenacei e calcarei arrotondati) sono in seguito segnalati da Sergio Andreolotti²⁴⁶ in un inghiottitoio fossile aperto nella cava dell’Italcementi sul ciglione del Carso sopra S. Giuseppe della Chiusa e da Severino Belloni e Giuseppe Orombelli²⁴⁷ in una grotta venuta alla luce, sempre sul ciglione del Carso, durante i lavori di fondazione per il santuario del M. Grisa.

I depositi fluviali della cavità scoperta da Antonio Marussi, sarebbero però molto più recenti, riferibili cioè non all’idrografia precarsica (pliocenica) ma ad una fase glaciale. Le approfondite indagini geomorfologiche compiute da Darko Radinja sulla valle di Vreme (“la più grande valle cieca della Slovenia” ossia il tratto finale della valle del Recca prima della sua cattura nella grotta di S. Canziano) evidenziano infatti una serie di cinque terrazzi fluviali con numerose tracce di depositi alluvionali di età pleistocenica. Un corso d’acqua glaciale o periglaciale ha dato origine sia ai terrazzi che ai depositi e la cavità in questione si apre a circa 400 metri di quota sul secondo di questi terrazzi, mentre l’ipotetica valle pliocenica del Paleotimavo dovrebbe trovarsi ad una quota molto più elevata. In questa fase, legata all’azione delle grandi fiumare periglaciali, anche la grandiosa grotta di S. Canziano sarebbe rimasta completamente riempita di materiali alluvionali, successivamente asportati o dissolti. A tale riguardo già in precedenza Walter Maucci e Bruno Martinis²⁴⁸ hanno rilevato che i depositi di riempimento nelle cavità del Carso non sono più antichi del Pleistocene inferiore.

Sergio Andreolotti e Fabio Forti²⁴⁹ osservano che i depositi di ciottoli fluviali calcarei e arenacei non costituiscono mai il deposito di fondo delle antiche galle-

246. Andreolotti S. (1965): *Rinvenimento di un deposito alluvionale ciottoloso-argilloso in una cavità relitto del carso di Basovizza (Trieste)*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 4/1964:101-106.

247. Belloni S., Orombelli G. (1972): *I depositi fluviali di riempimento di alcune cavità carsiche nei dintorni di Trieste*, “Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia”, Milano, 78(1):163-172.

248. Maucci W. (1960) citato nella nota 241; Martinis B. (1962) citato nella nota 15.

249. Andreolotti S. (1966): *I depositi di riempimento nelle cavità del Carso Triestino*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 5/1965:49-71.

Forti F. (1974): *Considerazioni sui depositi di riempimento delle cavità carsiche nel Carso Triestino*, “Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan”, Trieste, 13/1973:27-40.

rie, ma si rinvergono sempre sovrapposti ai banconi di concrezione calcitica, di spessore talvolta enorme; confermano l'età pleistocenica della loro sedimentazione, legata agli eccessi pluviali delle glaciazioni e all'instaurarsi di condizioni fluvio-carsiche in un carsismo ormai maturo, in fase vadosa (e non in una fase iniziale o giovanile come in precedenza si è creduto). Attualmente il volume dei sedimenti sarebbe molto diminuito, per il loro progressivo "assorbimento" nelle cavità stesse, in un quadro policiclico della speleogenesi, risultante di un alternarsi di fasi di escavazione e di riempimento. Anche nella grotta Gualtiero (5730 VG), scoperta dalla Commissione Grotte "E. Boegan" sul versante settentrionale della val Rosandra, a circa 200 metri di altezza sul fondovalle, si sono trovati depositi di sabbia e di ciottoli arenacei, sciolti e cementati²⁵⁰. Questo grande complesso di gallerie, che ha uno sviluppo di oltre quattro chilometri, ripropone il problema di una locale situazione fluvio-carsica antecedente all'incisione della val Rosandra.

Radinja studia negli anni Sessanta anche il Carso di Doberdò²⁵¹, dove segnala numerosi resti di antiche alluvioni in superficie; interpreta la morfologia del territorio — in accordo con la sintesi di Ferruccio Mosetti (80) — come un'antica zona di confluenza di corsi d'acqua superficiali, alla quale corrisponde oggi la confluenza sotterranea delle acque carsiche, che giungono qui da diverse direzioni. Sergio Andreolotti ritrova in alcuni relitti di cavità presso Monfalcone e sul M. Debeli conglomerati fluviali che ritiene provenienti dal bacino idrografico dell'Isonzo²⁵². Alle medesime conclusioni giunge in seguito Graziano Cancian, che effettua una serie di analisi granulometriche e mineralogiche dei sedimenti fluviali del Carso isontino²⁵³. Ritiene che siano stati deposti "probabilmente in epoca pre-würmiana e forse addirittura nel terziario superiore" e segnala di averli individuati in massima parte nella zona a sud della faglia di Colle Nero (che limita a nord-est la depressione del lago di Doberdò e il vallone di Brestovizza).

250. Bone B.N. (1996): *Qui "squadra scavi", i soci raccontano*, "Progressione", Trieste, 34:4-6.

251. Radinja D. (1969): *Doberdovski Kras, morfogenetska problematika robne kraške pokrajine (Le karst de Doberdob, problèmes de morphogénèse dans une région karstique marginale)*, "Geografski Zbornik", Ljubljana, 11:223-278.

252. Andreolotti S. (1970): *Osservazione e descrizione di alcuni depositi di riempimento alluvionali in cavità e paleocavità del Carso Triestino e Istriano*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 9/1969:77-96.

253. Cancian G. (1983): *Presenza di ghiaie alluvionali nella superficie e nei riempimenti di paleocavità nel Carso monfalconese*, Atti del 4. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Pordenone 1979, 257-264.

Cancian G. (1981): *Studio sui depositi alluvionali trovati nelle palocavità e nella superficie del Carso Goriziano*, "Le Grotte d'Italia", 9/1980:15-28.

La presenza di depositi fluviali fossili sulla superficie del Carso costituisce — secondo Darko Radinja — un indizio importantissimo dell'antica maggiore estensione delle formazioni impermeabili terziarie sull'altopiano calcareo. Il variare dei rapporti altimetrici fra la copertura terziaria — un tempo ovunque più elevata ma progressivamente demolita — e il substrato carbonatico sempre più denudato, sarebbe l'elemento fondamentale del processo di carsificazione²⁵⁴. Radinja riprende il tema già impostato da Ivan Gams²⁵⁵ sulle correlazioni tra condizioni climatiche e processi geomorfologici, ipotizzando una corrosione più intensa della superficie carbonatica durante il Pliocene caldo e umido e una accentuata decomposizione meccanica delle rocce arenaceo-marnose durante il Pleistocene più freddo, soprattutto nel corso dei periodi glaciali. L'approfondimento delle valli nella formazione del flysch è valutato a circa 150 metri, mentre l'abbassamento della superficie calcarea sarebbe avvenuto molto più lentamente. Durante il Pliocene ha potuto mantenersi a lungo un'idrografia superficiale sui calcari denudati, circondati dai rilievi impermeabili, mentre le morfologie chiuse (doline, polje ecc.) e la stessa "perforazione" carsica si sarebbero sviluppate durante il Pleistocene. Le forme attuali del Carso sono "ereditate" da forme più antiche, ormai scomparse per l'abbassamento dissolutivo della superficie e derivano dal sovrapporsi delle impronte del carsismo tropicale pliocenico e di quello periglaciale pleistocenico. In definitiva Radinja tende a spostare verso tempi relativamente recenti lo sviluppo maggiore del carsismo, al contrario di quanto ha fatto a suo tempo Antonio Marussi, che ha considerato il carsismo come un fenomeno legato esclusivamente all'azione dell'idrografia superficiale e diventato completamente "fossile" dopo la sua scomparsa (con uno sviluppo residuo di cavità, prevalentemente gallerie, nella zona epifreatica). Secondo Marussi, lo sviluppo delle cavità e delle grandi doline sarebbe avvenuto sotto la copertura alluvionale dei paleofiumi, oggi completamente dissolta dall'azione aggressiva delle acque meteoriche, responsabile anche della demolizione della stessa superficie topografica. Egli infatti precisa che la superficie di spianamento miocenica, sulla quale "il fiume deve aver lungamente divagato", non coincide con quella attuale dell'altopiano, "ma con l'altra che doveva trovarsi 2 o 300 metri più in alto, in corrispondenza delle attuali vette collinose del Carso".

254. Radinja D. (1972): *Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja (La karstification et l'évolution générale du relief en Slovénie)*, "Geografski Zbornik", Ljubljana, 13:197-242.

Radinja D. (1986): *Kras v luči fosilne fluvialne akumulacije (Karst in the light of fossilized fluvial deposition)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 14/15:99-108.

255. Gams I. (1962): *Slepe doline v Sloveniji (Blind valleys in Slovenia)*, "Geografski Zbornik", Ljubljana, 7:265-304.

In seguito viene messa in dubbio un'origine paleofluviale dei "solchi" che incidono l'altopiano; gli studi sulla diversa carsificabilità e velocità di dissoluzione delle rocce carbonatiche²⁵⁶ portano infatti Fabio Forti a ritenere sufficiente il ruolo dell'erosione differenziale per giustificare la formazione di depressioni in corrispondenza delle aree meno resistenti all'azione dissolvente degli agenti atmosferici ("i solchi non sono altro che aree caratterizzate da litotipi dotati di un alto grado di carsismo"²⁵⁷).

Questi presunti solchi vallivi sono invece interpretati da Peter Habič²⁵⁸ come lineamenti orografici influenzati principalmente dalla tettonica: tre faglie longitudinali e numerose faglie trasversali smembrano la struttura del Carso, determinando nei diversi settori sollevamenti di differente entità e in epoche diverse, senza peraltro escludere che tali linee strutturali avessero anche un'importante funzione sulle direttrici dell'idrografia sotterranea. Già a suo tempo Norbert Krebs²⁵⁹ ha formulato un'ipotesi analoga per il solco di Brestovizza (che pure sembra effettivamente presentare nella sua parte inferiore un tratto di morfologia fluviale relativamente giovanile), considerandolo geneticamente collegato alla zona di frattura dell'anticlinale del Carso ("die Bruchzone des Karstgewölbes" di Guido Stache), dunque a fattori tettonici anziché idrografici.

L'altopiano del Carso risulterebbe dunque costituito da un insieme di enormi prismi di rocce calcaree a diverso grado di carsificabilità, sovrapposti e affiancati gli uni agli altri per successione stratigrafica di rocce diverse, eteropie di facies o contatti tettonici. Lo studio del carsismo pertanto non può prescindere da considerazioni "tridimensionali" e deve coinvolgere l'intero spessore della massa rocciosa e la totalità dei suoi aspetti, per la stretta interazione esistente — e via via sempre meglio evidenziata dalle ricerche — tra le condizioni litologiche, strutturali, geomorfologiche e geoidrologiche²⁶⁰.

Infine, in un recente lavoro di ampia sintesi sullo stato attuale delle conoscenze, Luciano Ballarin e Rino Semeraro (3) esaminano nel loro complesso le condizioni litologiche e strutturali, la geomorfologia e il carsismo, alla cui evoluzione è

256. Forti F. (1972): *Proposta di una scala di carsificabilità epigea nelle carbonatiti calcaree del Carso Triestino*, "Atti del Museo Civico di Storia Naturale", Trieste, 28(1):69-96.

257. Forti F. (1983): *Invito alla conoscenza delle grotte del Carso Triestino*, Edizioni Lint, Trieste, 17.

258. Habič P. (1984): *Reliefne enote in strukturnice matičnega Krasa (Relief units and structural lines on Classical Karst)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 12/1983:7-22.

259. Krebs N. (1907): *Die Halbinsel Istrien, Landeskundliche Studien*, "Geogr. Abhandl. Penck", Leipzig.

260. Semeraro R. (1977): *Considerazioni sui rapporti tra geolitoologia e speleogenesi delle rocce carbonatiche carsificabili*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 1(2):14-25.

strettamente collegato lo sviluppo dell'idrologia sotterranea del Carso. Particolare pregio del lavoro è la divulgazione di dati e di riferimenti bibliografici relativi alle numerose consulenze elaborate in questi ultimi anni dai vari studi professionali di geotecnica, normalmente inaccessibili al grande pubblico in quanto confinati nei circuiti riservati ricercatore - committente.

La complessità del fenomeno viene sintetizzata in una visione globale: "L'intera gamma dei fenomeni carsici rappresenta la sovrapposizione di processi carsogenetici *recenti*, legati alle acque pluviali, agenti su una massa carbonatica che via via acquisisce maggior incarsimento, sui precedenti, più *vecchi* processi carsogenetici legati a prevalenti acque incanalate, torrentizie, agenti sulla stessa massa carbonatica ma meno incarsita, sempre e ovunque però condizionati dalle situazioni litologico-strutturali locali". Il carsismo sotterraneo cioè "deriva da una fase remota di *fluvio-carso* ed è caratterizzato da un vasto sistema di antiche gallerie, anche di imponenti dimensioni (inghiottitoi, collettori) ormai frammentate da ostruzioni, ancora non datate ma che si suppone plio-pleistoceniche se non addirittura fine-mioceniche, ormai *fossili*. Ad esso si *sovrappon*e un intenso carsismo verticale (pozzi) che ha dato origine a numerosi abissi profondi fino oltre 300 m, che talora giungono a livello dell'*acqua di fondo* prossima al livello marino".

"Fasi di riempimento documentate da livelli di silt e sabbie (in taluni casi ciotolosi) argille grigiastre e argille rossastre, testimoniano il succedersi di un'attività erosiva e deposizionale, ciclica, culminante con momenti di totale occlusione delle gallerie nel corso dei quali si innescava una speleogenesi *parafreatica* che dava luogo a imponenti fenomeni di *altoescavazione* delle gallerie, cui poi seguivano periodi di riescavazione e sovraescavazione". In profondità, nella zona epifreatica (o di oscillazione della superficie piezometrica) ed in parte di quella freatica, si estende una rete di "condotte a geometria variabile e con diversa età di formazione ... morfologicamente solo parzialmente interconnesse, in continua espansione per dissoluzione carsica ma contemporaneamente subenti intasamenti per sedimentazione e arresti evolutivi. In questa idrostruttura carsica la piezometrica in rete e i relativi carichi idraulici sono conseguentemente disomogenei".

Conclusione

Dopo centocinquanta anni di studi, oggi il sistema idrogeologico del Timavo è sufficientemente conosciuto nelle sue linee generali (coesistenza e interazione di drenaggi canalizzati e di drenaggi diffusi) e nei complessi rapporti di alimentazione dei diversi bacini imbriferi — carsici e fluviali — che scaricano attraverso la sua

zona sorgentifera. Importanti incognite però attendono ancora una risposta, come la determinazione quantitativa dei diversi apporti nell'alternarsi dei cicli idrologici stagionali e dei regimi di magra e di piena, la valutazione della capacità di immagazzinamento del massiccio carsico, l'individuazione dei bacini di ricarica e la valutazione delle miscele delle diverse riserve, l'individuazione del percorso del drenaggio principale.

Per affrontare questi problemi, di grande interesse anche per i risvolti applicativi della tutela delle risorse idriche dall'inquinamento, oggi sono disponibili mezzi che erano impensabili fino ad un recentissimo passato: la strumentazione per la registrazione in continuo delle misure idrometriche e dei parametri chimico-fisici dell'acqua nelle grotte di Trebiciano, di S. Canziano ed alle risorgive del Timavo; la rete di stazioni meteorologiche di superficie, ora sufficientemente fitta, che consente un calcolo attendibile della piovosità nei vari settori del bacino imbrifero; le perforazioni di Brestovizza, che permettono il monitoraggio della falda del Carso sloveno; il nuovo allestimento di scale fisse nella grotta di Trebiciano, "finestra aperta" sul drenaggio canalizzato, che consente di raggiungerne comodamente il fondo in meno di un'ora anche trasportando attrezzature delicate. Inoltre diversi istituti di ricerca ormai dispongono "in loco" di apparecchiature adeguate per l'esecuzione di analisi idrochimiche e isotopiche estremamente sofisticate, in grado di caratterizzare e discriminare con precisione le varie acque che defluiscono dal sistema carsico.

Sarebbe auspicabile che tutte queste potenzialità fossero messe a buon frutto con l'organizzazione di un nuovo programma di ricerche, coordinate in uno studio integrato e sistematico di un completo ciclo idrologico annuale. Soltanto sul lungo periodo infatti i dati raccolti possono fornire quella visione d'insieme del fenomeno che non era mai possibile raggiungere con le sporadiche misurazioni del passato. Le analisi idrochimiche in particolare sarebbero da effettuare nei particolari momenti in cui le variazioni della portata, della temperatura, delle torbide e dei parametri microbiologici rivelano l'arrivo alle risorgive di acque di origine diversa; una campionatura a cadenza temporale fissa, a meno di non essere estremamente frequente, non potrebbe dare infatti le medesime informazioni di una eseguita — con un'astrazione figurata — nei punti "cruciali" dell'idrogramma, in modo particolare durante la fase di recessione dell'onda di piena.

A conclusione del monitoraggio rigoroso di un ciclo completo di immagazzinamento e di scarico dell'acquifero, nel momento del suo massimo svuotamento — quando il drenaggio canalizzato è nettamente prevalente sul drenaggio diffuso, in via di esaurimento — sarebbero infine da realizzare nuovi esperimenti di marcatura, differenziati a S. Canziano e a Trebiciano e ripetuti — per le dovute comparazioni — nel successivo periodo di ricarica.

Bibliografia essenziale

1. Accerboni E., Mosetti F. (1967): *Localizzazione dei deflussi di acqua dolce in mare mediante un conduttometro elettrico superficiale a registrazione continua*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 9(36):255-268.
2. Anselmi M., Semeraro R. (1985): *Prime osservazioni geomorfologiche e idrologiche sull'abisso "Massimo" (VG 5268) (Carso Triestino)*, Atti del 7. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Gorizia, 30-41.
3. Ballarin L., Semeraro R. (1998): *Geologia, geomorfologia e carsismo, geoidrologia e idrologia carsica, geologia tecnica della zona di Trieste*, "Ipogea - Rivista di carsismo e speleologia del Gruppo Speleologico San Giusto", Trieste, 2:39-116.
4. Bidovec F. (1960): *Il contributo della Notraniska Reka alle quantità d'acqua delle sorgenti carsiche del Timavo*, "Tecnica Italiana", Trieste, 25(6):413-422.
5. Bidovec F. (1961): *Il servizio idrologico deve esaminare e dimostrare il collegamento dell'Isonzo con il Timavo*, "Tecnica Italiana", Trieste, 26(6):425-429.
6. Bidovec F. (1967): *The hydrosystem of karstic springs in the Timavo basin*, Proceedings of Dubrovnik Symposium on Hydrology of Fractured Rocks 1965, Internat. Assoc. Sci. Hydrol., Louvain, 1:263-274.
7. Boegan E. (1905): *Le sorgenti d'Aurisina, con appunti sull'idrografia sotterranea e sui fenomeni del Carso*, "Alpi Giulie", Trieste, (estr. di 126 pp.) (*)
8. Boegan E. (1910): *La grotta di Trebiciano*, "Alpi Giulie", Trieste (estr. di 66 pp.)
9. Boegan E. (1921): *La grotta di Trebiciano - Studi e rilievi dal 1910 al 1921*, "Alpi Giulie", Trieste, 23:1-42. (*)
10. Boegan E. (1938): *Il Timavo - Studio sull'idrologia carsica subaerea e sotterranea*, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Postumia-Trieste, 1-251.
11. Bordon V., Cancian G., Pintar D. (1988): *Ricerche sull'idrologia sotterranea tra il lago di Doberdò e la grotta di Comarie (Carso Goriziano) tramite i traccianti naturali*, "Atti del Museo Civico di Storia Naturale", Trieste, 41(2):169-179.

(*) Ristampati, nelle parti essenziali, in: *Antologia del centenario*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 22/1983.

12. Cancian G. (1988): *L'idrologia del Carso goriziano-triestino tra l'Isonzo e le risorgive del Timavo*, "Studi Trentini di Scienze Naturali", Acta geologica, Trento, 64:77-98.
13. Cancian G. (1988): *Significato idrologico della concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nelle acque sotteranee tra il lago di Doberdò e le risorgive del Timavo*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 12(1/2):11-29.
14. Cancian G. (1992): *Le caratteristiche mineralogiche dei sedimenti trasportati dalle acque sotteranee del Carso, tra l'Isonzo e il Timavo superiore*, Atti del 16. Congresso Nazionale di Speleologia, Udine, "Le grotte d'Italia", 16:215-224.
15. Civita M., Cucchi F., Eusebio A., Garavoglia S., Maranzana F., Vigna B. (1995): *The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 24:169-186.
16. Cobol G. (1963): *Speleologia subacquea - tecnica esplorativa di cavità sommerse*, Actes du 2. Congrès International de Spéléologie, Bari-Lecce-Salerno 1958, 2:296-317.
17. Comin Chiamamonti P., Bussani M. (1973): *Studio mineralogico delle argille di S. Canziano, dell'Abisso di Trebiciano e delle foci del Timavo (Timavo inferiore)*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 37-48.
18. Crevatin G., Dambrosi S., Gemiti F. (1985): *Indagine idrologiche e subacquee al Pozzo dei Colombi di S. Giovanni di Duino (227 VG)*, Atti del 7. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Gorizia, 42-52.
19. Cucchi F., Forti F. (1982): *La cattura del Timavo superiore a Vreme*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 21/1981:55-64.
20. D'Ambrosi C. (1960): *Lo stato attuale delle conoscenze sull'idrologia e sull'idrografia del Carso di Trieste*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze", Trieste, 51:189-203.
21. D'Ambrosi C. (1960): *Sul problema dell'alimentazione idrica delle fonti del Timavo presso Trieste (a proposito di un recente studio di Franc Bidovec)*, "Tecnica Italiana", Trieste, 25(8):547-565.
22. D'Ambrosi C. (1961): *Nuove considerazioni sulle disponibilità idriche alle risorgenze carsiche del settore di Duino (Trieste) in rapporto con una derivazione d'acqua dal Timavo superiore verso l'Istria*, "Atti del Museo Civico di Storia Naturale", Trieste, 22(4):133-166.
23. D'Ambrosi C. (1961): *Su una proposta di Franc Bidovec, Superiore dell'Ufficio Idrometeorologico di Lubiana, riguardo il problema dell'alimentazione idrica del Timavo presso Trieste*, "Tecnica Italiana", Trieste, 26(7):501-506.
24. D'Ambrosi C., Mosetti F. (1962): *Contributo alla conoscenza della geoidrologia della piana isontina in sinistra del basso Isonzo*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 4(13):16-36.

25. D'Ambrosi C. (1964): *Ai margini di un recente esperimento al tritio eseguito sulle acque del fiume Timavo presso Trieste*, "Tecnica Italiana", Trieste, 29(4):187-201.
26. D'Ambrosi C. (1965): *L'alimentazione di acque civili e industriali in rapporto all'idrologia del Carso triestino (a proposito del potere di autodepurazione delle acque)*, "Adriatico", Trieste, 12(7/10):18-24.
27. D'Ambrosi C., Mosetti F. (1972): *Il conoide isontino e le sue falde acquifere nel loro stato attuale e con riferimento alle influenze carsiche collaterali*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 11/1971:19-36.
28. Eraso A., Cucchi F., Fernandez J., de la Orden J.A., Torelli L. (1995): *Application of the directional prediction method to the drainage of the Reka-Timavo underground river*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 24:187-202.
29. Eriksson E., Hodošček K., Mosetti F., Ostanek L. (1963): *Some new results on the carstic hydrology with the employ of tritiated water as tracer*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 5(17):18-32.
30. Favretto D., Milani G. (1972): *Misura dei livelli d'acqua nella grotta A.F. Lindner 3988 VG*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 5:7-14.
31. Favretto D., Milani G. (1975): *Rilievi idrometrici nella grotta A.F. Lindner*, Atti del 1. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Trieste 1973, 121-124.
32. Fazio G., Gemiti F. (1975): *L'utilizzazione di alcuni traccianti naturali nello studio dell'idrologia ipogea del Carso Triestino, in relazione al corso sotterraneo del Timavo*, Atti del 1. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Trieste 1973, 83-92.
33. Flora O., Galli G., Longinelli A., Negrini L. (1991): *Studio geochimico-isotopico di alcune sorgenti carsiche: un nuovo modello idrologico*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 29/1990:83-102.
34. Forti F., Tommasini T. (1966): *Prime notizie su di una indagine termometrica sistematica alle risorgive del Timavo, a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del vallone di Moschenitze (Carso Triestino)*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 5/1965:93-106.
35. Forti F. (1978): *Considerazioni sulla situazione idrogeologica del Carso Triestino in rapporto alle condizioni geolitologiche e strutturali del complesso carbonatico carsificabile*, Atti del 12. Congresso Nazionale di Speleologia, S. Pellegrino Terme 1974, "Rassegna Speleologica Italiana", Como, 102-112.
36. Frenopulos S. (1992): *Ricerche subacquee nel lago di Doberdò*, "Studi e Ricerche della Società di studi carsici A.F. Lindner", Fogliano (GO), 1:63-68.
37. Gabucci G., Gemiti F., Mosetti F. (1973): *Contributo alla conoscenza dell'idrologia delle risorgive carsiche di S. Giovanni di Duino presso Trieste*, "Bollettino dei Laboratori Chimici Provinciali", Chieri (estr. di 31 pp.)

38. Gemiti F., Milani G. (1977): *Correlazioni tra i livelli d'acqua della grotta A.F. Lindner ed il fiume Timavo*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 6:23-30.
39. Gemiti F., Licciardello M. (1977): *Indagine sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso Triestino e Goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 6:43-61.
40. Gemiti F. (1977): *Contributo alla conoscenza dell'idrologia sotterranea della pianura di Gorizia con particolare riferimento all'alimentazione della falda carsica di Doberdò*, Atti del 3. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Gorizia 1977, 279-290. Id.: Atti del 1. Convegno sull'ecologia dei territori carsici, Sagrado d'Isonzo 1979, 79-89.
41. Gemiti F. (1982): *Nuove esplorazioni e indagini idrochimiche alle risorgive del Timavo*, Atti del 5. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Trieste 1981, 161-176.
42. Gemiti F. (1983): *La tutela delle acque carsiche dagli inquinamenti con particolare riferimento alla situazione del Carso Triestino*, Atti del 4. Convegno Regionale di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Pordenone 1979, 285-291.
43. Gemiti F. (1984): *La portata del Timavo alle Risorgive di San Giovanni di Duino*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 23-41.
44. Gemiti F. (1984): *Nuova e originale prova di marcatura delle acque del Timavo*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 43-62.
45. Gemiti F. (1994): *Indagini idrochimiche alle Risorgive del Timavo*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 31/1992-93:73-83.
46. Gemiti F. (1996): *Portata liquida e portata solida del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*, "Hydrores - Annuario 1995", Trieste, 13:74-88.
47. Gemiti F. (1998): *Marcatura delle acque del Timavo a seguito di un versamento di idrocarburi nella valle della Recca e interpretazione dell'evento mediante l'utilizzo di dati meteorologici, idrologici, idrochimici*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 10:93-104.
48. Guglia P. (1994): *Risultati esplorativi del Progetto Timavo (1990-1993)*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 31/1992-93:25-48.
49. Habič P., Knez M., Kogovšek J., Kranjc A., Mihevc A., Slabe T., Šebela S., Zupan N. (1990): *Škocjanske Jame speleological revue*, "International Journal of Speleology", Trieste, 18/1989 (1/2):3-42.
50. Habič P. (1989): *Kraška bifurkacija Pivke na jadransko Črnorskem razvodju (Pivka karst bifurcation on Adriatic - Black Sea watershed)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 18:233-264.

51. Jenko F. (1959): *Hidrogeologija in vodno gospodarstvo Krasa (The hydrogeology and water economy of Karst)*, Ljubljana, 1-237.
52. Kogovšek J. (1997): *Hydrology - Water in Krás*, in: Kranjc A. (ed.): *Krás - Slovene classical Karst*, Ljubljana, SAZU - Inštitut za raziskovanje krása, 55-75.
53. Kranjc M. (1996): *Škocjanske jame - a contribution to bibliography*, Karst Research Institute, Postojna, 1-49.
54. Krivic P., (1982): *Variations naturelles de niveau piézométrique d'un aquifère karstique*, "Geologija", Ljubljana, 25(1):129-150.
55. Krivic P., (1982): *Transmission des ondes de marée à travers l'aquifère cotier de Krás*, "Geologija", Ljubljana, 25(2):309-325.
56. Krivic P., (1983): *Interpretation des essais par pompages réalisés dans un aquifère karstique*, "Geologija", Ljubljana, 26:149-186.
57. Krivic P., Bricelj M., Trišič N., Zupan M. (1987): *Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane (Water tracing in the Rižana spring ground water basin)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 16:82-104.
58. Krivic P., Bricelj M., Zupan M. (1989): *Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre (Underground water connections in Čičarija region and in middle Istria)*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 18:265-295.
59. Marni D., Mosetti F. (1966): *Determinazione dell'ossigeno disciolto nelle acque sotterranee, suo significato nelle ricerche idrologiche*, Atti del Convegno F.A.S.T. "Il problema delle acque in Italia", Milano 1965, Ed. Tamburini, 169-188.
60. Martinis B. (1975): *Indagini geologiche e geotecniche effettuate sull'altopiano di Doberdò (Gorizia) per il progettato protosincrotrone europeo da 300 GeV del CERN*, "Memorie degli Istituti di geologia e mineralogia dell'Università di Padova", 31:1-77.
61. Maucci W. (1955): *Organizzazione tecnica e risultati delle ricerche sul corso ipogeo del Timavo (1952-53)*, Actes du 1. Congrès International de Spéléologie, Paris 1953, 2:201-213.
62. Maucci W. (1954): *Ricerche in acque sotterranee mediante scafandri autonomi ad ossigeno*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 47:62-81.
63. Menichetti M. (1997): *Idrodinamica del sistema Reka-Timavo nel Carso (Slovenia, Italia)*, Atti del 17. Congresso Nazionale di Speleologia, Castelnuovo Garfagnana 1994, 265-276.
64. Merlak E. (1977): *Distribuzione della durezza delle acque nel "complesso dolomitico" del Carso triestino*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 6:5-22.
65. Mihevc A. (1984): *Nova spoznanja o Kačni jami*, "Naše Jame", Ljubljana, 26:11-19.

66. Morel S. (1992): *San Canziano. Oltre il Lago Morto*, "Progressione", Trieste, 26:34-36. Id.: *Za Mrtvim Jezerom*, "Naše Jame", Ljubljana, 34:152-155.
67. Morel S. (1992): *Le Grotte di San Canziano - prima puntata*, "Progressione", Trieste, 27:55-57.
68. Morelli C. (1954): *Rilievo gravimetrico alle foci del Timavo*, "Tecnica Italiana", Trieste, 9(2):111-113.
69. Morelli C. (1954): *Indagini geofisiche per la ricerca del corso sotterraneo del Timavo - Parte I. Misure gravimetriche*, "Tecnica Italiana", Trieste, 9(4):267-271.
70. Morgante S., Mosetti F., Tongiorgi E. (1966): *Moderne indagini idrologiche nella zona di Gorizia*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 8(30):114-137.
71. Mosetti F. (1954): *Rilievo geoelettrico del delta sotterraneo del Timavo*, "Tecnica Italiana", Trieste, 9(2):115-119.
72. Mosetti F. (1960): *Etude sur le mouvement des eaux souterraines par le procédé thermométrique*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 2(8):641-646.
73. Mosetti F. (1961): *Misure della velocità di flusso dell'acqua mediante la diffusione di un tracciante*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 3(12):314-324.
74. Mosetti F. (1963): *Sui nuovi criteri per gli studi idrologici con acque marcate: risultati di un esperimento sul Carso Triestino*, "Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti", Venezia, 121:138-150.
75. Mosetti F., Eriksson E., Bidovec F., Hodošček K., Ostanek L. (1963): *Un nuovo contributo alla conoscenza dell'idrologia sotterranea del Timavo*, "Tecnica Italiana", Trieste, 28(4):157-171.
76. Mosetti F. (1963): *Nuove vedute sull'idrologia del Carso e sul fiume Timavo*, "Adriatico", Trieste, 9(9/10):11-14.
77. Mosetti F., D'Ambrosi C. (1963): *Alcune ricerche preliminari in merito a supposti legami di alimentazione fra il Timavo e l'Isonzo*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 5(17):69-84.
78. Mosetti F., Eriksson E. (1964): *Misura della velocità di deflusso di un corso d'acqua sotterraneo mediante esame del comportamento dell'oscillazione annua della temperatura dell'acqua*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 6(21):68-73.
79. Mosetti F. (1965): *Nuova interpretazione di un esperimento di marcatura radioattiva del Timavo*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 7(27):218-243.
80. Mosetti F. (1966): *Lo stato delle attuali conoscenze sull'idrologia carsica e relative ripercussioni sul problema dell'alimentazione idrica di Trieste*, "Atti del Museo Civico di Storia Naturale", Trieste, 25(4):73-105.

81. Mosetti F. (1966): *L'idrologia della Carsia Giulia e dei territori limitrofi*, "Adriatico", Trieste, 12(5/6) (estr. di 5 pp.)
82. Mosetti F., Pomodoro P. (1967): *Nuove indagini con traccianti naturali sulla provenienza delle acque carsiche del sistema del Timavo*, "L'Acqua" Roma, 45(4):97-103.
83. Mosetti F. (1980): *Su due pozzi profondi nella Piana isontina - risultati preliminari delle ricerche ACEGA per il nuovo acquedotto di Trieste*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze", Trieste, 64:7-16.
84. Mosetti F. (1989): *Il carsismo e l'idrologia carsica - manifestazioni nella regione Friuli Venezia Giulia*, "Quaderni dell'E.T.P.", Ente Tutela Pesca, Udine, 17:1-159.
85. Mühlhofer F. (1907): *Der mutmassliche Timavotalschluss*, "Globus" 4.7.1907, Braunschweig, 92(1):12-15.
86. Mühlhofer F. (1908): *Der Lindner-Timavo und seine Bedeutung für das Studium der Karsthydrographie*, "Globus" 23.7.1908, Braunschweig, 94(4):153-156.
87. Nicoletti P. (1983): *Il regime idrico del lago di Doberdò e della falda carsica del monfalconese*, Atti del 4. Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia, Pordenone 1979, 249-256.
88. Perko G.A. (1910): *Zur österreichischen Karsthölenforschung*, "Deutsche Rundschau für Geographie und Statistik", Wien-Leipzig, (estr. di 22 pp.)
89. Reisenhofer E., Adami G., Barbieri P. (1998): *Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic freshwaters (Timavo River, North-Eastern Italy): a chemometric approach*, "Water Research", Pergamon, London, 32(4):1193-1203.
90. Rojšek D. (1995): *Inventory of the Škocjan World Heritage Site*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 24:477-484.
91. Rojšek D. (1996): *Velika Voda - Reka, a Karst River*, "Acta Carsologica", Ljubljana, 25:193-206.
92. Salmoiraghi F. (1905): *Sulla continuità sotterranea del fiume Timavo - contributo mineralogico*, "Atti della Soc. Italiana di Scienze Naturali", Milano, 44 (estr. di 40 pp.)
93. Sancin S. (1992): *Nuove scoperte nelle Grotte di S. Canziano*, "Progressione", Trieste, 27:50-54. Id.: *Nova odkritja v Škocjanskib Jamah*, "Naše Jame", Ljubljana, 34:156-162.
94. Sella M. (1929): *Estese migrazioni dell'anguilla in acque sotterranee*, "Le Grotte d'Italia", Istituto Italiano di Speleologia, Postumia, 3(3):97-109. (*)
95. Semeraro R. (1982): *Nuovi aspetti geologici, geomorfologici e geoidrologici dell'Abisso dei Serpenti (Slovenia, Jugoslavia) emersi dalle campagne esplorative svolte dal 1971 al 1975*; in: Dini A., Tarabocchia G.: *L'abisso dei serpenti - aspetto di una cavità a circa un secolo dalla sua prima esplorazione*, Ed. Italo Svevo, Trieste, 67-74.

96. Timeus G. (1910): *Studi in relazione al provvedimento d'acqua per la città di Trieste. Dati idrologici, chimici e batteriologici*, allegato a: Parere e proposte del Protofisico civico sul nuovo provvedimento d'acqua, Comune di Trieste, 34+82.
97. Timeus G. (1912): *Ricerche sul Timavo inferiore*, Municipio di Trieste, 3-81.
98. Timeus G. (1912): *Il litio e la radioattività quali mezzi d'indagine nell'idrologia sotterranea - L'origine del fiume Timavo*, "Atti della Soc. Italiana per il progresso delle scienze", 5. Riunione, Roma 1911, 751-771.
99. Timeus G. (1928): *Nei misteri del mondo sotterraneo - Risultati delle ricerche idrologiche sul Timavo 1895-1914, 1918-1927*, "Alpi Giulie", Trieste, 29(1):1-39. (*)
100. Tommasini T. (1968): *Indagine termometrica alle risorgive del Timavo, a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del vallone di Moschenizze; Biennio 1966-67*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 7/1967:63-73.
101. Tommasini T. (1969): *Indagine termometrica alle risorgive del Timavo, a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del vallone di Moschenizze; Anno 1968*, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 8/1968:53-58.
102. Vrhovšek D., Macarol J., Smolar N. (1998): *Timav - kraški regijski park; strokovne podlage za načrt upravljanja: podsklop vode*, Ljubljana, Limnos, 1-182.
103. Zupan-Hajna N. (1995): *Primerjava mineralne sestave mehanskih sedimentov iz Škocjanskih jam, Labodnice, Prevale II in Mejam*, "Annales", Koper/Capodistria, 5:117-120.

Autori citati nel testo

In carattere tondo i numeri indicanti le note a piè di pagina; in carattere corsivo i numeri indicanti le pagine delle didascalie di riferimento.

A			
Adami G.	222 223 224	Carulli G.B.	170
Albrecht P.	212	Cattinelli C.	23
Andreolotti S.	246 249 252	Comar M.	135
Andreu M.	163	Comel A.	49
Anselmi M.	98	Coppo P.	47
Arandjelović	141	Cratey A.	17
		Costantini A.	104
		Crevatin G.	81 208 225 226
		Cucagna A.	7
		Cucchi F.	164 170 171 211 220
			221 226 227 129 164
		Cuscito G.	201
		Cvijić J.	106
B		D	
Ballarin L.	98	D'Ambrosi C.	118 120 133 134 138
Barbieri P.	223 224		165 212 239 240 130 174
Baroni R.	113	Davanzo A.	112
Belloni S.	247	De Martini L.	119
Bensi S.	164	De Santis L.	127
Berini G.	11 12	Dolce S.	201 12
Bertarelli L.V. (G. spel.)	152	Dolenec T.	176
Bianchini G.F.	6	Doria C.	83
Biasoletto B.	14	Drogue C.	161 118
Boegan E.	102 149	Drole F.	104
Bonacci O.	159 177 230	Dular M.	203
Bone B.N.	250		
Braida J.	137	E	
Breznik M.	145	Englandi S.	180
Bussani M.	125 166	Eriksson E.	127
Buzzi L.	89		
Bürkli A.	163		
C			
Cancian G.	136 228 253		
Canu E.	135		

F

Fabbricatore A.	209
Faraone E.	32 51
Farolfi (de) F.	22
Favretto A.	222
Ferlatti C.	205
Filiasi J.	3=9
Filip A.	141
Flora O.	206 218
Fornasir G.	122
Foscan L.	201
Forti F.	98 114 164 166 168
	171 172 201 249 256 256
Forti Fu.	98
Forti P.	120

G

Galli M.	24 26 62 73
Gams I.	94 254 138
Gauche B.	211
Gemiti F.	154 206
Gentile A.	32
Giorgetti F.	221 227
Gospodarič R.	173 178 190 217
Grablovitz G.	65
Grbović J.	204
Grimaud de Chaux G.	34
Grund A.	237
Guglia P.	81 213 225 48
Guidi P.	84 97 185 189

H

Habe F.	148 174 201 104
Habič P.	153 173 175 178 258
Halupca A.	200
Halupca E.	31 201 225
Herak M.	94
Hribar F.	174
Hugues C.	82=109

I

Ireneo della Croce	18
-------------------------	----

J

Jenko F.	117
---------------	-----

K

Kandler P.	21 40 42
	43 44 50 61
Kircher A.	4
Klemše V.	228
Kogovšek J.	175 204
Komatina M.	229
Kosi G.	204
Kranjc A.	214 226 231
Krebs N.	233 258
Krivic P.	176
Krokos A.	219
Krušnik C.	204
Kupusović T.	124

L

Lavallée J.	20
Leben F.	201
Lehmann O.	158
Lewicki K.	123
Lindner A.F.	30
Longinelli A.	218
Longo L.	208

M

Malečkar F.	169 188 190 192
Manarutta G.M.	18
Mandler R.	220
Mangin A.	159 230
Manzoni G.	183
Marchesetti C.	16
Marchesini C.	183
Marchi F.	136
Marinetti E.	219 226 227 164
Marini D.	20 185 198 210
Marinitsch J.	66 70 74 75 76
Marocco R.	212
Martel E.A.	86 105 107 42
Martinis B.	15

Marusic A.	151
Marussi A.	129 130 131 132 184 233 235 236
Maucci W.	119 160 241 242
Medeot L.S.	28 32 36 52 126
Mejač B.	203
Melik A.	244 245
Merlak E.	154 187 188 152
Mihevc A.	69 186 193 196
Mikolic U.	55
Mikulec S.	162
Milanović P.	141 157 115
Miniussi D.	136 151
Morel S.	169 188
Morell I.	163
Morgante S.	115
Morlot A.	38
Morpurgo E.	64
Moser L.C.	20
Mosetti F.	61 100 116 117 127 130 133 138 140 143 144 146 156 212
Mosetti-Albrecht P.	212
Müller F.	27 67 68 71

O

Onofri R.	237
Orombelli G.	247

P

Padilla A.	230
Pavlovec R.	38
Perin-Luca L.	124
Perko G.A.	85 87 93
Pesaro A.	80
Petritsch E.F.	88
Pezdič J.	176
Piacentini G.	101 139
Pichl E.	135
Pičinin A.	123
Piemontese T.	243
Pillinini F.	221
Pipan L.	199
Pirker R.	35
Placer L.	167

Pocar G.	48
Polley A.	90 91 92
Ponikvar-Zorko P.	203
Potleca M.	220
Predonzani S.	222
Priolo G.	207
Pugliese N.	129
Pulido-Bosch A.	230

R

Radacich M.	31 33
Radinja D.	179 217 251 254
Ramljak P.	141
Rejic M.	203
Reisenhofer E.	222 223 224
Rossetti D.	13
Roš M.	203
Rucavina P.	181

S

Saradjen J.	204
Sancin S.	194 216
Savnik R.	25
Schiavuzzi B.	108
Schmidl A.	55
Schönleben J.L.	8
Semeraro R.	98 259
Sforzi G.	39 52
Shaw T.R.	54
Skilan C.	181
Soler E.	111
Stacul A.	231
Stoch F.	201 12
Stringfield V.T.	94

Š

Šegota T.	212
Šušteršič F.	197

T

Talpe del Carso (G. speleo.)	228
Tarabocchia G.	195

Timeus G.	41	96	103	104	126	Vasseur F.	174
Tomei G.					126	Vortmann G.	96 99
Tommasini M.					64		
Tschebull A.					78		
						W	
						<hr/>	
						Waagen L.	95 121
						Williams P.W.	159
						Z	
						<hr/>	
Ulcigrai F.	166				129	Zanetti M.	148
Urban B.G.					72	Zini L.	220 164
Urbanc J.					176	Zuppin C.	226
Ursic B. e M.					201		
						Ž	
						<hr/>	
Valvasor J.W.					5	Žibrik K.	123
Vasileva D.					230		

Glossario toponomastico

Abbazia	<i>Opatija</i>	Merna	<i>Miren</i>
Auber	<i>Avber</i>	Montespino	<i>Dornberk</i>
Bresovizza	<i>Brezovica</i>	Neviso (monte)	<i>Snežnik</i>
Brestovizza	<i>Brestovica</i>	Ospo	<i>Osp</i>
Cacitti	<i>Kačiče</i>	Piuca	<i>Pivka</i>
Capodistria	<i>Koper</i>	Postumia	<i>Postojna</i>
Caporetto	<i>Kobarid</i>	Poverio	<i>Povir</i>
Carso	<i>Kras</i>	Presserie	<i>Preserje</i>
Castellaro (monte)	<i>Gradišče</i>	(di Comeno)	<i>(pri Komnu)</i>
Castelnuovo	<i>Podgrad</i>	Risano	<i>Rižana</i>
Chiapovano	<i>Čepovan</i>	Salcano	<i>Solkan</i>
Ciceria	<i>Čičarija</i>	Senosecchia	<i>Senožeče</i>
Cittanova	<i>Novigrad</i>	Sesana	<i>Sežana</i>
Comeno	<i>Komen</i>	S. Canziano	<i>Škocjan</i>
Corgnale	<i>Lokev</i>	Tolmino	<i>Tolmin</i>
Divaccia	<i>Divača</i>		
Duttogliano	<i>Dutovlje</i>	“Valsecca”	<i>Podgrajsko</i>
Fiume	<i>Rijeka</i>	di Castelnuovo	<i>podolje</i>
Idria	<i>Idrija</i>	(oppure:)	<i>Matarsko</i>
Lanaro (monte)	<i>Volnik</i>		<i>podolje</i>
Lippiza/Lipizza	<i>Lipica</i>	Villa del Neviso	<i>Ilirska Bistrica</i>
Lubiana	<i>Ljubljana</i>	Vertoce	<i>Vrtoče</i>
Maggiore (monte)	<i>Učka</i>	Vipacco	<i>Vipava</i>
Merciano	<i>Merče</i>		

Indice

<i>Presentazione</i>	5
<i>Premessa</i>	7
I precursori	13
Inizia lo studio delle risorse idriche	18
Lindner e la grotta di Trebiciano	22
Il primo approccio con l'idrologia carsica	25
Proseguono le ricerche dell'acqua	32
Le grandi esplorazioni speleologiche	39
Il potenziamento degli acquedotti e la circolazione sotterranea del Carso ..	45
La ricerca del Timavo e la speleologia sportiva triestina	50
Il Timavo sotterraneo e le teorie idrogeologiche	53
Inizia la ricerca scientifica	62
Nuove ricerche	75
Il Timavo di Eugenio Boegan	77
La ripresa del dopoguerra	81
Un nuovo confronto sulle teorie idrogeologiche	86
L'Osservatorio Geofisico di Trieste	92
Il Carso isontino	96
Lo sviluppo delle indagini idrochimiche	105
La nuova idrogeologia carsica	114
Gli esperimenti di marcatura	132
Un nuovo capitolo di scoperte speleologiche	140
Importanti risultati della speleologia subacquea	154
Gli studi attuali	159
Il Timavo e gli studi sul carsismo	170
Conclusione	180
<i>Bibliografia essenziale</i>	183
<i>Autori citati nel testo</i>	191
<i>Glossario toponomastico</i>	195