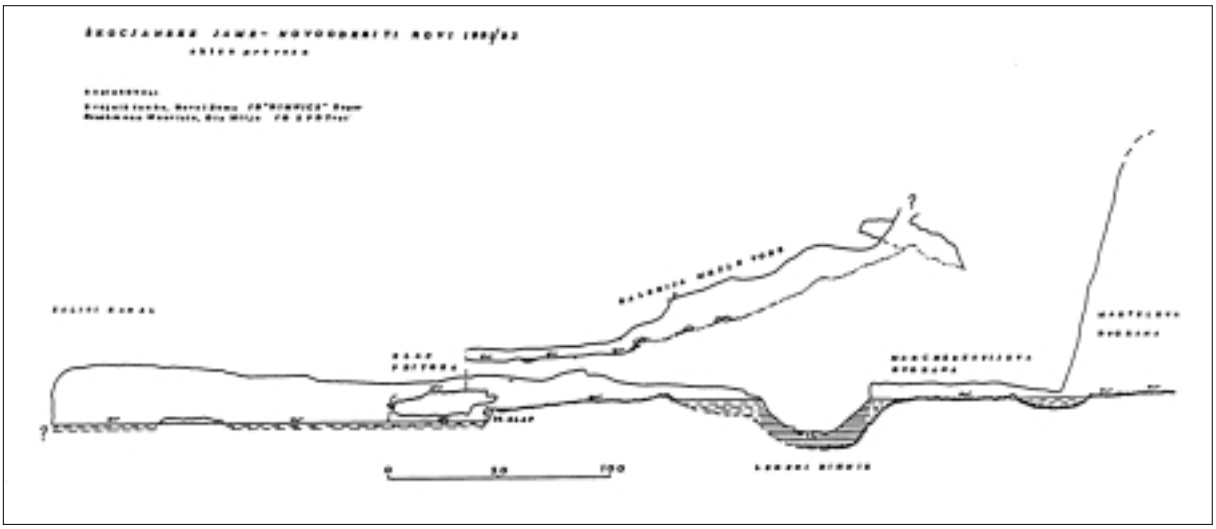


Le nuove gallerie esplorate oltre il sifone del Lago Marchesetti nella Grotta di San Canziano. Alla ventiseiesima cascata, all'inizio del Canale Allagato, ricompare il fondo in roccia viva della galleria, non più ricoperto dal materiale alluvionale e detritico come nel tratto a monte del sifone. A destra nella figura il Lago e il Duomo Martel.

approfittare del basso livello del fiume durante le secche invernali, ma con una temperatura dell'acqua di un grado e mezzo sopra lo zero si deve constatare che gli erogatori congelano e diventa impossibile in quelle condizioni l'impiego dei respiratori ad aria compressa[137] (per questo motivo il sifone viene chiamato Ledeni Dihnik o "sifone dell'erogatore congelato").

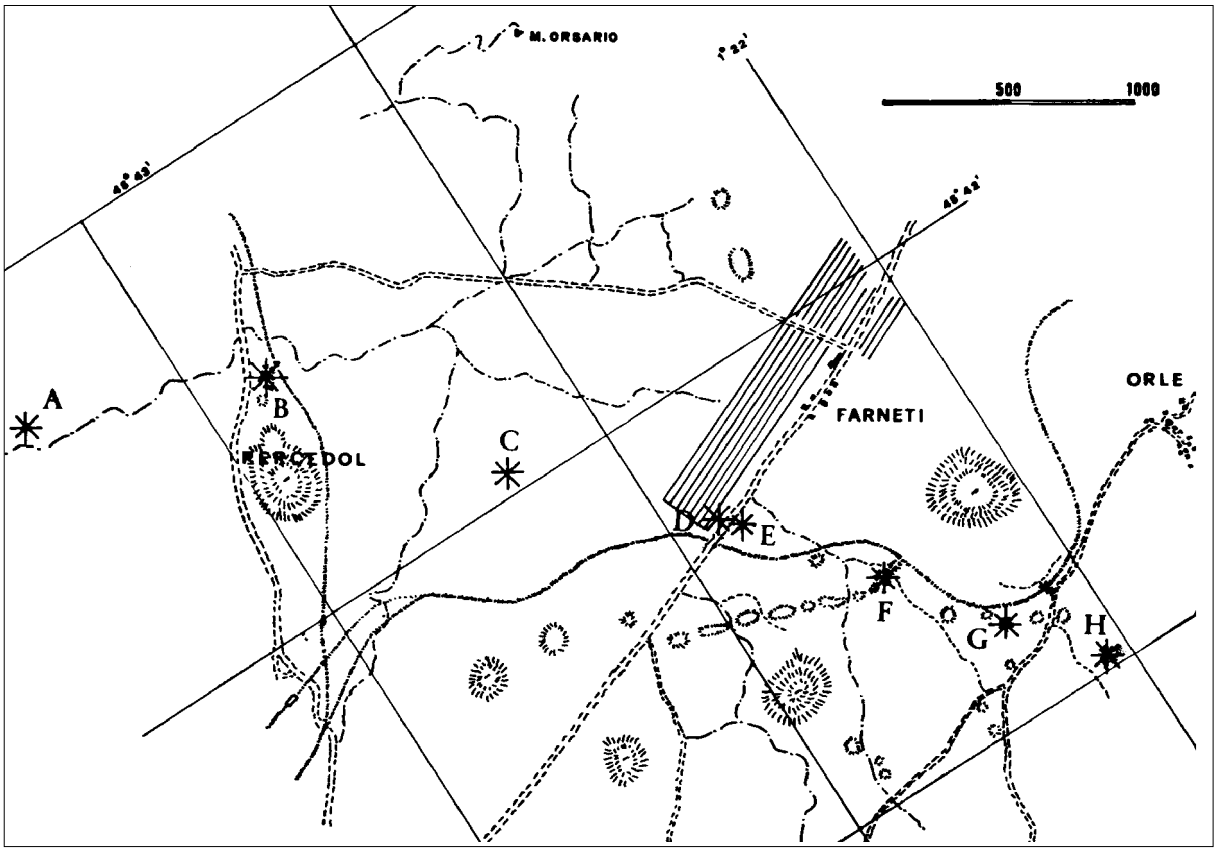
Alla conclusione dei lavori, i risultati esplorativi sono importanti: il rilievo di circa 600 metri di nuove gallerie e soprattutto l'acquisizione di elementi di grande interesse per la conoscenza dell'evoluzione della cavità. Oltre il sifone viene superata una frana alta circa sette metri, la cui presenza spiega l'innalzamento dell'acqua nel Lago Marchesetti anche con modesti aumenti di portata. La galleria continua fino ad una cascata (la ventiseiesima 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 della Reka 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 frana[138]; la galleria, in leggera salita, diventa di grandi dimensioni e termina in un'ampia sala sormontata da un enorme camino, a circa 50 metri di altezza sul livello del fiume. La genesi di questa galleria viene attribuita ad un antico corso della Reka, che si sarebbe dovuto aprire una strada alternativa per aggirare l'occlusione di sedimenti quando questi – durante le glaciazioni – hanno completamente riempito il canyon sotterraneo fino al Duomo Martel. L'ipotesi concorda con una visione policiclica della speleogenesi, risultante di un alternarsi di fasi di escavazione, di riempimento e di successivo svuotamento delle cavità carsiche.

La scoperta del secolo

La speranza di aprire una nuova "finestra naturale" sul corso sotterraneo del Timavo si riaccende nel 1967, quando la Commissione Grotte dell'Alpina "riscopre" l'ormai dimenticata dolina soffiante di Lazzaro Jerko, di cui già si è accennato in precedenza: lunghe ricerche d'archivio dei vecchi documenti e interviste ai paesani portano ad individuare la posizione esatta dello sfiatatoio, che appare subito di un'eccezionale importanza. Durante le piene il fragore della corrente d'aria viene talvolta udito fin dalla strada, a 50 metri di distanza e la sua durata di molte

137 Sancin S. (1992): *Nuove scoperte nelle Grotte di S. Canziano*, "Progressione", Trieste, 27:50-54. Id. (1992): *Nova odkritja v Škocjanskih Jamah*, "Naše Jame", Ljubljana, 34:156-162.

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

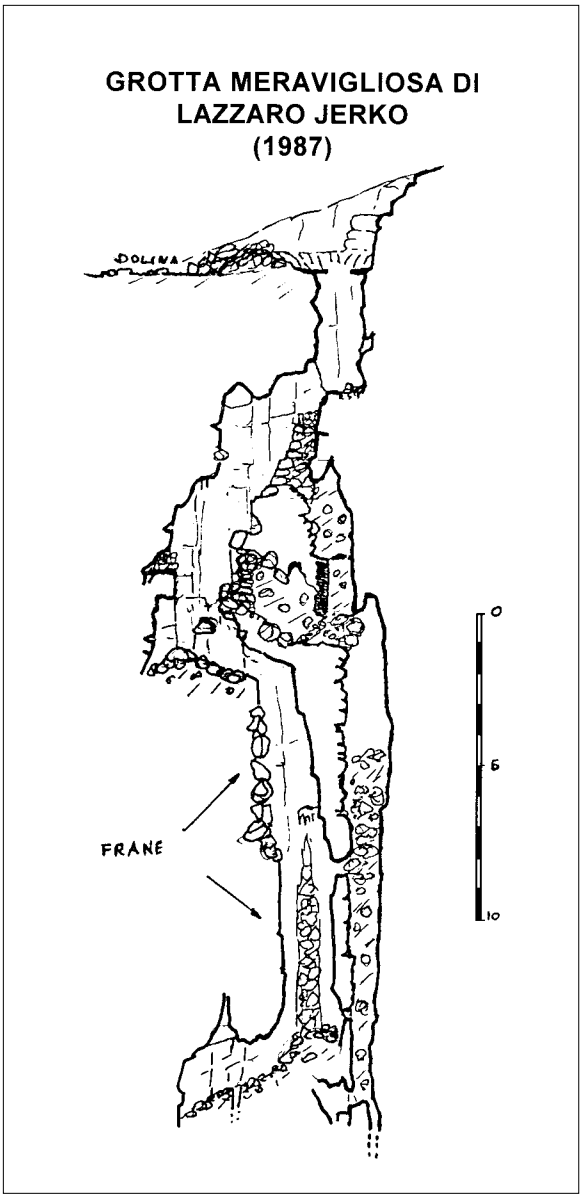


Cartina degli sfiatatoi sul presunto corso sotterraneo del Timavo elaborata da Dario Marini (da: "Progressione" n. 6 1980). Legenda: A – fessure nella piccola cava abbandonata; B – dolina soffiante di Lazzaro Jerko; C – Abisso di Monrupino (155 VG); D – Pozzo presso il casello ferroviario di Fernetti (87 VG); E – grotta decapitata da uno sbancamento (2702 VG); F – dolina gorgogliante durante le piene; G – "valletta chiamata Recca" di Matteo Bilz; – H Grotta di Trebiciano (17 VG). Per l'Abisso di Monrupino esiste un'unica segnalazione del marzo 1954 – dopo alcuni giorni di pioggia – di una forte corrente d'aria che esce "a 140 metri di profondità da una fessura sulla parete, alla quale non era possibile accostare la scala".

ore lascia supporre l'esistenza di grandi caverne nelle quali l'acqua possa rimontare su di un'ampia superficie; le verifiche simultanee all'ingresso della Grotta di Trebiciano confermano senza equivoci il suo collegamento in profondità con la circolazione sotterranea del Carso. I lavori però si rivelano problematici fin dall'inizio: dopo aver allargata per alcuni metri di profondità una stretta fessura nella roccia viva, si giunge ad un ammasso caotico di blocchi sotto il fondo della dolina. Lungo la guida di una sola parete di roccia, lo scavo procede in verticale fra i massi che rimangono incombenti in veri miracoli di statica: più metri si guadagnano e più persone occorrono per issare fino all'esterno il materiale di risulta, in condizioni di sicurezza sempre più precarie. Con una quarantina di uscite, dall'aprile 1967 al luglio 1971, si raggiunge la profondità di 27 metri, dei quali cinque soltanto trovati liberi (dieci aperti a forza di mine e dodici vuotati dal pietrame); da questo punto di vista la nuova grotta, inserita nel catasto speleologico con il numero 4737 VG, può essere considerata una cavità in gran parte artificiale[139]. La difficoltà del lavoro e soprattutto la sua pericolosità consigliano alla fine il suo abbandono, ma nel maggio 1987 le stesse persone che lo avevano iniziato vent'anni prima decidono di ritentare[140]. Seguendo sempre la guida dell'aria, appena percettibile quando non viene pompata dalla piena, si ricomincia lo scavo a sei metri di profondità e viene creato fra i blocchi un pozzo parallelo al primo (nel quale si scaricano i materiali per non doverli portare fino all'esterno). Dopo sette mesi, in 15 giornate

[139] Marini D. (1973): *La dolina soffiante di Monrupino (Carso Triestino)*, "Mondo Sotterraneo", Udine, 143-146.

[140] Bone B.N. (1987): *Grotta di Lazzaro Jerko. Vent'anni dopo*, "Progressione", Trieste, 18:25-26.



La Grotta Lazzaro Jerko dopo i lavori del 1987. A destra, ostruiti dai detriti, i vani scavati nel 1967-71. A quel tempo, propriamente "meravigliosa" la grotta non lo era ancora (da: "Alpi Giulie" n. 2 1999).

complessive di lavoro si giunge alla medesima profondità di 27 metri però a qualche metro di distanza dal vecchio fondo, in un nuovo pozzo franoso parallelo a quello "costruito" la volta precedente; sinistri scricchiolii e pietruzze che di tanto in tanto cadono tra i massi più grandi avvertono però che si stanno di nuovo per superare i ragionevoli limiti della sicurezza.

La certezza del fiume sotterraneo non permette comunque di accantonare definitivamente il progetto e dopo altri dieci anni – nel novembre 1996 – si riprendono nuovamente i lavori. Luciano Filipas è l'elemento trainante con la sua caparbia determinazione; lo affiancano con maggiore costanza Willy Bole, Libero Boschini e Franco Florit, l'iniziatore degli scavi nel 1967, scopritore fra l'altro della Fessura del Vento in val Rosandra e fochino dilettante nonché regolarmente patentato (competenza indispensabile per le penetrazioni più irruenti); attorno a questo nucleo di fedelissimi ruota per 36 mesi la collaborazione più o meno assidua degli altri soci. Dopo aver seguito una falsa strada nell'ammasso caotico di blocchi e raggiunta a – 40 una vera grotta che termina a 123 metri di profondità senza possibili prosecuzioni[141], lo scavo viene ricominciato a soli dieci metri sotto l'imbocco. E' il terzo pozzo parallelo "costruito" nell'ammasso di pietrame che ostruisce completamente il collo d'imbuto dell'asse della dolina e che ormai è certo debba essere molto profondo: la perforazione effettuata nella grande dolina di Fernetti, durante le prospezioni per l'autostrada, dopo 80 metri non ha infatti raggiunto la roccia in posto, ma si è addentrata sempre nel "deposito sciolto di fondo dolina" al centro di un pozzo immane pieno di massi e di lame di roccia in disfacimento; (l'ipotesi che si tratti di un "riempimento" di un abisso preesistente sembra però smentita proprio da quanto osservato durante i lavori di scavo nella Grotta Lazzaro Jerko). Fra i massi si trovano resti di concrezioni, stalagmiti spezzate ed inglobate nell'argilla e noduli tipo "saldame" di apatite e quarzo, che contengono resti fossili di crostacei cristallizzati in apatite (non si tratta però del vero saldame descritto a suo tempo da Carlo Marchesetti: gli studi in corso dovranno confermare se questi piccoli agglomerati compattissimi si possono considerare anch'essi – come lui li aveva definiti – "i residui del dilavamento del mantello arenaceo che copriva in antico la superficie del nostro Carso"). Purtroppo quei particolari fossili, sempre identici nelle diverse ere geologiche ed ubiquitari negli ambienti terrestri e marini, non possono fornire alcuna indicazione come "fossili guida".

Campionature litologiche effettuate dall'Università di Trieste accertano che tutta la parte inferiore della grotta è scavata nella dolomia, roccia

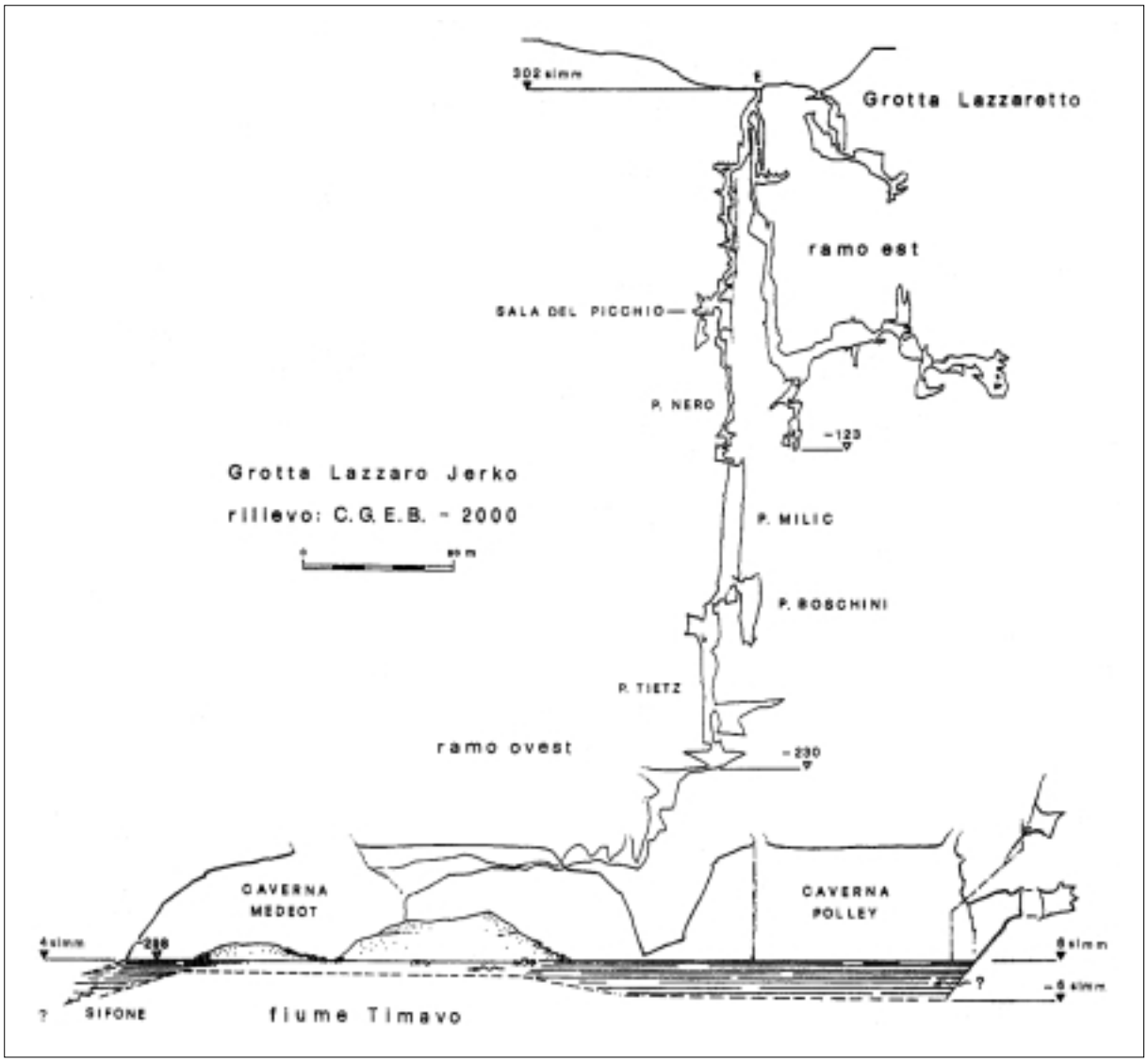
141 Guidi P., Mikolic U. (1998): *Lazzaro Jerko. Descrizione a futura memoria,* "Progressione", Trieste, 38:9-11.

Grotta Lazzaro Jerko: discesa tra grossi massi incombenti (foto Willy Bole).

Ripresi nel novembre 1996, i lavori nella Grotta Lazzaro Jerko questa volta si intraprendono con mezzi più adeguati e con un'organizzazione più razionale: viene preso in affitto il terreno, si ottengono i permessi per il cantiere di lavoro, vi si allaccia la corrente elettrica e si edifica una baracca in lamiera come deposito; con una serranda metallica si realizza un'ingegnosa gronda nella quale far scorrere i sacchi di pietrame da tirare all'esterno con un verricello elettrico. Putrelle incrociate e piccole opere in muratura mettono in sicurezza le pareti bloccando i massi incombenti ed in tal modo – portando all'esterno il materiale scavato – si raggiungono i 40 metri di profondità dove si sbocca in una grotta "vera" (il Ramo Est) che giunge con una successione di pozzi a – 123 con uno sviluppo di 220 metri. Si tratta però di una falsa strada: la corrente d'aria qui non viene più percepita e ad una nuova piena questa si ripresenta invece molto più in alto, a soli 35 metri sotto l'imbocco. Bisogna ricominciare lo scavo nel pietrame e – per evitare pericolosi cedimenti – si inizia di nuovo a soli dieci metri di profondità. E' il terzo pozzo parallelo scavato nell'ammasso di blocchi sotto il fondo della dolina: si segue dapprima una parete di roccia, erosa e sfaldata, con gli altri tre lati del pozzo costituiti da blocchi che bisogna puntellare con incroci di tubi Innocenti e reti elettrosaldate. La strada viene aperta spezzando i massi con mazza e cunei e sistemando il materiale in parte nei piccoli slarghi e negli anfratti della frana, in parte convogliandolo con una gronda metallica nel primo pozzo-caverna del Ramo Est. Ogni metro che si guadagna costa giorni di lavoro e deve essere consolidato con puntelli e muretti e quindi attrezzato con scale metalliche fisse; la linea elettrica viene man mano prolungata per l'illuminazione e l'impiego del trapano demolitore. Dopo un tratto di 40 metri scavato completamente nel mezzo dell'ammasso di blocchi, a qualche metro dalla parete più vicina, la roccia in posto ricompare a 62 metri di profondità dove finalmente la "frana" appare racchiusa tra due pareti, sia pure estremamente fratturate; è costituita da elementi sempre più voluminosi, che sembrano lame di roccia colassate e disarticolate. Dopo altri dieci metri si giunge in una caverna concrezionata che da un lato si rinserra in una specie di diedro chiuso dalla frana ed è proprio da questa che continua a spirare la corrente d'aria; ad ogni modo la caverna si rivela provvidenziale per la sistemazione del pietrame, in quanto lo scavo deve proseguire ancora per otto metri fra blocchi enormi, molti dei quali devono essere demoliti per poter procedere. Finalmente a 90 metri di profondità si giunge al termine della frana, dove inizia la "vera" grotta, ossia una successione di strette fessure nella roccia viva: per giungere fino a questo punto si sono portate all'esterno circa 45 tonnellate di pietrame e spostate più di 90 all'interno della cavità. Il progredire richiede d'ora in poi qualità "investigative" ancora più raffinate ed una maggiore perizia nel lavoro; una ventina di metri di profondità si guadagnano frantumando e rimuovendo le lame di roccia che dividono fessure contigue, fino a raggiungere a – 113 il fondo di un pozzo senza prosecuzioni apparenti. Un pertugio lungo più di un metro ma largo pochi centimetri viene faticosamen-

Grotta Lazzaro Jerko: le opere di contenimento del pietrame a 30 metri di profondità, con tubi di acciaio e reti elettrosaldate (foto Willy Bole).

te forzato, dovendo issare il materiale per 40 metri fino alla caverna concrezionata. Si sbocca quindi in un piccolo vano con un pozzetto che viene completamente riempito scavando nei due cunicoli laterali, ma l'aria di una nuova piena fa capire che la via giusta era proprio quella sul fondo del pozzetto, per cui bisogna recuperare tutto il materiale e forzare il pertugio soffiante, alto cinque centimetri e largo trenta, che assorbe l'acqua di un abbondante stillicidio. Un altro salto di cinque metri conduce ad un fondo in roccia viva dove l'acqua si raccoglie prima di scomparire in alcune fratture; per allargarle bisogna lavorare di mazza e scalpello distesi nell'acqua giungendo alla fine in un piccolo vano che termina sull'imbocco di un ampio pozzo profondo 45 metri. Il suo fondo sembra chiudersi e l'allargamento di una fessura che si apre un paio di metri più in alto costa un altro mese di lavoro ma consente di giungere ad un successivo pozzo di 47 metri, dove l'intenso stillicidio provoca lungo le pareti in ruscellamento tale da incidere con profonde scanalature le colate di calcite. Ancora un pozzo di otto metri che conduce in una caverna dove confluiscono brevi gallerie ascendenti ed ancora una volta la grotta sembra finire, ma ora sono le fessure che drenano l'acqua di percolazione – abbondante anche nei periodi di siccità – ad indicare di volta in volta la via da seguire. Un altro mese di lavoro e viene creato un cunicolo tortuoso lungo più di dieci metri fino a sboccare su di una sequela di piccoli pozzi che terminano in una serie di vani – sempre battuti dallo stillicidio – dove bisogna forzare altre strettoie per entrare in una successione di caverne fangose; in una vaschetta di acqua di percolazione la presenza dei Troglocharis*, i minuscoli gamberelli abituali abitatori dell'acqua carsica (portati fin qui da qualche grande piena), è di buon auspicio per una conclusione ormai prossima dei lavori. L'acqua di percolazione però scompare assorbita dal deposito fangoso per cui bisogna nuovamente cercare la guida dell'aria, che proviene ora da una fessura di pochi centimetri fra la volta – diventata bassissima – e il riempimento di argilla plastica e tenace; si tratta di una grande galleria quasi completamente intasata di sedimenti, con bancate intere di roccia staccate dalla volta ed inglobate nell'argilla a complicare ulteriormente il lavoro. Lo scavo del lungo cunicolo richiede più di due mesi di lavoro, ma ormai un leggero brusio rivela lo scorrere dell'acqua non lontana; finalmente il 13 novembre 1999 tre speleologi sbucano in un'ampia sala, al fondo della quale, sotto un salto di 12 metri, in una galleria enorme scorre il fiume sotterraneo. Sono felicemente conclusi i lavori di scavo più impegnativi mai eseguiti in una grotta del Carso triestino, per di più senza gli obiettivi imprenditoriali che hanno animato i grandi "cercatori d'acqua" della nostra storia speleologica. La discesa dell'ultimo salto viene effettuata la successiva domenica 21 novembre – in una specie di cerimonia o di festa – da tutti insieme gli artefici dell'immane lavoro, che ha richiesto complessivamente in tre anni più di 370 uscite.*



considerata un tempo poco carsificabile ed in grado addirittura di condizionare e di "sostenere" il drenaggio sotterraneo. La preminenza dei fattori strutturali sui fattori litologici, questione che ormai da un secolo è oggetto di controversie accademiche, sembra dunque confermata nel caso del Carso triestino, dove la fratturazione della roccia riveste evidentemente un ruolo più importante della sua composizione chimica (e della sua solubilità) nei processi speleogenetici. Se la metà inferiore della Grotta di Lazzaro Jerko e della Grotta di Trebiciano, nonché le gallerie basali della Kačna jama – tutte sviluppate nella dolomia – sono da ascrivere ai "fenomeni paracarsici", secondo la classificazione dei vecchi autori, viene da chiedersi quali mai potranno essere i "fenomeni carsici" veri e propri.

Arrivare al fondo della grotta costa complessivamente tre anni di lavoro[142], ma questa volta viene finalmente realizzato il sogno di generazioni di speleologi triestini: nella grande caverna finale, suggestiva nella sua spoglia architettura, gli esploratori esultanti raggiungono un vero fiume. Le evoluzioni di un proteo – il gran cerimoniere delle acque sotterranee – ed un corteggio di minuscoli abitatori della falda carsica raccolti nelle successive discese confermano che si tratta davvero di uno dei drenaggi principali della circolazione profonda dell'altopiano. Sono insetti e molluschi presenti anche al fondo della

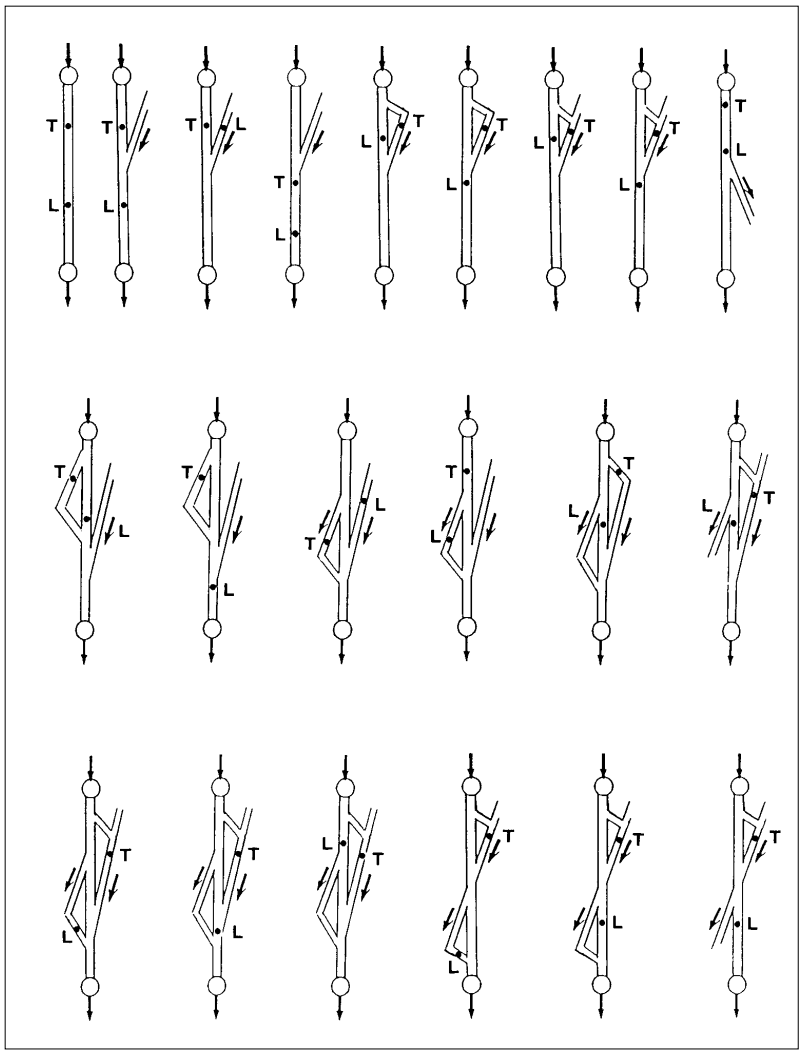
142 Guidi P. (1999): *Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko. Domani sarà famosa*, "Alpi Giulie", Trieste, 93(1):44-50; Id. (1999): *Lazzaro Jerko. Aperta la via al Timavo*, "Speleologia – Semestrale della Società Speleologica Italiana", Città di Castello, 41:5-12.
Bone B.N. (2000): *Lazzaro Jerko, una lunga storia*, "Alpi Giulie", Trieste, 94(1):43-50.

Grotta di Trebiciano, tra i quali una chiocciolina di cui finora era nota soltanto la conchiglia vuota (*Plagigeyeria Stochi*) per la prima volta "osservata finalmente viva nel proprio habitat sotterraneo"[143]. Frammenti di plastica – traccianti onnipresenti della civiltà moderna – sono l'immediata testimonianza del collegamento diretto con un apporto fluviale esterno e non con un ipotetico bacino di acque di percolazione, come viene poi confermato dalle prime indagini idrochimiche e dagli innalzamenti di livello (circa 30 metri) registrati in occasione delle grandi piene.

Il fiume sotterraneo scorre per circa 300 metri attraverso due grandi caverne, separate da un basso passaggio che diventa sifonante durante le piene; una frana di grossi blocchi ostacola il normale deflusso dell'acqua, per cui il sifone di entrata è circa due metri più alto del sifone di uscita ed anche in regime di magra il moto dell'acqua è sempre vorticoso. Nelle grandi magre la galleria del sifone di uscita diventa accessibile e navigabile per una trentina di metri.

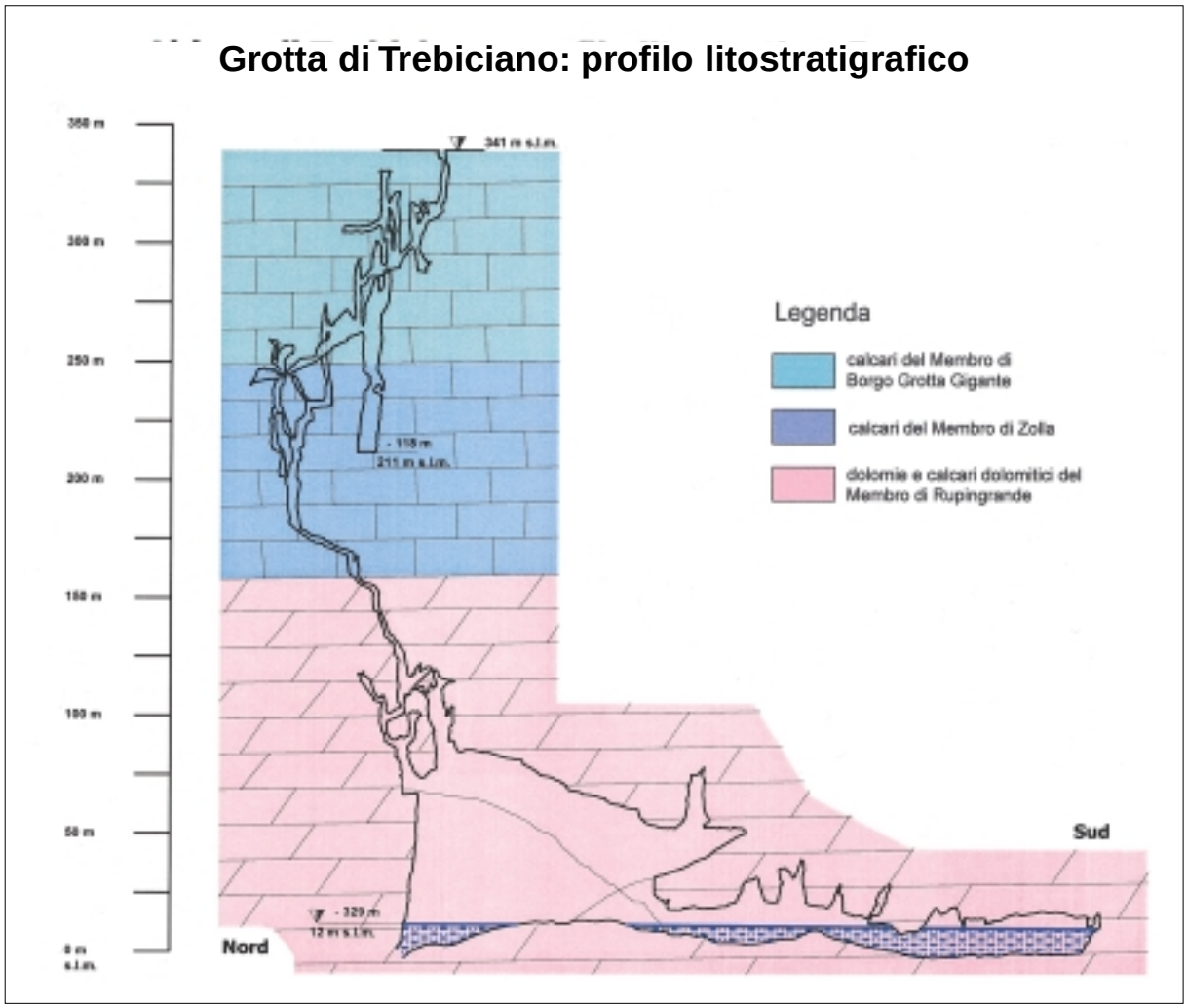
A valle della Grotta di Trebiciano il corso sotterraneo non scorre dunque completamente in pressione – come qualcuno aveva ipotizzato – in una condotta forzata sempre al di sotto del livello del mare fino alle risorgive del Timavo: il fiume continua invece il suo percorso in grandi gallerie a pelo libero alternate a tratti sifonanti, anche se il loro fondo si trova a diversi metri sotto lo zero marino (per effetto del più volte ricordato innalzamento di livello del mare Adriatico). La circolazione in condotta forzata sembra ammissibile soltanto nel tratto più prossimo alle risorgive, presumibilmente a valle di Slivia, come lasciano supporre i risultati delle prospezioni geoelettriche eseguite ancora negli anni Sessanta dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste.

Sarà da accertare ora, con il monitoraggio dei dati idrometrici e dei parametri fisico-chimici dell'acqua carsica (già avviato dall'Università di Trieste) e con gli esperimenti di marcatura (in programma) quali siano le reali connessioni idrologiche – e l'articolazione stessa di un ipotetico reticolo di canali – tra l'inghiottitoio di San Canziano e i fiumi sotterranei delle grotte di Trebiciano e di Lazzaro Jerko.



Alcune delle possibili relazioni idrologiche fra San Canziano, Trebiciano (T), Lazzaro Jerko (L) e Timavo, da verificare con indagini idrochimiche, misurazioni idrometriche e termometriche e marcature combinate e quantitative (tali da poter determinare la percentuale del tracciante transitato) a San Canziano e a Trebiciano. Le tre figure al margine destro rappresentano l'eventualità – poco verosimile – di un deflusso divergente che non fuoriesca dalle risorgive del Timavo.

143 "Il Piccolo", Trieste, 12.4.2000: *A caccia di rarità biologiche sul fondo del nuovo abisso*, di P. Spirito.



Profilo stratigrafico in corrispondenza della Grotta di Trebiciano e – nella pagina a fronte – della Grotta Lazzaro Jerko, con i limiti fra le tre unità litostratigrafiche riconosciute, tutte di età Cretacico superiore (a cura di P. Manca e L. Zini, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine dell'Università di Trieste).

Nella pagina a fronte, in basso, la carta geologica semplificata con la classificazione (informale e provvisoria) della "Formazione dei calcari del Carso Triestino:

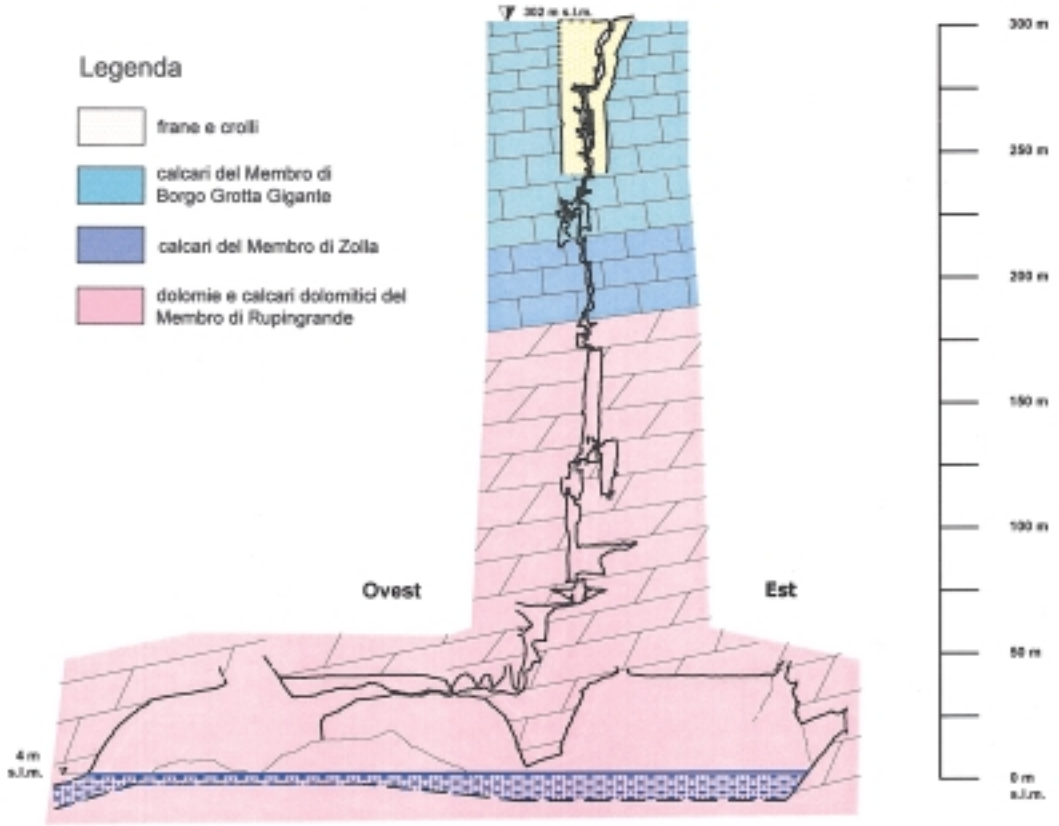
1. *Membro di M. Coste: "Calcare Cretaceo inferiore" - calcari grigio scuri o nerastri, talvolta bituminosi (Aptiano-Albiano);*
2. *Membro di Rupingrande: "Complesso dolomitico superiore" - brecce dolomitiche e dolomie più o meno compatte (Albiano-Cenomaniano);*
3. *Membro di Zolla: "Calcari nerastri o grigi" (Cenomaniano - Turoniano inf.);*
4. *Membro di Borgo Grotta Gigante: "Calcare Radiolitico principale" - calcari da grigio chiari a nerastri, a stratificazione massiccia (Turoniano inf: - Senoniano);*
5. *Membro di Monte Grisa: "Piano Liburnico" - Calcari neri o grigi più o meno bituminosi (Paleocene);*
6. *Membro di Opicina: "Calcari ad Alveoline e Nummuliti" - calcari grigi compatti (Paleocene - Eocene inf.);*
7. *"Formazione del Flysch" - arenarie e marne (Eocene).*

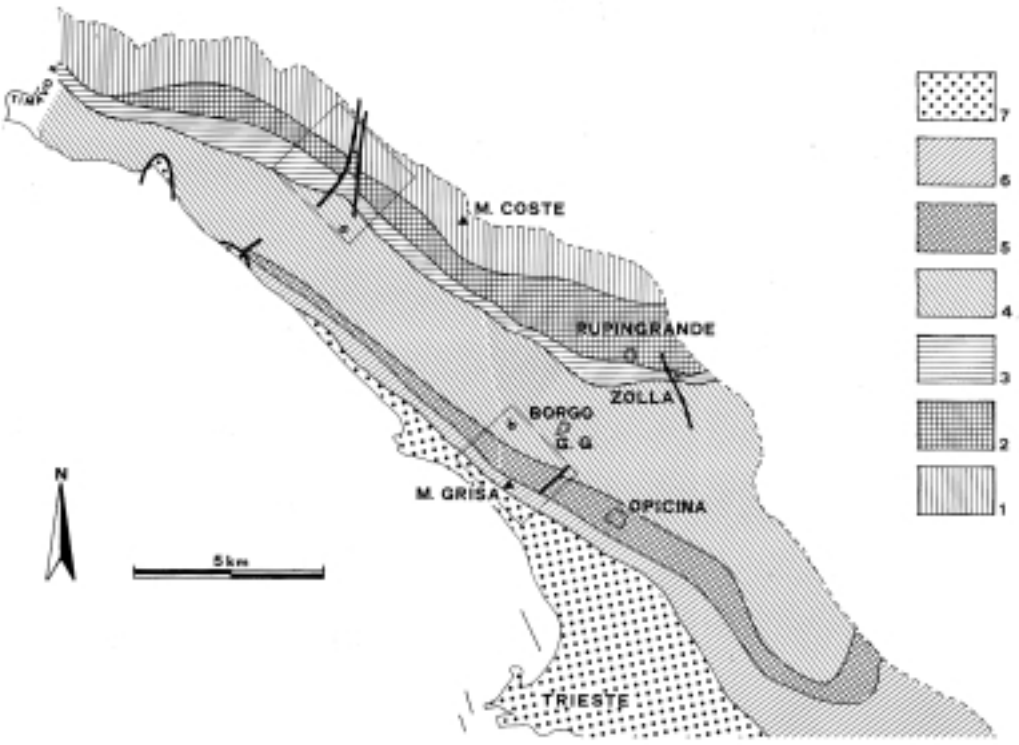
Si veda: Cucchi F., Marinetti E., Pugliese N., Zini L.: Il Carso Triestino (Escursione B2)*, in: Guida alle Escursioni, Società Geologica Italiana, 80. Riunione Estiva, Edizioni Università di Trieste, 2000 (con una sintesi aggiornata delle ricerche in corso).*

La Grotta di Trebiciano è stata a suo tempo oggetto di uno studio stratigrafico di estremo dettaglio, con l'assunzione di un centinaio di campioni di roccia; si veda: Ulcigrai F.: Successione stratigrafica dell'Abisso di Trebiciano, "Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan", Trieste, 18/1978, 1979.

L'analogo campionamento di dettaglio attualmente in corso nella Grotta Lazzaro Jerko consentirà di effettuare una correlazione più precisa tra le due cavità ed una ricostruzione dell'evoluzione nel tempo degli ambienti sedimentari tardo-cretacici. I depositi alluvionali sabbioso-limosi sul fondo delle due grotte evidenziano una provenienza dal bacino superficiale della Reka, inciso nella formazione del flysch. Si noti il notevole sviluppo delle due cavità nei litotipi dolomitici e calcareo-dolomitici, considerati scarsamente carsificabili; lo sviluppo del carsismo ipogeo sembra meno condizionato dalla solubilità della roccia di quanto non lo sia quello del carsismo di superficie.

Grotta Lazzaro Jerko: profilo litostratigrafico





Grotta Lazzaro Jerko (foto Umberto Tognolli).

La circolazione carsica e il corso sotterraneo del Timavo

Con mezzo secolo di anticipo rispetto alla scienza ufficiale, a Trieste si devono affrontare – come si è detto – i quesiti fondamentali della circolazione sotterranea del Carso nel tentativo di risolvere i problemi ingegneristici connessi allo sfruttamento delle risorse idriche dell'altopiano. La grande profondità alla quale si trova l'acqua nella Grotta di Trebiciano fa dubitare subito di poterla utilizzare convenientemente, dovendola incanalare in una galleria con la necessaria pendenza fino all'esterno, ai piedi delle colline che cingono la città di Trieste. Lo stesso Lindner elabora nel 1841 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 scorre in una valle profonda, sbarrando la quale si ottiene la formazione di un lago.

Un'opinione radicalmente diversa viene espressa un anno dopo da Anastasio Calvi, il quale teme "la disastrosa non meno che probabile eventualità per la quale le acque nel suddetto modo trattenute e rialzate avessero a deviarsi 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 fors'anche la principale, sarebbe quella della caverna". In questo caso – nell'ipotesi di un reticolo di canalizzazioni – il paragone sarebbe da farsi con un fiume superficiale che scorre in pianura con varie diramazioni: sbarrando una di esse si ottiene soltanto un aumento di portata nelle altre.

Diversa ancora l'interpretazione formulata da Giuseppe Sforzi, che osserva già in occasione delle prime discese come non sia possibile effettuare delle attendibili misurazioni di portata sul fondo della Grotta di Trebiciano in quanto "ogni crepatura perpendicolare fra gli scogli presso l'alveo del fiume lascia traspirare l'acqua dispersa, che sembra penetrare per dovunque nella caverna". Non si tratterebbe in questo caso di un corso canalizzato, ma di una vera e propria falda idrica che imbeve completamente tutte le fessurazioni nella profondità della massa rocciosa e lentamente fluisce attraverso di esse, per apparire 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 si alza e si abbassa contemporaneamente su tutta la superficie e defluisce verso lo sbocco dispersa in un infinito intreccio di fessurazioni; un sistema dunque - si direbbe oggi - estremamente "aperto", a circolazione idrica diffusa.

Nel suo progetto dell'acquedotto di Trebiciano (1849), Sforzi esprime l'opinione che non sia necessario giungere con la galleria fino alla grotta, ma che basti perforare ad un livello adeguatamente basso il mantello di rocce arenaceo-marnose impermeabili, addossato all'altopiano del Carso; si otterrebbe subito, appena raggiunta la roccia calcarea, un deflusso almeno parziale dell'acqua sotterranea da un sistema di vasi comunicanti: "raggiungendo i primi crepacci e le prime rocce che si presentassero, si ritroveranno riempite d'acqua sino al livello normale del fiume sotterraneo". Egli però in seguito modifica queste sue vedute ed immagina un corso sotterraneo canalizzato, non potendo spiegarsi altrimenti un innalzamento tanto rapido dell'acqua durante le piene nella Grotta di Trebiciano; considera anzi le canalizzazioni a tenuta talmente stagna da ritenere possibile l'ostruzione del sifone di uscita per provocare artificialmente l'innalzamento dell'acqua nella grande caverna.

Dopo trent'anni di dibattiti sui problemi relativi all'approvvigionamento idrico della città, un'efficace sintesi delle opinioni contrapposte viene formulata nel 1870 dall'ing. Bürkli di Zurigo: "Potrebbe darsi – egli scrive – che nell'interno della massa calcarea esista un grande serbatojo 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.

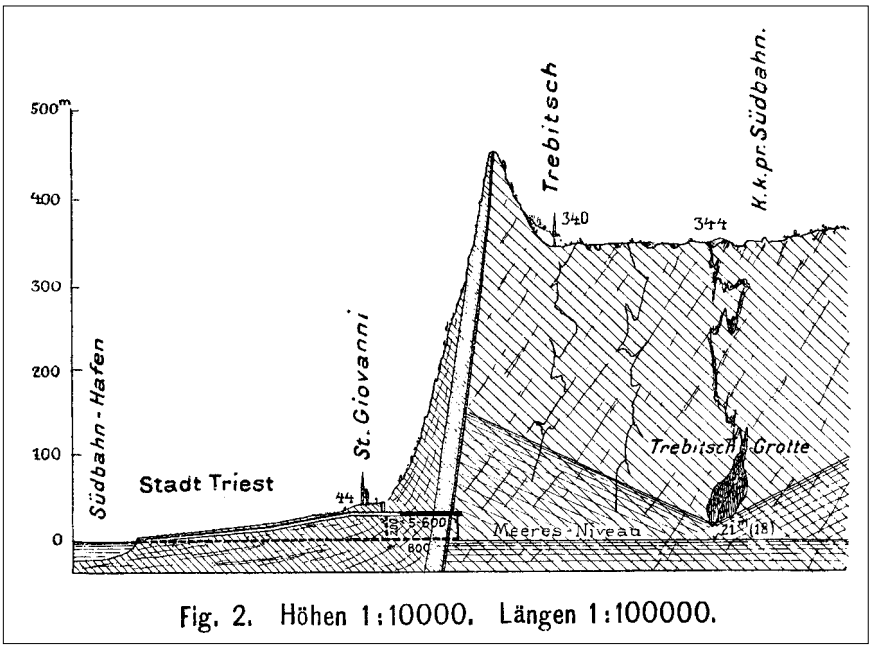
... Qualora esistesse in realtà un tale serbatojo sotterraneo formato da molte cavità, la superficie d'acqua del medesimo si vedrebbe lentamente ed a poco a poco accrescere al sopravvenire delle forti piogge, come avviene dei laghi esistenti sulla superficie della terra, ed andrebbe viceversa con eguale 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 San Canziano attraverso Trebich sino al Timavo, dividendosi forse di tratto in tratto in diversi rami come avviene nei fiumi di maggior entità in superficie"[144].

L'esistenza di un corso canalizzato sarebbe dimostrato – secondo lui – dal regime torrentizio del corso d'acqua nella Grotta di Trebiciano (grandi sbalzi di portata, eccezionali piene che talvolta allagano completamente l'enorme caverna e temperatura dell'acqua che risente della temperatura della Reka per effetto di un deflusso particolarmente veloce) ed inoltre dal fatto che il Timavo sotterraneo "non riappare alla luce già presso Sistiana, ove scompare la chiusa impermeabile" del tamponamento costiero delle rocce arenaceo-marnose.

All'inizio del Novecento il problema della circolazione carsica sotterranea diventa l'argomento di una controversia scientifica a livello internazionale destinata a protrarsi, con toni talvolta polemici, per oltre mezzo secolo. L'esistenza di una vera e propria acqua di fondo nei massicci carsici, simile a quella che si riscontra nei terreni granulari, viene sostenuta da diversi autori della scuola geografica di Vienna (Alfred Grund, Norbert Krebs, Albrecht Penck, ecc.) i quali paragonano un calcare fessurato, dal punto di vista idrologico, ad un conglomerato molto grossolano "a blocchi di diametro gigantesco separati da strette fessure", lungo le quali l'acqua può percolare in profondità fino alla base del massiccio carsico. Sarebbero dunque identificabili 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*), imbevuta dall'acqua 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" o *water-table* delle falde acquifere nei terreni incoerenti); questa lentamente sale o decresce, nella massa calcarea, per effetto delle precipitazioni e degli eventuali apporti fluviali. La misura delle sue oscillazioni dipende dalla densità della fratturazione della roccia e dall'intensità delle precipitazioni; se l'apporto di queste è rilevante, la falda idrica può innalzarsi fino a raggiungere la superficie del suolo ed allora le depressioni vengono allagate. La zona satura viene idealmente suddivisa nell'acqua di fondo vera e propria (*Grundwasser*), al di sotto del livello di base - cioè il livello delle risorgive - e l'acqua sotterranea sottoposta a carico idrostatico o "acqua carsica" (*Karstwasser*), al di sopra di tale livello. La prima, che si estende in profondità fino alle rocce incarsificate sottostanti al massiccio calcareo, sarebbe sempre stagnante ed assolutamente priva di qualsiasi circolazione; l'altra sarebbe 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 dei sostenitori della circolazione carsica canalizzata (Friedrich Katzer, Eduard Alfred Martel, Wilhelm Putick ecc.) per i quali non possono esistere falde freatiche continue nei massicci calcarei; ammettere per contro l'esistenza di "falde discontinue" equivarrebbe – secondo loro – a riconoscere l'esistenza di un reticolo di pieni e di vuoti; inoltre una "falda" può dirsi tale soltanto qualora effettivamente si estenda con continuità per una grande estensione. La circolazione dell'acqua sotterranea carsica non avverrebbe

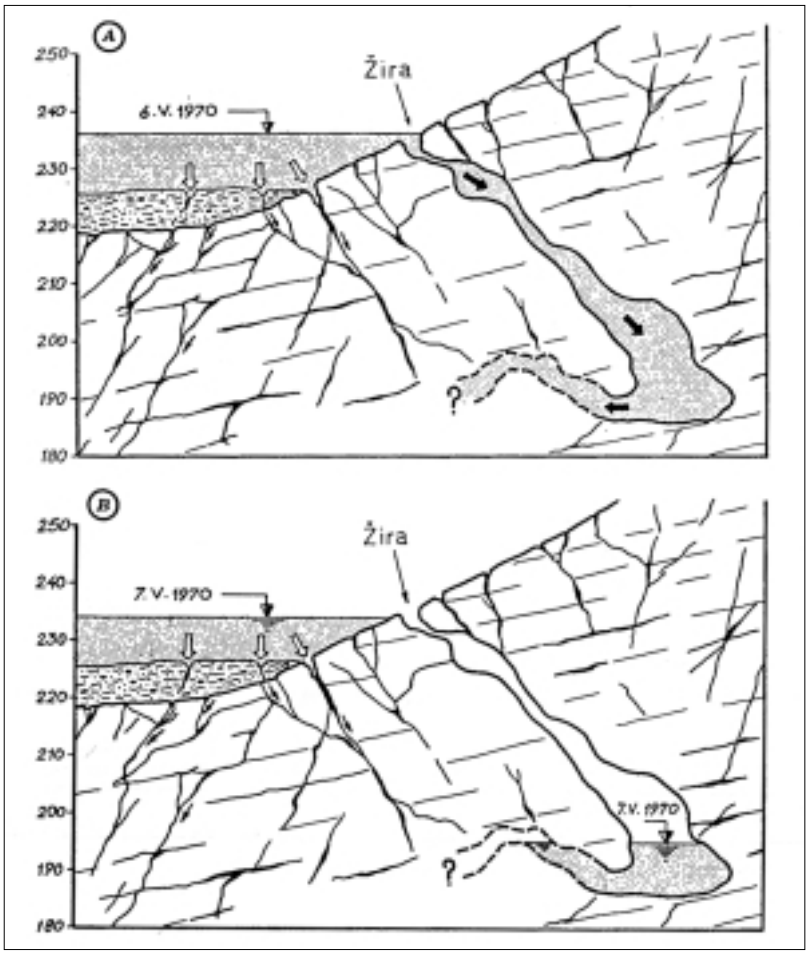
144 Bürkli A. (1870): *Relazione dell'ingegnere A. Bürkli di Zurigo in risposta ai quesiti proposti dalla Commissione Municipale incaricata degli studi sui provvedimenti d'acqua della città di Trieste*, Trieste, 1-64.



Sezione schematica del Carso triestino relativa al Prolungamento Tschebull dell'acquedotto Teresiano (da: Tschebull A.: Project einer Trinkwasserleitung für die Stadt Triest, *Wien, 1896). Con alcuni anni di anticipo sulle teorizzazioni di Alfred Grund, sono rappresentate in maniera didattica la Grundwasser al di sotto del livello del mare e le falde della Karstwasser, convergenti dai margini dell'altopiano verso il collettore centrale della Grotta di Trebiciano. La Galleria Tschebull, realizzata dal 1898 al 1902, si addentra per 174 metri nella roccia calcarea dove però, anziché attraversare la presunta falda idrica, ha trovato soltanto "roccia completamente asciutta".*

dunque con un flusso continuo e diffuso in un reticolo di fessure, ma con flussi isolati di tipo fluviale, concentrati nelle canalizzazioni della massa rocciosa; queste si sviluppano lungo le vie di minore resistenza e sono assimilabili a condotte forzate sottoposte a pressione idrostatica, con tratti sifonanti – nei casi di fluvio-carsismo – a tutti i livelli del massiccio calcareo e non soltanto nella sua parte basale. Nei grandi polje dell'entroterra della Dalmazia si osserva che talvolta bacini contigui ed alla medesima altitudine non vengono allagati contemporaneamente e che durante le inondazioni alcuni inghiottitoi continuano ad assorbire l'acqua mentre questa viene ancora rigurgitata dalle cavità vicine. Inoltre, nel caso di sorgenti 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 nelle canalizzazioni della roccia, con alvei propri e una propria individualità, come i fiumi superficiali, fino alla foce, "simili al sistema fognario di una città".

Secondo tali vedute la circolazione sotterranea sarebbe condizionata soltanto dalle fratture più grandi: le canalizzazioni si formerebbero per il progressivo confluire di vene d'acqua sempre più ricche e quindi anche in assenza di un apporto fluviale esterno. Non può esistere quindi una superficie piezometrica continua e con uniforme inclinazione su scala regionale, ma il livello dell'acqua – e quindi la pressione idrostatica – può essere di entità diversa anche in canalizzazioni molto vicine, qualora al loro interno l'acqua sia sottoposta agli effetti di differenti bacini di carico. Nei massicci calcarei vengono schematizzate tre zone sovrapposte: una superiore di assorbimento, una intermedia di scorrimento delle correnti sotterranee ed una inferiore in cui i condotti sono perennemente allagati; quest'ultima costituisce le riserve permanenti delle risorgive, ma non presenta caratteri di freaticità (una perforazione cioè potrebbe non incontrare l'acqua, ma raggiungerla soltanto se intercetta una canalizzazione). I sostenitori della teoria della *Grundwasser* accusano i loro avversari di voler negare l'esistenza delle falde idriche – che permeano le fessure più sottili, inaccessibili all'indagine diretta – soltanto per il fatto di non averle mai viste durante le loro esplorazioni speleologiche (l'immanenza di verità imperscrutabili non risparmia evidentemente neanche questo genere di studi); di rimando vengono a loro volta accusati di eccessive teorizzazioni, perdendo di vista – a tavolino – la reale dinamica della circolazione carsica. In realtà i sostenitori della circolazione di tipo fluviale nei massicci calcarei (*Flusswasser*) non respingono 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, nei quali il livello dell'acqua dipende da condizioni esclusivamente locali e si dispone secondo una superficie di equilibrio variabile nel tempo e nello spazio. Un sifone in una grotta non rappresenta pertanto la



L'esempio classico di circolazione canalizzata dell'inghiottitoio di Žira, alle sponde del lago temporaneo di Popovo polje nell'entroterra dalmata (Bosnia). Quando il lago si abbassa sotto la soglia dell'inghiottitoio, l'acqua all'interno di questo non scende in accordo con il livello del lago – quale sarebbe il comportamento di una falda – ma in 24 ore raggiunge la profondità di 45 metri, in un tratto sifonante della cavità, mentre sul fondo del lago i punti idrovori circostanti stanno ancora assorbendo a pieno regime (da Milanović P.: Hidrogeologija Karsta i metode istraživanja*, Institut za Korištenje i Zaštitu voda na Kršu, Trebinje, 1979).*

superficie di una falda idrica, che filtra dal sistema di vasi comunicanti delle 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[145].

* * *

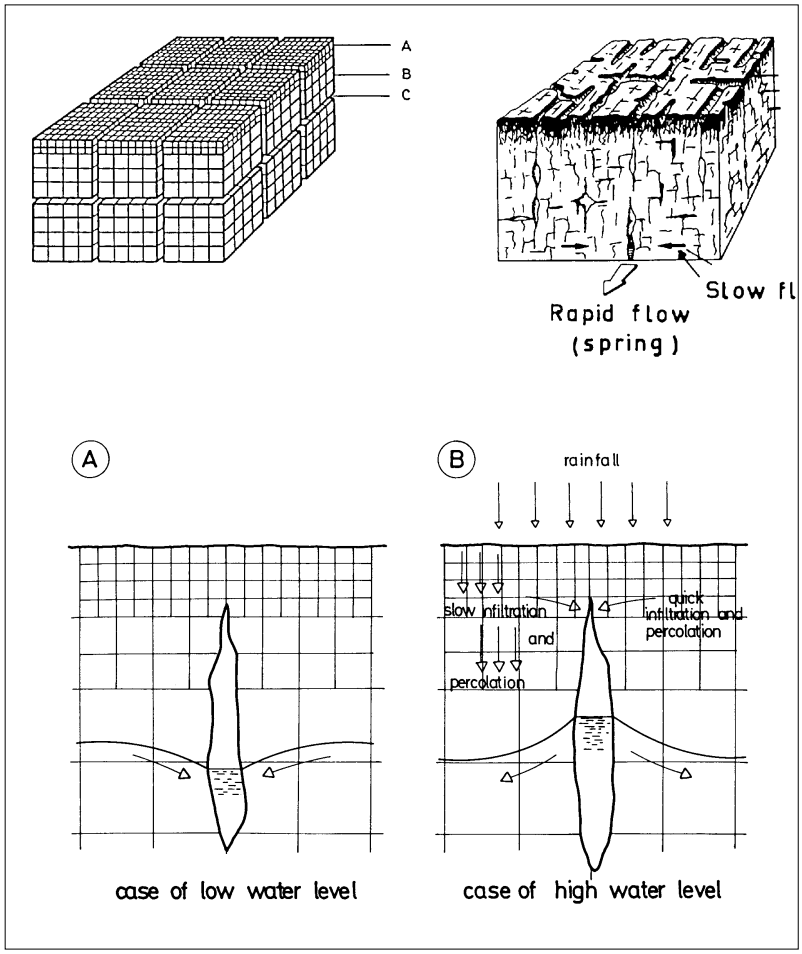
Dopo decenni di polemiche sulla dinamica della circolazione carsica sotterranea, dispersa in un infinito intreccio di fessure oppure concentrata in un sistema di grandi canalizzazioni, alla fine viene accettata l'idea che le due forme di circolazione possano realmente coesistere nei massicci calcarei, come hanno anticipato ancora negli anni Trenta i teorici del moto laminare e del moto turbolento nei deflussi dei sistemi carsici. In mezzo ad enormi "blocchi" di roccia intersecata da sottili fessure, a prevalente ritenzione idrica, si sarebbero sviluppati i grandi "condotti" delle direttrici preferenziali di drenaggio. La maglia delle sottili fessure sarebbe dell'ordine del metro o delle decine di metri, quella delle canalizzazioni dell'ordine delle centinaia di metri. In un'originaria rete di fessure di dimensioni molto simili tra loro si determinerebbe nel tempo uno sviluppo differenziale delle vie di deflusso: sarebbe sufficiente una circolazione soltanto di poco più intensa perché alcune fessure possano progressivamente allargarsi in un processo che si "autoalimenta" continuamente, mentre le altre, inizialmente di poco più piccole, non potrebbero praticamente modificarsi[146]. Nella volumetria della massa calcarea i condotti rappresentano una frazione minima, però con un'elevata conduttività idraulica ed alte velocità di deflusso; i blocchi invece ne costituiscono la stragrande maggioranza, però con velocità di deflusso e conduttività idraulica estremamente basse.

Il drenaggio diffuso in una rete di sottili fessure viene teoricamente dimostrato con l'analisi degli idrogrammi (le curve della quantità di deflusso nel tempo): dopo il brusco aumento di portata delle risorgive in seguito ad una pioggia intensa, il deflusso decresce dapprima rapidamente, per stabilizzarsi poi su valori costanti o

[145] Fra le tante sintesi delle teorie sull'idrologia carsica, va ricordata, per le suggestioni evocate dal cognome dell'autore:
Lindner H. (1920): *Grundwasserverhältnisse, Quellenbildung und Wasserversorgung in Karstgebieten*, "Wasser und Gas", Berlin, 10(19):769-784.

[146] Forti P. (1999): *Gli acquiferi carsici: problematiche per il loro studio e utilizzo*, Atti del Convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici, Ponte di Brenta 1998, C.A.I. Gruppo Speleologico Padovano, 13-39.

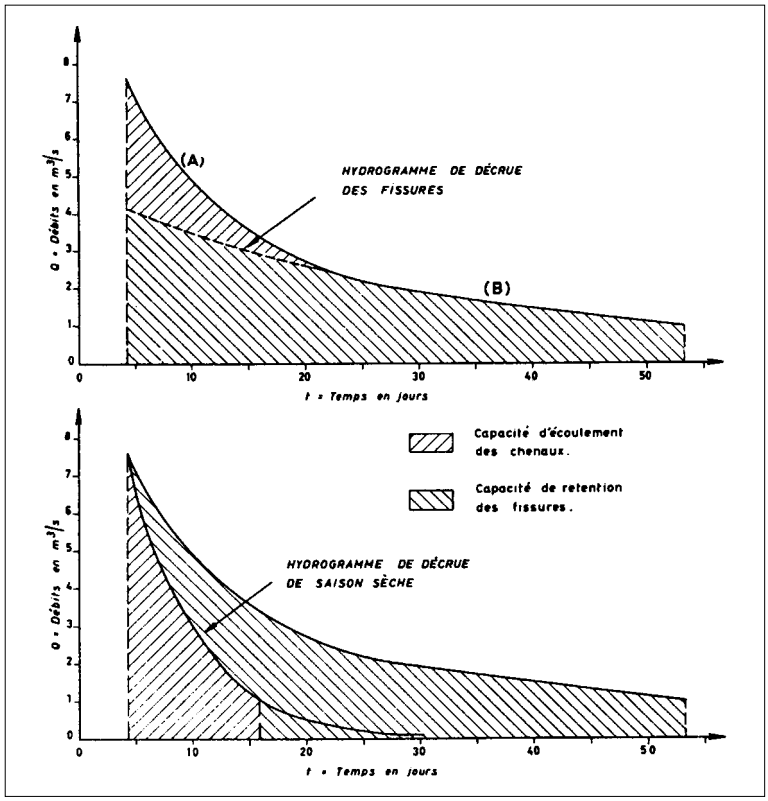
lievemente decrescenti per effetto dello svuotamento lento dell'acqua dalla fitta rete di fessure dei "blocchi" compresi fra le canalizzazioni maggiori; l'andamento della curva di recessione (decrescita delle piene) consentirebbe di stabilire in maniera quantitativa il rapporto tra il drenaggio canalizzato e il drenaggio diffuso. Si tratta comunque di un modello teorico valido per i calcoli di ingegneria idraulica ai fini della gestione delle risorse idriche, ma che non è sempre rispondente alla realtà fisica dei diversi sistemi carsici. In particolare nel caso del Carso triestino, in uno stadio di avanzata maturità geomorfologica – caratterizzato da un drenaggio principale concentrato in pochi e grandi condotti – e con le fessure basali verosimilmente intasate dai sedimenti fini trasportati dagli apporti fluviali esterni, è più probabile che si tratti dello svuotamento non di una rete di fessure ma di un labirinto di cavità vere e proprie, in prossimità del livello di base, dalle quali l'acqua può defluire molto lentamente attraverso le ostruzioni dei depositi argillosi.



Sopra: lo schema di Claude Drogue, che rappresenta la struttura idrogeologica "eterogenea" delle rocce carbonatiche. Legenda: A. zona superficiale "sottocutanea" fittamente fratturata; B. blocchi con reticoli di strette fessure; C. sistemi di canalizzazioni (da: Drogue C.: Hydrodynamics of Karst Aquifers, *«International Contribution to Hydrogeology», Hannover, 1992). All'interno dei blocchi sottilmente fessurati, l'acqua circola con un flusso lento e laminare in direzione delle canalizzazioni, quindi all'interno di queste, con un flusso rapido e turbolento in direzione dei punti di sbocco. La maglia della fessure sottili sarebbe dell'ordine del metro o della decina di metri; la maglia delle canalizzazioni invece dell'ordine delle centinaia di metri. A parità di caratteristiche meccaniche della roccia, l'intensità della fessurazione diminuisce con la profondità. Sotto: nelle canalizzazioni il livello dell'acqua in magra è più basso che nella rete delle fessure circostanti (A) ed è più alto in piena (B); le canalizzazioni dunque al mutare del regime idrologico invertono la loro funzione, per cui drenano oppure alimentano gli adiacenti "blocchi" rocciosi sottilmente fessurati. La principale fonte di alimentazione dei reticoli di fessure, a circolazione laminare, è comunque costituita dall'infiltrazione delle precipitazioni meteoriche, non dal travaso dell'acqua delle piene.*

Le nuove teorie sul drenaggio canalizzato e sul drenaggio diffuso che interagiscono tra di loro vengono elaborate studiando il comportamento dell'acqua nelle perforazioni, nelle quali è possibile misurare esattamente il livello ed i tempi di esaurimento e di rimonta durante le prove di pompaggio (dagli anni Settanta l'Università di Montpellier è all'avanguardia in questo campo). Nei pozzi di minore portata, durante i periodi di magra il livello dell'acqua si mantiene più alto rispetto a quelli di portata maggiore, che sono collegati alle canalizzazioni più drenanti, mentre rimane più basso nei periodi di piena. Durante le piene dunque le canalizzazioni alimenterebbero la falda carsica circostante, in magra invece il drenaggio si invertirebbe e sarebbero le canalizzazioni ad essere alimentate dalla falda. Questa è la dinamica già intravista a suo tempo da Eugenio Boegan[147], secondo il quale

147 Boegan E. (1938): *Il Timavo – Studio sull'idrologia carsica subaerea e sotterranea*, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Postumia-Trieste, 251 pp.



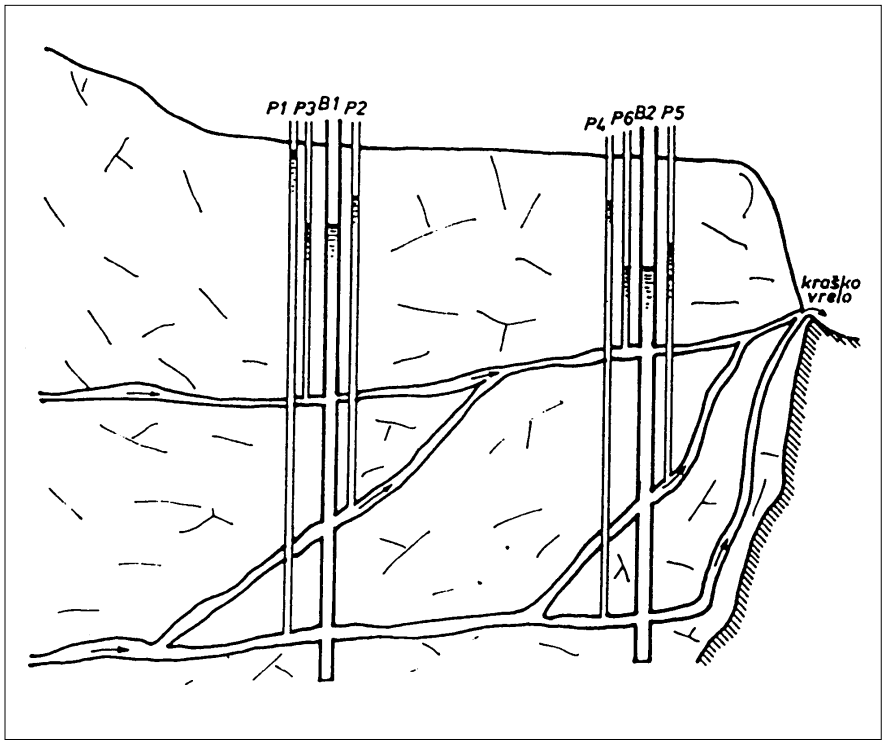
L'analisi della curva di recessione consentirebbe di stabilire il rapporto fra il drenaggio canalizzato e il drenaggio diffuso e dimostrerebbe l'esistenza di una rete di sottili fessure nel sistema carsico. Le figure rappresentano due diversi metodi di valutazione della capacità di ritenzione idrica: 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.: Essai de détermination des composantes de l'écoulement des sources karstiques, *«Annales de Spéléologie», C.N.R.S. Paris, 1963).*

la circolazione sotterranea del Carso avviene lungo "un condotto principale" nel quale in magra prevarrebbe "l'alimentazione" (cioè il flusso dalla falda idrica circostante verso il canale) e invece in piena "gli spandimenti" (cioè il flusso laterale dal canale verso la falda). Le successive indagini idrochimiche e le prove di marcatura fanno comunque escludere che una grande percentuale dell'acqua delle piene possa essere trattenuta a lungo all'interno della massa calcarea. A questo proposito è molto dubbia la reale capacità dell'infinito complesso delle sottili fessure, normalmente alimentato dall'acqua di percolazione verticale proveniente dalla superficie del suolo, di immagazzinare durante le piene una quantità rilevante dell'acqua che circola sotto pressione nelle grandi canalizzazioni alla base del massiccio calcareo; il fenomeno potrebbe semmai interessare soltanto le immediate adiacenze dei grandi condotti (e del resto da lungo tempo viene ormai escluso che nelle fessure più strette di un millimetro possa avvenire una circolazione idrica qualsiasi). Detto per inciso, anche l'entità della percolazione verticale dalla superficie del suolo – definita *infiltrazione primaria* nel linguaggio geoidrologico per distinguerla dall'*infiltrazione secondaria* degli apporti fluviali esterni[148] – risulta estremamente variabile e, come tutti gli altri aspetti del carsismo, legata alle condizioni del luogo e del momento. La velocità dell'infiltrazione dell'acqua attraverso cento metri di roccia può risultare di un'ora oppure di diversi mesi e la "portata" dello stillicidio varia enormemente – per la tendenza a confluire dei filetti idrici percolanti – tra punti situati a pochi metri di distanza l'uno dall'altro. Piogge intense danno luogo ad un'infiltrazione molto veloce attraverso la massa rocciosa fino al livello dell'acqua di fondo; al contrario, piogge persistenti ma leggere danno luogo ad una percolazione lentissima, che in gran parte viene trattenuta nei depositi di terra rossa e nei riempimenti argillosi delle cavità carsiche. La stima dell'apporto globale dell'infiltrazione primaria appare quindi enormemente aleatoria e tale – nel nostro caso – da vanificare all'origine ogni tentativo di calcolare, sulla base della piovosità annua, un attendibile bilancio idrico del bacino del Carso. Le determinazioni del trizio naturale nelle acque del Timavo, eseguite ancora negli anni Sessanta dall'Osservatorio Geofisico di Trieste, portano a valutare da uno a tre mesi il tempo impiegato dall'acqua delle precipitazioni meteoriche a defluire attraverso le risorgive.

[148] Oggi vengono spesso usati indifferentemente i termini di "fluvio-carsismo" e "carsismo di contatto" per indicare l'esistenza di apporti fluviali esterni nel bacino carsico. E' preferibile invece – come a suo tempo Ferruccio Mosetti – denominare "carsismo di contatto" soltanto il caso di apporti sotterranei da bacini contigui, come nel nostro caso dalle perdite di subalveo dell'Isonzo.

Sarebbero esclusi tempi di ritenzione molto più lunghi, dell'ordine di un anno o addirittura di più anni, come si è talvolta ipotizzato.

Per quanto riguarda inoltre il reticolo delle sottili fessure, va comunque rilevato come questo non sia affatto omogeneo nella massa calcarea, la quale, a parità di caratteristiche meccaniche della roccia, in genere si presenta maggiormente fratturata nella parte più superficiale e progressivamente sempre meno in profondità. Ma anche al medesimo livello, in settori contigui, sono riscontrabili notevoli differenze nell'intensità della fratturazione. Nel caso dell'altopiano del Carso, l'accertata prevalenza degli elementi disgiuntivi (fratture e faglie) sugli elementi plicativi, configura la sua struttura come un insieme di enormi prismi di rocce calcaree a diverso grado di carsificabilità (e quindi a diverso grado di "permeabilità secondaria") sovrapposti e affiancati gli uni agli altri per successione stratigrafica di rocce diverse, eteropie di *facies* o contatti tettonici. In ciascuno degli enormi prismi, la differente intensità della fratturazione condiziona lo sviluppo del carsismo e di fatto ne determina una "concentrazione" oppure una "dispersione" (l'azione aggressiva dell'acqua di percolazione si concentra cioè su poche vie preferenziali nella massa rocciosa, ampliandole progressivamente, oppure si disperde in una moltitudine di fessure, che oltretutto vengono continuamente intasate dai residui insolubili della dissoluzione carsica). Di particolare evidenza nelle morfologie superficiali, questa "scala della carsificabilità"[149] sotto il profilo idrogeologico si traduce in una predisposizione all'instaurarsi in profondità di un drenaggio prevalentemente diffuso oppure concentrato e canalizzato. Ovviamente, il grado di carsificabilità riscontrabile in superficie può essere diverso da quello in profondità e normalmente lo è (interessando "prismi" di roccia differenti) salvo il caso di uno spessore molto esiguo della massa rocciosa. Comunque l'idea di una roccia calcarea fortemente vascolarizzata è piuttosto un luogo comune solitamente accettato in maniera acritica che non una realtà fisica davvero riscontrabile in natura. Va anzi osservato come, specialmente i litotipi ad elevata carsificabilità (nei quali si riscontra una "concentrazione del carsismo" sia nelle morfologie superficiali che nei drenaggi profondi), siano in realtà rocce di notevole compattezza con una capacità di ritenzione idrica abbastanza modesta.



La pressione idraulica è maggiore nelle canalizzazioni profonde, che drenano acque di provenienza più lontana e soggette a un carico idrostatico più elevato; è minore nelle canalizzazioni più superficiali, che drenano l'acqua di percolazione di provenienza locale. La pressione è infatti più elevata nelle perforazioni P1 e P4, che intercettano le canalizzazioni più profonde; intermedia in P2 e P5 e minima in P3 e P6. In accordo con queste ultime si stabilizza il livello nei pozzi B1 e B2, che intercettano tutti e tre i diversi livelli di canalizzazioni. I livelli nel gruppo P1,P2 e P3 sono superiori a P4, P5 e P6 per effetto del gradiente idraulico (da: Kupusović T.: Measurements of piezometric pressures along deep boreholes in karst area and their assessment, *"Naš Krš", Sarajevo, 1989).*

149 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.

Gli studi recentemente effettuati sulle proprietà idrauliche delle rocce in generale e – nel particolare del nostro àmbito locale – sulla circolazione idrica nelle *Wassergalerien* dell'acquedotto Teresiano[150], scavate nella formazione del *flysch*, hanno dimostrato come certi concetti finora applicati all'idrologia carsica in realtà siano più appropriati per spiegare la dinamica della circolazione (e della ritenzione) idrica nelle stratificazioni fratturate di arenaria.

Secondo lo schema teorico, la circolazione di acque aggressive nelle fessure più grandi provocherebbe – come si è detto – un loro progressivo ampliamento ed una loro funzione drenante sempre più accentuata. Si determinerebbe nel tempo l'evoluzione da un drenaggio prevalentemente diffuso ad un drenaggio sempre più canalizzato, cioè una sempre maggiore differenza di conduttività idraulica fra le direttrici di drenaggio preferenziali dei condotti e le zone di ritenzione dei blocchi sottilmente fessurati. Nella realtà possono però verificarsi casi in controtendenza in cui una circolazione canalizzata può parzialmente "regredire" in una circolazione diffusa, quando ad esempio le variazioni del livello di base – come il recente innalzamento del mare Adriatico – provocano la completa sommersione dei condotti principali ed un rigurgito dell'acqua sotterranea, per effetto del carico idrostatico, in tutto il circostante sistema di fratture nella zona costiera. Le prospezioni geoelettriche eseguite sul Carso ancora negli anni Sessanta dall'Osservatorio Geofisico di Trieste hanno infatti accertato la presenza dell'acqua di fondo soltanto nel Carso isontino, nell'area delle risorgive e a valle di Slivia, dove l'acqua circola sotto carico idrostatico – come una corrente sotterranea *interna* all'acqua di fondo – nei grandi condotti affogati al di sotto del livello del mare. Nel settore più a monte del solco di Aurisina la falda carsica non viene rilevata dalle prospezioni (sempreché i metodi di indagine impiegati a quel tempo si possano considerare affidabili) ed in effetti l'acqua non viene nemmeno trovata nel 1902 al fondo dello scavo eseguito nella Grotta Nemez, né ai nostri giorni – in condizioni normali – al fondo della Grotta Lindner e della Grotta Skilan. Soltanto durante le piene l'acqua rimontante invade le cavità più profonde che – come ha detto ancora a suo tempo Pietro Kandler – diventano in tal caso "serbatoi non perenni".

Ha comunque un senso parlare di acqua di fondo e di superficie piezometrica soltanto qualora tutto il sistema delle cavità basali venga riempito dall'acqua sotterranea fino ad un certo livello, decrescente verso gli sbocchi secondo le leggi del carico idrostatico (senza comunque dimenticare che la circolazione dell'acqua di fondo attraverso le rocce carsificate è molto differente dalla circolazione idrica ipogea nei terreni granulari e non è mai assimilabile ad essa). In teoria l'acqua tende bensì a disporsi, in tempi più o meno lunghi, secondo un'uniforme superficie di equilibrio nei meati della massa rocciosa, ma nella realtà, sotto l'incessante azione dei fattori perturbatori (precipitazioni meteoriche, apporti e deflussi sotterranei) – e in conseguenza della diversa conduttività idraulica dei drenaggi – il livello piezometrico può essere diverso anche in canalizzazioni molto vicine. In particolare le grandi piene che si registrano nella Grotta di Trebiciano, dove talvolta la grande caverna viene completamente allagata, sono da attribuire all'incapacità del sifone di uscita di smaltire tutta l'acqua convogliata dalla galleria immissaria: ciò significa che in questi casi l'aumento di livello è del tutto localizzato e che, a breve distanza dalla caverna allagata, nella massa rocciosa possono sussistere vani aerati a profondità maggiore del livello dell'acqua nella caverna medesima. Tanto meno si possono attribuire ad un aumento generalizzato dell'acqua di fondo gli eccezionali allagamenti delle Grotte di San Canziano, quando "per circa metà le voragini erano invase dalle acque" (avvenuti nel 1807, 1826, 1851, 1868, 1935 e 1965)[151], dovuti a temporanei intasamenti delle gallerie di deflusso poco a valle del sifone di uscita. La pressione idraulica inoltre è maggiore nelle canalizzazioni più profonde, che convogliano l'acqua di provenienza più lontana con bacini di carico a quota più elevata, rispetto alle canalizzazioni più superficiali che drenano l'acqua di provenienza locale; dovunque si siano effettuate perforazioni ravvicinate nei massicci calcarei (spinte a diversa profondità ed "intubate" in maniera da discriminare gli effetti della

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

[151] Habe F. (1966): *Katastrofalne poplave pred našimi turistični jamami*, "Naše Jame", Ljubljana, 8:45-54.

pressione idraulica ai vari livelli) si è sempre avuto modo di constatare questo fenomeno.

In definitiva bisogna sempre tenere presente che l'acquifero (ossia la massa rocciosa che immagazzina e "trasmette" l'acqua) è costituito nei sistemi carsici da incommensurabilmente molta più roccia che acqua: una perforazione spinta al di sotto della superficie piezometrica – come quella ormai famosa dell'arsenale di Pola, profonda 297 metri sotto il livello del mare – potrebbe infatti non incontrare l'acqua o intercettare fessurazioni di ridotta conduttività idraulica e risultare al pompaggio di minima portata.

* * *

Il percorso del Timavo sotterraneo è sempre stato uno dei problemi più stimolanti per gli studiosi che si sono occupati dell'argomento, sia che lo credessero scorrere come un vero e proprio fiume in un sistema di grandi canalizzazioni, sia che lo credessero defluire nello "stroma spugnoso" di un reticolo di fessure nella profondità dell'altopiano del Carso.

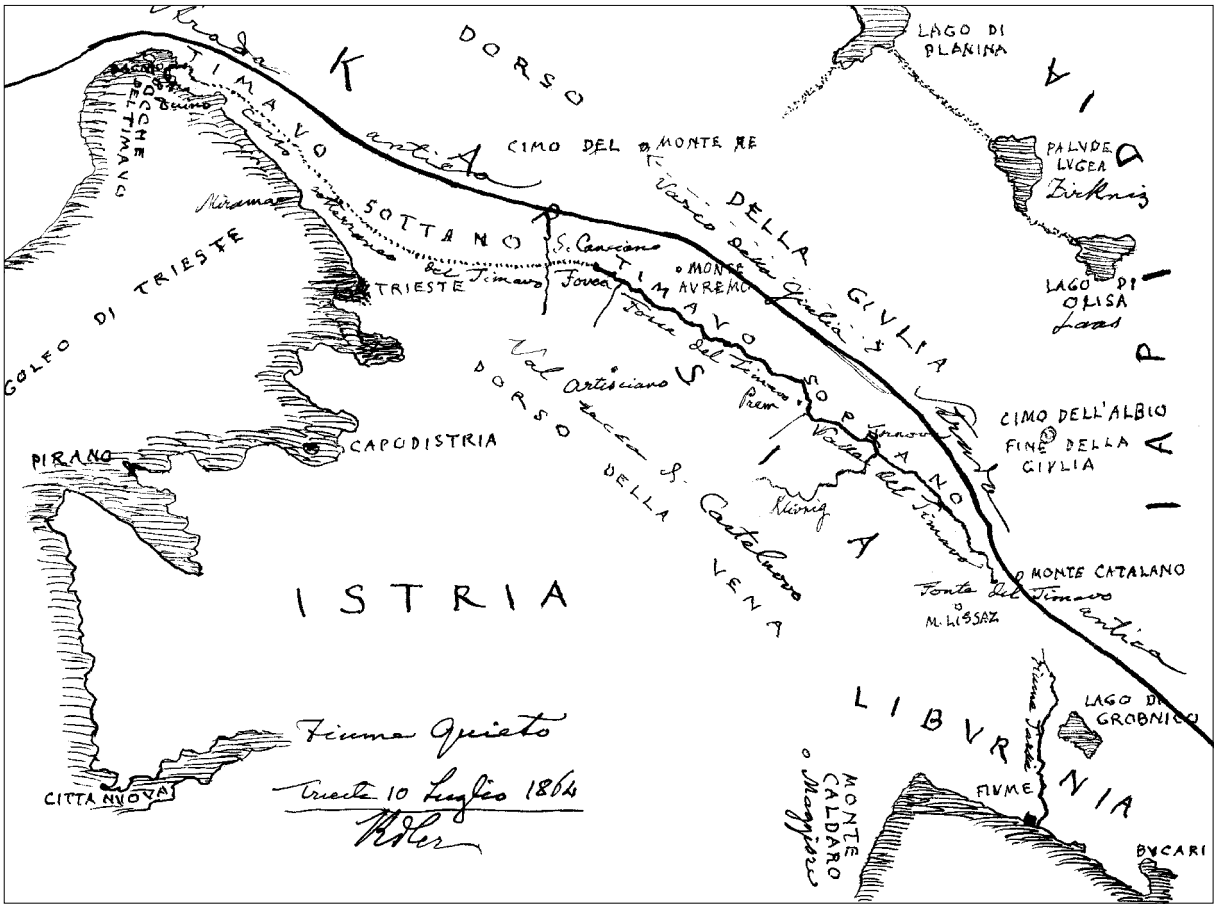
Una prima ipotesi viene formulata già dalla "Commissione delegata allo studio della Caverna di Trebich" nella sua relazione del 10 luglio 1841; vi si legge come sia "più verosimile che esso corra per la valle al di qua del Monte Voinig (in italiano "Lanaro") che nella valle al di là" – cioè lungo il solco di Aurisina anziché nel solco di Brestovizza – 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 che "il fiume Recca s'avvicina da San Canciano sempre più a Trieste fino a Trebich, da dove prosegue il corso parallelo alla costiera" fino a San Giovanni di Duino; "il filone d'acqua non è a mezzaria della valle, ma si accosta alle pareti che sono a ponente", cioè al margine dell'altopiano, come vuole l'antica tradizione popolare che viene anche riportata nella relazione dell'abate Richard. Kandler sostiene che nella regione sorgentizia del Timavo devono confluire anche le acque delle perdite del Vipacco (che alimentano i laghi carsici di Doberdò e di Pietrarossa e le risorgive del vallone del Locavez) ed inoltre le acque sotterranee del vallone di Brestovizza; queste ultime, meno soggette a torbide e a grandi piene, non sarebbero però in relazione diretta con la Reka di San Canziano, ma proverrebbero dall'infiltrazione delle precipitazioni meteoriche sulla superficie del Carso.

Nella sua concezione di una circolazione idrica diffusa, Giuseppe Sforzi ritiene che "dalle acque del fiume Recca e dai confluenti sotterranei" siano alimentate non solo le risorgive del Timavo, ma anche le sorgenti "del Risano, di Dollina, di Bolliunz, di Klincizza, d'Ospo e di Santa Croce"; tuttavia nella cartina a corredo del suo rilievo della Grotta di Trebiciano (1842), egli indica un corso sotterraneo unico che vi giunge da San Canziano per Divaccia e Povir (dove sono ben noti gli sfiatatoi che diventano soffianti durante le piene) ed ipotizza, per spiegare la grande portata di Trebiciano in confronto a quella di San Canziano, l'esistenza a monte della Grotta di Trebiciano di un grosso affluente sotterraneo proveniente dalla zona di Basovizza.

La grande sproporzione tra la portata riscontrabile in magra a San Canziano e a Trebiciano si presta però anche ad una diversa ipotesi e cioè che non sia la Reka a passare per la Grotta di Trebiciano, bensì il deflusso di tutta l'acqua di percolazione che si è raccolta nella profondità dell'altopiano. Il primo ad avanzare dei dubbi sulla continuità della Reka con il fiume di Trebiciano è l'ing. Gabriele Grimaud de Caux, il progettista dell'acquedotto di Venezia, che rileva come " l'eccedente di Trebich, cioè 8 parti su 9 … sarebbe fornito dalle infiltrazioni, che hanno la loro origine sul Carso, o più lungi". Secondo queste vedute, che anticipano la teoria dell'acqua di fondo, nella caverna non vi sarebbe che "un lago alimentato dalle acque d'infiltrazione" e pertanto l'eventuale acquedotto rischierebbe col tempo di esaurire la falda, priva di apporti fluviali esterni veri e propri[152].

Maggiori sono i dubbi sulla continuità San Canziano–Trebiciano e più si consolida l'ipotesi dei due corsi sotterranei paralleli, lungo i solchi

[152] Stancovich P. (1844): *Degli acquedotti nelle colonie d'Istria e dell'arco acquedotto romano in Trieste detto Arco Riccardo*, Venezia, 32 pp.



*La carta del "Timavo sottano" disegnata da Pietro Kandler (*Discorso sul Timavo, *Trieste, 1864). Rispetto al percorso ipotizzato da Giuseppe Sforzi attraverso la soglia di Divaccia (si veda la cartina a pag. 27), viene qui rappresentato un corso sotterraneo che da San Canziano si dirige verso sud attraverso la soglia di Corgnale.*

di Aurisina e di Brestovizza, confluenti nelle risorgive del Timavo. Questa viene sostenuta anche dall'ing. Luigi Buzzi nel suo lavoro sulle sorgenti di Aurisina[153], che egli considera alimentate dall'acqua di Trebiciano. Secondo lui la Reka sotterranea scorre nel sottosuolo 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", bensì sarebbero alimentate – come la Grotta di Trebiciano – soltanto dalle precipitazioni sul bacino carsico, esteso fino ai rilievi arenacei del "M. Houze" (in italiano "Castellaro"), dai quali potrebbero provenire le sabbie silicee che si trovano nella grande caverna.

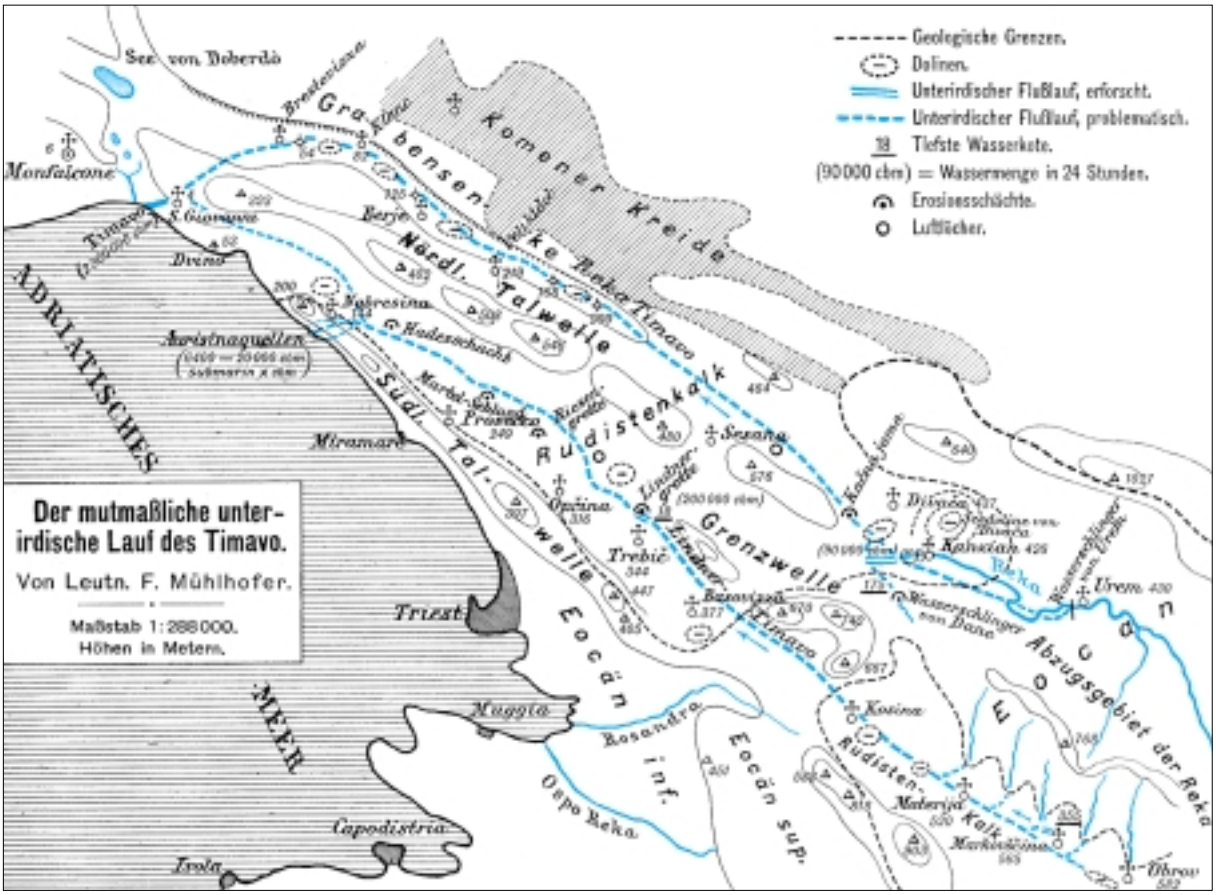
Nel suo lavoro sull'idrologia del Carso, Giulio Grablovitz ribadisce a sua volta la funzione di spartiacque sotterraneo della catena mediana del M. Lanaro "costituita dai calcari compatti della creta inferiore, impermeabili e resistenti all'erosione dell'acqua" che divide il "bacino di Trebiciano" dalla "Draga di Pliscovizza" 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 radiolitico e raggiungano per quella via la Grotta di Trebiciano". Egli giunge comunque alla conclusione "che il decorso sotterraneo (del Timavo) non è né semplice, né uniforme, quanto per un fiume che scorra alla superficie ... e che in molti punti la superficie dell'ac-

153 Buzzi L. (1880*): Sulle neoscoperte scaturigini presso Aurisina*, "Atti della Società d'Ingegneri ed Architetti", Trieste, 3(2):1-17.

qua 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".

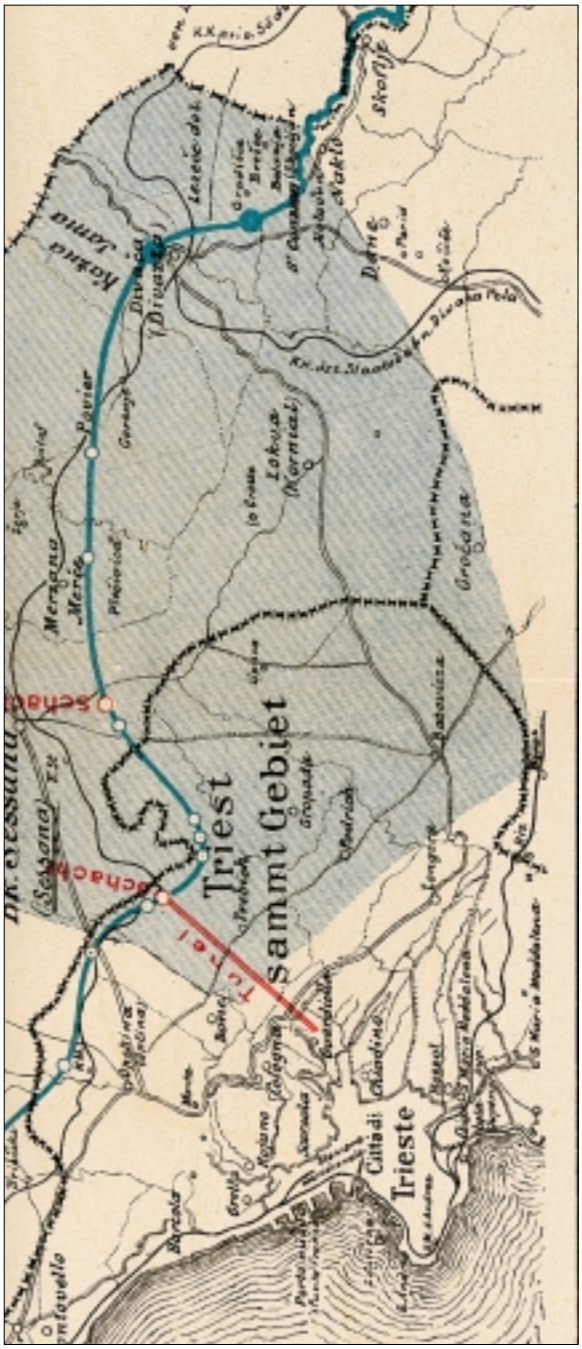
L'argomento viene ripreso e sviluppato da Antonio Polley, che estende il "bacino carsico" di Luigi Buzzi ben più a monte del Castellaro comprendendovi tutta la "valsecca" di Castelnuovo. "Il Recca - egli scrive - non alimenta le acque della caverna di Trebiciano, ma il bacino idrico di questa si trova nel paese dei Berchini (da Rodik a Sapiane) e nella Cicceria". Dalla Grotta 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". Vi sarebbero dunque un "Timavo-Recca" nel solco di Brestovizza, proveniente da San Canziano e un "Timavo-Trebiciano" che passa per quella grotta e proviene dal bacino di Castelnuovo. 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 Castelnuovo". Nella cartina inserita in una delle sue pubblicazioni, egli delinea un tracciato del corso sotterraneo che poco si discosta da quello elaborato da Giuseppe Sforzi mezzo secolo prima (un corso unico da San Canziano alla Grotta di Trebiciano per Divaccia e Povir) con una curva più accentuata verso Sesana, dove sembra sicura la presenza della Reka nella Grotta di *Konjedovce*, anche questa fatta scavare a sue spese.

L'ipotesi dei due corsi sotterranei paralleli e indipendenti (Reka-Timavo e Lindner-Timavo), provenienti l'uno da San Canziano e l'altro dal



"Il presumibile corso sotterraneo del Timavo" (da: Mühlhofer F., citato nella nota 154). Alle risorgive del Timavo confluiscono il Reka-Timavo proveniente dalla Grotta di San Canziano e il Lindner-Timavo proveniente dal bacino di Castelnuovo. Col nome di Lindner-grotte viene indicata la Grotta di Trebiciano. I due "pertugi soffianti" (Luftlöcher), citati anche nel testo, corrispondono agli sfiatatoi di Merče e di Fernetti.

Carta del presunto corso sotterraneo del Timavo, allegata al cartolare Zusammenstellung über den unterirdischen Lauf des Karst-wassers *di Antonio Polley (1908). Il tracciato ricalca quello ipotizzato da Giuseppe Sforzi mezzo secolo prima, con una deviazione verso Sesana. Dei due pozzi (Schacht), quello con il tunnel che sbocca a Guardiella corrisponde alla Grotta di Trebiciano; l'altro – a sud di Sesana – corrisponde alla Grotta di Konjedovce. I circoletti bianchi indicano i pertugi (Loch) che diventano soffianti durante le piene.*

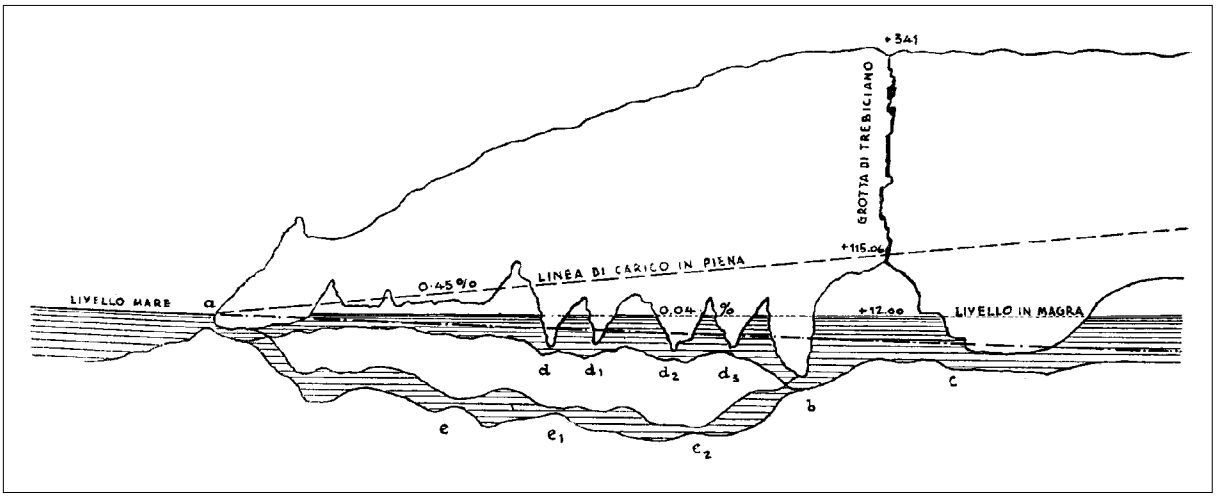


bacino di Castelnuovo, viene ripresa da Franz Mühlhofer[154], che interpreta il fallimento della marcatura con la fluoresceina del 1891 come la prova che non esista un collegamento diretto tra la Reka e la Grotta di Trebiciano. L'idea dei due corsi sotterranei viene sostenuta anche da Giovanni Andrea Perko, il quale però ammette l'esistenza di un collegamento tra il corso di Brestovizza (Reka-Timavo) e quello di Aurisina (Trebič-Timavo) a monte della Grotta di Trebiciano, in modo che attraverso di essa possa defluire anche parte dell'acqua delle Grotte di San Canziano. Tra queste due ipotesi in apparenza simili vi è però un profondo disaccordo nell'interpretazione stessa della circolazione profonda del Carso: Mühlhofer infatti precisa che l'acqua sotterranea non segue un corso vero e proprio in quanto gli apporti superficiali si disperdono nell'acqua di fondo, il cui deflusso non è stabile e può prendere diverse vie. Perko invece sostiene che l'acqua di fondo (*Grundwasser*) non può esistere nei massicci calcarei, dove i deflussi profondi scorrono canalizzati in grandi condotti sotterranei e ricorda a sostegno di questa tesi una serie di esempi che si riferiscono alla nostra regione[155] e che saranno riportati pari pari da Eduard Alfred Martel nei suoi ben più famosi lavori sull'idrologia carsica sotterranea.

Sul corso sotterraneo del Timavo il pensiero di Eugenio Boegan ricalca invece l'ipotesi già espressa a suo tempo da Pietro Kandler e da Adolf Schmidl, immaginando la direttrice principale del deflusso sotterraneo da San Canziano verso sud, attraverso la soglia di Corgnale e la Grotta di Trebiciano e poi in corrispondenza dell'allineamento delle fessure soffianti di Fernetti, dell'Abisso di Monrupino, della Grotta Gigante, della Fovea Martel, della Grotta Nemez, della Grotta delle Torri di Slivia fino alle risorgive del Timavo. In seguito Boegan esprime qualche riserva in merito: "è certo – egli infatti scrive – 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

154 Mühlhofer F. (1907): *Der mutmassliche Timavotalschluss*, "Globus", Braunschweig, 92(1):12-15.

155 Perko G.A. (1908): *Zur Hydrographie des istrischen Karstes*, "Globus", Braunschweig, 94(19):297-301.



"Schema del presunto corso del Timavo dalla Grotta di Trebiciano alle foci" di Eugenio Boegan (citato nella nota 147). Vengono schematizzati due tipi di corso sotterraneo: uno a pelo libero interrotto da una serie di sifoni, l'altro in condotta forzata al di sotto del livello del mare.

l'intera vallata di Brestovizza" (ipotesi quest'ultima destinata in seguito a venire smentita). Secondo lui il Timavo sotterraneo dovrebbe scorrere in un canale unico, sia pure con "affluenti e canali di perdita", attraverso una serie di caverne interrotte da sifoni; sarebbe "una vena superficiale dell'acqua di base, dove il deflusso è più rapido perché le cavità sono più ampie"; non esclude la presenza di gallerie sotto il livello del mare, sempre sommerse e sotto pressione idrostatica ed ammette l'esistenza dell'acqua di fondo, precisando però che "non si può considerarla un grande e unico lago sotterraneo": non si tratterebbe 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", in quanto nei terreni calcarei "l'acqua invade soltanto i vani, i quali possono venire anche occupati con diversi livelli piezometrici".

Pochi anni dopo, con un ritorno più rigoroso all'ortodossia della *Grundwasser,* Antonio Marussi osserva che "… per i fiumi ipogei non si deve immaginare, come per quelli subaerei, un corso continuo ben delineato entro un letto, una galleria od una rete di gallerie; 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 e ove più bassa, a seconda della minore o maggiore permeabilità del terreno attraversato, e del minore o maggior 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"[156]. Nel suo tentativo di collegare l'evoluzione dell'attuale idrografia sotterranea con lo sviluppo di un'antica (presunta) idrografia superficiale precarsica, Marussi ritiene che il corso sotterraneo del Timavo deve coincidere con il tracciato più antico del Paleotimavo lungo il solco di Lippiza e di Aurisina (soltanto in un tempo successivo il paleo-fiume sarebbe sceso per cattura lungo il solco di Brestovizza). Il motivo sarebbe da ricercare nella vascolarizzazione della massa rocciosa, la quale sarebbe più intensa in corrispondenza del tracciato seguito per un tempo più lungo dal corso superficiale. Egli esclude inoltre un collegamento diretto fra San Canziano e la falda del vallone di Brestovizza "ove il drenaggio sarebbe reso più difficile dalla minore vascolarizzazione", ma rivaluta l'ipotesi dell'affluente sotterraneo proveniente dal bacino di Castelnuovo, che dovrebbe passare in profondità sotto la val Rosandra e seguire il margine dell'altopiano del Carso. In questa zona le ricerche gravimetriche del 1952 avrebbero effettivamente individuano un allineamento di vuoti lungo l'asse Padriciano–Banne, ma non è improbabile che nell'interpretazione dei dati – di per sé molto

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

Una variante sul tema dei due corsi sotterranei indipendenti del Timavo sotterraneo: tra il Reka-Timavo e il Trebič-Timavo viene ipotizzato un collegamento a monte della Grotta di Trebiciano (da: Perko G.A., citato nella nota 72). Da notare che tale collegamento non passerebbe per la depressione della soglia di Corgnale e non sarebbe pertanto condizionato dalla morfologia superficiale – e dalla presunta idrografia superficiale precarsica – come invece crederanno in seguito i sostenitori della circolazione carsica "diffusa".

problematica – si sia tenuto soprattutto conto delle convinzioni al momento in auge nell'ambiente scientifico triestino.

Le idee di Antonio Marussi influenzano in seguito il pensiero di Carlo D'Ambrosi, geologo di formazione (ha rilevato i fogli Pisino e Trieste della Carta Geologica delle Tre Venezie) ma che si dedica anche al problema della circolazione sotterranea del Carso triestino, da lui definito come "un naturale serbatoio idrico molto frazionato, in cui l'acqua riempie fino ad un certo livello le infinite diaclasi e litoclasi intercomunicanti, più o meno allargate dal carsismo". I corsi sotterranei sarebbero da considerare come "correnti idriche in seno all'acqua di fondo" che permea "un ricco e assai diffuso sistema vascolare intercomunicante". Egli osserva che l'enorme aumento di portata dalla Grotta di Trebiciano alle risorgive del Timavo non può essere attribuito alla sola ritenzione idrica del Carso, cioè al drenaggio lento delle acque immagazzinate in periodi di abbondanti precipitazioni ed anche – secondo lui – durante le piene della Reka, ma ripropone a sua volta la teoria dell'affluente sotterraneo proveniente dal bacino di Castelnuovo. Queste acque dovrebbero passare 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 impedite 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 congiunge a quello di Lipizza per formare il più ampio Solco di Aurisina. E' 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"[157].

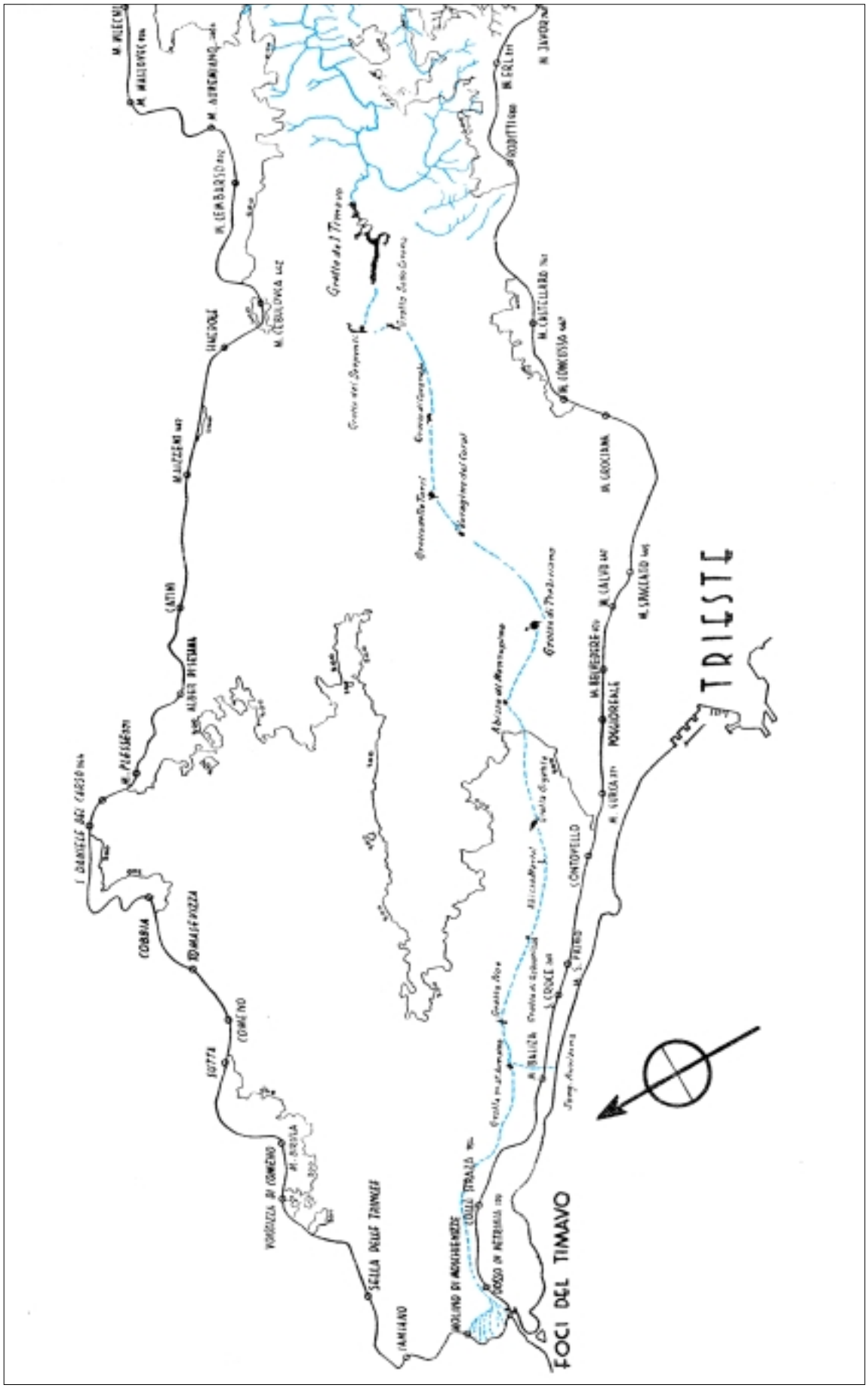
L'esistenza dell'affluente sotterraneo di Castelnuovo sembra trovare una conferma indiretta nell'insuccesso degli esperimenti di marcatura effettuati dai ricercatori sloveni negli inghiottitoi della "valsecca" all'inizio degli anni Sessanta, allo scopo di verificare il loro collegamento con le sorgenti dell'Istria settentrionale. La relazione con il Risano, accertata ancora nel 1908 da Guido Timeus[158] con la marcatura del torrente di Odolina, non sembra pertanto escludere una possibile connessione con il bacino del Timavo e per Carlo D'Ambrosi si tratta di una "interdipendenza variabile e temporanea fra sistemi carsici contigui, tra i quali i flussi di alimentazione potrebbero anche invertirsi nei diversi regimi idrologici". Esisterebbe cioè una "zona di interferenza tra il bacino ipogeo del Timavo e quello del solco di Castelnuovo" dalla quale, nelle diverse condizioni idrologiche, le acque sotterranee potrebbero defluire verso l'una oppure l'altra delle due direzioni[159]. Appena negli anni Ottanta, come si è detto, le nuove marcature eseguite dal Servizio Geologico di Lubiana hanno confermato in maniera incontrovertibile l'apporto del bacino di Castelnuovo alle sorgenti del Risano e a quelle dell'Istria settentrionale e del golfo di Fiume.

Una confluenza di acque estranee a monte della Grotta di Trebiciano sembra confermata anche dalla marcatura col trizio effettuata nel 1962 nella Grotta di San Canziano dall'Osservatorio Geofisico di Trieste in collaborazione con le istituzioni scientifiche slovene. Sulla base dei modelli matematici predisposti nel tentativo di rendere quantitativa l'interpretazione dei risultati, risulterebbe infatti che a Trebiciano non sia transitato, in regime di magra, più del 20-25 per cento dell'acqua della Reka. Questo dunque sarebbe soltanto un ramo secondario del fiume sotterraneo, arricchito da altri apporti sconosciuti, provenienti forse dal bacino di Castelnuovo, forse dalle stesse perdite subalvee della Reka negli spandimenti a monte dell'inghiottitoio. Il ramo princi-

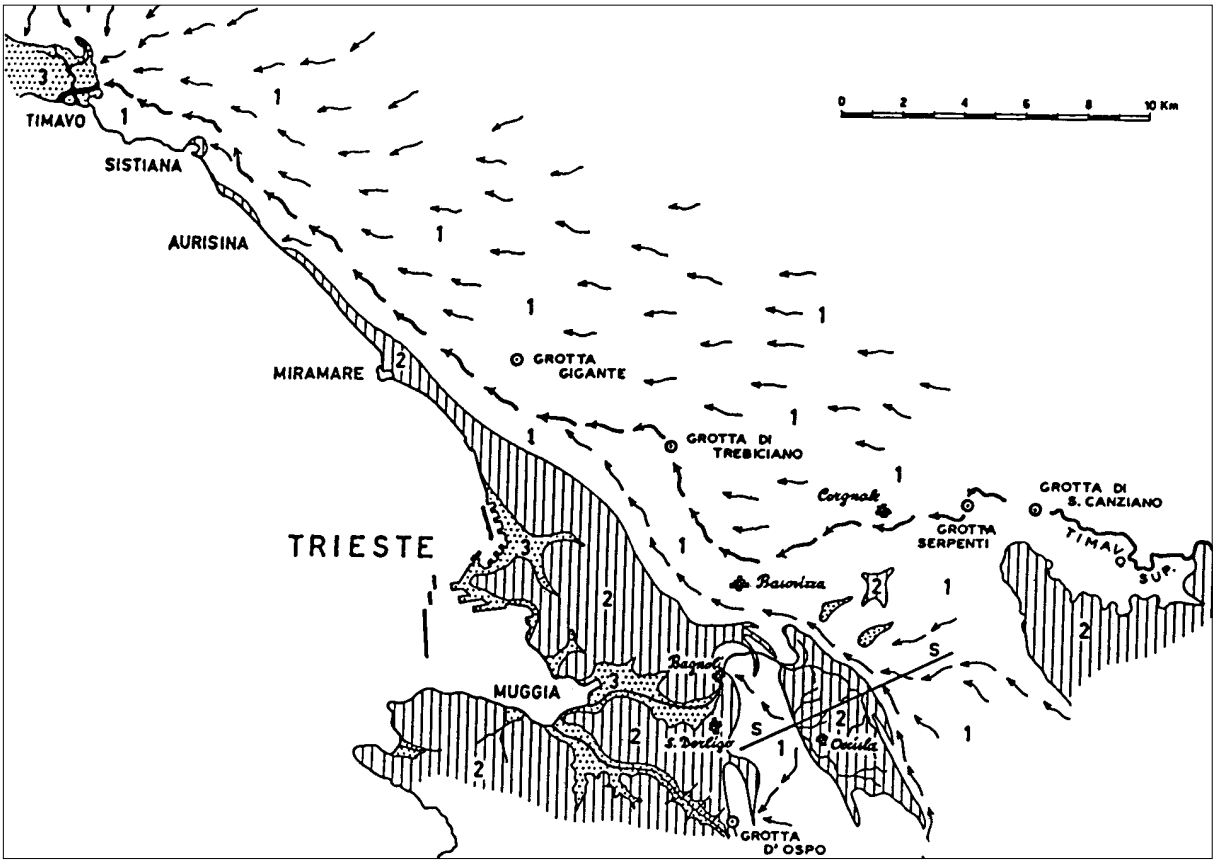
157 D'Ambrosi C. (1953): *Osservazioni geo-idrologiche preliminari presso Trieste*, "Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali", Trieste, 46/1951-52:75-90.; Id. (1960): *Sul problema dell'alimentazione idrica delle fonti del Timavo presso Trieste (a proposito di un recente studio di Franc Bidovec)*, "Tecnica Italiana", Trieste, 25(8):547-565.

158 Timeus G. (1928): *Nei misteri del mondo sotterraneo - Risultati delle ricerche idrologiche sul Timavo 1895-1914 e 1918-1927*, "Alpi Giulie", Trieste, 29(1):1-39.

159 Lo stesso Timeus a suo tempo conclude che non tutta, ma "una parte notevole" dell'acqua di Castelnuovo prende la via dell'alta Istria, rimanendo sempre dell'opinione (forse con qualche dubbio sul reale risultato della prova, in quanto al Timavo i controlli si sono effettuati per 12 giorni soltanto) che nella Grotta di Trebiciano confluiscano, oltre alla Reka, anche "altre acque e specialmente quelle che provengono da Cacitti". Si veda: Consiglio Comunale di Trieste, *Verbale della seduta pubblica del 18.8.1912*, 22-24.



Il corso sotterraneo del Timavo e i limiti del suo bacino imbrifero secondo Eugenio Boegan (citato nella nota 147). Nel bacino non vengono compresi l'altopiano carsico tra la valle di Košana e la conca di Postumia, le valli cieche di Senosecchia – Dolenja Vas, il settore occidentale dell'altopiano di Comeno, la "valsecca" di Castelnuovo e tutto il Carso isontino.

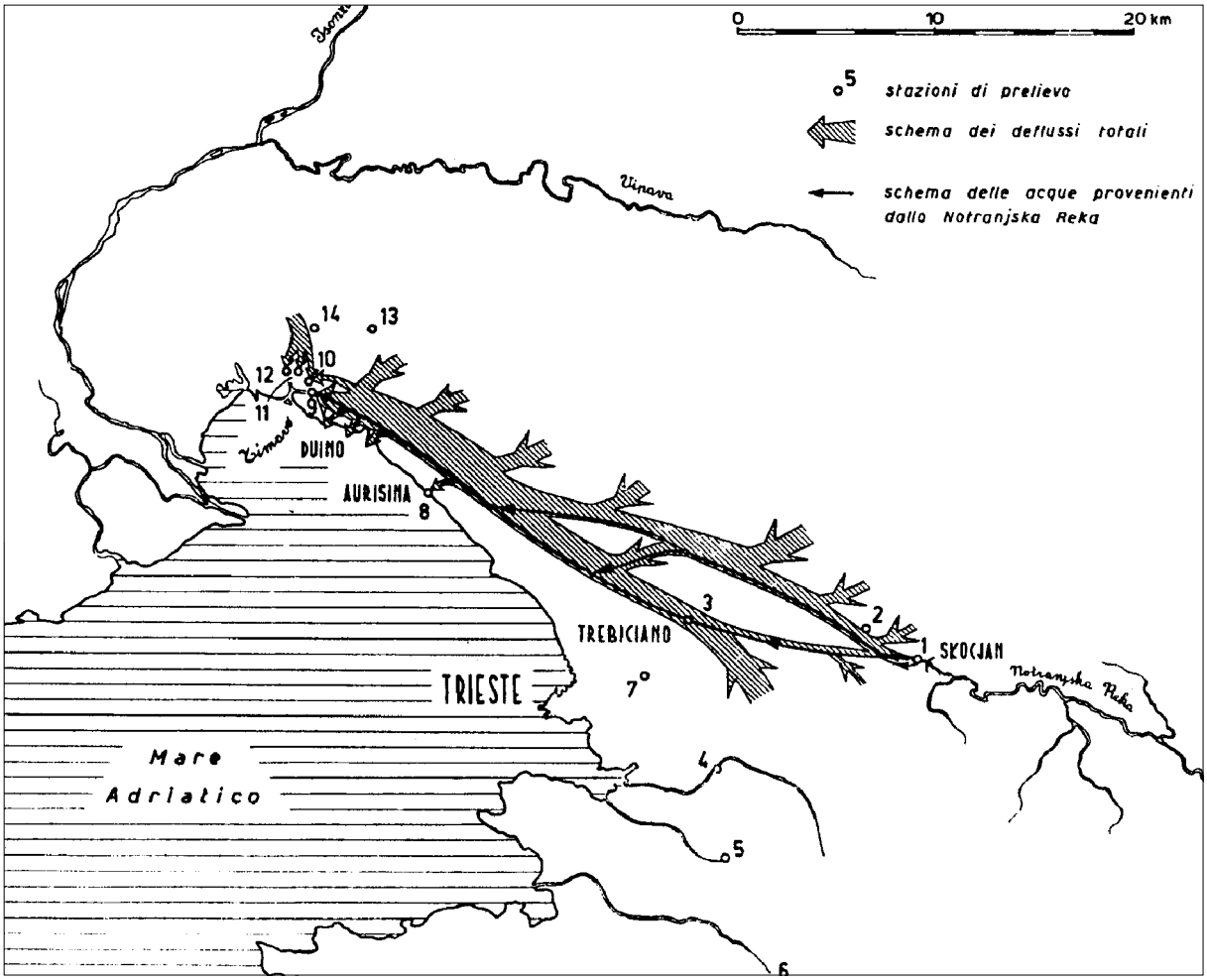


Il corso sotterraneo del Timavo secondo Carlo D'Ambrosi. Le frecce grosse indicano il drenaggio principale lungo la zona che dovrebbe essere maggiormente vascolarizzata (per effetto delle perdite subalvee dell'antico corso superficiale precarsico del Paleotimavo, ipotizzato a suo tempo da Antonio Marussi). Le frecce sottili indicano gli afflussi secondari, originati dall'infiltrazione superficiale, che dovrebbero confluire nel drenaggio principale attraverso "un ricco e assai diffuso sistema vascolare intercomunicante". Gli studi successivi inducono però a ridimensionare il ruolo dell'idrografia precarsica miocenico-pliocenica e a dubitare dell'esistenza stessa di un Paleotimavo come è stato concepito dai vecchi autori; l'attuale geomorfologia del Carso può essere infatti spiegata come l'effetto dell'evoluzione tettonica recente e della dissoluzione differenziata della superficie dell'altopiano, con un abbassamento più marcato in corrispondenza delle rocce maggiormente carsificabili.

pale da San Canziano alle risorgive del Timavo seguirebbe pertanto un percorso diverso, nel quale dovrebbe confluire ad un certo punto anche l'acqua della Grotta di Trebiciano[160]; questo percorso sarebbe localizzato nel solco di Aurisina in quanto il tracciante non è ricomparso nelle grotte allagate del vallone di Brestovizza.

La marcatura col trizio sembra confermare anche l'ipotesi, formulata da Franc Bidovec e dai suoi collaboratori del Servizio Idrometeorologico di Lubiana, secondo la quale il contributo della Reka alle risorgive del Timavo sarebbe quasi trascurabile in periodo di magra per diventare preponderante durante le piene, quando però la grande massa d'acqua sarebbe smaltita in pochi giorni senza restare immagazzinata a lungo nella massa calcarea. Sono gli argomenti dibattuti in una lunga polemica con Carlo D'Ambrosi, sorta in seguito al progetto sloveno di deviare la Reka nella valle del rio Ospo per alimentare una centrale idroelettrica mediante un traforo. D'Ambrosi teme che, in seguito alla sottrazione prevista di 10 metri cubi d'acqua al secondo, potrebbe verificarsi una diminuzione del 50% dell'attuale portata annua alle risorgive del Timavo, mancando l'apporto enorme delle piene della Reka. Bidovec invece nega che possa esistere nei massicci calcarei una tale capa-

160 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.
Mosetti F. (1965): *Nuova interpretazione di un esperimento di marcatura radioattiva del Timavo*, "Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata", Trieste, 7(27):218-243.



"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., citato nella nota 160). 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. Sorgenti Sardoč; 11. Sorgenti di Moschenizze; 12. Sorgenti del Lisert; 13. Grotta di Brestovizza; 14. Grotta di Comarie.
L'immissione del tracciante nella Grotta di San Canziano è stata effettuata il 3 luglio 1962; i prelievi dal giorno 8 luglio al 4 agosto. Nel corso dell'esperimento il tracciante è ricomparso soltanto alle risorgive del Timavo ed alle sorgenti di Aurisina; non è ricomparso nelle sorgenti Sardoč e nelle altre sorgenti costiere minori e nemmeno nelle grotte del vallone di Brestovizza. Nello schema viene evidenziata la confluenza di "acque estranee" a monte della Grotta di Trebiciano e di acque marcate a valle, provenienti direttamente dalla Grotta di San Canziano.

cità di ritenzione idrica, in grado di esercitare una funzione regolatrice sui deflussi[161]; in base al calcolo del "deflusso specifico di magra", ossia la quantità d'acqua erogata da un chilometro quadrato di superficie carsica in periodo di siccità[162], egli sostiene che durante le magre le risorgive del Timavo devono essere alimentate in prevalenza da acque estranee al bacino finora considerato (forse sottovalutando l'apporto della percolazione superficiale): un contributo esterno tanto consistente secondo lui non potrebbe provenire, per esclusione, che dalle perdite di subalveo del fiume Isonzo, dalla piana di Gorizia fino a Sagrado.

Per una singolare circostanza – nell'accesa contrapposizione nazionale del momento – si è

161 Bidovec F. (1961): *Il servizio idrologico deve esaminare e dimostrare il collegamento dell'Isonzo con il Timavo,* "Tecnica Italiana", Trieste, 26(6):425-429.

162 Jenko F. (1959): *Hidrogeologija in vodno gospodarstvo Krasa (The hydrogeology and water oeconomy of Karst),* Ljubljana, 237 pp.

verificato che D'Ambrosi, sostenitore dichiarato della teoria della *Grundwasser* e quindi di una circolazione sotterranea frammentata e diffusa, abbia difeso la validità del nome del Timavo Superiore, che presuppone una continuità diretta fra il bacino superficiale e le risorgive. Bidovec invece, sostenitore di una circolazione canalizzata di tipo fluviale, lo dichiara privo di senso dal punto di vista scientifico, affermando la necessità della nuova e più corretta denominazione di Notranjska Reka, "il fiume della Notranjska" (anche perché solamente Reka sarebbe nella lingua slovena effettivamente un po' troppo generico). Si potrebbe oggi dare ragione a D'Ambrosi con gli argomenti di Bidovec, in quanto dopo di allora si sono acquisite le conoscenze necessarie per accertare la reale continuità dei grandi condotti sotterranei dall'inghiottitoio allo sbocco, tale da conferire caratteristiche spiccatamente fluviali al sistema idrografico carsico; sotto questo profilo – seppure sboccano nel Timavo anche le acque del Carso isontino – sarebbe pienamente giustificato il medesimo nome anche per il corso superficiale del fiume, che oltretutto contribuisce al bilancio idrico con un terzo della portata annua del Timavo e con un'estensione del suo bacino imbrifero quasi uguale a quella del bacino carsico in cui si immette (anche se a chiamarlo Reka, come gli abitanti della sua valle, noi non abbiamo assolutamente niente in contrario).

Determinante per il progresso delle conoscenze sul sistema carsico si è dimostrato un esperimento di marcatura eseguito vent'anni dopo da Fabio Gemiti nella Grotta di Trebiciano e che ha consentito di intuire le reali dimensioni delle grandi vie di deflusso nella profondità dell'altopiano del Carso. L'esperimento viene effettuato durante una grande piena nel novembre 1982 – con la caverna quasi completamente allagata – ed il tracciante impiega soltanto 37 ore per raggiungere le risorgive del Timavo: il valore della velocità media apparente (600 metri all'ora) è molto prossimo a quello calcolato dagli studiosi sloveni – in base ai dati piezometrici delle perforazioni di Brestovizza – per la propagazione della pressione idraulica durante le piene dal mulino di *Cerkvenik* a San Giovanni di Duino. Viene però accertato in questa occasione che non si tratta della trasmissione di pressione idraulica per effetto pistone – o "di cacciata" – come in precedenza si è creduto, ma dell'effettivo movimento delle particelle d'acqua a velocità molto elevata; può essere 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 (definito a suo tempo "il paradosso idraulico"). Almeno nel caso del drenaggio principale del Carso triestino, l'ampiezza dei condotti deve essere dunque tale da consentire un aumento della velocità dell'acqua proporzionale all'aumento della portata.

La modesta dispersione del tracciante correlata all'andamento degli altri parametri (torbidità, inquinamento organico, durezza totale, ecc.), induce inoltre a ritenere che durante le piene debbano essere molto scarsi i contributi della falda carsica – originata dalla percolazione superficiale – alla circolazione nei grandi condotti del corso sotterraneo del Timavo; le acque provenienti dall'infiltrazione meteorica sul bacino del Carso sembrano cioè percorrere drenaggi indipendenti, senza confluire nelle ampie canalizzazioni in cui scorre l'acqua della Reka, che anzi viene spremuta al di fuori dall'elevata pressione idraulica e "pompata" nel circostante labirinto di cavità e di stretti canali (nonché nel sistema di sbocchi costieri, dalle sorgenti di Aurisina alle risorgive del Timavo, da sempre conosciuti per le torbide giallastre nel golfo in occasione delle piene). Durante le magre della Reka invece s'invertono i rapporti di carico idrostatico e le grandi canalizzazioni, nelle quali la circolazione diventa lentissima, possono ricevere gli apporti della falda carsica; in tali circostanze, nelle enormi gallerie del delta sotterraneo del Timavo possono giungere anche gli afflussi provenienti dal Carso isontino, costituiti dall'acqua di percolazione superficiale e dalle infiltrazioni di subalveo dell'Isonzo e del Vipacco.

Fabio Gemiti[163], l'autore dei nuovi esperimenti di marcatura nella Grotta di Trebiciano – effettuati l'uno in morbida e l'altro in piena a due settimane di distanza – conclude che nel corso sotterraneo del Timavo "l'acqua fluisce a pelo libero in regime di magra, normale e di morbida,

163 Gemiti F. (1984): *Nuova e originale prova di marcatura delle acque del Timavo*, "Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre", Trieste, 7:43-62.

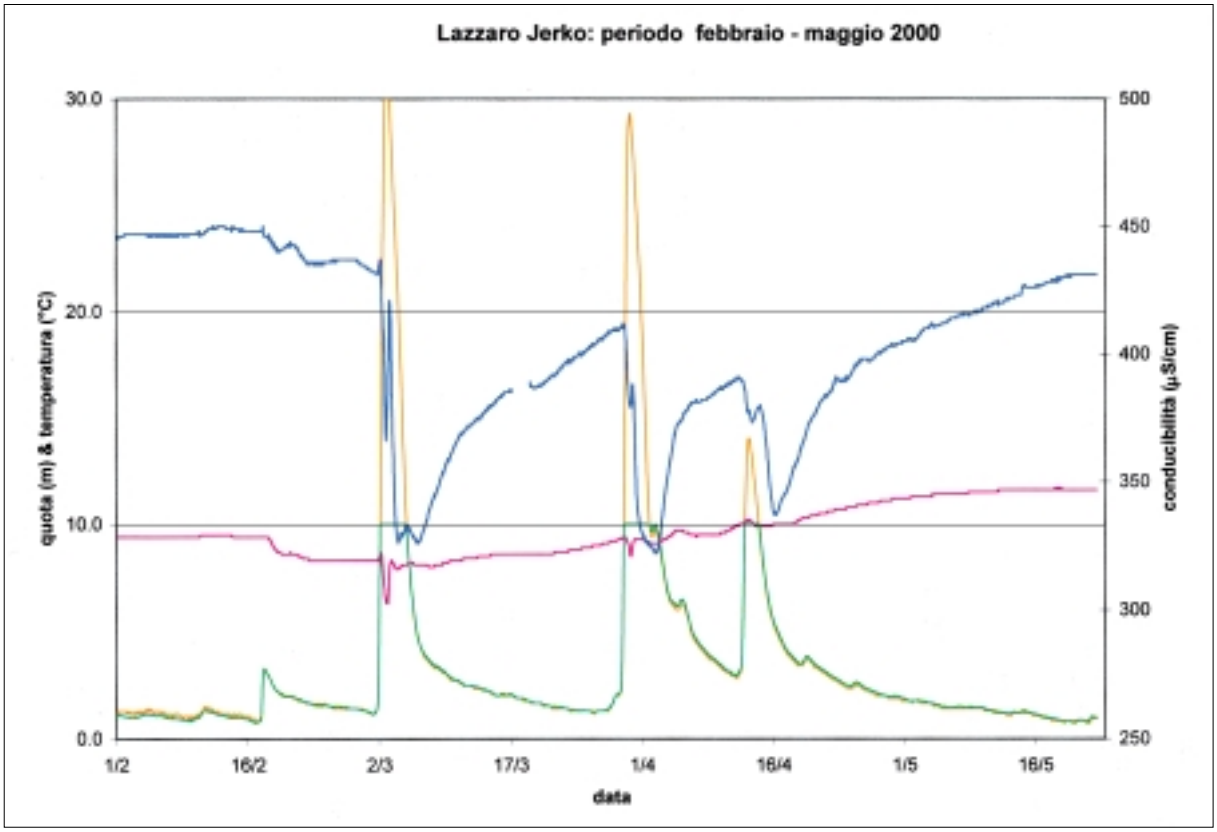


Diagramma dell'andamento dei valori di temperatura, conducibilità e livello dell'acqua nella Grotta Lazzaro Jerko, nel periodo dal 1 febbraio al 20 maggio 2000 (a cura di E. Marinetti, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste).

E' evidente, al sopraggiungere della piena, il repentino abbassamento della temperatura dell'acqua – maggiormente accentuato nel periodo più freddo – e della conducibilità elettrolitica (salinità) provocato dall'arrivo di acqua esterna più fredda e meno mineralizzata. Le prime misurazioni in continuo effettuate simultaneamente nella Grotta di Trebiciano e nella Grotta Lazzaro Jerko hanno consentito il calcolo dei tempi di ritardo dell'onda di piena, registrata prima a Trebiciano e poi alla Jerko, che variano dai 17 minuti alle quatto ore. Dai primi risultati inoltre, l'acqua di Trebiciano sembra influenzata in maniera più diretta dagli apporti fluviali esterni, presentando valori di conducibilità più bassi – specialmente in occasione delle piene – ed una temperatura sempre più bassa nei mesi invernali e sempre più alta all'approssimarsi dell'estate. Anche due sporadiche analisi della carica batterica, più elevata a Trebiciano, confermerebbero il carattere più spiccatamente torrentizio delle sue acque.

Il monitoraggio in continuo delle acque sotterranee del Carso a mezzo di strumenti registratori viene curato dal Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste (responsabile delle ricerche il prof. Franco Cucchi). Sensori di misura del livello idrico, che assumono ogni 40 minuti il valore del battente d'acqua in centimetri sul livello del mare, sono attualmente posizionati nella Grotta di Trebiciano, nella Grotta Lazzaro Jerko, nella Grotta Lindner, nel Pozzo dei Colombi e nei laghi di Doberdò e di Pietrarossa. Sensori che automaticamente prelevano ogni 40 minuti i valori di temperatura e di conducibilità dell'acqua sono sistemati nella Grotta di Trebiciano, nella Grotta Lazzaro Jerko, al secondo ramo delle risorgive del Timavo, nel lago di Doberdò e nella Grotta di San Canziano in Slovenia. L'elaborazione di questi dati assieme ai valori del principale deflusso del sistema carsico (Timavo), del principale afflusso esterno (Reka a Gornje Vreme), della piovosità nell'area e del regime del fiume Isonzo, consentiranno fra breve una modellizzazione attendibile del regime idrodinamico del Timavo ipogeo nelle varie condizioni di impinguamento dell'acquifero. Per il complesso delle ricerche interdisciplinari e multitematiche in corso si veda: Cucchi F., Forti P., Marinetti E., Zini L.: Recent developments in knowledge of the Hydrogeology of the Classical Karst, *"Acta Carsologica", Ljubljana, n. 29/1 2000.*

prevalentemente in pressione durante le piene". Verso le risorgive le acque della Reka 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", con una velocità di deflusso che può diventare elevatissima col crescere dei carichi idraulici. Oltre a questa circolazione incanalata nelle grandi condotte forzate che sboccano nelle risorgive del Timavo, esisterebbe contemporaneamente una circolazione più superficiale ed estesamente vascolarizzata, quasi un reticolo idrico indipendente ed alimentato dalle acque di percolazione, dal quale dipenderebbero le altre sorgenti costiere (Moschenizze, Sardoč e Aurisina). Normalmente il sistema superficiale alimenterebbe quello profondo, con un'inversione della circolazione durante le forti piene, quando per effetto degli elevati carichi idraulici, le acque profonde verrebbero travasate verso l'alto. Non si tratterebbe dunque della "vena superficiale dell'acqua di base" immaginata dai vecchi autori, ma di una corrente "dentro" l'acqua di base, che circola sotto carico idrostatico in una successione di grandi gallerie sommerse[164], ipotesi che del resto è in accordo con il recente innalzamento del livello del mare.

* * *

La scoperta della nuova "finestra naturale" della Grotta Lazzaro Jerko consentirà di affrontare in un prossimo futuro altri importanti interrogativi sulla dinamica della circolazione sotterranea del Carso e sulle caratteristiche del suo drenaggio principale. La possibilità di eseguire osservazioni simultanee in questa grotta, nella Grotta di Trebiciano, a San Canziano ed alle risorgive del Timavo permetterà di confrontare l'andamento dei parametri fisico-chimici (temperatura e conducibilità elettrolitica dell'acqua, registrate "in continuo") per studiare le miscelazioni che avvengono lungo il corso sotterraneo in relazione alle precipitazioni esterne ed alle variazioni di portata, nelle diverse condizioni di impinguamento dell'acquifero carsico. Ogni piena della Reka potrà inoltre diventare un nuovo esperimento di "marcatura naturale", con l'opportunità di un calcolo attendibile della velocità di deflusso nei diversi casi. Si potranno ottenere in tal modo informazioni preziose per integrare le attuali conoscenze sulla circolazione profonda del Carso triestino: ad esempio verificare l'esistenza di un canale unico – come ipotizzato da Eugenio Boegan – oppure di "un sistema reticolato di canali"[165]. E' infatti l'analisi del singolo episodio idrologico che può dare le informazioni più interessanti sulla reale dinamica dei deflussi profondi: sono i "picchi" dei diagrammi ad essere indicativi a questo scopo, non i dati medi che servono soltanto nei modelli matematici dell'idrologia ingegneristica (analisi di autocorrelazione delle portate, funzioni di cross-correlation, analisi spettrale di frequenza delle classi di portata ecc.) per determinare "in grande" le caratteristiche dell'acquifero ai fini della sua gestione, cioè la sua capacità di immagazzinamento, i tempi di esaurimento e i tempi di ricarica, la sua trasmissività, l'entità delle riserve.

164 Gemiti F.: *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 1998, 10:93-104.

165 Timeus G. (1912): *Ricerche sul Timavo inferiore*, Municipio di Trieste, 81 pp.