Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 47 (2017)	pp. 63-76	Trieste 2017

LUCA ZINI[*], CHIARA CALLIGARIS[*], FRANCO CUCCHI[**]

IL *LACUS TIMAVI*. IDROGEOLOGIA

RIASSUNTO

Dal punto di vista idrogeologico l'acquifero del Carso Classico è un'unità omogenea, ma politicamente è divisa tra due paesi. Il Carso Classico è un altopiano calcareo di circa 900 km² che si estende dalla sinistra del fiume Isonzo fin quasi ai dintorni di Postojna. La gran parte dell'acquifero carsico è situata in Slovenia, così come il principale bacino di alimentazione esterna. La zona sorgentifera però è tutta in Italia. Per comprendere il funzionamento e proteggere le acque è necessaria quindi una stretta collaborazione ricercatori italiani e sloveni, cosa che da alcuni decenni si verifica.

Le Sorgenti del Timavo, i laghi e le sorgenti tutt'intorno, costituiscono l'area sorgentifera con portate complessive fra le più elevate del Mediterraneo. La portata media oscilla sui 40 m³/s, quelle massime superano i 175 m³/s, le minime non scendono mai sotto i 9 m³/s. In Slovenia vicinissima al Confine di Stato, c'è la stazione di pompaggio per l'approvvigionamento idrico di molti comuni sloveni. In Italia, la sorgente Sardos è utilizzata per integrare l'approvvigionamento idrico della città Trieste e della sua provincia. L'idrodinamica delle sorgenti e le loro caratteristiche chimiche sono ben note, ma mancano informazioni sulle acque di ricarica autogene e allogeniche e si conoscono pochi dati sul comportamento idrodinamico all'interno dell'idrostruttura.

SUMMARY

Lacus Timavi. Hydrogeology

In the hydrogeological sense the karst aquifer of Classical Karst is a uniform unit, but politically it is divided between two countries. The main part of the aquifer is located in Slovenia, but the whole karst coast and the springs area are located in Italy. To understand its functioning and to protect it properly close co-operation between experts from both countries is necessary.

Classical Karst is a limestone plateau of 900 km², and extends from SE of the Isonzo River to Postojna town across the Slovene-Italian border. To understand the functioning of the transboundary karst system many researches were performed in a close co-operation between Italian and Slovene researchers. The Timavo River springs and their feeding area are one of the highest-discharge regions in the Mediterranean (medium discharge of 40 m³/s, maximum of 175 m³/s). In this area, on the Slovene part, there is the pumping station for water supply of a lot of municipalities. In Italy, the Sardos spring is still used at present for Trieste town water supply. Springs hydrodynamics and chemical characteristics are well known, but there are not many information about autogenic and allogenic recharge waters and only few data about hydrodynamic behavior within the hydro-structure.

[*] Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste.

[**] Circolo Spel. e Idr. Friulano; e-mail: cucchi@units.it

PREMESSA

Il Lacus Timavi si apre in corrispondenza dell'esteso fronte sorgivo che, dal Villaggio del Pescatore a Monfalcone, caratterizza e caratterizzava le pendici nord occidentali del Carso Classico. L'emergere delle *Insulae Clarae*, di cui oggi resta traccia nei modestissimi rilievi di Sant'Antonio Abate e della Punta, creava un ambiente marino-lagunare protetto in cui convergevano le acque delle numerose polle che ancor oggi interessano le pendici della Rocca di Monfalcone e della Cima di Pietrarossa, i laghi di Pietrarossa e di Sablici, il canale di Moschenizze e l'area di San Giovanni di Duino dove sgorgano le sorgenti Sardos e Timavo. Era un particolarissimo ambiente "umido" di transizione completato dallo sgorgare di acque termali, alcune delle quali ancor oggi vengono utilizzate a scopi terapeutici. (Fig. 1)

Foto 1 - I resti della *mansio* romana invasi dalle acque nel comprensorio dell'ACEGAS il 25/02/2014.

Il fatto che le acque fuoriescano proprio in questa porzione di territorio non è un caso, ma il risultato di uno specifico contesto geologico e di una determinata evoluzione geostrutturale. Le rocce carbonatiche grazie alla loro intensa carsificazione hanno un'elevata permeabilità, le marne per contro hanno una bassa permeabilità e rappresentano così nell'idrostruttura un limite ed una barriera ai deflussi sotterranei. Il flysch che affiora sul fianco meridionale dell'anticlinale del Carso impedisce i deflussi diretti verso mare e fa convergere le acque sotterranee verso il settore di San Giovanni di Duino-Monfalcone. Questo è infatti il settore di minor sollevamento della piattaforma del Carso, dove di conseguenza lo sbarramento fornito dal flysch è topograficamente meno elevato (oggi ben al di sotto del livello del mare) e nel quale le acque possono agevolmente venire a giorno.

L'IDROSTRUTTURA (CARSO CLASSICO)

L'idrostruttura che alimenta le sorgenti si estende su un'area di circa 750 km^2 dal fiume Isonzo al mare Adriatico e fino quasi all'abitato di Postumia. Prende il nome di Carso Classico in quanto proprio in questi territori, nella prima metà dell'Ottocento, sono nati gli studi sul carsismo.

Le sorgenti drenano acque dovute principalmente a tre distinti contributi: la falda isontina, le acque del Reka e del Raša e l'infiltrazione efficace. (Fig. 2)

Le acque di falda della Pianura isontina vengono assorbite dall'idrostruttura carsica lungo una fascia di una decina di chilometri posta a ridosso dell'altopiano carsico e compresa tra gli abitati di Merna e Sagrado (Timeus 1928, Mosetti & D'Ambrosi 1963, Gemiti & Licciardello 1977, Cancian 1987, Doctor et al. 2000, Samez et al. 2005). Si tratta di un contributo significativo che è stato stimato aver valore medio di circa 10 m^3/s (Zini et al. 2013).

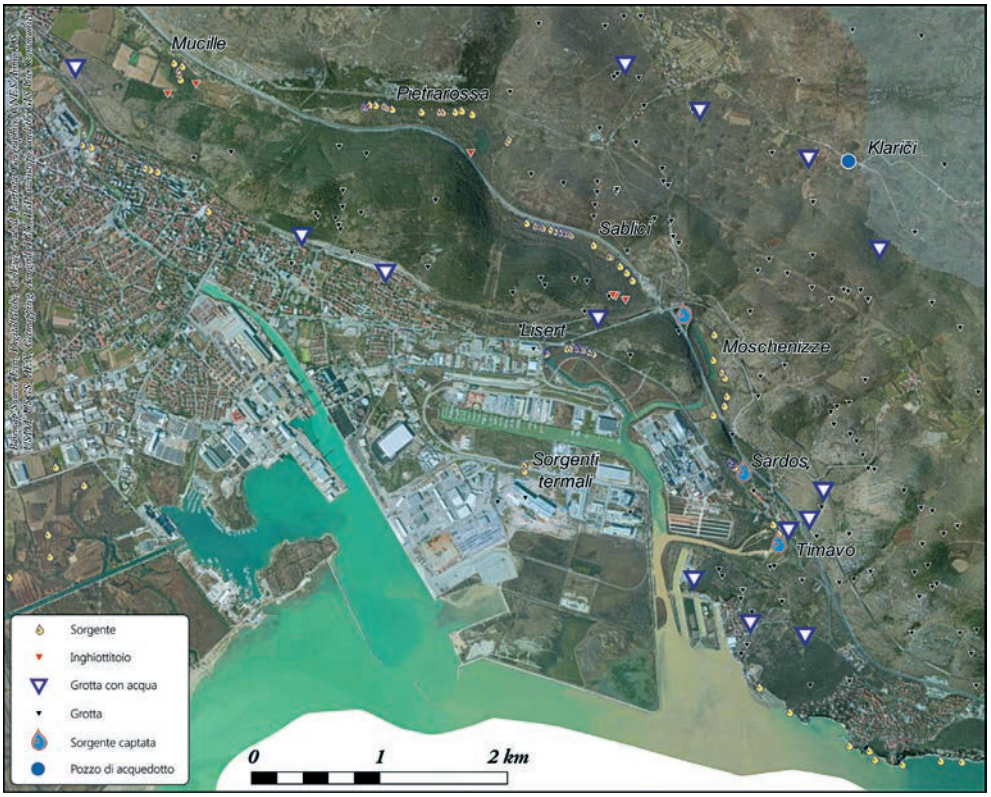

Fig. 1 - L'area sorgentifera del *Lacus Timavi* (da Cucchi et al., 2015, modificata). In evidenza il particellato sospeso di una piena del Timavo.

Nel settore sud orientale dell'idrostruttura, in Slovenia, al contatto tra flysch e calcari si rinvengono diversi inghiottitoi che trasferiscono in profondità le acque dei fiumi Raša e Reka. Se i primi drenano solo modesti quantitativi, il Reka presenta portate mediamente elevate e le sue acque influenzano decisamente i deflussi ipogei di tutto il settore orientale del Carso Classico. Il Reka ha portate estremamente variabili, comprese tra gli oltre 300 m^3/s in piena e i 0.18 m^3/s in magra, con valori medi di 8.26 m^3/s (Gabrovšek & Peric 2006).

Il Reka, che per inciso nasce da una serie di sorgenti carsiche alle pendici del monte *Dletvo,* in Croazia al confine con la Slovenia, drena un bacino di oltre 400 km^2 e scorre per oltre 50 km su terreni in facies di flysch finché giunge nei pressi dell'abitato di *Gornje Vreme* da dove fluisce su calcari fino a giungere a *Skocjan* dove tutte le acque spariscono all'interno delle Grotte di San Canziano (Skocjanske Jame[1]). Le acque non vengono inghiottite solo a San Canziano, ma già nei pressi di *Gornje Vreme*, dove, in prossimità del contatto calcari-flysch è presente un inghiottitoio che fa diminuire la portata del Reka di circa 1 m^3/s (Cucchi & Forti

[1] Il Notranjska Reka entra nelle Skocjanske Jame - Grotte di San Canziano-, lunghe complessivamente più di 6 chilometri, alla quota di 317 m s.l.m, attraversa alcune doline di crollo molto profonde (la Mala dolina ha 120 metri di profondità e la Velika dolina ne ha più di 165) e dopo aver percorso circa 3 chilometri di una gigantesca forra con una trentina di cascate/rapide, scompare in un sifone del Lago Morto a 212 m s.l.m.

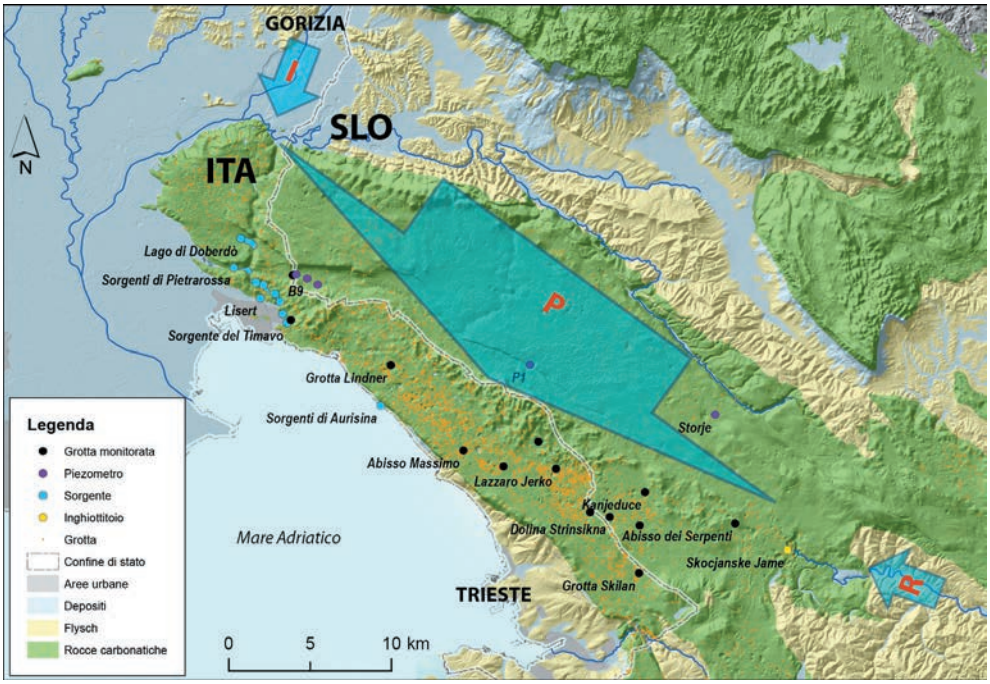

Fig. 2 - L'idrostruttura del Carso Classico con i "punti acqua" notevoli. Le frecce schematizzano gli apporti dell'Isonzo da nord (I, circa 10 m^3/s in media anno), quelli del Reka da SE (R, da 0,18 a 300 con 8.26 m^3/s in media anno, quelli delle precipitazioni (P, 20,6 m^3/s in media anno).

Foto 2 - Il 3° ramo delle Sorgenti del Timavo durante una piena

1981). Tale fenomeno è particolarmente evidente durante i periodi siccitosi, quando tutte le acque del fiume spariscono tra le rocce del greto ed il corso d'acqua a valle rimane in secca anche per diverse settimane.

Il terzo contributo all'alimentazione dell'acquifero carsico è dovuto alle precipitazioni, cioè all'infiltrazione efficace che concorre in modo estremamente significativo all'alimen-

tazione dell'acquifero. Le acque piovane si infiltrano rapidamente attraverso gli articolati percorsi ipogei grazie al concorso tra diversi fattori quali precipitazioni mediamente elevate (comprese tra i 1000 mm/anno sulla costa e i 1800 mm/anno nelle zone più interne), scarsa copertura vegetale, assenza di suoli potenti, intensa e diffusa carsificazione della massa rocciosa. Tutto ciò fa sì che l'infiltrazione efficace rappresenti il principale contributo all'alimentazione dell'idrostruttura, con un valore medio di 20.6 m^3/s (Civita et al. 1995).

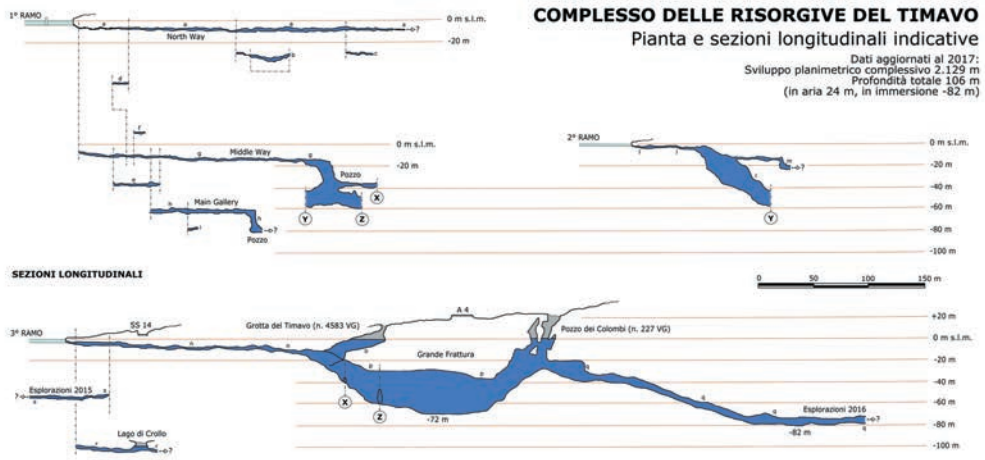

Fig. 3 - Sezioni longitudinali del Complesso del Timavo redatte da Paolo Guglia (2017) con i risultati delle esplorazioni speleosubacquee susseguitesi dal 1979 al 2016.

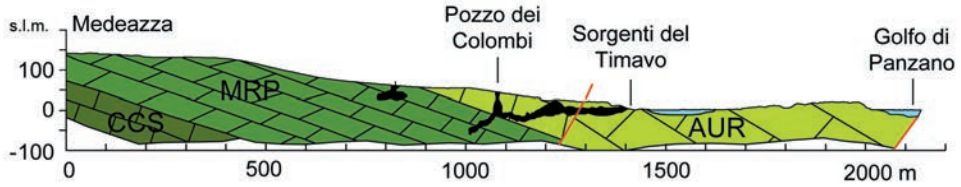

Fig. 4 - Sezione geologica rappresentativa in corrispondenza delle Sorgenti del Timavo. In nero la proiezione delle cavità.

LE SORGENTI

Nel loro complesso, le sorgenti, delle quali quelle del Timavo rappresentano decisamente la scaturigine principale, hanno una portata media nell'anno di oltre 35 m^3/s (Gemiti 1984). Le Sorgenti del Timavo constano di quattro polle principali raccolte in tre rami che drenano un articolato complesso di vani allagati, gallerie ampie e intrecciate, che convergono in almeno un condotto ascendente del diametro di circa 10 m, esplorato sinora fino alla profondità di 82 metri sotto il livello del mare.[2]

[2] Il Complesso del Timavo, per il momento 3 grotte (n. 215 - n. 227 VG - Pozzo dei Colombi di Duino, n. 753 - n. 3919 VG - Risorgiva Ramo 3° del Timavo e n. 1844 - n. 4583 VG – Grotta del Timavo) ha, ad oggi, sviluppo planimetrico complessivo di 2.129 m e profondità totale di 106 m (in aria 24 m, in immersione -82 m). Vedi anche l'articolo di P. Guglia in questo volume.

Foto 3 – Il 1° ramo delle Sorgenti del Timavo il 12/03/2014 durante una piena.

Il Timavo è una sorgente estremamente variabile con portate in magra di poco inferiori ai 10 m^3/s e in piena ben superiori ai 120 m^3/s: la portata media annua è comunque di circa 29.3 m^3/s.

Oltre al Timavo, nel comprensorio del Randaccio sono presenti diverse altre scaturigini, la maggior parte delle quali captate nell'impianto del Sardos, e alcune altre piccole polle affioranti nei pressi dei resti di un'antica *mansio* romana. Mediamente la portata di questo gruppo di sorgenti è di 1.9 m^3/s.

Verso ovest sono presenti numerose piccole sorgenti che danno vita a un variegato ambiente in cui si trovano laghetti e paludi. Nel passato, le acque provenienti da queste polle alimentavano la zona del *Lacus Timavi*. Andando nel dettaglio si rinvengono (Gemiti 1984; Gemiti 1995; Zini et al. 2013; Cucchi et al. 2015):

- *Sorgenti del Lisert:* sono almeno una decina e si trovano alla testa del Canale Locavaz e sono alimentate delle acque del *polje*-lago di Sablici. Hanno una portata media di circa 1.0 m^3/s
- *Sorgenti di Moschenizze:* si trovano nel Vallone di Moschenizze dove sono presenti almeno 8 punti di fuoriuscita delle acque. La portata complessiva media è di 0.5 m^3/s.
- *Sorgenti di Pietrarossa:* a monte (settentrione) del Lago di Pietrarossa si individua un fronte sorgivo di una quindicina di punti acqua che alimentano il lago e vengono drenati dal Canale Sablici, artificiale.
- *Sorgenti di Sablici:* si tratta di un esteso fronte sorgivo costituito da una ventina di polle principali, che dall'altezza del casello autostradale del Lisert risalgono il vallone per circa 1 km verso il Lago di Pietrarossa. La portata misurata nel canale di drenaggio di Sablici è di 1.2 m^3/s.
- *Sorgenti Mucille:* in località Selz (Ronchi dei Legionari) sono presenti alcune polle che, raccolte in un canale, dopo un breve percorso superficiale vengono assorbite da un inghiottitoio.
- *Sorgenti di Monfalcone:* alle pendici dei rilievi tra la Rocca e l'ospedale sono segnalate su carte antiche alcune polle ormai obliterate dal tessuto urbano che danno vita ad alcune rogge con una portata media di circa 0.2 m^3/s.

- *Sorgenti termali di Monfalcone:* nella zona industriale del Canale Est-Ovest, in corrispondenza dei rilievi di Sant'Antonio e della Punta, si aprono due sorgenti termali: una all'interno del complesso industriale Cimolais ed una all'interno dello stabilimento delle Terme Romane di Monfalcone.

Per inciso, molto probabilmente ci sono numerose altre emergenze, non evidenti perché coperte da sedimenti: ne sono testimoni le variazioni di temperatura e/o di conducibilità delle acque del Lisert e dei canali artificiali.

Le sorgenti termali di Monfalcone

Assieme alle Sorgenti del Timavo, le Sorgenti termali (di Monfalcone) erano una delle caratteristiche distintive del *Lacus Timavi*. Si tratta delle (oggi) uniche due emergenze naturali di acque calde presenti in regione con temperature variabili tra 32.6°C e 39.8°C e per questo fin dall'antichità utilizzate a scopi terapeutici e ricreativi. Presentano un'alta mineralizzazione con valori di conducibilità elettrica compresi tra 12 mS/cm e 21 mS/cm (Petrini et al. 2013). Temperatura e conducibilità variano in modo lineare, evidenziando che durante la risalita in superficie le acque calde profonde si miscelano con le acque carsiche fredde superficiali. Le analisi eseguite da Petrini et al. (2013) individuano una riserva di acque calde con una temperatura compresa tra 50°C e 60°C posta ad un profondità di circa 1500 - 2000 m.

Si tratta di acque marine connate, infiltratesi nei calcari cretacici durante il Miocene, che oggi riescono a risalire in superficie grazie alla presenza della Linea di Palmanova e delle sue numerose vicarianti, che creano delle vie preferenziali di connessione tra l'acquifero carbonatico profondo sigillato dalle assise in facies di flysch, e quello, sempre carbonatico, più superficiale, lo stesso che alimenta tutte le altre sorgenti presenti nell'area (Lisert, Sablici,…).[3]

IL TIMAVO

Le Sorgenti del Timavo rappresentano nell'immaginario collettivo l'emersione, spesso impetuosa, delle acque sotterranee del mitico fiume Timavo che si inabissa nell'imponente inghiottitoio delle Grotte di San Canziano (*Skocjanske Jame*). In verità le Sorgenti del Timavo sono solo uno dei punti acqua del complesso sistema sorgentifero che interessa il margine occidentale della piattaforma carbonatica del Carso da Aurisina a Monfalcone. Il Timavo non è un vero e proprio fiume sotterraneo, ma le sue acque vengono drenate da un complesso reticolo di condotti e fratture di varie dimensioni tra di loro più o meno interconnessi. Alla falda di base contribuiscono non solo le acque del Reka (Timavo Superiore), ma anche quelle che si infiltrano dall'acquifero isontino sotto copertura a settentrione e quelle di infiltrazione delle precipitazioni.

L'alta carsificazione delle rocce affioranti sul Carso genera, soprattutto nella porzione superficiale della massa rocciosa (l'*epikarst*), un'elevata permeabilità che durante le precipitazioni consente ad ingenti volumi d'acqua di infiltrarsi velocemente nell'acquifero (infiltrazio-

---

[3] Da Petrini et al. 2013: *In the proposed scenario, marine waters penetrated and dispersed into the Cretaceous carbonatic sedimentary units at Miocene age, during the sinking stages that followed the Friulian platform emersion when fractures, cavities and pores developed in hypogenic karstic structures. The burial by terrigenous sediments during the drowning of the platform prevented the paleo-marine water to be completely expelled and replaced by meteoric waters. During their storage, the saline reservoir underwent diagenetic modification, mostly through water-limestone interactions.*
The data on dissolved gases support the hypothesis of a deep thermal reservoir constituted by interstitial waters or small-size water pools with long residence times in the crust, which underwent extensive GWI processes overwhelming its original atmospheric signature. During their ascent, waters mixed with groundwater in shallower aquifers, which maintained some atmospheric features.

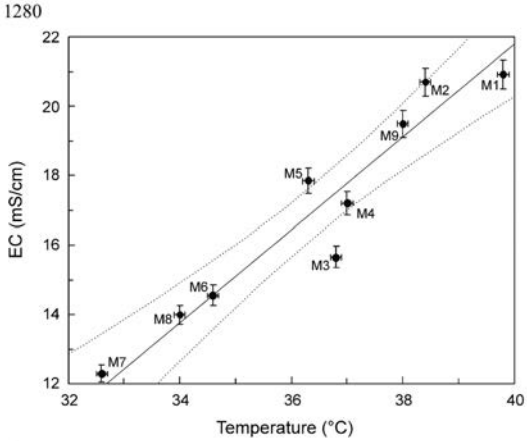

Fig. 5 - Diagramma temperatura / conducibilità delle acque termali di Monfalcone relativo ai campionamenti effettuati negli anni 2006-2007 (tratto da Petrini et al. 2013 -fig. 2, pag. 1280-).

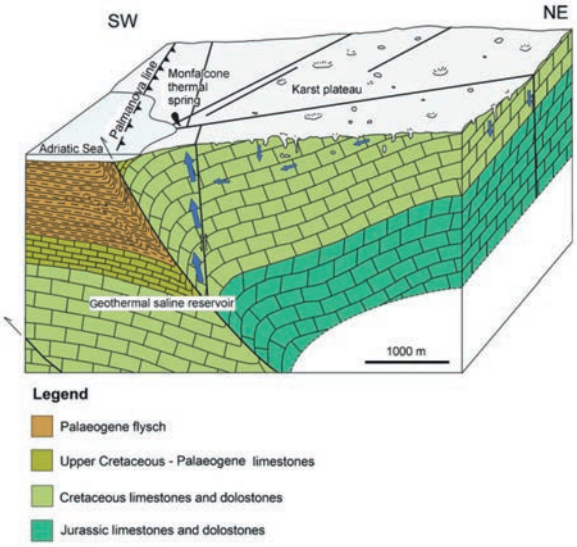

Fig. 6 - Schizzo idrogeologico tratto da Petrini et al. 2013 (fig. 8, pag. 1285). Le piccole frecce blu significano il percolio delle acque dolci di infiltrazione nell'acquifero carbonatico, quelle più grandi rappresentano la risalita lungo discontinuità importanti delle acque connate termali.

ne efficace). Questi volumi però non altrettanto velocemente riescono ad essere drenati dalle sorgenti, per la complessità del reticolo di alimentazione, a permeabilità per fratturazione e carsismo decisamente variabile da settore a settore, da zona a zona.

La portata massima complessiva delle sorgenti del Carso Classico, cioè delle acque che fuoriescono dall'acquifero a seguito delle grandi piene, è stata stimata in circa 170 m^3/s. Se si tiene conto che il solo contributo del Reka può superare, durante le piene, i 300 m^3/s, e che a questo quantitativo bisogna aggiungere le precipitazioni efficaci e l'alimentazione delle acque isontine, si può comprendere la complessità dell'idrodinamica ipogea.

Durante gli eventi di piogge intense e/o prolungate, l'acqua di falda nell'acquifero si innalza, dove può, repentinamente di diverse decine di metri così come registrato nell'Abisso di Trebiciano, dove si sono rilevati episodi con oltre 100 metri di variazione del livello idrico, per inciso in poche ore. La risposta alle sorgenti è altrettanto repentina con bruschi innalzamenti dei livelli e significative variazioni dei parametri chimico-fisici (Cucchi et al. 2015) (Fig. 8).

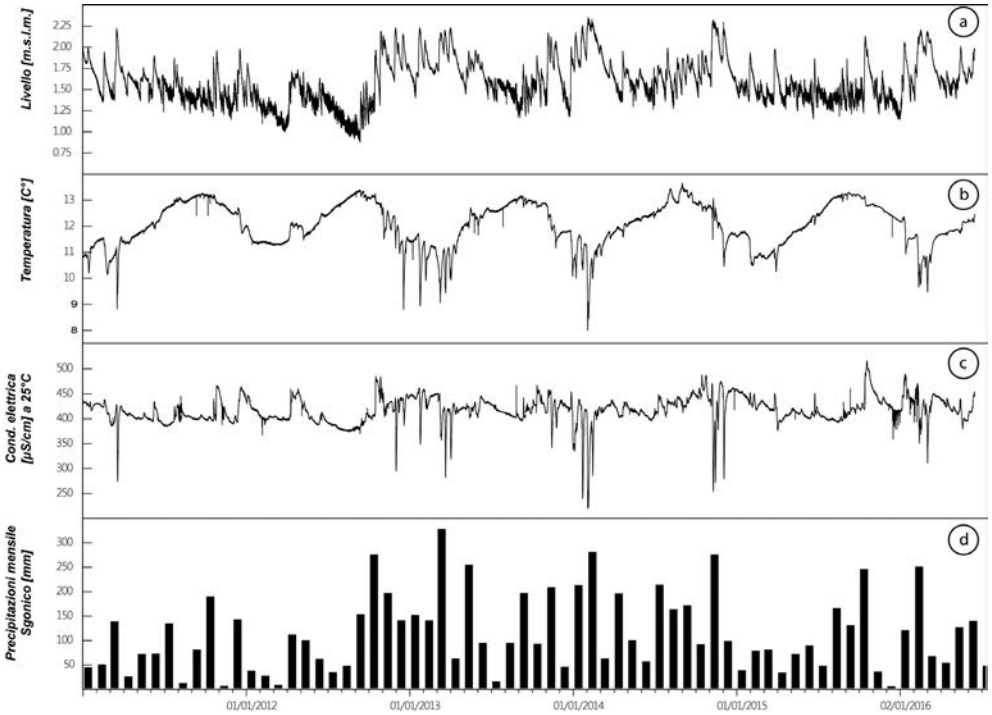

Fig. 7 - Sorgente del Timavo: monitoraggio in continuo dal 2011 al 2016 del livello (a), della temperatura (b), della conducibilità elettrica (c) a confronto con le precipitazioni presso la stazione meteorologica di Sgonico (d) (modificato da Cucchi et al. 2015).

Il monitoraggio in continuo del livello delle acque (espressione della portata), della temperatura (indice stagionale) e della conducibilità elettrica (indice della mineralizzazione delle acque), risulta perciò particolarmente significativo per comprendere come le acque fluiscano all'interno del reticolo carsico ipogeo. Infatti, la forma che assumono gli idrogrammi durante le piene, dipende dalla durata e intensità delle precipitazioni, dalle modalità di infiltrazione delle acque e dalla tipologia di flusso che si genera nella zona satura.

Foto 4 - Una delle piccole sorgenti del Lisert il 30/07/2013.

Foto 5 - Estavelle nel polje di Sablici il 6/09/2013

Foto 6 – La briglia di protezione delle opere di captazione delle Sorgenti Sardos nel Comprensorio ACEGAS.

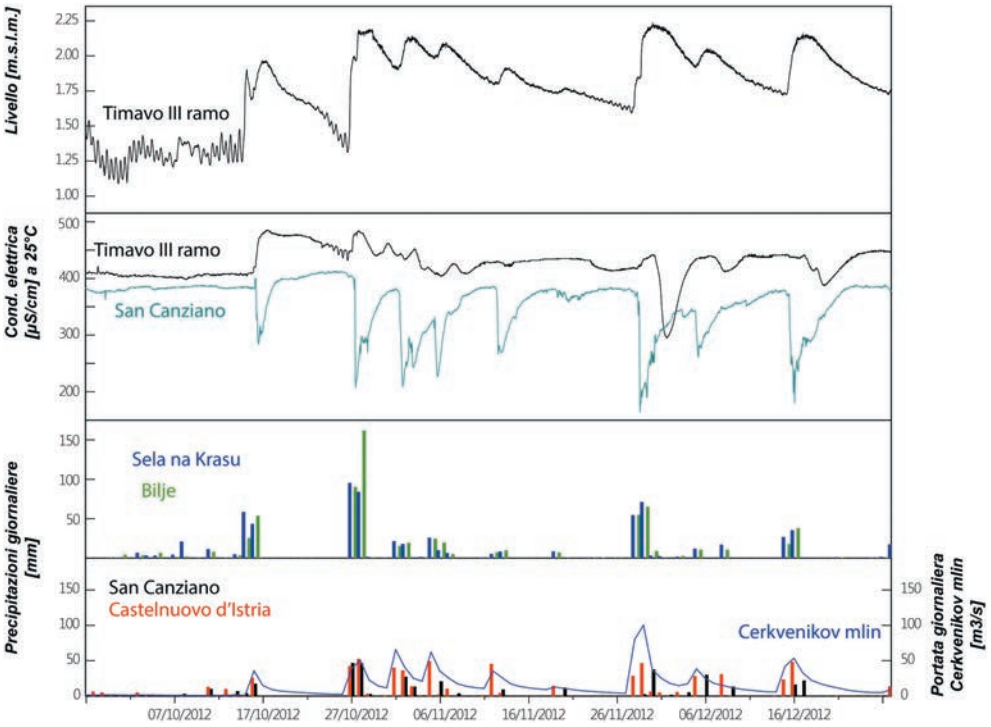

Fig. 8 - Comportamento delle acque del Timavo e confronto con le acque del Reka nelle Grotte di San Canziano in diversi regimi idrogeologici.

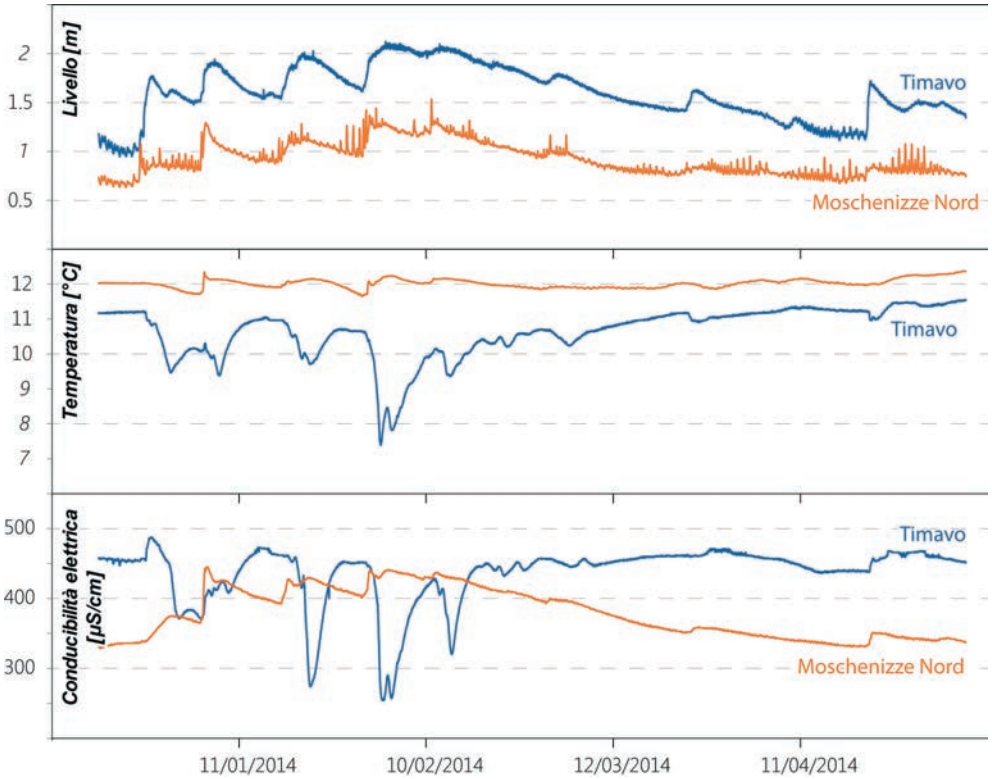

Fig. 9 - Livello, temperatura e conducibilità elettrica alle sorgenti del Timavo e alla sorgente di Moschenizze Nord.

Particolarmente significativo è l'andamento della conducibilità elettrica in quanto permette di comprendere l'origine delle acque che fluiscono alle sorgenti nei diversi momenti. Il comportamento delle acque del Reka monitorate a San Canziano, circa 500 m a valle dell'ingresso, è simile durante ogni piena: in concomitanza dell'aumento della portata si registra un repentino abbassamento della mineralizzazione delle acque con valori che passano mediamente da 360-370 µS/cm a valori prossimi a 200 µS/cm (fig. 9). Questo segnale marca le acque e lo si riconosce anche alle Sorgenti del Timavo ogni qualvolta prevalgono le alimentazioni dovute al Reka. E' il caso per esempio delle piene avvenute a cavallo tra novembre e dicembre 2012, durante le quali si sono osservati decrementi della conducibilità anche di 100 µS/cm (fig.9).

Quando invece prevalgono le precipitazioni sul Carso (stazioni di *Sela na Krasu* e *Bilje*) piuttosto che nel bacino di alimentazione della Reka (stazioni di San Canziano e Castelnuovo d'Istria), si osserva un segnale opposto, con arrivo al Timavo ipogeo di acque carsiche fortemente mineralizzate (alti valori di conducibilità elettrica delle acque di infiltrazione efficace nell'*epikarst*) legate alle precipitazioni. E' in particolare il caso di quanto osservato durante le piene di metà e fine ottobre 2012 (fig. 9), quando in concomitanza con l'aumento dei livelli si sono registrati incrementi della conducibilità con valori che si avvicinano ai 480-490 µS/cm.

Il Reka influenza con il suo regime l'idrodinamica di tutto il settore orientale del Carso Classico, ma non la parte occidentale, dove l'alimentazione è tutta legata alle ricariche dalla pianura isontina e dalle precipitazioni. Lo si comprende bene mettendo a confronto i dati di

monitoraggio delle Sorgenti del Timavo con quelli della Sorgente Moschenizze Nord che è rappresentativa delle emergenze dell'area occidentale tra Moschenizze e Mucille. Nei primi mesi dell'anno 2014 si sono registrate piene in entrambi i punti di monitoraggio, ma il confronto dei dati di temperatura e conducibilità elettrica evidenzia come nelle due sorgenti fluiscano acque differenti. Al Timavo i picchi che si osservano presentano decrementi dei valori di temperatura e conducibilità elettrica legati alla trasmissione degli impulsi di piena del Reka, mentre alla Sorgente Moschenizze Nord si registrano segnali opposti con aumenti di temperatura e conducibilità elettrica legati all'arrivo di acque "di fondo" carsiche dovute alle precipitazione sul Carso.

In definitiva ne emerge un quadro abbastanza complesso nel quale, in funzione della distribuzione e del quantitativo reciproco delle precipitazioni nei diversi settori del Carso Classico e delle portate del Reka, alle Sorgenti del Timavo fluiscono acque di diversa origine. Durante le magre quando il Reka a San Canziano presenta portate di pochi l/s, il Timavo è alimentato prevalentemente dalle acque della pianura isontina che con un flusso di fondo continuo alimentano la falda carsica. Nella maggior parte degli eventi di piena invece prevalgono le acque del Reka. In talune circostanze tuttavia, quando prevalgono le piogge nel settore del Carso Classico rispetto a quelle del bacino di alimentazione del Reka, al Timavo fluiscono acque carsiche con modeste quantità dovute al Reka. Nelle condizioni intermedie le acque sono il risultato della miscelazione delle tre componenti.

Sebbene si inizi ad avere una buona conoscenza sulle modalità con le quali le acque si infiltrano nell'acquifero e su come e dove esse emergano, risultano però ancora per lo più ignoti i loro percorsi sotterranei. Alcuni tratti del percorso ipogeo sono noti grazie all'attività degli speleologi: Abisso delle tre generazioni-Abisso dei Serpenti, Grotta di Kanjaducah, Abisso presso la dolina Stršinkna in Slovenia, Abisso di Trebiciano e Grotta meravigliosa di Lazzaro Jerko in Italia. Le loro connessioni con le sorgenti sono state verificate con numerosi tracciamenti, ma i percorsi veri e propri sono ancora ignoti e probabilmente non verranno mai del tutto scoperti.

Foto 7 - Lo stramazzo a valle dei rami delle Sorgenti del Timavo durante una piena il 25/02/2014.

RINGRAZIAMENTI

Agli studi idrodinamici sulle acque del Carso Classico mediante sensori di monitoraggio in continuo, hanno collaborato, dal ormai lontano 1990, moltissime persone. Fra questi merita ricordare il costruttore dei primi sensori, Claudio Zuppin[4] e il primo laureando in Scienze Geologiche di Franco Cucchi, Enrico Marinetti. A seguire i laureandi, dottorandi, assegnisti, Michele Potleca, Giacomo Casagrande, Paolo Manca, Luca Visintin, Walter Boschin, Chiara Chiarella, Barbara Grillo, Marco Comar, Daniele Samez, Alessio Di Blas, Federico Valentinuz, Sara Bensi, Chiara Boccali, Philippe Turpaud, Francesco Treu, Enrico Zavagno, ...

Dato che gli strumenti sono posizionati in cavità, senza gli speleologi non si sarebbe andati lontano: fra loro, sperando di non dimenticare qualcuno, va ringraziato prima di tutti Gabriele Crevatin "Lele", e poi Sergio D'Ambrosi, Paolo Slama, Franci Gabrovšek, Borut Peric, ...

Molti Gruppi Grotte hanno dato la loro disponibilità al posizionamento ed alla manutenzione degli strumenti, fra questi ci piace ricordare la Società Adriatica di Speleologia, attiva fin dal primo momento, il Gruppo Grotte XXX Ottobre, la CGEB e le guide della Grotta Gigante, il Club Alpinistico Triestino, le Talpe del Carso, il GSM Amici del Fante, il RKI-ZRCSAZU, …

VOCI BIBLIOGRAFICHE CITATE

Boegan E., 1938: *Il Timavo. Studio sull'idrografia carsica subaerea e sotterranea*. Mem. Ist. Ital. di Speleologia, Mem. 2°, Trieste.

Cancian G., 1987: *L'idrologia del Carso goriziano-triestino tra l'Isonzo e le risorgive del Timavo*, Studi Trentini di Scienze Naturali, 64: 77–98.

Civita M., Cucchi F., Eusebio A., Garavoglia S., Maranzana, F., Vigna B., 1995: *The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected*, Acta Carsologica, 24: 169-186.

Casagrande G., Cucchi F., Zini L., 2005: *Hazard connected to railway tunnel construction in karstic area: applied geomorphological and hydrogeological surveys*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5:2, 243-250.

Crevatin G., Cucchi F., Marinetti E., Zuppin C. (1999): *Strumentazione per il monitoraggio in continuo di acque carsiche*; Mondo Sotterraneo, n.s., anno XXI, n°1-2 aprile-ottobre 1997: 13-24, Udine.

Cucchi F., Forti F., 1981: *La "Cattura" del Timavo superiore a Vreme*, Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 21: 55-64.

Cucchi F., Zini L., Calligaris C., 2015: *Le acque del Carso Classico*, Progetto HYDROKARST. EUT, ISBN 978-88-8303-621-7.

Doctor Daniel H., Lojen S., Horvat M., 2000: *A stable isotope investigation of the Classical Karst aquifer: evaluating karst groundwater components for water quality preservation*, Acta Carsologica, 29(1): 79–82.

---

[4] I sensori "sperimentali" costruiti da Claudio Zuppin della Meccatronica-BIC di Trieste (Crevatin G., Cucchi F., Marinetti E., Zuppin C., 1999) dopo alcuni anni sono stati sostituiti da quelli costruiti dalla Ejkelkamp, ditta olandese che nel tempo ha affinato i suoi CTD Diver, rendendoli sempre più piccoli, solidi, affidabili, capaci. Oggi è la multinazionale francese Schlumberger che ha acquisito la Ejkelkamp e distribuisce questi ottimi prodotti a tutto il mondo (rappresentante per l'Italia: Ecosearch, Città di Castello, *www.ecosearch.info/eijkelkamp*).

Gabrovšek F., Peric B., 2006: *Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifer: the case of Reka river system, karst plateau, SW Slovenia*, Acta Carsologica, 35(1): 35-45.

Gemiti F., Licciardello M., 1977: *Indagini sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso triestino e goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali*, Annali Gruppo Grotte Ass. 30 Ott., 6: 43–61.

Gemiti F., 1984: *La portata del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*, Annali Gruppo Grotte Ass. XXX Ott., 7: 23-41.

Gemiti F., 1995: *Portata liquida e portata solida del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*. Hydrores., 13: 75-88.

Guglia P., 1993: *Pianta fuori testo del Complesso del Timavo,* Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXI (1992-1993): 23-156.

Mosetti F., D'Ambrosi C., 1963: *Alcune ricerche preliminari in merito a supposti legami di alimentazione fra il Timavo e l'Isonzo*, Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, 5(17): 69-84.

Petrini R., Italiano F., Ponton M., Slejko F. F., Aviani U., Zini L., 2013: *Geochemistry and isotope geochemistry of the Monfalcone thermal waters (northern Italy): inference on the deep geothermal reservoir*. Hydrogeology Journal, 21: 1275-1287.

Samez D., Casagrande G., Cucchi F., Zini L., 2005: *Idrodinamica dei laghi di Doberdò e di Pietrarossa (Carso Classico, Italia). Relazioni con le piene dei fiumi Isonzo, Vipacco e Timavo*. Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan", 40: 13-152.

Timeus G., 1928: *Nei misteri del mondo sotterraneo: risultati delle ricerche idrogeologiche sul Timavo 1895–1914, 1918–1927*. Atti e Memorie Commissione Grotte"E. Boegan", 22: 117–133.

Zini L., Calligaris C., Treu F., Zavagno E., Iervolino D., Lippi F., 2013: *Groundwater sustainability in the Friuli Plain*. AQUA mundi, 4: 41-54.

Zini L., Calligaris C., Zavagno E., 2013: *Classical Karst hydrodynamics: a sheared aquifer within Italy and Slovenia*. In: Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions. IAHS Publication 364, 499-504. ISSN 0144-7815.