mondo sotterraneo

nuova serie, anno XLVII, n. 1-2, aprile-ottobre 2023

mondo sotterraneo

rivista semestrale del
circolo speleologico e idrologico friulano

nuova serie, anno XLVII n. 1-2 aprile-ottobre 2023

foto di copertina: Salone Aragon, Grotta Tirfor, Lusevera (foto A. D'Andrea)

mondo sotterraneo, nuova serie, anno XLVII, n. 1-2 (aprile-ottobre 2023)
rivista semestrale del circolo speleologico e idrologico friulano aps
registrazione tribunale di udine n. 393 del 14 marzo 1977
redazione e sede del circolo speleologico e idrologico friulano: via diaz 58 - 33100 udine; cp. 257
direttore responsabile: dario ersetti
tipografia: poligrafiche san marco, cormons (go)
i manoscritti e le foto, anche se non pubblicati, non verranno restituiti
le fotografie e i disegni, ove non altrimenti indicato, sono dell'autore del testo

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 3-14.

Umberto Sello

Relazione morale per l'anno 2022

Care Socie e cari Soci,
e con questo facciamo otto!

Il tempo corre e sono arrivato a concludere proprio l'ottavo anno di presidenza del Circolo e dovrò continuare anche nel 2023 essendo regolamentato, dall'anno scorso, il mandato biennale: briciole di tempo rispetto ai 125 anni appena compiuti (25 ottobre 2022) dal nostro sodalizio. Un anno sicuramente da non dimenticare. Dopo tre anni di pandemie, chiusure, fermi forzati dell'attività, questo 2022 non è stato poi così male, anzi.

Le soddisfazioni non sono di certo mancate, prima tra tutte è quella di aver finalmente svelato il mistero dell'ingresso alto della Grotta di San Giovanni d'Antro (forse il primo di sicuri altri accessi). Erano decenni che ne parlavamo, le scalate e risalite del Camino Gibram o del Profeta erano una fissazione di Stefano Turco ed allora ecco che finalmente, dopo un periodo di stasi nelle esplorazioni della cavità, è ritornata in mente anche questa avventura. Un anno di scavi, esperimenti compiuti con l'artva, il mistero del pozzo parallelo, ma ecco che il 12 novembre, a pochi giorni dall'anniversario della scomparsa di Turbo (già 5 anni) è avvenuto il passaggio tanto agognato, ma ne parleremo in seguito. E per tale avvenimento possiamo proprio dire che il 2022 è stato l'anno di Gibram.

Torniamo alla situazione interna del Circolo, abbiamo una sede dignitosa, abbiamo soci attivi come non mai (stiamo superando gli 80 soci), ed anche sul fronte economico non ci possiamo lamentare. La gestione della formichina a lungo termine paga e non facciamo mancare l'apporto di materiale esplorativo ai soci che si impegnano nelle uscite domenicali (e non solo). Quello che ci impegna troppo, ma non è una novità, è la parte gestionale e di coordinamento delle attività. Si sa che non si può imporre programmi fissi a persone che vanno in grotta per passione ma anche il lavoro a tavolino, burocratico ed amministrativo è importante ed è il vero carburante per mandare avanti una associazione; forse i soci dovrebbero rendersi conto di tale situazione, ancora più gravosa oggi che stiamo entrando nel Terzo Settore.

Sul piano esplorativo e di attività, come già accennato, non possiamo lamentarci, anzi! Abbiamo incrementato il numero delle uscite, arrivate all'invidiabile

quota di 191 (contro la media degli ultimi anni di circa 160). Tale incremento è dovuto certamente alle uscite di scavo a Ialig (sopra Antro) che, come vedremo, ha occupato l'attività con 28 uscite.

Come è consuetudine anche di chi mi ha preceduto, l'attività viene suddivisa per zone e capitoli.

Alpi Carniche

Settore ampio e marginale dove si è proceduto con uscite abbastanza occasionali nella zona del Monte Verzegnis, a Lauco, a Comeglians per verificare un vecchio rilievo e rintracciare alcune gallerie di miniera, a Timau (Pramosio), ma anche con un tentativo all'Abisso Marinelli. Gli intrepidi esploratori si sono fermati nella zona della fessura passata l'anno scorso da Ida e che questa volta era occupata da detriti precipitati dall'alto. Con un paziente lavoro di disostruzione è stato superato l'ostacolo, ma la pericolosità e l'instabilità di alcuni massi non hanno consigliato per questa volta la progressione.

Altra cosa è la Grotta di Passo Geu Alto, posto ai confini dei nuovi territori provinciali di Sappada. Il pozzo ci era stato segnalato da amici carnici del CAI di Forni Avoltri che erano già discesi sul fondo. La localizzazione non è certamente delle più comode ed è stato necessario compiere una uscita per portare il materiale in quota e poi a fine luglio la discesa con il rilievo. Le pareti della grotta non sono più ricoperte da ghiaccio ma sono quasi libere però con continui distacchi di massi frammisti a ghiaccio. Nonostante tutto, anche con la difficoltà della temperatura che in piena estate raggiungeva i 0°C è stato raggiunto il fondo a circa -100 metri, con una piccola prosecuzione verticale impraticabile.

Massiccio del Canin e Alpi Giulie

A parte l'assistenza e collaborazione con l'Associazione Landscape al Forte Beisner di Malborghetto-Valbruna, che gestisce l'opera, e alcune visite nelle più antiche gallerie superiori della Miniera di Raibl con gli specialisti del Museo Friulano di Storia Naturale, l'attività è stata portata avanti da una sparuta, ma assai efficace squadra di punta sul Col Lopic con nuove esplorazioni in CL49, CL44, CL45, CL58, CL59, CL24, CL57 oltre alla Fr 1838 con risultati per ora apparentemente non troppo eclatanti, ma in realtà di ottime prospettive. Oramai la zona è completamente inondata da sigle e credo sia importante portare a termine il progetto targhette per evitare che le indicazioni lasciate con la vernice vengano cancellate nel tempo come è già successo sul vicino Monte Robon con i primi rilievi eseguiti agli inizi degli anni '70.

La galleria mineraria "medievale" di Pramosio (Timau, Paluzza). Sono evidenti i segni dello scavo effettuato con i martelli e dell'uso del fuoco; dalla miniera veniva cavata la tetraedrite, un minerale dal quale si ricavava argento e rame. Le visite sono state effettuate nell'ambito del progetto europeo TesTerra per il quale abbiamo collaborato con il Geparco delle Alpi Carniche (foto A. D'Andrea).

Ancora esplorazioni e ricognizioni nella zona del Monte Ursic con alcune piccole cavità rilevate e con Ida che si è aggregata ad alcune impegnative esplorazioni di speleo triestini a Frozen-Turbine ed al complesso Capelli-Picciola.

Il Canin è stato inoltre il campo pratico del corso di geologia per speleologi organizzato dal CSIF nel settembre con base al Forte di Cuel Badin di Chiusaforte.

Prealpi Carniche

Visite sistematiche di Luca, biologo del Museo, per il monitoraggio della fauna ipogea, visita alla Grotta della Foos per effettuare riprese ed un tentativo, non riuscito, di superare il sifone. Continua la collaborazione di alcuni soci del CSIF con il Gruppo Grotte di Pradis con esplorazioni e rilievi alla Grotta “Ma che Liberazione” con soddisfazioni e possibili ulteriori sviluppi.

Prealpi Giulie

È sempre stata la zona cui il Circolo ha riservato il maggiore interesse ed impegno, anche se questa volta i soci sono parzialmente stati distolti dalla novità Ialig.

Oltre ad aver quasi certamente rintracciato il quinto ingresso del complesso Bernardo Chiappa (Grotta Tirfor), posto purtroppo in una zona non troppo favorevole alle nuove progressioni, sono stati aggiunti nuovi rami che portano lo sviluppo complessivo rilevato di questo sistema sotterraneo ad oltre 6,5 km, ma ci sono ancora tanti rametti e prosecuzioni da verificare.

La Grotta della Foos presso Campone (foto A. D’Andrea).

Si è tentato anche di forzare la parte attiva senza troppa fortuna ma sicuramente è stato un bel bagno gelido invernale. Il lavoro necessario, come già più volte detto sarà quello di mettere in sicurezza il secondo ingresso che forse è anche il più pericoloso per i distacchi di massi dalla parete soprastante.

Sull'altipiano di Monteprato continua la caccia all'ingresso alto di Grotta Sara cercando di forzare alcune fessure sul fondo della Fr 398 ma il segnale artva è ancora troppo flebile. La Grotta Sara, comunque, non si smentisce ed è diventata una delle più interessanti scoperte negli ultimi anni: ora raggiunge e supera i 4 km (di cui oltre 3 km rilevati). È una grotta selettiva e che solleva grandi dilemmi, con le acque che dovrebbero andare verso il vicino Cornappo ma solo un esperimento di tracciamento può darci la conferma desiderata.

Entrambe le grotte sono esplorate da uno sparuto gruppo di speleo di punta, ai quali va il nostro plauso ed il nostro ringraziamento per farci sognare.

Uscite hanno anche interessato il Canal di Grivò, anche in relazione alle ricerche programmate con il Comune di Faedis, e la Valcalda (Val Cornappo) ma in entrambe le zone non sono emerse cavità interessanti, tali da farci distrarre da altre zone più promettenti.

Valli del Natisone

Sicuramente è la zona dove il Circolo quest'anno ha focalizzato la sua opera, anche per l'eccitazione di trovare il tanto agognato ingresso superiore della Grotta di San Giovanni d'Antro. Dopo ben 28 uscite di scavo il 13 novembre è avvenuto il primo passaggio: un gruppetto è salito dal Camino Gibram e Rosa è stata la prima a completare così la "traversata" uscendo dal Pozzo di Ialig, che pensiamo di dedicare a Meraldo. Ora è necessario studiare bene tutta l'area perché le sovrapposizioni fra i rilievi e i posizionamenti delle cavità note fanno presumere l'esistenza di una galleria parallela a quelle conosciute e a sviluppi inimmaginabili della grotta.

Un plauso va a tutti i soci che hanno prestato la loro opera faticosa, pericolosa ma che ha portato a casa una scoperta tra le più importanti degli ultimi anni. Una prima relazione è stata pubblicata sul Mondo Sotterraneo del 2022.

Battute di zona hanno interessato il Monte Matajur, con i suoi fenomeni carsici di superficie che spesso illudono il ricercatore, e l'area delle cave di Clastra e di Tarpezzo, dove sono state segnalate alcune cavità verticali da esplorare e rilevare.

Carso

Nelle grotte del Carso classico sicuramente gli speleo friulani non vanno ad esplorare, ma la presenza di cavità con caratteristiche uniche fanno sì che diventino meta di uscite di allenamento, di reportage fotografici e di uscite del corso di speleologia. Sono stati visitati l'Abisso di Gropada, l'Abisso di Samatorza, le grotte Cacciatori, Gabrovizza, Natale, Ternovizza, Omar, l'Abisso Plutone, la Grotta dei Vasi e, infine, abbiamo partecipato all'uscita natalizia comunitaria alla Grotta Noè.

Resto d'Italia ed Estero

Il desiderio di esplorare dopo questi anni di "clausura" ha permesso ad alcuni soci di uscire dal territorio regionale, e di dedicarsi a mete nazionali in Sardegna dove Mayo è di casa (Capo S. Elia, Grotta di Santa Barbara), alcune grotticelle sul Gargano. All'estero Giuseppe ed Andrea hanno avuto modo e fortuna di visitare il Geode Pulpi in Spagna, lo stesso Andrea è andato in Bulgaria per visitare alcuni fenomeni carsici nei pressi di Karlukovo e la grande Voragine di Devetaki e non contento è salito fino in Finlandia dove ha visitato la Grotta di Gunnerdby, condotta scavata nel granito rosa. Visite turistiche anche in Grecia (Grotta di Diros), Slovenia (Postumia) e a scopo di allenamento e documentazione fotografica in altre grotte in Slovenia (Skamperlova e Vu portu pri Ogradi).

Catasto

È un po' il tallone di Achille del Circolo. I rilievi ci sono e lo sviluppo delle cavità è più che interessante, ma c'è una certa repulsione all'utilizzo di metodi innovativi che ci vengono proposti dal Catasto Grotte. Dobbiamo migliorare e presto.

Negli ultimi giorni del 2022 sono stati presentati gli aggiornamenti, ora già superati, della Grotta Sara e del Complesso Bernardo Chiappa (Grotta Tirfor). Si sa che dal 2022, ai fini dell'assegnazione dei contributi regionali, i dati inviati al Catasto pesano molto (per il 55%), e non essere precisi e puntuali ciò può far variare anche la situazione di tranquillità economica di cui godiamo attualmente.

Il Geode Pulpì nella Mina Rica presso Almeria (Spagna; foto https://www.geodapulpi.es/).

Divulgazione e Attività culturali

È un argomento sempre presente nella operosità del Circolo e lo fa, da sempre, con attenzione e professionalità.

Anche quest'anno abbiamo fatto il corso di primo livello (e siamo al n. 42) preceduto da alcune uscite di introduzione alla speleologia. Cosa anomala è il fatto che quest'anno il corso è stato interrotto da un colpo di coda della pandemia che ha colpito allievi ed istruttori, facendo slittare la conclusione a settembre. È stato organizzato, inoltre, sempre sotto l'egida della Società Speleologica Italiana, il corso di secondo livello "Geologia per Speleologi", cui hanno partecipato una ventina di iscritti provenienti un po' da tutto il nord Italia. Le lezioni teoriche si sono svolte al Forte di Cuel Badin a Chiusaforte che è servito anche come base logistica, mentre l'escursione sul campo si è svolta sull'Altipiano del Monte Canin.

Dal punto di vista divulgativo non dobbiamo dimenticare le cinque serate di incontri su vari argomenti (storia, geologia, biologia, primo soccorso, ecologia, idrologia) a Tarcetta su richiesta dell'Associazione Culturale di Tarcetta, rivolta ad aspiranti guide ed accompagnatori della Grotta turistica di Antro.

Tre uscite sono poi state fatte con gli scout di Udine e Pordenone in accordo con la Società Alpina Friulana e l'AGESCI; durante le uscite sono state illustrate dai nostri soci le principali informazioni di carattere geologico, biologico ed idrologico.

Nella primavera di quest'anno si è conclusa la mostra in Castello a Udine sugli "Antichi abitatori delle grotte in Friuli" dove abbiamo esposto i reperti gelosamente custoditi nel nostro museo e collaborato nella stesura del catalogo; abbiamo inoltre fattivamente collaborato alla realizzazione della mostra "L'occhio della scienza. Un secolo di fotografia scientifica in Italia (1839-1939)", in corso a Pisa, organizzata dal Museo Galilei e dall'Istituto e Museo di Storia della Scienza, con il prestito di alcune immagini del fondo De Gasperi, collaborazione messa in evidenza anche nel ricco catalogo edito per l'occasione (e dove De Gasperi si è meritato l'onore della copertina!).

In primavera abbiamo partecipato come organizzatori assieme al Comune di Faedis, al convegno "Sentieri di Biodiversità" con interventi di Furio Finocchiaro dal titolo "*Nelle terre del Flysch - Inquadramento geologico*" e "*Grotte e sorgenti della Val Grivò*". Furio, assieme a Maurizio Ponton e ad altri ricercatori regionali, è stato anche protagonista dell'intervento "*Karst hydrology of Mt. Bernadia area (Udine, Italy)*" in settembre a Custonaci, in Sicilia, nell'ambito della conferenza Internazionale "Man and Karst 2022".

A Tarcetta abbiamo allestito una mostra fotografica sulla Grotta di San Giovanni d'Antro con 23 pannelli di grande formato che diventerà l'ossatura di un piccolo museo dedicato alla grotta a corollario del Centro Visite il cui allestimento è in fase embrionale. È stato inoltre presentato un filmato, sempre su San Giovanni d'Antro, durante una serata pubblica nella sala consigliare del Comune di Pulfero alla pre-

senza di un pubblico numeroso e di amministratori locali che ci ha fatto, se ce ne fosse stato bisogno, conoscere ancora di più nelle Valli del Natisone.

Siamo stati presenti al convegno regionale di speleologia che si è svolto a Claut in settembre, con tre nostri interventi, il primo sull'attività del CSIF nel biennio 2020-2022, il secondo sugli aggiornamenti del complesso Bernardo Chiappa (Grotta Tirfor) ed il terzo sugli aggiornamenti alla Grotta Sara. La nostra partecipazione non si è limitata alla presentazione di lavori ma parte della regia e dell'organizzazione è anche nostra.

Sono state organizzare alcune conferenze tematiche, due in collaborazione con la Società Alpina Friulana e con il Museo Friulano di Storia Naturale, dove Franco Cucchi ha spiegato "L'acqua che beviamo - dal rubinetto all'acqua minerale. Imparare a leggere le etichette ed i dati" mentre Furio Finocchiaro ha illustrato "In equilibrio tra Friuli e Adriatico: le lagune".

A novembre a Pesariis, in collaborazione con il Geoparco delle Alpi Carniche, abbiamo tenuto una conferenza su "Grotte con ghiaccio nelle Alpi Carniche" con relatori Andrea Mocchiutti e Furio Finocchiaro e a Moggio Udinese si è svolta con Maurizio Ponton una conferenza sulle miniere nell'ambito del progetto TES TERRA.

Ultima ma non certo per qualità è la fattiva collaborazione alla realizzazione del volume sulle Grotte Preistoriche in Friuli Venezia Giulia dove compariranno alcuni contributi di nostri soci, attività che si è anche riflessa in quella di campagna con uscite fotografiche e di verifica dati. Insomma, un'attività di tutto rilievo.

L'ultimo tratto del Ramo Principale di San Giovanni d'Antro (foto A. D'Andrea).

Archivio Storico e Biblioteca

Non ci sono state acquisizioni eclatanti come negli anni scorsi. Stiamo lavorando al riordino del materiale, anche quello che viene dal "deposito presidenziale". È stato ipotizzato, e ci stiamo lavorando, che i documenti appartenuti ad Egidio Feruglio, oggi depositati presso di noi (oltre un centinaio di carte topografiche/geologiche con appunti del nostro geologo, sezioni geologiche elaborate graficamente in china) e presso gli eredi Magrini a Luint di Ovaro (circa 60 libretti di campagna, corrispondenza ed appunti di lavori pubblicati) possano diventare un unico fondo magari depositato poi in comodato al Museo Friulano di Storia Naturale di Udine, dove c'è già l'importante Archivio Storico di Ardito Desio, suo grande amico e collega.

Una volta completato e strutturato il nuovo sito web vorrei che apparisse anche una voce "archivio storico" con inizialmente la distinta dei vari fondi con un inventario di massima del contenuto. Tale operazione permetterebbe una maggiore conoscenza e visibilità all'esterno della nostra storia e non solo.

Anche nel campo della biblioteca abbiamo cooptato una volontaria che sta riordinando il fondo librario, inserendo ed aggiornando il tutto sul catalogo web del circuito bibliowin. Poi spetterà alle riviste e agli estratti. ma ci vorrà tempo.

Sul nuovo sito saranno inseriti anche i pdf delle pubblicazioni edite negli anni, sognando che possa essere fatto con calma quanto ha fatto recentemente la Società Alpina Friulana, che ha messo a disposizione la riproduzione in formato pdf e con la possibilità di ricerca delle parole chiave, l'intera produzione editoriale dal 1874 ad oggi con "Dal Peralba al Canino", "Cronache SAF" e "In Alto".

Programmi per il 2023

Senza dubbio dobbiamo terminare alcuni dei proponimenti del 2022 che non sono stati portati a compimento, a questi andranno aggiunti altri di una certa importanza specie dal punto di vista esplorativo. Andranno messi in sicurezza gli ingressi del Complesso Bernardo Chiappa (Grotta Tirfor) con il secondo ingresso, dove è stato già posizionato un grande e pesantissimo tubo autoportante, ma che ora va ancorato alla roccia e dovrà essere posizionata, come negli altri ingressi (terzo e quarto), una adeguata chiusura metallica per impedire che vi siano, all'interno della cavità, squilibri climatico-ambientali a causa delle nuove aperture artificiali e della conseguente modificazione nella circolazione dell'aria.

Prima di aprire altri ipotetici e sicuri pozzetti che danno quasi certamente accesso alla sottostante Grotta di San Giovanni d'Antro, va messo in sicurezza anche il Pozzo di Ialig (attualmente con una recinzione provvisoria), pericoloso per il suo quasi mimetico ingresso, chiusura che permetterà anche di regolamentare l'accesso sia della corrente d'aria, sia di speleologi improvvisati.

Dovranno proseguire i tentativi di trovare l'ingresso alto della Grotta Sara (vedi Fr 398), compiendo eventualmente in vari punti della grotta esperimenti di

tracciamento delle acque, perché ormai è ora di conoscere il regime idrico della grotta e le sue possibili evoluzioni; di questo però dobbiamo parlare con i colleghi dell'Università di Trieste e del Catasto Grotte.

Uno tra gli ambiziosi programmi scientifici è quello di posizionare un insieme di strumentazioni che possano servire allo studio dell'idrologia e del clima sotterraneo in alcune grotte importanti della Regione; vorremmo iniziare da San Giovanni d'Antro, con raccolte di dati che possono anche essere utili ai gestori della parte turistica della grotta per la previsione e il monitoraggio delle piene a volte copiose ed improvvise.

Con l'Associazione Culturale Tarcetta stiamo cercando di intervenire per migliorare l'accessibilità alla grotta turistica con consigli sulla illuminazione e sulla morfologia di alcuni passaggi, barbaramente modificati negli anni.

Che sia finalmente l'anno dell'Abisso Marinelli? Credo ci sia una speranza ma gli spiriti e folletti del Monte Coglians (ma soprattutto la neve e le valanghe..) sono sempre in agguato.

Sogno nel mio cassetto e in quello di Giuseppe è anche la conclusione dei lavori in Cilento, ipotizzando una monografia che raccolga i quasi 40 anni di esplorazioni; ci sono almeno 150 cavità rilevate dal Circolo nel Catasto Grotte della Campania che ne conta 1500. Lo dobbiamo anche a Gigi e Stefano.

Dal punto di vista divulgativo pensiamo di organizzare il solito corso di primo livello preceduto da alcune uscite di "avvicinamento alla speleologia" e magari,

Carsismo superficiale sui calcari devoniani del Monte Coglians (foto A. D'Andrea).

visto che ci siamo riusciti più volte, organizzare anche un corso di secondo livello o di terzo livello su temi importanti, eventualmente in collaborazione con altri gruppi regionali.

Puntiamo a mantenere un buon livello per Mondo Sotterraneo cercando anche di ampliare la proposta editoriale con una monografia sulla grotta di San Giovanni d'Antro, che ci è stata richiesta anche dall'Associazione Culturale Tarcetta che gestisce la grotta, e una sul prossimo Centesimo anniversario dalla scoperta della Grotta Nuova di Villanova (1925-2025) dove il Circolo ha sicuramente fatto molto fin dall'inizio delle esplorazioni.

Continuerà la nostra collaborazione con gli Enti ed Associazioni alle quali siamo legati da convenzioni pluriennali come la sunnominata Associazione Culturale Tarcetta ed il Museo Friulano di Storia Naturale di Udine.

Verranno incrementate le partecipazioni dei soci ai corsi di aggiornamento o specializzazione nei vari campi anche con contributi economici da parte del Circolo. Investire sulle risorse umane non è fine a se stesso e non c'è da vergognarsi di imparare da altri alcune cose che magari ci sembrano familiari.

Come vedete c'è lavoro per tutti, ogni socio può e deve trovare il suo impiego all'interno della struttura; aver aumentato i soci è un buon avvio ma servono energie nuove e giovani per dare continuità al nostro Circolo.

Ringraziamenti e considerazioni personali

Iniziamo con il consueto grazie alla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia che, attraverso l'Assessorato all'Ambiente ed il Servizio Geologico Regionale, finanzia l'attività nostra e degli altri gruppi regionali.

Un particolare ringraziamento a tutto il consiglio direttivo che mi ha supportato e sopportato durante il 2022. Uno speciale grazie a Giuseppe Muscio che riesce sempre a ritagliare nel suo tempo momenti di profonda dedizione seguendo Mondo Sotterraneo e gran parte delle incombenze burocratiche.

Non posso dimenticarmi della dott.ssa Paola Visentini che ci permette di mantenere un rapporto attivo con il Museo Friulano di Storia Naturale nelle ricerche paletnologiche, biologiche e nella gestione dell'Archivio di Ardito Desio.

Alla fine di queste mie veloci considerazioni mi corre l'obbligo di ricordare quanti ci hanno lasciato nel corso dell'anno, primo tra tutti Gino (Meraldo) Monai, ricordato affettuosamente su Mondo Sotterraneo appena stampato, e per il quale, assieme all'Associazione Culturale Tarcetta, è in programma di provvedere ad un degno ricordo nel piccolo cimitero di Antro affinché la sua memoria sia duratura nel tempo.

Un ricordo anche per Roberto Ive, che non era nostro socio, ma che ci fu compagno di esplorazioni nella campagna speleologica in Repubblica Dominicana nel lontano 1986. Non dimentichiamoci anche del nostro esuberante amico Massimo Mossenta che ci ha lasciato alla fine del 2021.

Tutto sommato, nonostante sia brontolone e anche molto apprensivo nella gestione del nostro Circolo, sono affezionato morbosamente a questo particolare ambiente dove bazzicano gli speleologi: tipi strani ma con un fondo di generosità e di amicizia di altri tempi.

Grazie ragazzi, facciamo vedere che siamo in tanti, affiatati e produttivi, cosa che, guardandoci bene in giro, è una prerogativa che non molti altri hanno.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 15-34.

Cristina Liñán Baena[1,2], Paolo Forti[3], Concepcion Jiménez de Cisneros[4]

Le spatiti elicoidali della Grotta Loma de los Riscos 3 (Torremolinos, Spagna)

Riassunto - Ancora oggigiorno è ancora abbastanza comune che vengano scoperti nuovi tipi di concrezioni di grotta, le cui morfologie sono controllate da fattori ambientali che ne condizionano la genesi e il successivo sviluppo. Recentemente sono state osservate, per la prima volta al mondo, delle spatiti elicoidali in una grotta presso Torremolinos in Spagna. Nel presente lavoro, prima di descrivere questi nuovi speleotemi, data la notevole rarità delle spatiti in generale, si è deciso di introdurle brevemente prima di discutere in dettaglio la genesi e lo sviluppo di quelle di Torremolinos che sembra essere stata totalmente controllata dalla presenza di abbondante moonmilk, mentre l'angolo di scostamento dalla verticalità delle singole spire è la conseguenza diretta della frequenza di gocciolamento apicale durante lo sviluppo di ogni spira. Purtroppo, data la scarsità di speleotemi di questo tipo presenti a Torremolinos e soprattutto la totale inattività degli stessi, non è stato possibile risalire ai fattori che governano il raggio di curvatura delle singole spire.
Parole chiave: Spatiti elicoidali, Moonmilk, Frequenza di gocciolamento apicale, Spagna.

Abstract - Even today it is still quite common that new types of cave concretions are discovered, the morphologies of which are controlled by environmental factors that condition their genesis and subsequent development. Recently, for the first time in the world, helical spathites have been observed in a cave of Torremolinos in Spain. In the present paper, before describing these new spathites, given the remarkable rarity of this speleothem in general, it was decided to introduce them briefly before discussing in detail the genesis and development of those of Torremolinos, which seems to have been totally controlled by the presence of abundant moonmilk, while the angle of deviation from the verticality of the individual whorls is the direct consequence of the apical dripping frequency during the development of each whorl. Unfortunately, due to the scarcity of this type of speleothems in Torremolinos cave and above all their total inactivity, it has not been possible to trace the factors governing the radius of curvature of the individual coils.
Keywords: Helical spathites, Moonmilk, Apical drip rate, Spain.

1) Istituto di Ricerca, Fondazione Cueva de Nerja, Carretera de Maro s/n, 29787 Nerja, Spagna; cbaena@cuevadenerja.es
2) Dipartimento di Ecologia e Geologia, Facoltà di Scienze, Università di Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga, Spagna; crilinbae@uma.es
3) Istituto Italiano di Speleologia, Università di Bologna, via Zamboni 68, 40126 Bologna, Italia; paolo.forti@unibo.it
4) Istituto Andaluso di Scienze della Terra (CSIC-UGR), Av. de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada, Spagna; concepcion.cisneros@csic.es

Introduzione

Molti tipi di speleotemi, quali per esempio le stalattiti, le stalagmiti, le pisoliti etc., sono estremamente comuni e presenti nella maggioranza delle grotte di ogni parte del mondo (Hill & Forti, 1997), altri sono invece rari o addirittura presenti in una unica cavità naturale di questo pianeta (Forti & Lombardo, 1998; Badino et al., 2017; Calaforra & Forti, 2019, 2021).

Vi sono poi delle concrezioni che, pur essendo relativamente comuni, sono state descritte solamente nelle grotte di pochissimi paesi perché solo in quelle aree gli speleologi si sono accorti della loro presenza.

È questo il caso delle spatiti che sono state osservate per la prima volta negli Stati Uniti (White & Stellmack, 1959) e negli anni successivi notate in varie altre grotte sempre statunitensi (Haman, 1963; Hubbart et al., 1984). Fuori da questo paese, fino agli ultimi due decenni del secolo scorso, le spatiti erano state documentate solo nelle Jenolan caves in Australia (Welch, 1976; Hill & Forti, 1997) e infine, ancora più di recente, nelle Filippine (Bunnel & Ivereig, 2018).

Comunque, le spatiti, pur essendo sicuramente rare, possono essere abbondanti nelle grotte in cui si formano ed è anche certo che la loro genesi non dipende dal clima, dato che questi speleotemi sono stati osservati in aree geografiche caratterizzate da temperature e precipitazioni molto differenti tra loro: sicuramente, però, l'ambiente tropicale sembra essere particolarmente favorevole al loro sviluppo dato che, fino ad oggi, le spatiti più grandi al mondo sono state osservate in una grotta delle Filippine (Bunnel & Ivereig, 2018; Fig. 1).

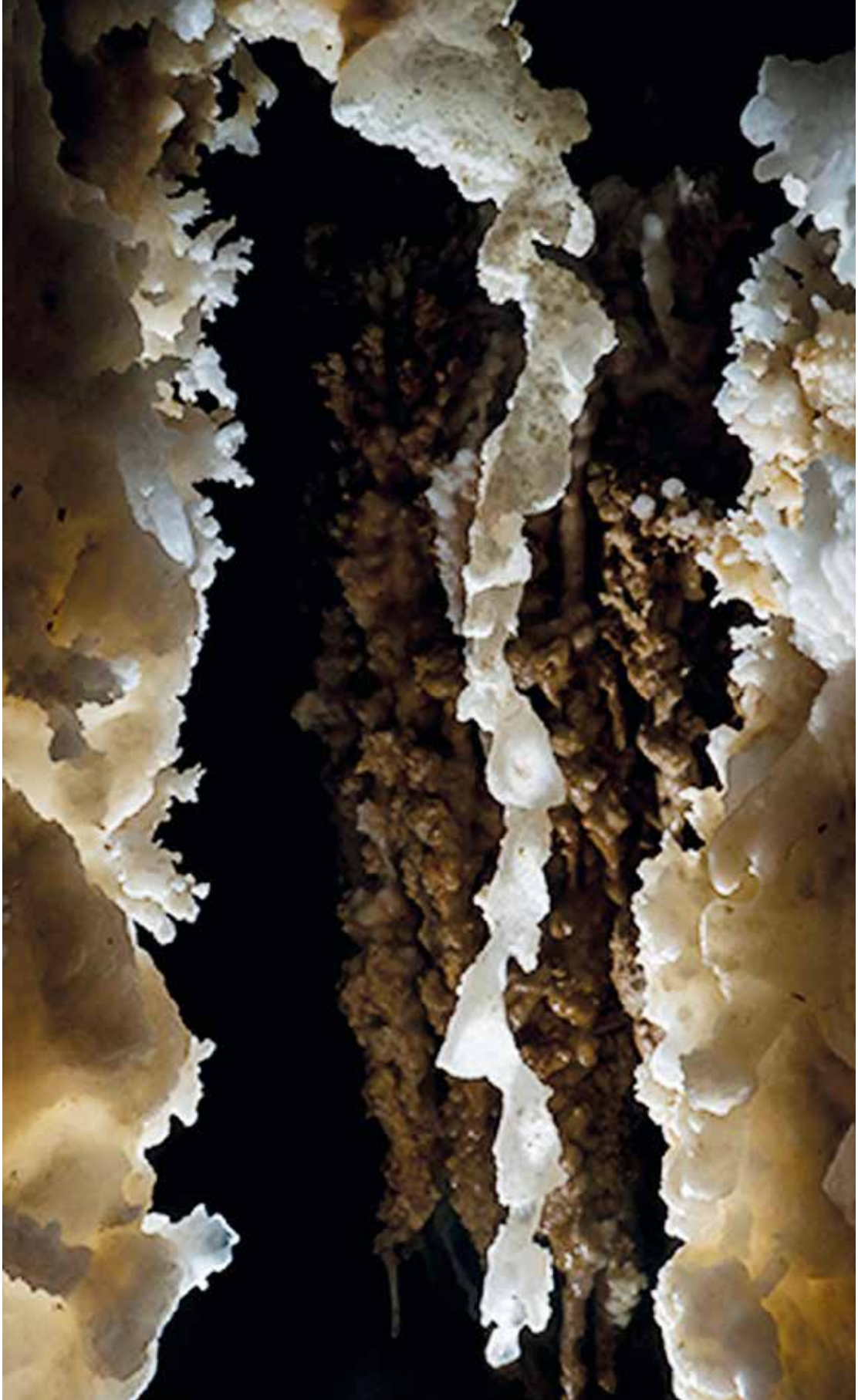
Comunque, tenendo conto di tutto questo, era del tutto evidente che le spatiti dovevano necessariamente potersi sviluppare anche nelle grotte del vecchio continente e quindi non è sorprendente che alla fine del 2022 siano state trovate all'interno di una cavità naturale di Torremolinos (Loma de los Riscos 3) nel Sud della Spagna (Fig. 2), dove però presentavano, almeno in parte, delle caratteristiche morfologiche peculiari che le distinguono da quelle sino ad oggi descritte nelle altre grotte.

Ancora oggi, però, ben pochi sono gli speleologi europei che sanno di cosa si tratti e ancora meno a cosa sia dovuto il loro nome e pertanto prima di passare alla descrizione di queste nuove spatiti, e ad avanzare ipotesi sul loro meccanismo di formazione, si è ritenuto utile descrivere in generale questo speleotema assieme al suo meccanismo genetico-evolutivo.

La genesi ed evoluzione nel tempo delle spatiti

Il nome spatite è stato proposto dai suoi primi scopritori (White & Stellmack, 1959) sulla base della sua particolare forma, che fa rassomigliare questo speleo-

Fig. 1 - La più lunga spatite attualmente conosciuta al mondo (oltre 80 cm di lunghezza) è stata osservata in una grotta delle Filippine (Foto Dave Bunnel, davebunnell@undereath.us).



tema ad alcuni fiori particolari: il termine botanico di “spate”, infatti, corrisponde a un largo e vistoso unico petalo che, simile a una guaina, forma, a partire dalla base, un fiore singolo: come, per esempio, accade nella calla.

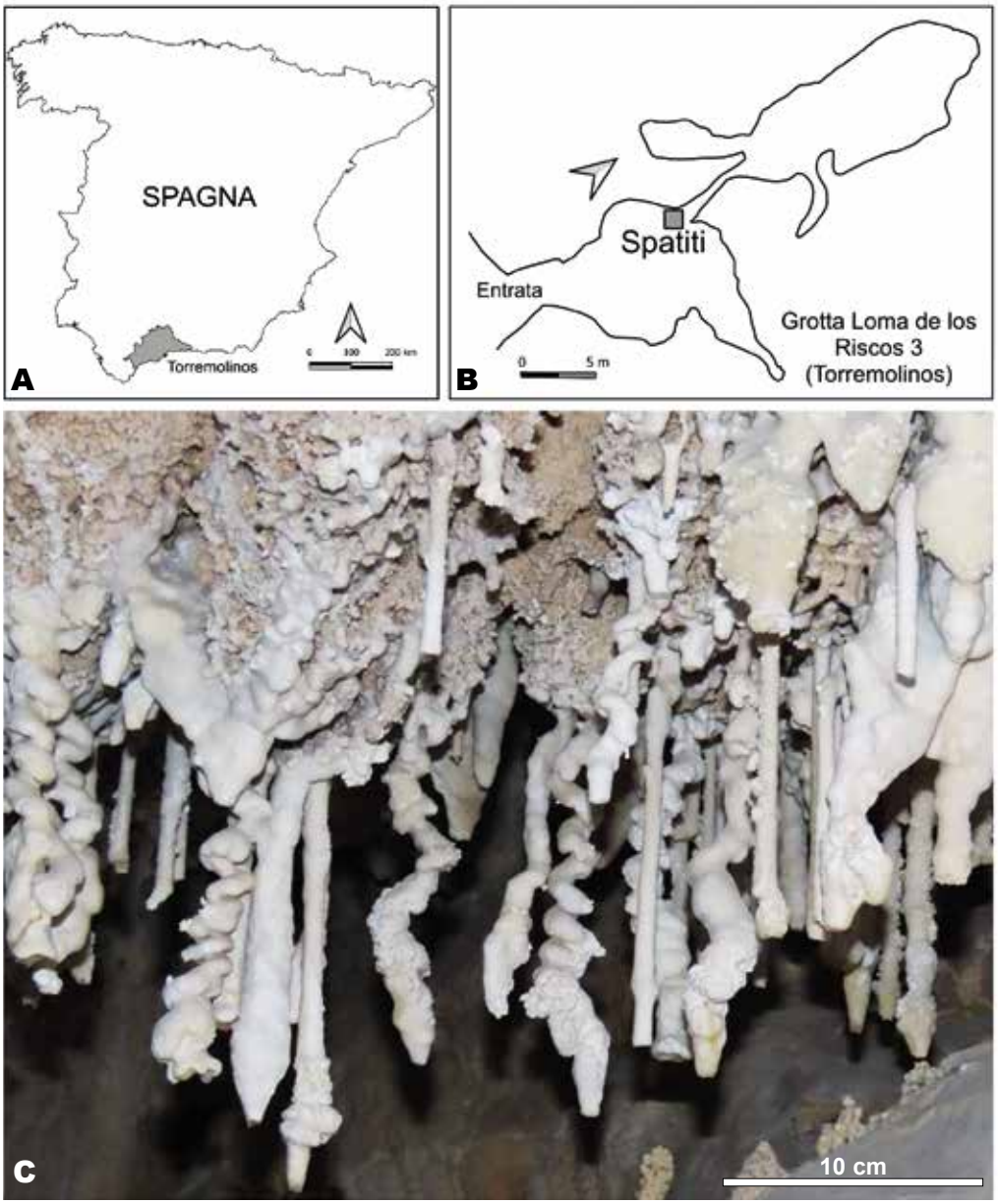


Fig. 2 - A) Ubicazione della grotta Loma de los Riscos 3 (Torremolinos, Spagna); B) schizzo topografico della pianta della grotta con la posizione delle spatiti. Modificato da Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga (G.E.S. DE LA S.E.M., 2023); C) il gruppo di spatiti di cui alcune presentano una forma elicoidale del tutto peculiare che ricorda “a cavatappi” (Foto Yolanda del Rosal).

Dal punto di vista mineralogico le spatiti sono prevalentemente costituite da aggregati di cristalli di aragonite con eventuale presenza di pochi cristalli di calcite: la loro genesi ed evoluzione è quindi possibile solo in grotte in cui vi sia una concentrazione di ioni magnesio in soluzione sufficientemente elevata (in generale quindi in cavità naturali che si aprono in dolomia, calcare dolomitico o in calcare e/o marmi dolomitici).

Per il loro meccanismo genetico devono comunque essere considerate una variante delle ben note cannule di calcite anche se queste ultime sono invece quasi sempre caratterizzate da una struttura monocristallina di calcite pura.

Ambedue questi speleotemi si formano, infatti, per il distacco dal soffitto di una cavità naturale di una goccia d'acqua sovrasatura di carbonato di calcio (Fig. 3): la differenza nella struttura cristallina di questi due minerali, però, causa lo sviluppo di morfologie completamente differenti nelle cannule rispetto a quelle delle molto più rare e quasi sconosciute delle spatiti.

Nelle cannule normali, infatti, i cristalli di calcite hanno l'asse C (quello di massima crescita) sempre coincidente con quello del tubo e pertanto sono costituite da cilindri perfettamente verticali, lunghi anche diversi metri e con un diametro costante (5 mm), che rappresenta il diametro massimo di una goccia che può

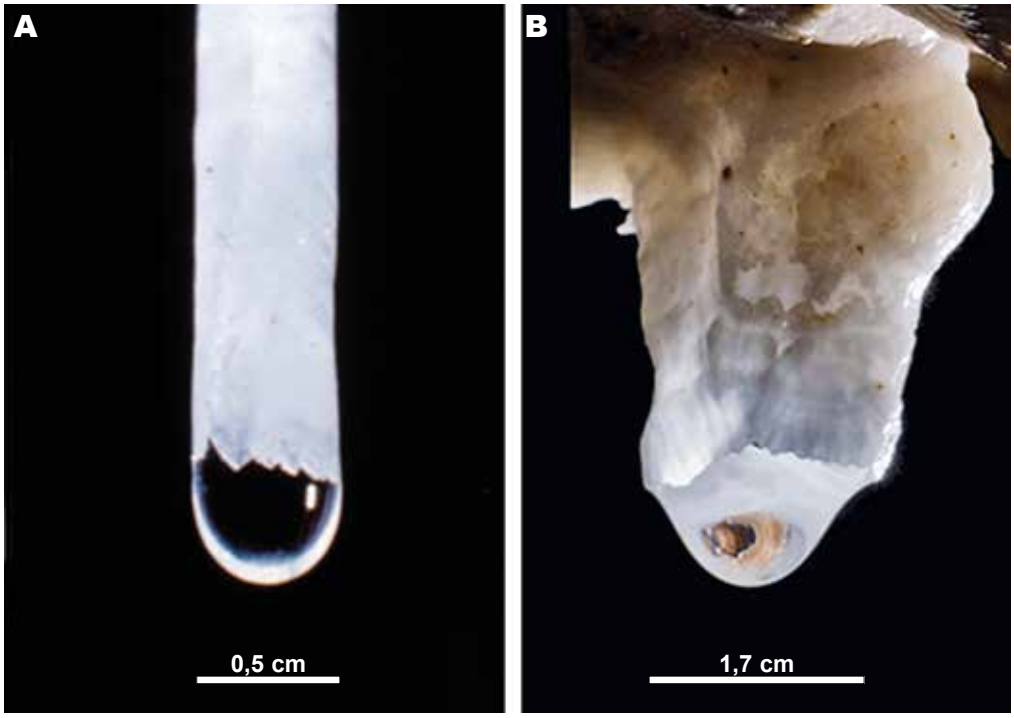


Fig. 3 - A) Porzione apicale di una cannula monocristallina di calcite perfettamente cilindrica da cui pende una goccia di 0,5 cm di diametro (Foto Paolo Forti); B) porzione apicale di una spatite di aragonite che sostiene una goccia di oltre 1,5 cm (Foto Dave Bunnel, davebunnell@undereath.us).

essere mantenuta in equilibrio al suo apice (Fig. 3A), mentre lo spessore della concrezione non supera 0,1-0,3 mm.

La spatite (Fig. 3B) è invece formata da un cono che inizialmente parte da un diametro apicale del tutto simile e con uno spessore della concrezione analogo a quello delle normali cannule, ma che crescendo progressivamente si allarga e si ingrossa fino ad arrivare ad un diametro più che doppio (1,2-1,5 cm).

Questo avviene grazie al fatto che i cristalli di aragonite che si formano per la caduta della goccia d'acqua tendono a disporre il loro asse C, non perpendicolarmente all'orizzontale, come fanno quelli della calcite, ma in modo che formino un angolo di 60°.

Il motivo per cui le spatiti sono in grado di sostenere gocce teoricamente con diametri anche più che doppi rispetto alla dimensione di quella limite per le cannule è dovuto al fatto che, a differenza della calcite, dei piccoli cristalli di aragonite si sviluppano anche sulla parete interna delle spatiti (HUBBARD et al., 1984), aumentandone così la scabrosità, fattore che permette progressivamente di accrescere le forze di coesione tra i cristalli stessi e la massa d'acqua e conseguentemente la dimensione della goccia che può rimanere sospesa.

Naturalmente, però, una volta superato il diametro di 1,2-1,7 cm (valore che varia in funzione della quantità di cristalli che si formano sulla parete interna della

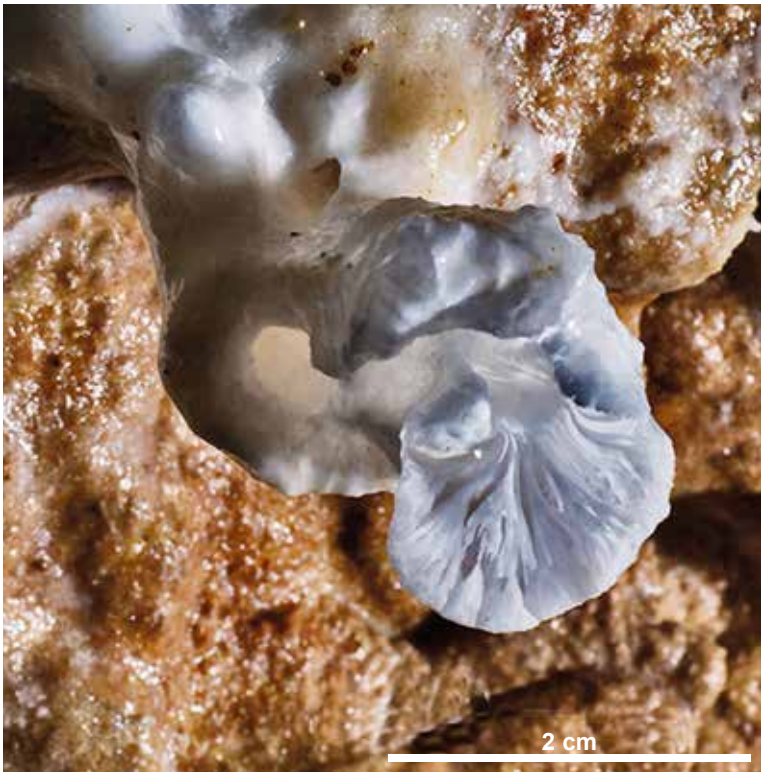


Fig. 4 - Una spatite singola fotografata da sotto mostra la forma apicale a ventaglio, con i cristalli di aragonite che, seguendo il flusso dell'acqua di alimentazione, si allungano progressivamente a ventaglio prima di permettere il distacco della goccia (Foto Dave Bunnel, davebunnell@undereath.us).

spatite, che è direttamente proporzionale al grado di sovrasaturazione dell'acqua al suo interno) l'acqua di alimentazione non riesce più a riempire tutto il cono, ma scorre solo da un lato della porzione finale dello stesso, che cessa così di avere un orlo suborizzontale, iniziando invece ad allungarsi esclusivamente nella porzione lungo cui scivola l'acqua (Fig. 4).

Le spatiti semplici, costituite da un solo "petalo", raggiugono una lunghezza massima 2-3 cm e sono abbastanza rare: infatti, se le condizioni di sovrasaturazione sono mantenute costanti, rapidamente dal limite inferiore del primo cono inizia a svilupparsene un altro e così via in maniera che alla fine la concrezione risulta costituita da serie di coni rovesciati a forma di ventaglio con la parte apicale di ogni nuovo cono, che cresce esattamente dal punto più allungato in condizioni di flusso subaereo dalla base di quello appena sopra.

Pertanto, i coni che, uno dopo l'altro, vanno a formare la spatite risultano ovviamente disassati rispetto ai precedenti (Fig. 5).

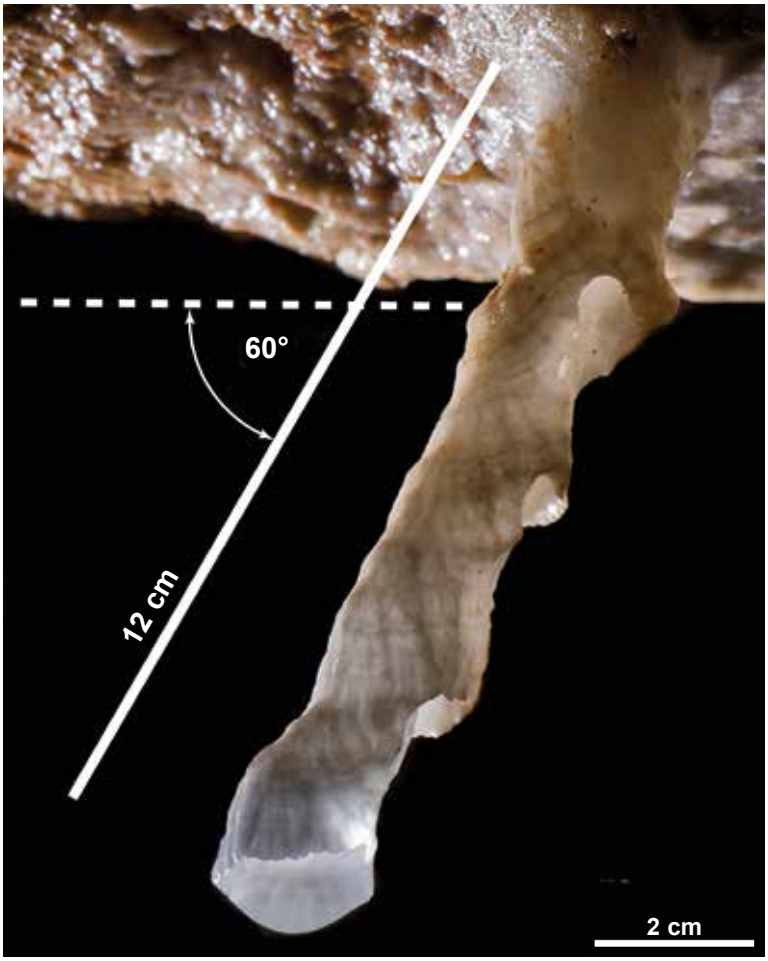


Fig. 5 - Una classica spatite a scala di una grotta del Missouri (USA), composta da 5 differenti "petali" allineati con un angolo di 60° rispetto all'orizzontale (Foto Dave Bunnel, davebunnell @undereath.us).

Quindi la forma finale, se non intervengono effetti perturbativi, risulta essere una struttura “a gradinata” dovuta al fatto che i cristalli di aragonite naturalmente si dispongono con l’asse C a 60° rispetto al piano orizzontale. In realtà lo sviluppo di una spatite multipla (descritto in dettaglio da HUBBARD et al. nel 1984) è un processo mineralogicamente complesso.

Inizialmente, come già accennato precedentemente, grazie alle proprietà cristallografiche dell’aragonite, la spatite tende ad aumentare progressivamente il suo diametro assumendo una forma che somiglia a quella di una piccola campana (Fig. 6A). Contemporaneamente, però, le sue pareti vengono ispessite dato che ciuffi di piccoli cristalli aciculari di aragonite si sviluppano al suo interno (Fig. 6B), partendo da quelli che costituiscono la struttura del petalo.

In questo stadio si ha anche lo sviluppo di rari cristalli scalenoedrici di calcite che crescono assieme a quelli di aragonite (Fig. 6C). La deposizione della calcite evidenzia come, in alcuni periodi almeno, la precipitazione dell’aragonite deprime talmente il contenuto in soluzione del magnesio da inibire la formazione ulteriore di aragonite e causare invece la precipitazione di calcite.

Quando il processo di progressivo allargamento del foro apicale fa sì che il diametro inferiore del petalo divenga troppo grande per sostenere in sospensione una goccia, lo stesso si svuota di buona parte dell’acqua che conteneva lasciando il posto all’aria.

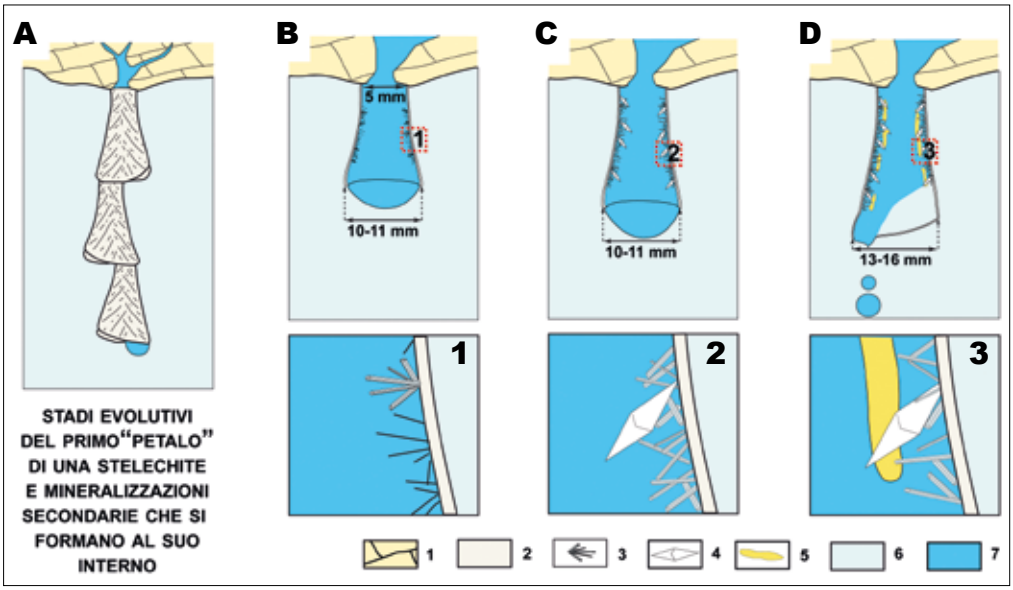


Fig. 6 - Schema teorico dello sviluppo del primo petalo di una spatite (da HUBBARD et al., 1984 modificato). A: vista della spatite dall’esterno per evidenziare il progressivo allargamento dei singoli petali; B, C, D: sezioni verticali del primo petalo durante il suo progressivo sviluppo (spiegazioni nel testo); 1) calcare magnesifero o dolomia; 2) parete di aragonite del petalo; 3) cristalli aciculari di aragonite; 4) cristalli scaleneodrici di calcite; 5) concrezionamento di calcite; 6) aria; 7) acqua.

Ovviamente, però l'acqua continua a fluire in ambiente non più saturato lungo una parte della parete interna e gocciola dal punto più basso (Fig. 6D).

L'ingresso di aria all'interno del petalo cambia drasticamente le condizioni al contorno, permettendo un più rapido rilascio della CO_2 ed anche una certa evaporazione, fenomeni questi che inducono una accentuata precipitazione di calcite e/o aragonite sotto forma di piccole croste concrezionarie, che inizialmente si depositano sui cristalli scalenoedrici già presenti.

Col tempo questo nuovo processo può portare progressivamente ad isolare la zona aerata del vecchio petalo dal gambo del nuovo che inizia a sviluppandosi di sotto, ricostituendo così le condizioni di saturazione nel condotto che alimenta il nuovo petalo (Fig. 7A).

Da questo momento in poi l'evoluzione del vecchio petalo diverge da quella del nuovo che, per il resto si sviluppa ovviamente esattamente come appena descritto per il precedente.

La zona del bordo inferiore del petalo da cui inizia lo sviluppo del nuovo è esattamente quella da cui avviene il distacco della goccia e quindi il punto più basso dell'orlo, la cui posizione, però molto spesso non si trova esattamente nello stesso piano del o dei punti dai quali hanno preso inizio i petali precedenti come invece è avvenuto nel caso della spatite di Fig. 5.

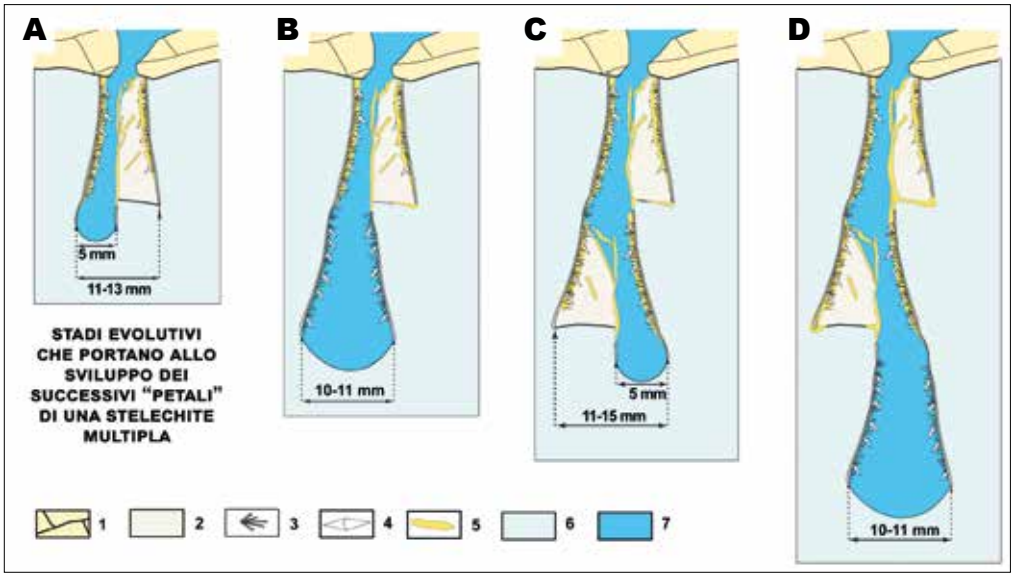


Fig. 7 - Schema teorico del progressivo sviluppo di nuovi petali in una spatite multipla (da HUBBARD et al., 1984 modificato). A: un nuovo petalo inizia a svilupparsi esattamente dal punto del bordo del precedente da cui gocciolava l'acqua; B e C: lo sviluppo del secondo petalo procede con modalità identiche fino a che la goccia non può più essere sostenuta; D: dal suo bordo inferiore inizia quindi a formarsene uno nuovo non necessariamente allineato al precedente. 1) calcare magnesifero o dolomia; 2) parete di aragonite del petalo; 3) cristalli aciculari di aragonite; 4) cristalli scalenoedrici di calcite; 5) concrezionamento di calcite; 6) aria; 7) acqua.

Infatti, l'estensione maggiore o minore di un dato punto lungo l'orlo inferiore può dipendere da vari fattori (quali la presenza di correnti d'aria, o lo sviluppo di cristalli più grandi...) che ne possono favorire la crescita.

All'interno della camera aerata, invece, procedono rapidamente i processi di deposizione della calcite che, in molti casi, può arrivare a sigillare completamente la finestra verso l'esterno (Fig. 7D), chiusura che addirittura può presentare ingrossamenti ed escrescenze globulari, dovute sia alla risalita capillare dall'interno della camera e successiva evaporazione ovvero da flussi sulla superficie esterna della spatite. Tutto questo porta a far sì che negli stadi senili le spatiti siano spesso molto ingrossate con strutture globulari come nel caso di quelle osservate nella Grotta di Torremolinos (Fig. 2C).

La Grotta di Torremolinos e le sue peculiari spatiti

La Grotta Loma de los Riscos 3 (71 m s.l.m.) si trova a Torremolinos (Fig. 2A), una nota località turistica della Spagna meridionale, a circa 17 km a ovest della città di Malaga. Dal punto di vista geologico, la grotta si sviluppa su una piattaforma di travertino (0-80 m s.l.m.) con una superficie di circa 2 km^2, parallela all'attuale linea di costa (Durán et al., 2002). La formazione del travertino è associata allo scarico naturale dell'acquifero carbonatico della Sierra de Mijas -formata da marmi calcarei e dolomitici- attraverso le sorgenti di Torremolinos (Andreo, 1997). La datazione assoluta del travertino (Durán et al., 2002; Guerra-Merchán et al., 2019) indica che la sua formazione è polifasica, essendo cresciuto almeno durante l'interglaciale/interstadiale caldo e umido MIS 3 e durante parti del glaciale/interstadiale (MIS 4 e 6).

La grotta è stata scoperta per caso durante la costruzione di un condominio su un terreno a circa 630 m dalla costa. Poiché nella zona si trovano altre grotte con importanti resti archeologici, come la Grotta Bajondillo (Cortés, 2007), è stata effettuata una prima ispezione tecnica per determinare il loro potenziale archeologico, che si è rivelata negativa. In vista della conseguente ripresa dei lavori di costruzione e della chiusura dell'accesso alla grotta, si è deciso di effettuare una topografia di base della grotta e una seconda visita tecnica, questa volta di carattere geologico, nell'ambito della quale si è proceduto alla scoperta, documentazione e campionamento degli spatiti.

La grotta, con un volume di 1078 m^3, ha uno sviluppo topografico di 66 m, con un dislivello massimo di 13 m (+3 m, -11 m). Presenta due sale principali, con una superficie di circa 115 m^2, separate da una stretta galleria largo circa 0,5 m e lungo 5 m accessibile solo agli speleologi (Fig. 2B). Le spatiti oggetto di studio (Fig. 2C) sono state individuate all'ingresso di questo condotto ove occupano una piccola area di meno di 1 m^2 di superficie. Altri esemplari isolati di spatite si trovavano nella sala più interna della grotta, anche se queste ultime presentano una struttura elicoidale meno sviluppata.

Le spatiti misurano tra i 13 e i 17 cm di lunghezza e hanno sviluppo sia destrorso che sinistrorso. Accanto a loro, ci sono speleotemi che non presentano alcuna spirale o che ne mostrano alcune solo in parte della loro lunghezza. Non c'è uniformità né nella distanza che separa le singole spirali (in alcuni casi dell'ordine di pochi mm) né nelle dimensioni delle spirali stesse (spessore e/o diametro), che sono comunque su scala centimetrica (diametro: 2,0-3,5 cm; spessore: 1-4 cm). Inoltre, l'angolo formato dalle singole spirali rispetto alla verticale non è costante, ma varia da una concrezione all'altra e anche all'interno dello stesso speleotema.

In alcuni tratti della spatiti si osservano allargamenti a morfologia globosa e depositi botrodali, la cui forma suggerisce che fossero originariamente costituiti da moonmilk.

Dal punto di vista mineralogico, le spatiti sono formate da calcite e aragonite, secondo i risultati ottenuti dalla microdiffrazione RX, presso il Centro di Strumentazione dell'Università di Granada (Spagna).

Speleotemi elicoidali e le spatiti di Torremolinos

Speleotemi con struttura elicoidale sono ben conosciuti in ambito speleologico (Hill & Forti, 1997; Bunnel & Ivereig, 2018). Si tratta di aggregati fibrosi, essenzialmente ma non solo, di gesso che si sviluppano da un substrato poroso per alimentazione di acque che risalgono per capillarità (Fig. 8).

La forma elicoidale permette infatti alle differenti fibre di rimanere coese fra loro anche se la velocità di crescita di ciascuna è un poco diversa: le fibre che crescono più lentamente causano infatti la curvatura di tutto il fascio di fibre in modo che quelle con sviluppo più rapido possano percorrere una distanza maggiore pur rimanendo di fatto allo stesso livello di quelle che sono alimentate di meno.

In questo modo si avranno spirali sinistrorse (antiorarie) (Fig. 8A) o destrorse (orarie) (Fig. 8B) a seconda che la fibra a crescita più lenta si trovi a destra o a sinistra di quelle più veloci.

La differenza nella velocità relativa di crescita delle singole fibre è poi il fattore che controlla il diametro di equilibrio delle singole spire, che rimarrà costante fintantoché i valori di sovrasaturazione alla base delle singole fibre che costituiscono lo speleotema si manterranno costanti.

Se a questo si aggiunge poi la forza di gravità allora la spirale risulterà allungata dall'alto verso il basso (Fig. 8B) e questo tanto più quanto più elastico sarà il fascio di fibre e maggiore sarà il suo peso: non a caso lo speleotema della Grotta Puketti da un certo punto in avanti presenta, in maniera evidente, una dilatazione in altezza delle singole spire che, conseguentemente, diminuiscono il loro diametro per permettere di mantenere costante il rapporto di allungamento delle fibre stesse.

È evidente, però, che le spatiti elicoidali della Grotta di Torremolinos non possono aver avuto questa genesi: infatti la loro struttura, essenzialmente microcristallina, non è assolutamente caratterizzata da fibre molto allungate.

In passato era stata anche avanzata l'ipotesi che la forma elicoidale di alcune concrezioni potesse essere stata indotta dalla circolazione destrorsa o sinistrorsa dell'acqua all'interno del canalicolo di alimentazione indotta dalle "forze di Coriolis" così chiamate dal nome del suo scopritore (Coriolis, 1832). Questa ipotesi è stata, comunque già da tempo, ritenuta del tutto irrealistica, considerando la dimensione relativa delle forze messe in gioco e, comunque, non sarebbe assolutamente applicabile alle concrezioni della grotta di Torremolinos dato che, se realmente la curvatura di queste ultime fosse controllata dalle forze di Coriolis, tutte le sue spatiti dovrebbero avere la curvatura nella stessa direzione (antioraria dato che ci troviamo nell'emisfero boreale), cosa invece che una osservazione di dettaglio di queste ultime ha escluso categoricamente, avendo ben evidenziato come nella ristretta zona in cui si sono sviluppate la suddivisione tra speleotemi sinistrorsi e destrorsi è praticamente al 50% (Fig. 9).

Pertanto, l'evoluzione delle spatiti elicoidali di Torremolinos è stata controllata, evidentemente, da fattori strettamente locali: fatto questo è confermato anche dalla concomitante presenza di stalattiti e/o spatiti non elicoidali cresciute a poca distanza da queste ultime.

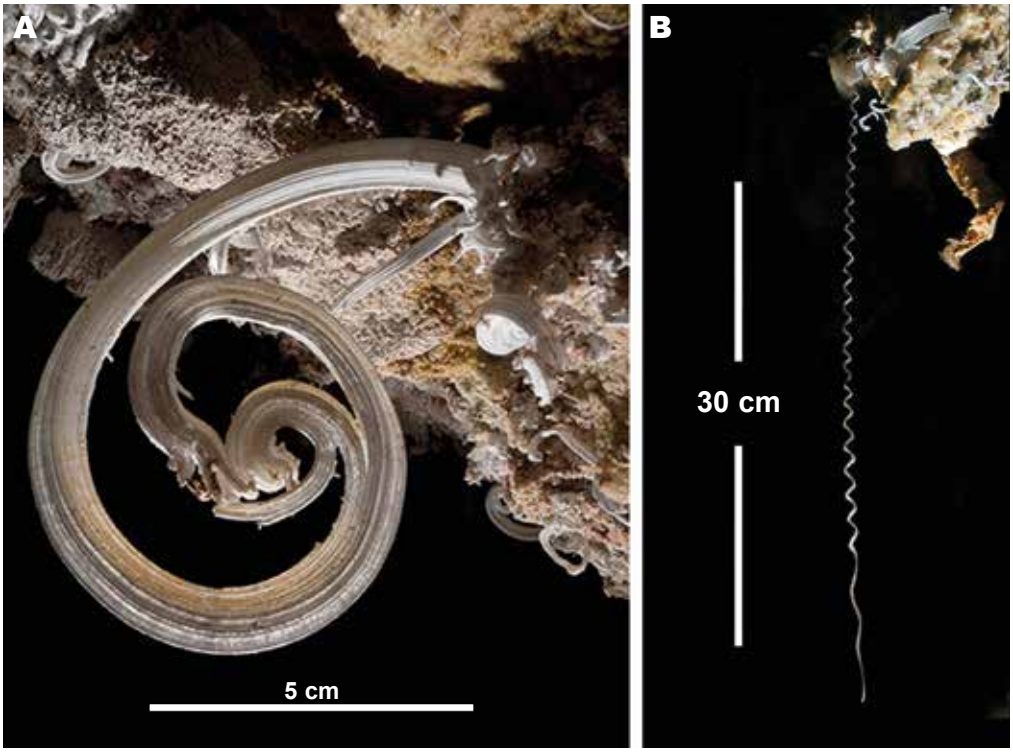


Fig. 8 - A) Gesso fibroso a spirale antioraria della Jewel Cave, USA (Foto Dave Bunnell); B) lunga pseudo-stalattite di gesso della Grotta Puketti Flower in Nuova Zelanda, con oltre 39 avvolgimenti successivi in circa 25 cm di lunghezza (Foto Werner Janz).

I fattori che hanno permesso lo sviluppo delle spatiti

Per riuscire a definire il meccanismo che ha permesso l'evoluzione delle spatiti elicoidali della Loma de los Riscos 3, non solo a fianco di altre più simili a quelle già note da tempo, ma anche a stalattiti e cannule assolutamente normali è necessario analizzarne in dettaglio le caratteristiche morfologiche, identificandone le condizioni al contorno che le hanno rese possibili.

Innanzitutto va notato che la loro morfologia esterna, con frequenti allargamenti a struttura botroidale (Fig. 10A), suggerisce che il loro sviluppo sia stato caratterizzato dalla presenza di moonmilk, con conseguente struttura microcristallina e/o criptocristallina che, solo in una fase successiva, consolidandosi e perdendo acqua di imbibizione, ha causato, anche all'interno del canalicolo di alimentazione, la formazione di sottili lamine costituite da piccoli cristalli di carbonato di calcio con orientazione non univoca (Fig. 10B, C).

Un altro fattore fondamentale, che distingue questi speleotemi dalle spatiti macrocristalline, è il fatto che l'angolo che formano le singole spire rispetto all'asse di allungamento della spatite non è assolutamente costante, come appunto osservato per quelle di aragonite macrocristallina (30° rispetto alla verticale, Fig. 5), ma pur variando da speleotema a speleotema è praticamente sempre maggiore, discostandosi da quel valore anche di molto (Fig. 11).

Come già detto in precedenza, il motivo della costanza dell'angolo di sviluppo nelle spatiti a scala è stato dimostrato essere la velocità di crescita apicale dei cristalli di aragonite, che è massima appunto in tale inclinazione.

Il fatto che le spatiti elicoidali della Grotta di Torremolinos fossero originariamente costituite principalmente da moonmilk criptocristallino impedisce, ovvia-

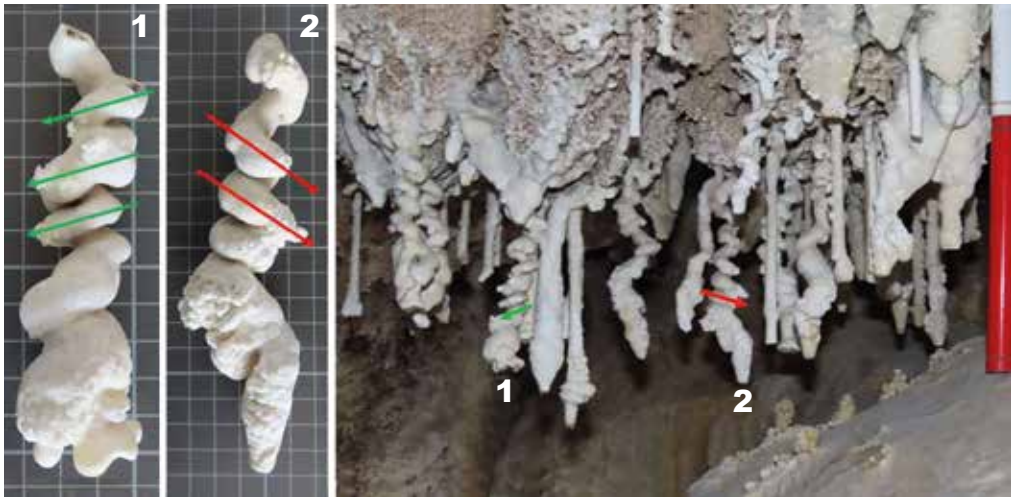
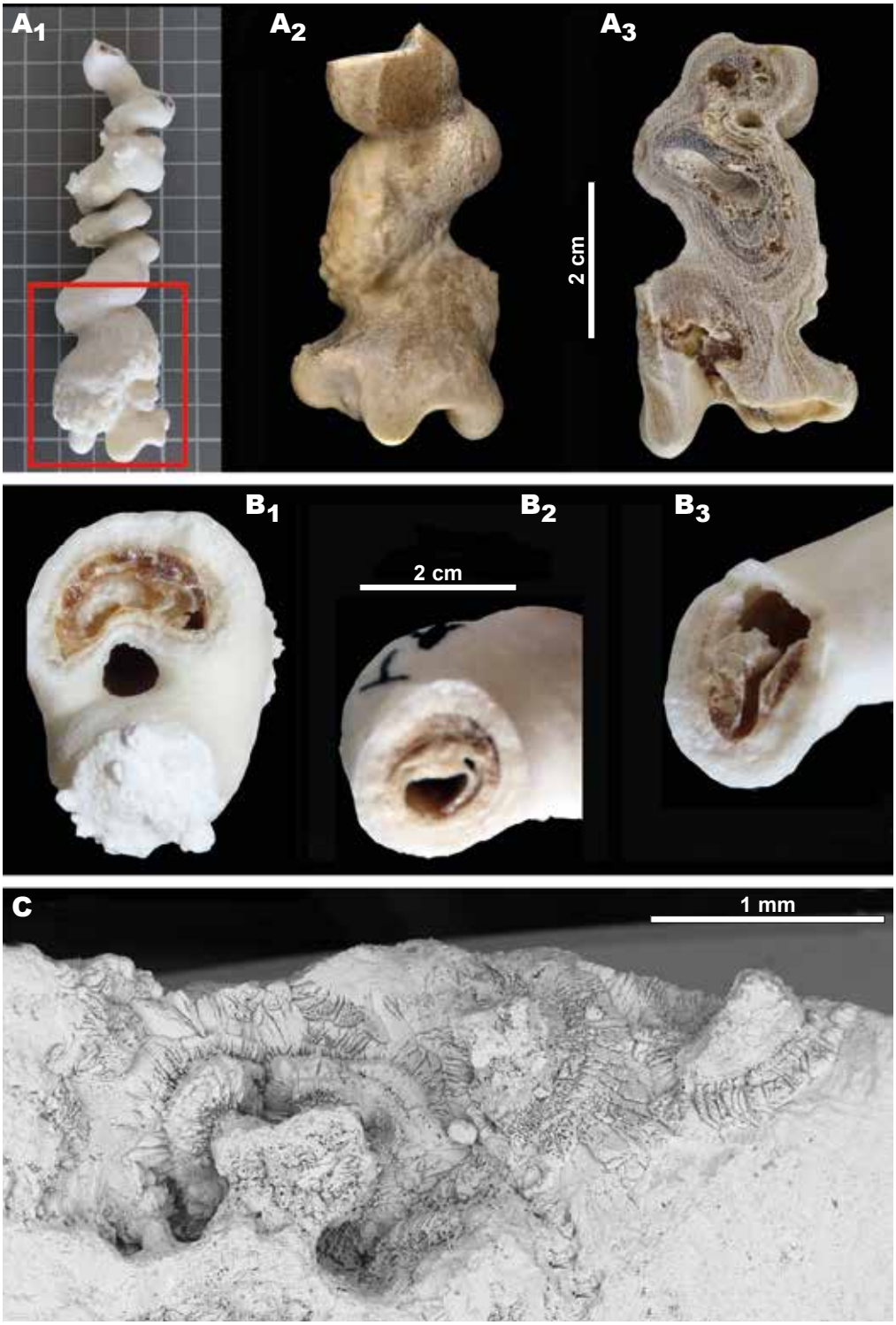


Fig. 9 - L'analisi di due delle principali concrezioni elicoidali di Torremolinos ha permesso di evidenziare come praticamente nella stessa area coesistano concrezioni con andamento elicoidale opposto (destrorso indicato da frecce rosse e sinistrorso indicato da frecce verdi).


A1
A2
A3
2 cm
B1
B2
2 cm
B3
C
1 mm

mente, che vengano a formarsi strutture analoghe e quindi l'inclinazione delle singole spire è logico che possa variare; ma quale è, o quali sono i fattori che la controllano?

Per definirli è necessario considerare che la struttura del moonmilk facilita il flusso capillare dell'acqua al suo interno e quindi, in ultima analisi, contrasta l'azione esercitata dalla forza di gravità rendendo molto più lento il fenomeno di formazione apicale, e successivo distacco e caduta, della goccia.

L'erraticità delle vere eccentriche invece è data dal fatto che la goccia di alimentazione non si stacca mai dalla sua sommità e pertanto al suo interno la direzione apicale può essere assolutamente qualunque essendo annullata dalla goccia stazionaria la forza di gravità (HILL & FORTI, 1997).

Sempre nelle eccentriche, se la variazione nel flusso di alimentazione aumenta in modo da indurre il gocciolamento queste ultime si trasformano rapidamente in cannule salvo poi ritornare ad essere eccentriche nel momento che la velocità di flusso ritorna tale da non causare più gocciolamento (HILL & FORTI, 1997).

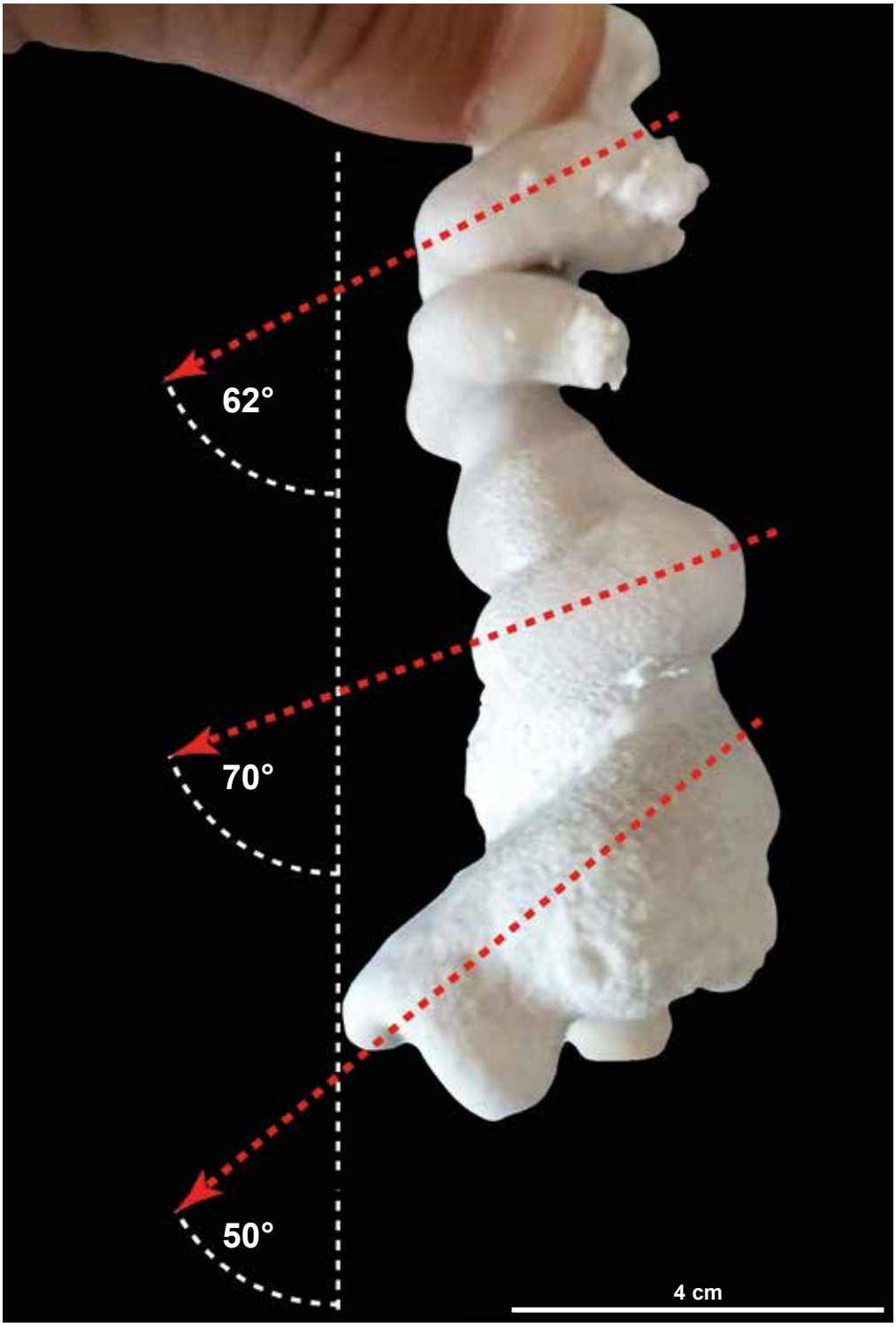
Nel caso delle spatiti elicoidali, invece, la struttura del moonmilk non è mai in grado di annullare completamente il distacco della goccia, che però è anche di dimensioni molto maggiori rispetto quella di equilibrio per cannule e/o stalattiti formate da carbonato di calcio cristallino in forma solida.

In pratica infatti maggiore sarà la dimensione della goccia sospesa più grande sarà l'effetto capillare del moonmilk e, conseguentemente, maggiore sarà la deviazione locale dalla verticalità, dato che l'effetto esercitato della gravità sarà conseguentemente più contrastato. In ultima analisi, quindi, la differente inclinazione delle varie spire dipende da quanto il moonmilk ha contrastato la caduta della goccia dell'apice della spatite durante il suo sviluppo.

Va comunque osservato che anche nelle spatiti di Torremolinos si possono osservare, anche se meno frequentemente rispetto alle eccentriche vere e proprie, trasformazioni in stalattiti o cannule del tutto "normali" (v. Fig. 2C).

Infine, le osservazioni sperimentali effettuate sugli speleotemi di Torremolinos, pur evidenziando differenze notevoli di inclinazione tra le poche spire che si è potuto analizzare in dettaglio, non hanno comunque permesso di verificare in maniera sicura se anche all'interno di singole spire si sia verificata una variazione significativa di questo parametro ovvero il suo angolo con la verticale si sia mantenuto pressoché costante lungo tutto il suo sviluppo, come sembrerebbe dalle poche osservazioni oggettive effettuate.

Fig. 10 - Una delle spatiti campionate nella grotta di Torremolinos, che presenta un evidente allargamento botroidale apicale (A_1), mentre la sua sezione verticale evidenzia la progressiva diagenesi del moonmilk all'interno del canalicolo di alimentazione (A_3); $B_{1\text{-}3}$) frammenti di diverse spatiti che mostrano costantemente al loro interno depositi dovuti alla cristallizzazione del moonmilk che un tempo lo occludeva quasi completamente; C) immagine al SEM che evidenzia come nel canalicolo interno di alimentazione degli speleotemi siano sempre presenti microcristalli con orientazione random dovuti al processo di ricristallizzazione dell'originale moonmilk.


62°
70°
50°
4 cm

Altri parametri che variano notevolmente sono lo spessore dello speleotema sia da una spira all'altra sia anche all'interno della stessa spira e il diametro di ogni spira nel suo complesso.

Se la variazione di spessore dello speleotema è facilmente attribuibile all'accumulo maggiore o minore di moonmillk all'esterno dello stesso, di più complessa spiegazione risulta essere la variazione del diametro complessivo delle varie spire che lo compongono.

In effetti sulla base delle pochissime osservazioni sperimentali che è stato possibile effettuare sui campioni disponibili, non è stato trovato alcun chiaro rapporto tra diametro delle spire, loro inclinazione e/o spessore.

Quello che si può dire con sicurezza è solo che il diametro può variare anche notevolmente e che, nella maggioranza dei casi, quelli più grandi si osservano quando il discostamento dalla verticale è maggiore: questo sembrerebbe quindi suggerire l'ipotesi che il diametro delle spire, almeno normalmente, sia inversamente proporzionale all'effetto esercitato dalla gravità sul flusso idrico che alimenta le spire stesse.

In ogni caso, però, quando sarà possibile, sarebbero necessarie analisi accurate su un campione più vasto per definire gli altri fattori che, in alcuni rari casi, possono eventualmente influenzare, in maniera differente, la curvatura delle stesse.

Infine, rimane da discutere il fatto che in un'area molto ridotta, si siano potute sviluppare spatiti elicoidali destrorse e sinistrorse a pochi centimetri di distanza tra loro.

Il problema però è che al momento della scoperta nessuna delle spatiti era attiva e che pertanto è stato impossibile analizzare non solo il flusso di alimentazione di ognuna di loro ma, soprattutto, il tipo di circolazione d'aria presente localmente attorno a loro.

Si potrebbe ragionevolmente pensare che l'inizio della conformazione a spirare potesse essere stata indotta di flussi d'aria opposti tra loro causati dalla concomitante presenza di alcuni speleotemi che ne deflettevano localmente il flusso. Sarebbe comunque impossibile dire se la deflessione prodotta fosse contro o a favore di vento, cioè fosse causata da un locale aumento di evaporazione (quindi controvento) oppure semplicemente dalla dislocazione prodotta della goccia apicale (quindi a favore di vento).

Ma in ogni caso non potrebbe essere stata solo la circolazione dell'aria a causare la formazione elicoidale delle spatiti: infatti non appena la direzione dell'accrescimento apicale fosse variata rispetto al flusso d'aria anche solo di pochi gradi, la presenza del flusso stesso avrebbe dovuto fare riallineare l'asse dello speleotema con la sua direzione originaria, con conseguente formazione di un tratto dello speleotema pressoché rettilineo e non elicoidale.

Fig. 11 - Praticamente quasi tutte le spire delle spatiti di Torremolinos hanno un angolo di deflessione differente rispetto alla verticale.

Sarebbe necessario quindi supporre che, una volta che sia iniziata la deflessione, l'importanza della sua causa scatenante (la supposta direzione della corrente d'aria) sia passata in second'ordine rispetto a qualcosa d'altro che invece ha fatto mantenere costante la rotazione durante un lungo periodo, se non addirittura per tutto lo sviluppo della spatite stessa, causando così la formazione di varie spire anche con diametri differenti e, comunque, non permettendo mai l'inversione del loro senso di rotazione.

A questo punto è abbastanza evidente che, comunque, gli eventuali flussi d'aria esterni non sono stati fondamentali nello sviluppo delle spatiti elicoidali e inoltre, vista la reale difficoltà di giustificarli in presenza ravvicinata di speleotemi assolutamente normali, devono essere trascurati come elementi condizionanti lo sviluppo delle spire.

È invece fondamentale concentrarsi sul fatto che lo sviluppo delle spire deve obbligatoriamente essere stato causato dalla persistenza nel tempo di un fenomeno inerziale che ha mantenuto abbastanza costante il raggio di curvatura durante tutto il loro sviluppo, quindi su un lasso temporale molto lungo.

Questo fatto può essere spiegato proprio con la presenza del moonmilk, la cui struttura soffice e plastica potrebbe facilmente essere condizionata dal moto circolare dell'acqua all'interno del canalicolo di alimentazione rendendo possibile un fenomeno analogo, su altra scala, a quello presente lungo i meandri dei fiumi, che presentano erosione nel lato esterno della curvatura e accumulo nel lato interno.

Questo meccanismo di sviluppo spiegherebbe anche la differente ampiezza di alcune delle spire che sarebbe stata indotta da piccole variazioni subite nel tempo dalla velocità di flusso. Questo meccanismo, per attivarsi richiede solo un "fenomeno scatenante" che porti all'iniziale, anche modesta, deflessione del flusso idrico, cosa che può esser facilmente indotta da ostacoli anche minimi (come piccoli grumi più cementati presenti a livello della superficie del moonmilk).

In conclusione, allo stato attuale delle conoscenze almeno, sembra chiaro che, non solo la genesi, ma anche lo sviluppo successivo delle spatiti elicoidali sia totalmente controllata dalla presenza e dalla progressiva diagenesi del moonmik.

Conclusioni

La recente scoperta di un nuovo tipo di spatiti (elicoidali destrorse e sinistrorse) in una grotta di Torremolinos in Spagna ha permesso di evidenziare come la massiva presenza di moonmilk sia stato il fattore fondamentale che ne ha permesso la genesi prima e la successiva evoluzione.

Si è anche potuto collegare l'angolo di discostamento dalla verticalità delle singole spire alla velocità di distacco della goccia, che rappresenta in pratica il contributo della forza di gravità all'evoluzione spaziale della spatite, ed è quindi direttamente proporzionale alla frequenza di gocciolamento.

Data la scarsità di spatiti presenti nella grotta di Torremolinos, però, e soprattutto a causa del fatto che tutti questi speleotemi sono completamente inattivi, non è stato possibile risalire ai fattori che governano il raggio di curvatura delle singole spire.

Bisognerà quindi attendere fino a che verranno scoperte nuove spatiti elicoidali ancora attive per completare gli studi genetici di queste rarissime concrezioni.

Ringraziamenti

Si ringraziano gli speleologi José Enrique Sánchez, Rogelio Ferrer, Álvaro Mateos, Cristina Pérez, Francisco Gutiérrez, Sergio Durán e David Jimena (G.E.S. de la S.E.M. e Club de Espeleología Cueva de Nerja) per la loro collaborazione nell'esplorazione, documentazione e topografia della grotta. Desideriamo inoltre ringraziare Isabel Sánchez, del Centro de Instrumentación de la Università di Granada, per il suo aiuto con il microscopio elettronico. Questo lavoro è un contributo al gruppo di ricerca RNM-308 e ai progetti PID2021-1256190B-C22 e TED2021-130549B-I00 finanziati da MCIN/AEI/10. 13039/501100011033.

Bibliografia

Andreo B., 1997 - Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las sierras Blanca y Mijas. Cordillera Bética, sur de España. *Tesis doctoral Universidad de Málaga*, 489 pp.

Badino G., Calaforra J.M., De Waele J. & Forti P., 2017 - A hypothesis on the evolution of complex flowstones. *Proceedings 17th International Speleological Congress in Sydney,* 2: 323-327.

Bunnel D. & Ivereigh D., 2018 - *The virtual cave - A pictorial guide to the wondrous world of cave formations*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 176 pp.

Calaforra J.M. & Forti P., 2019 - The climate driven peculiar speleothems of the Natuturingan Cave (Puerto Princesa Underground River, Palawan, Philippines): a review. *Atti e Memorie Commissione Grotte E. Boegan*, 48: 3-22.

Calaforra J.M. & Forti P., 2021 - Un nuovo speleotema di gesso controllato dal particolare regime di alimentazione indotto dal clima di Sorbas (Spagna): gli "abeti" di gesso. *Atti e Memorie Commissione Grotte E. Boegan,* 50: 63-73.

Coriolis G.G., 1832 - Mémoire sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines. *Journal de l'école Polytechnique*, 13: 268-302.

Cortés M. (ed.), 2007 - *Cueva Bajondillo (Torremolinos). Secuencia cronocultural y paleoambiental del Cuaternario reciente en la Bahía de Málaga*. Servicio de publicaciones Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga, 546 pp.

Durán J.J., Carrasco F., Andreo B., Marques I., Baldomero A., Ferrer J. & Cortés M., 2002 - Los travertinos de Torremolinos. In: Cortés Sánchez M. (ed), *Cueva Bajondillo (Torremolinos). Secuencia cronocultural y paloambiental del Cuaternario reciente en la Bahía de Málaga.* Servicio de publicaciones Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga, 37-45.

Forti P. & Lombardo N., 1998 - *I depositi chimici del sistema carsico Grave Grubbo-Risorgente di Vallone Cufalo (Verzino, Calabria)*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, s. 2, 10: 83-92.

G.E.S. de la S.E.M., 2023 - Mapa topográfico de la Cueva Loma de los Riscos 3. *Informe técnico sobre la Cueva Loma de los Riscos,* 3: 1-23. Inédito.

Guerra-Merchán A., Serrano F., García-Aguilar J.M., Ortiz J.E., Torres T. & Sánchez-Palencia Y., 2019 - Development of Quaternary travertines in the carbonate mountains of the western Costa del Sol, Málaga, southern Spain. *Quaternary Research*, 92 (1): 1-18.

Haman J.F., 1963 - Porcupine Cave, Summit County, Utah. National Speleological Society. *Salt Lake Grotto Technical Note*, 61: 1-8.

Hill C. & Forti P., 1997 - *Cave minerals of the world*. National Speleological Society, 464 pp.

Hubbard D.A., Herman J.S. & Mitchel R.S., 1984 - A spathite occurrence in Virginia: observations and a hypothesis for genesis. N*ational Speleological Society Bull*., 46 (1): 5-9.
Welch B.R., 1976 - *The caves of Jenolan 2: the northern limestone*. Sydney University. Speleological Society, 131 pp.
White W.B. & Stellmack J.A., 1959 - Introductory Report on the Mineralogy of Carrol Cave. *Missouri Speleology*, 1 (3): 3-8.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 35-52.

Andrea Borlini

Dentro il Monte Plaiul: Grotta Sara si espande ancora

Riassunto - La Grotta Sara (7767/4740 Fr, Monteprato, Prealpi Giulie) si è rivelata essere un sistema carsico complesso, esplorato per oltre 4,5 km e con numerose prosecuzioni ancora da percorrere. Le ricerche attuali si concentrano sull'individuazione del possibile collegamento con la Grotta 2° a SW di Monteprato (809/398 Fr) e sulla definizione del reticolo idrologico sotterraneo che pare portare le acque di Grotta Sara verso La Fontanate di Torlano, lungo la Valle del Cornappo.
Parole chiave: Grotta Sara, Altopiano di Monteprato, La Fontanate, Idrologia sotterranea.

Abstract - Grotta Sara (7767/4740 Fr, Monteprato, Julian Prealps, NE Italy) turned out to be a complex karstic system, explored for over 4.5 km and with numerous prosecutions still to be explored. Current research focuses on identifying the possible connection with the Grotta 2° a SW di Monteprato (809/398 Fr) and on defining the underground hydrological system that seems to lead the waters of Grotta Sara towards La Fontanate di Torlano, along the Cornappo valley.
Keywords: Grotta Sara, Monteprato Plateau, La Fontanate, Underground hydrology.

Introduzione

Le ultime novità dall'Altipiano di Monteprato, ovvero i nuovi ed importanti rami, la ricerca del secondo ingresso e varie esplorazioni minori in Grotta Sara (7767/4740 Fr), una cavità in continua espansione, sono l'oggetto del presente articolo.

Per le note generali, compresa la descriziona geologica dell'area, di questa cavità si rimanda a quanto già pubblicato (Borlini & Turco, 2015; Borlini, 2019a, 2019b; Borlini et al., 2023).

Alla ricerca del secondo ingresso tra speranze e delusioni

Dopo la scoperta del Ramo Turbodio, la possibilità di trovare un secondo ingresso è diventata reale, ma si sa che tra il dire e il fare...

Primi del 2020: iniziamo l'ultima risalita del Ramo Salvini va a vore, ma l'evidente portale posto a 10 m di altezza chiude in concrezione, quindi proseguiamo verso

l'alto. Raggiunto il soffitto troviamo una condotta fossile che ci porta alla Sala della Regina, ampio ambiente con continuazioni sia verso monte che verso valle (ritorna sul Ramo Principale); al culmine della sala alla base dell'ennesima risalita si arriva a quota 470, molto vicino al fondo della Grotta 2° a SW di Monteprato (809/398 Fr; Fig. 1). Piccola parentesi su questa grotta, che si apre a pochi metri dal parcheggio usato per arrivare all'ingresso di Grotta Sara; già conosciuta e rilevata da decenni, nel 2019 grazie ad una breve risalita è tornata alla ribalta esplorativa. Infatti, da qui inizia il ramo nuovo che porta al meandro finale e ad un nuovo fondo, ostruito da massi; sono soprattutto la corrente d'aria presente e la sovrapposizione con la sottostante Grotta Sara a spingere verso la naturale giunzione. Nel 2021 con un'uscita finiamo la risalita nella Sala della Regina e percorriamo una condottina fossile chiusa in concrezione (quota 480 m slm); poca aria, ma potrebbe essere la via che cerchiamo. Purtroppo, il collegamento con l'Artva non dà i risultati sperati, ma ci consoliamo con il ritrovamento di una strettoia soffiante proprio alla base dell'ultima risalita (Figg. 3 e 9).

Verso la fine dell'anno tentiamo delle risalite in Turbodio dalla Sala Commission for Sara, ma con scarsi risultati. Il 2022 sembra essere l'anno buono e, superata la strettoia nella Sala della Regina, scopriamo una bella e comoda galleria (Comandante Goi), lunga una cinquantina di metri e che termina in una saletta di crollo con un paio di prosecuzioni da aprire (quota 476 m slm). Pensiamo di avercela fatta e

Fig. 1 - Parete concrezionata nella Fr 398 (Grotta di Monteprato (foto S. Peressutti).

la prova Artva conferma 28 m: tanti, ma almeno adesso sappiamo di essere sulla strada giusta. Lo scavo per il collegamento inizia nella Fr 398 e, viste le condizioni iniziali (frana verticale con blocchi), è risultato molto veloce (cosa che ci avrebbe dovuto insospettire...). Allargata e messa in sicurezza la prima parte si entra in una condottina orizzontale a cui seguono un piccolo salto, una saletta e poi chiusura in frana leggermente soffiante (quota 482). Ormai è fatta pensiamo, e la prova Artva che organizziamo in breve sembra solo una formalità per certificare i pochi metri che mancano alla giunzione. Date le premesse potete ben capire la delusione nello scoprire che l'Artva segnava 41 m! Ne consegue la ricerca delle spiegazioni di questo dato. Allo stato attuale è stato individuato un altro punto soffiante nel ramo nuovo in Fr 398; insomma un punto di ripartenza per un ostico collegamento (vedi a pagg. 49-50).

Seguendo la voce delle sirene oltre il Sifone dei Marinai

"*Oltre la pozzetta si vede che continua, ma tocca bagnarsi quasi completamente, lasciamo stare c'è altro da vedere*" correva l'anno 2016 con le scoperte del Salone Big Bang, il Ramo Samarcanda etc, e questa prosecuzione nel Ramo delle Sirene era stata lasciata in stand-by per tempi più asciutti.

Marzo 2022: tra attività varie decidiamo di tornare alla famigerata pozza (Sifone dei Marinai; Fig. 2), che regala solo qualche centimetro in più d'aria, ma ormai i

Fig. 2 - L'inquietante aspetto del Sifone dei Marinai (foto S. Peressutti).

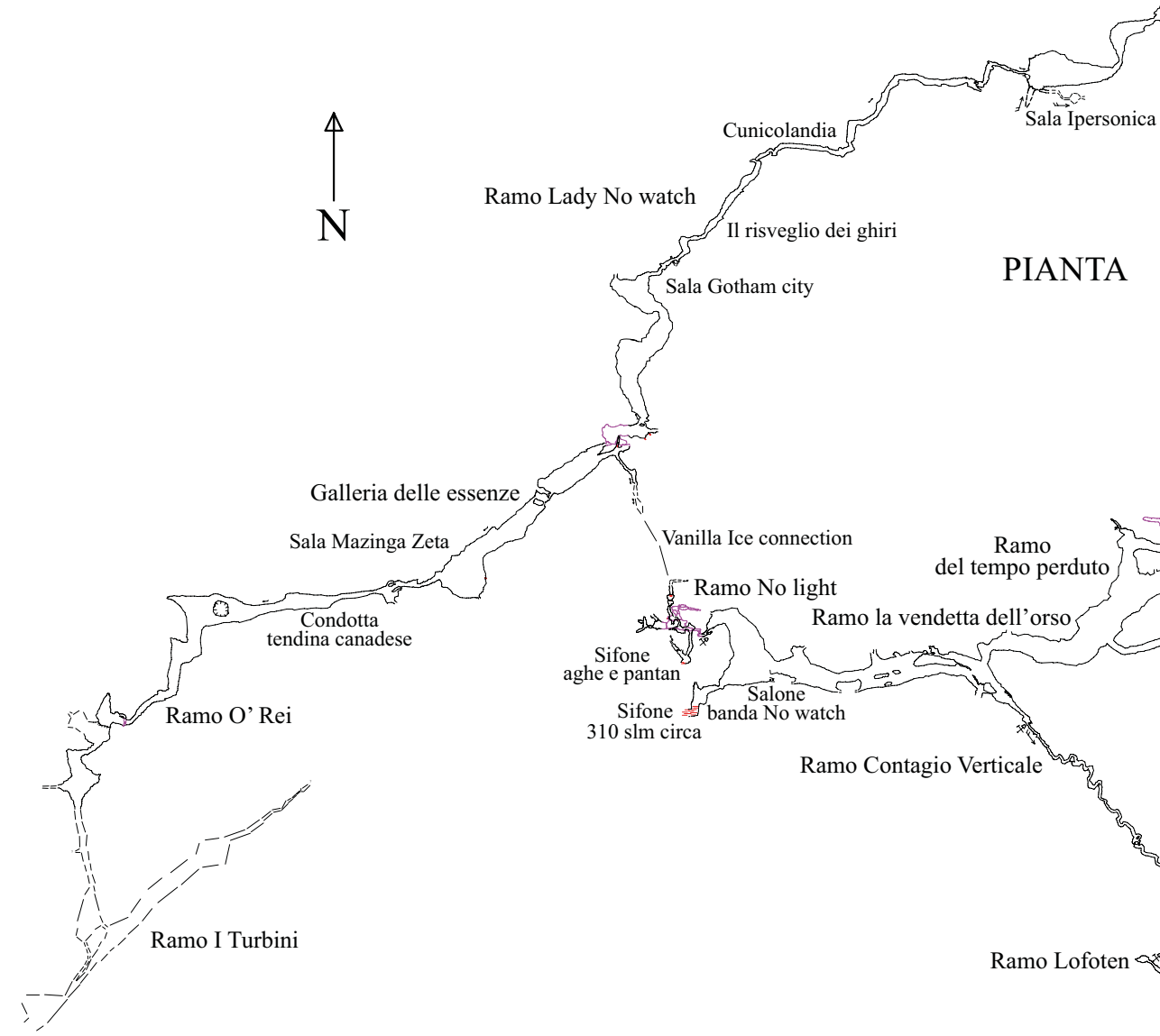
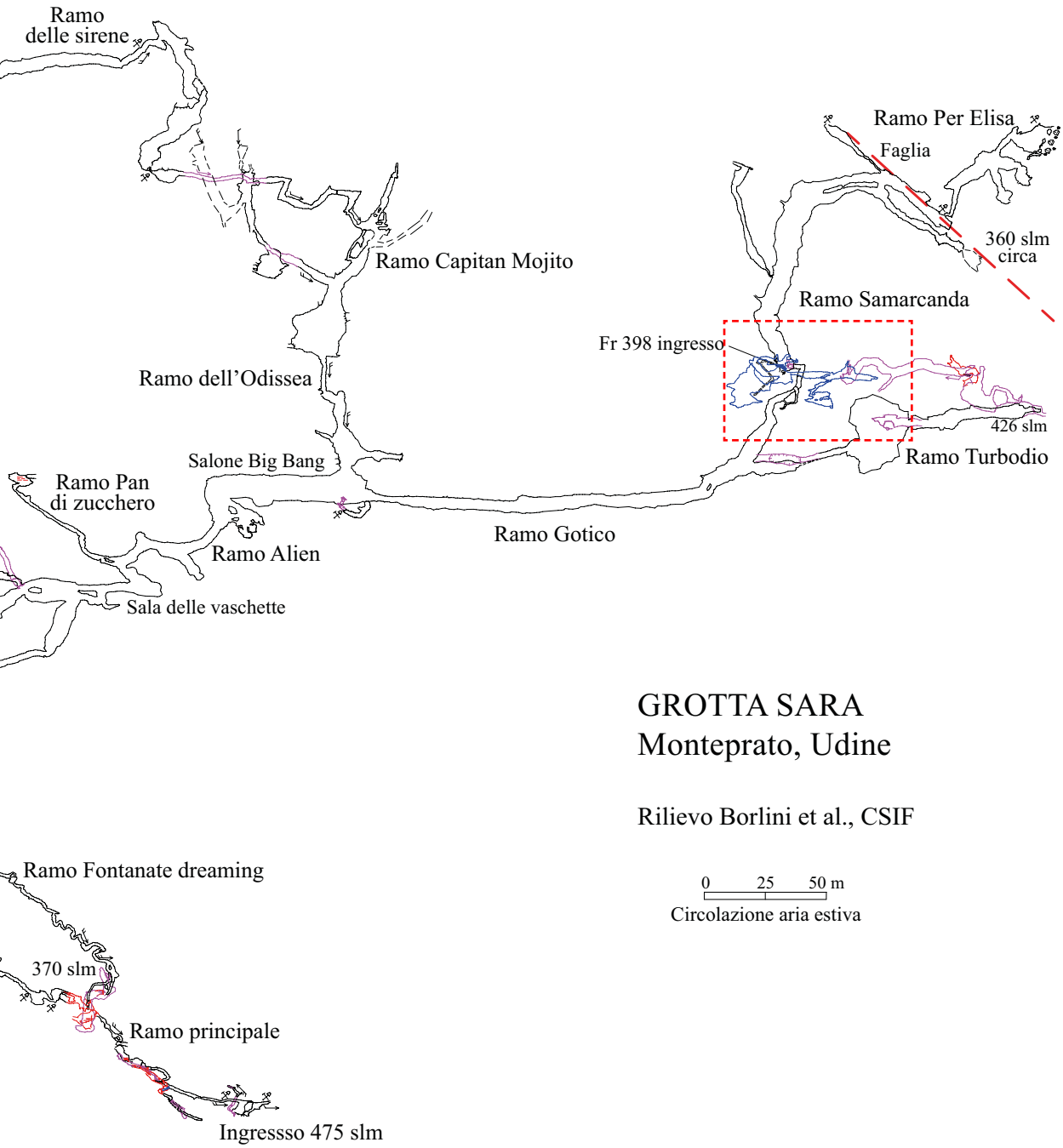


Fig. 3 - Rilievo semplificato di Grotta Sara. Il riquadro indica la parte riproposta nel dettaglio in Fig. 9.



GROTTA SARA
Monteprato, Udine

Rilievo Borlini et al., CSIF

0 25 50 m

Circolazione aria estiva

Fig. 4 - La sezione della Condotta “Tendina Canadese” nel Ramo Lady No Watch: si nota il condizionamento morfologico operato dalla parete di faglia (foto S. Peressutti).

tempi sono maturi e - con scarso entusiasmo ma molta determinazione - si passa e la grotta ci premia largamente con una "abbondanza" esplorativa nemmeno immaginata dopo la prima uscita.

Andando con ordine: subito dopo il Sifone dei Marinai esploriamo la Galleria Polifemo, che lascia il posto a basse gallerie fossili intasate da sedimenti; superata una strettoia ci fermiamo davanti ad un grande ambiente: è la Sala Ipersonica! Ma per il momento decidiamo che può bastare e lasciamo il tutto alla seconda uscita. Ritorno in tempi brevissimi alla Sala Ipersonica caratterizzata da un bell'arrivo d'acqua sulla sinistra (un posto ideale per un campo base ...); giriamo un po' in cerca di prosecuzioni, ma l'arrivo attivo a monte chiude in frana; a valle bisogna attrezzare un pozzetto e nella sala rimangono solo una risalita da fare ed uno stretto meandrino. È da quest'ultimo punto che riparte l'esplorazione: serie di saltini arrampicabili e poi un lungo, lunghissimo tratto suborizzontale (Cunicolandia) per trovare la Sala Gotham City e la partenza di una bella galleria.

Terza puntata a distanza ravvicinata (ormai siamo belli carichi!): rilevando la parte precedentemente esplorata scendiamo anche l'arrivo attivo nella Sala Ipersonica; dopo il secondo pozzo ci si arresta su una strettoia in meandro concrezionato. Allora ripartiamo dalla sala per continuare le esplorazioni nel Ramo Lady No watch, dove ci attende una comoda prosecuzione in galleria; percorriamo una trentina di metri di ampia galleria e poi, attimo di suspence con passaggio in frana, grosso camino da risalire e si riprende in galleria fossile (Galleria delle Essenze). Altri 50 metri e lasciamo... davanti ad una comoda ed ampia prosecuzione, come piace a noi.

Pausa estiva e si ritorna verso novembre, quando troviamo una brutta sorpresa: il Sifone dei Marinai è completamente sott'acqua (non impossibile in apnea, ma molto fastidioso per le esplorazioni), quindi ripieghiamo su una rivisitazione del Meandro Ten Years. Esploriamo una piccola galleria attiva in salita e ci arrestiamo davanti ad una frana con aria, chissà a quali ambienti porterà.

Inizia il 2023 e, visto il periodo abbastanza asciutto, continuiamo le operazioni nella comoda condotta fossile in Lady No Watch; giungiamo subito ad una Sala (Mazinga Zeta) e ritorniamo in ambienti più piccoli, ma comodi, con una condotta suborizzontale dalla particolare forma triangolare (Tendina Canadese; Fig. 4); ovviamente, terminata questa, si torna in ampia galleria fino alla base di un altro maestoso camino (Goldrake) dove terminiamo la nostra esplorazione con il classico motto "Continua su comoda ed evidente prosecuzione" (oramai quasi un mantra in queste esplorazioni).

Il nuovo campo base e il sifone a valle

Vista la lontananza dall'ingresso o da possibili nuovi ingressi (vedi altro paragrafo) è stato deciso di installare un nuovo campo base nella Sala Ipersonica, vista la sua ampiezza e l'arrivo attivo che consente di rifornirsi di acqua. A questo punto

bisogna fare un piccolo resoconto su quanto è successo al vecchio, installato in Sala della Clessidra: durante un giro esplorativo in altre zone e dopo un periodo abbastanza piovoso, è stata trovata la tenda semi distrutta, materiale leggero sparso e soprattutto un'inquietante confezione di insalatissima che galleggiava sopra la tenda! Conclusione: la Sala della Clessidra, posta alla quota di 330 m slm, in periodi di piena eccezionale si allaga ed è quindi inadatta ad ospitare un campo base permanente.

Sovrapposta all'attività di installazione del nuovo campo base è stata anche effettuata la prima breve ricognizione del sifone a valle, grazie alla collaborazione con uno speleosub del gruppo di Pordenone; purtroppo, il sifone non è un passaggio allagato di pochi metri (come da ottimistiche previsioni), ma continua suborizzontale per almeno un'altra decina. La domanda a questo punto è: siamo arrivati al livello base o siamo davanti ad un tratto allagato? Una possibile risposta verrà fornita nelle conclusioni dell'articolo.

Nel nuovo campo base a marzo di quest'anno, dopo un breve allestimento, è stata effettuata la prima permanenza notturna durante una delle punte nei nuovi rami, subito bissata da una seconda (con annessa griglia in grotta). Quindi possiamo tranquillamente affermare che il campo base è ora pienamente operativo per le numerose punte future.

Dentro il Plaiul con direzione la Fontanate

Prima di riprendere le esplorazioni grazie al nuovo campo base, una rapida disostruzione nella frana che chiudeva la Galleria Miss Segnapunto ha permesso di creare un comodo by-pass (Stone Piles); infatti grazie a questo passaggio il sifone dei marinai rimane un bagnato ricordo. Quindi si riprendono le esplorazioni nel Ramo O'Rei: galleria poi sala, di nuovo galleria e poi altra sala scendendo progressivamente di quota; dai 400 m slm della Sala Ipersonica ai 330 circa dell'inizio del cunicolo di Fangolandia (un nome, una garanzia) fino a giungere alla Sala Dirty Rodriguez, dove i depositi di fango la fanno da padrone. Questa punta viene conclusa qui davanti ad un poco entusiasmante scivolo fangoso con il quale dovrebbe continuare la grotta. Siamo sotto il Monte Plaiul e con un ampio giro stiamo ripuntando la presunta sorgente di Grotta Sara, ovvero la Grotticella La Fontanate di Torlano (254/63Fr).

Approfittiamo di Pasquetta per organizzare un'altra punta con permanenza interna. Rileviamo il tratto fino all'inizio di Fangolandia e poi scendiamo il pozzetto fangoso che inaspettatamente allarga e porta ad una bella ed ampia galleria, inquietante visto che il pavimento è bello pulito e in caso di piena non è certo un posto dove restare (per la cronaca il meteo era sull'incerto variabile). Scegliamo di andare verso valle e qui ritroviamo sia il fango, sia i passaggi stretti; discreta spalmata che vale il ritorno ad ambienti ampi che lasciamo per la prossima volta (comoda ed evidente prosecuzione ...). Rivolgiamo la nostra attenzione verso

monte e ci indirizziamo in direzione NE (verso il sifone?); prima galleria, poi passaggi stretti, frana, rischio chiusura e poi ancora meandro. Per oggi può bastare e ritorniamo al meritato riposo, sicuri di aver lasciato ancora parecchio da esplorare per il futuro.

Esplorazioni minori

Oltre alle grandi esplorazioni nei nuovi rami, alcune uscite hanno interessato alcuni punti della grotta che restavano ancora in sospeso. Si inizia con il Ramo Lofoten, dove è stata effettuata l'ultima risalita (Caraibi del Nord) risalendo la venuta d'acqua. Purtroppo, arrivati in cima uno stretto meandro prosegue ancora pochi metri per chiudere in una ventilata strettoia; vista la vicinanza con la superficie si è deciso di effettuare, appena possibile, un'ultima uscita per rilevare e disarmare l'intero ramo (da ricordare un delicato disgaggio di masso alla sommità della risalita). Interessanti sono le uscite che hanno coinvolto il Ramo Capitan Mojito, rimasto nel cassetto esplorativo per diversi anni; in arrampicata sono state guadagnate diverse decine di metri, fermandosi sotto all'ennesima risalita: unica pecca, manca ancora il rilievo.

In zona sifone, nel Ramo No light è stata portata a termine la Risalita Lucky shoulder, che nelle speranze degli esploratori avrebbe dovuto costituire un by-pass alto per andare oltre il sifone; alla fine, superato uno stretto e fangoso passaggio,

Fig. 5 - Il Laghetto a Scomparsa nel Ramo del Tempo Perduto (foto S. Peressutti).

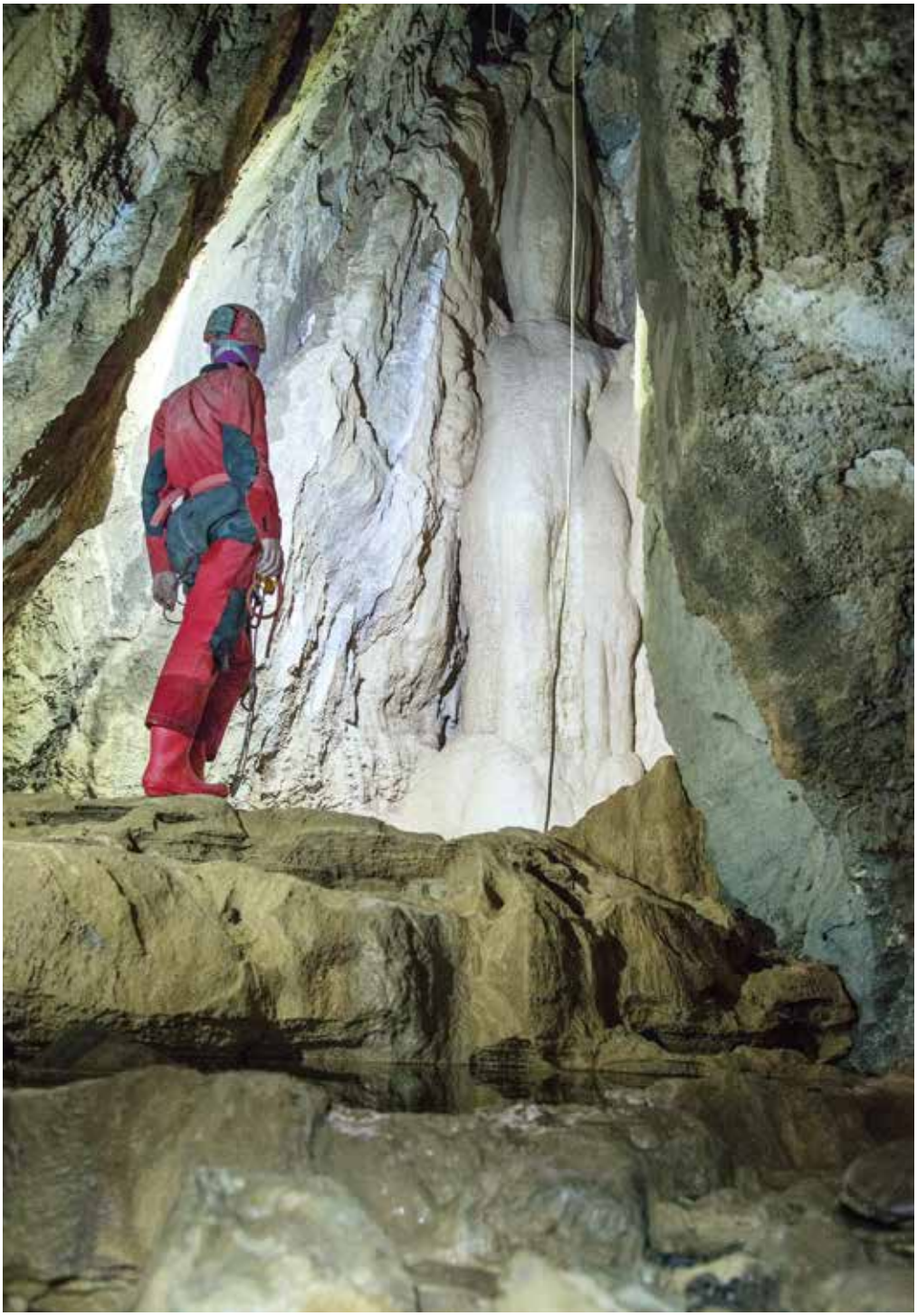


Fig. 6 - L'arrivo di un pozzo lungo il tratto iniziale (foto S. Peressutti).

un'ennesima risalita chiude in strettoie con assenza di circolazione d'aria: saltano così i sogni di gloria di ampie e comode prosecuzioni. Rimanendo in tema risalite è finalmente stato preso in considerazione l'arrivo attivo in Sala della Clessidra. Contrariamente alle previsioni questo ramo, chiamato Contagio verticale (visto il poco felice periodo sanitario), non segue l'andamento del Ramo Principale, ma si alza quasi verticale per una quarantina di metri, dove parte un'ennesima risalita ancora da portare a termine (anche di questa parte manca il rilievo ...). Per ultimo un interessante meandrino (I Mangiatori di Fango) trovato in zona sifone dei marinai arrivando dalla Galleria Miss Segnapunto; all'epoca dell'apertura del by-pass Stone Piles è stata presa in considerazione anche una strettoia in discesa da cui proveniva una discreta corrente d'aria. Una rapida disostruzione ha permesso di accedere ad uno stretto e fangoso meandro con direzione Ovest, che ha regalato per il momento una quarantina di metri aspettando la prossima uscita (e tanto per cambiare la stesura del rilievo!).

Rami Vecchi

Ramo delle Sirene, parti nuove

Nella prima parte di questo ramo, sopra il P5 La vendetta di Ulisse, con un banale traverso si accede ad una condotta di ridotte dimensioni (Piantala con le Dosi!). Dopo una ventina di metri in leggera salita, chiude inesorabilmente in con-

Fig. 7 - Il laghetto quasi alla base del P50 lungo il Ramo Principale (foto S. Peressutti).

crezione. Dal vecchio termine del ramo, si supera il Sifone dei Marinai e si accede ad un'ampia galleria (Galleria Polifemo, dimensioni 5x5 m) che termina dopo una ventina di metri sotto ad un imponente camino non ancora risalito (Camino del Ciclope). Sulla destra si continua in condotte fossili di dimensioni più contenute caratterizzate da depositi di terra. Arrivati ad un bivio, in direzione N si percorre uno stretto meandrino che diventa impraticabile e con poca circolazione d'aria; verso O invece i sedimenti iniziano ad ostruire quasi completamente la sezione della condotta costringendo ad avanzare strisciando. Questa condizione dura poco, e si torna di nuovo in ambienti comodi; si prosegue sempre in leggera salita aumentando le dimensioni della condotta (5x2,5 m) e la presenza di concrezioni. Superati due passaggi bassi a causa del concrezionamento, si entra nella Sala Ipersonica.

Sviluppo totale 393 m

Ramo Capitan Mojito (ex Uncino)

Già descritto nel precedente articolo, dopo la prima parte in leggera salita, iniziano le arrampicate risalendo un attivo di discreta portata; il ramo continua, ma bisogna ancora risalire in artificiale. La direzione dovrebbe portare in zone "bianche" verso N; manca il rilievo.

Sviluppo totale stimato circa 80 m

Ramo Turbodio, parti nuove

Dalla Sala Commission for Sara, attraverso un terrazzo pensile è stata raggiunta la base di una risalita che purtroppo dopo una decina di metri chiude in fessure intransitabili. Dalla sommità della Risalita Salvini va a vore, in direzione E la via sembra preclusa da un restringimento in concrezione (per arrivarci bisogna effettuare un aereo traverso). Dalla parte opposta, invece, si entra in una comoda condotta fossile che porta ad un saltino di pochi metri che dà accesso alla Sala della Regina.

Verso valle si torna al Ramo Principale (dove è stata attrezzata la nuova via di calata), mentre con una serie di arrampicatine si arriva al termine della sala sotto la Risalita Scuardimi. Questo camino attivo dà accesso ad un breve tratto che via via stringe fino a diventare impraticabile; da segnalare che questo al momento è il punto più alto dell'intera grotta a quota 480 slm. Tornando alla base della risalita, da uno stretto pertugio allargato, si entra in una comoda condotta sul fondo della quale scorre un piccolo ruscello; si risale una sessantina di metri superando una breve diramazione a sinistra (chiude in frana) fino ad arrivare in una saletta di crollo. In direzione W ci sono alcune prosecuzioni non transitabili; mentre più a destra si stacca un cunicolo di un paio di metri con corrente d'aria e una concrezione che sbarra il passaggio.

Sviluppo totale 273 m

Ramo Odissea, parti nuove

Verso la fine del Meandro Ten Years, poco prima delle strettoie finali, si stacca un rametto in forte discesa che porta ad una galleria attiva probabilmente già esplorata, ma di cui si era persa la memoria. La Galleria denominata Miss Segnapunto verso valle stringe e l'acqua si perde tra le rocce (probabilmente uno degli arrivi attivi che si trovano a valle; verso monte invece si risale una quarantina di metri in comodi ambienti fino alla frana terminale. Qui un passaggio in alto disostruito (by-pass Stone Piles), costituisce una comoda ed asciutta alternativa al Sifone dei Marinai, collegandosi alla Galleria Polifemo. Poco prima della frana, sulla sinistra un altro passaggio disostruito in discesa dà accesso ad un fangoso cunicolo (I Mangiatori di Fango); una quarantina di metri con alcuni stretti passaggi che rimangono ancora in fase di esplorazione.

Sviluppo totale 311 m

Rami Nuovi

Ramo Lady No Watch

Il ramo inizia con la Sala Ipersonica, ampio ambiente (30x12 m e 25 di altezza) che è stato scelto per ospitare il nuovo campo base; da qui si dipartono diverse vie ancora in fase di esplorazione. Nella parte Sud si incontra un corposo arrivo d'acqua che è possibile seguire per una decina di metri verso monte fino ad una frana

Fig. 8 - Concrezioni eccentriche nel Ramo O'Rei (foto S. Peressutti).

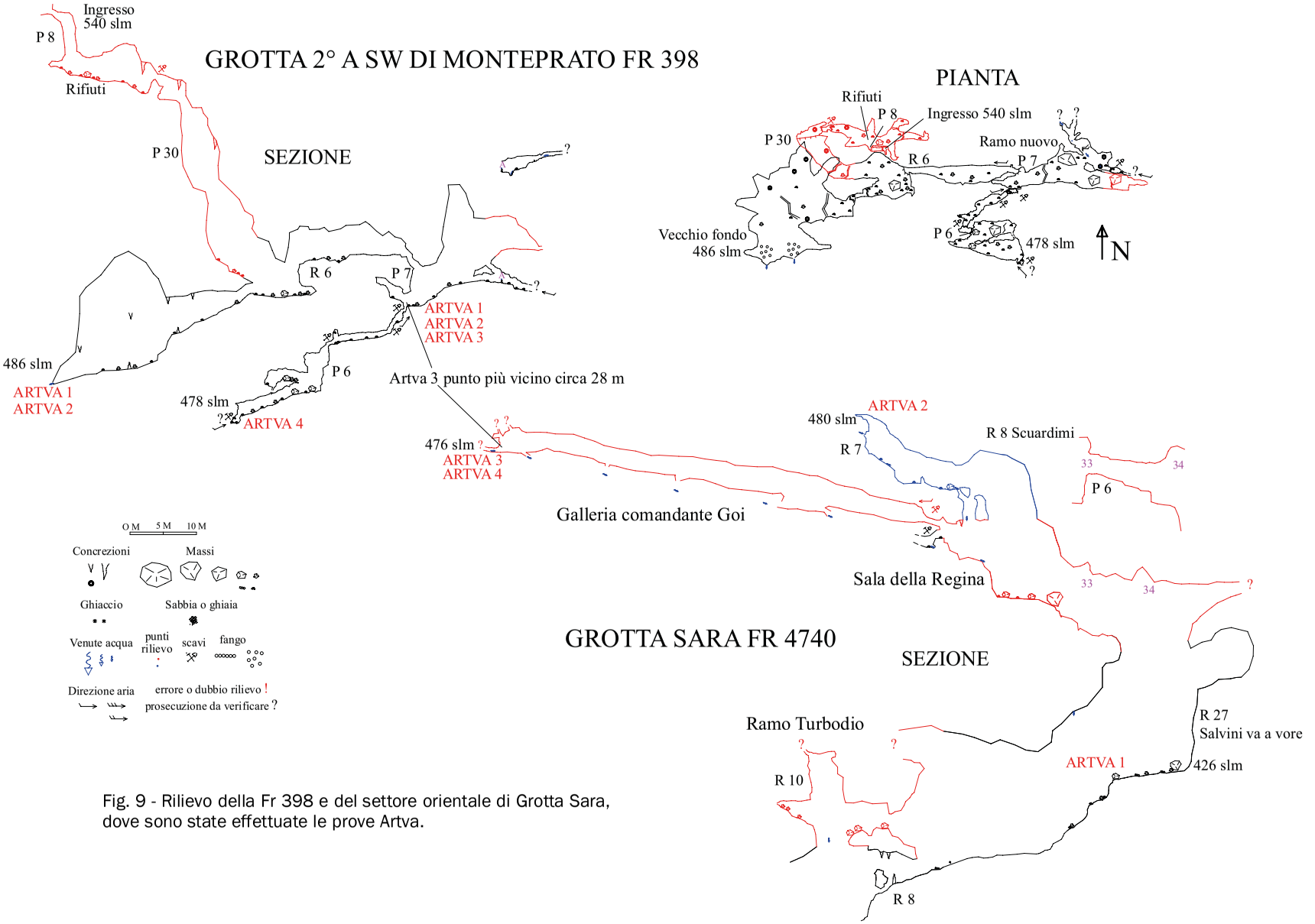


Fig. 9 - Rilievo della Fr 398 e del settore orientale di Grotta Sara, dove sono state effettuate le prove Artva.

concrezionata (discreta corrente d'aria). Verso valle si scende una serie di pozzetti, l'ultimo dei quali dalla stretta partenza porta ad un bel meandro concrezionato che per il momento chiude in strettoia (buona corrente d'aria).

Tornando alla sala, verso S si innalza una colata che potrebbe dare accesso a nuovi rami fossili, mentre poco più in basso uno stretto meandrino rappresenta per il momento la principale prosecuzione. Si scende una sequenza di pozzetti arrampicabili e si accede ad un lungo e tortuoso cunicolo fossile (Cunicolandia); la lunghezza del percorso (quasi 200 m), unita a qualche passaggio fastidioso, ne fanno un ostacolo alle esplorazioni nelle zone più remote.

Percorso il lungo tratto suborizzontale, verso la fine un meandro alto e concrezionato preannuncia l'entrata nella Sala Gotham City; qui gli ambienti cambiano decisamente e la grotta si imposta decisa verso S con una galleria in discesa ampia e ben concrezionata (la parte a monte chiude quasi subito su una colata da risalire). Superato un passaggio in frana, che ha occluso quasi completamente la galleria, si arriva alla base di un imponente e tetro camino (Dirty Sanchez); si prosegue verso Ovest in ambienti di nuovo grandi arrivando davanti ad un bivio: entrambe le strade portano al seguente tratto di galleria, ma quella a sinistra incrocia anche un piccolo attivo. Seguendo questo ruscello si scende in stretti ambienti attivi con leggera corrente d'aria fino ad un passaggio da disostruire (Vanilla Ice Connection con probabile collegamento con il Ramo No light).

La Galleria delle Essenze si sviluppa per una sessantina di metri con ampi ambienti fossili intervallati da un'unica strettoia causata dal concrezionamento; si arriva così alla Sala Mazinga Zeta, altro bell'ambiente concrezionato sormontato da un arrivo d'acqua. La prosecuzione si trova nella parte alta della sala e consiste in una condotta dalle dimensioni più contenute rispetto alla galleria precedente, ma con un'inusuale forma triangolare, evidente soprattutto nell'ultima parte; al termine della condotta si torna per l'ennesima volta in ampi ambienti a galleria che preannunciano la fine del ramo e un nuovo imponente camino.

Sviluppo totale 533 m

Ramo O'Rei

Naturale prosecuzione del Ramo Lady No Watch, inizia subito con un elegante e ampio camino (Goldrake), poi la galleria (in questo tratto di dimensioni veramente ampie) vira decisa verso S, lasciando sulla destra in alto una breve continuazione chiusa subito da riempimenti. Poi, man mano che si scende, la sezione si riduce e si prosegue in una condotta suborizzontale fino ad incontrare una frana; verso monte si risale qualche metro fino a restringimenti impraticabili, mentre a valle si scende un tratto esposto in arrampicata (la Scala) per giungere ad un'altra sala (Parfum de Bosc).

Da ricordare che nella condotta precedente si stacca una breve diramazione chiusa in salita dove sono presenti delle rare concrezioni eccentriche (Fig. 8). Si

continua a scendere oltre la sala con un passaggio in frana che immette nella sala successiva (Jimi Hendrix), discretamente concrezionata; da qui parte anche Foxy Lady, breve meandro ancora in fase di esplorazione. Dopo la sala si supera un basso passaggio bagnato in caso di piogge, che immette in Fangolandia, piccola condotta in discesa dall'evocativo nome; lo sbocco naturale di questo tratto di grotta è una saletta caratterizzata da grossi accumuli di fango (Dirty Rodriguez probabilmente sommersa in caso di piene eccezionali). Unica prosecuzione accertata è un poco invitante scivolo fangoso, che inaspettatamente conduce a una galleria sottostante e al successivo Ramo dei Turbini.

Sviluppo totale 121 m

Ramo I Turbini

Il pozzo d'acceso a questo ramo (Il Mudgate), molto fangoso sopra e pulito sotto fornisce un'idea della pericolosità, in caso di piena, di questo ramo; dalla base del pozzo si può scegliere se risalire il ruscello che percorre la galleria o scendere verso valle. Cominciando verso valle, la pulita galleria lascia il posto ad un viscido e fangoso meandro con stretti passaggi; per fortuna riallarga di nuovo e gli esploratori si sono fermati ad un ennesimo bivio: scendere ancora seguendo l'acqua o risalire una china detritica che potrebbe portare a nuovi ambienti fossili. Tornando alla base del pozzetto si percorre la via in salita in una galleria di ridotte dimensioni; dopo una cinquantina di metri si entra in una zona di frana dove alcuni stretti passaggi si alternano a brevi tratti a meandro. Superato l'ennesimo restringimento si arriva di nuovo ad un ulteriore meandro percorribile dove, per il momento, si è fermata l'esplorazione.

Sviluppo totale stimato 200 m

Ramo contagio verticale

Dalla Sala della Clessidra si risale l'arrivo attivo in direzione SSW. Contrariamente al vicino Ramo Fontante Dreaming, si sviluppa esclusivamente in verticale ed è stato risalito per una quarantina di metri. Non è ancora stato effettuato il rilievo.

Sviluppo totale stimato 20 m

Fr 398, Grotta 2° a SW di Monteprato

La cavità si apre all'inizio della stradina che conduce a Grotta Sara. L'ingresso della cavità, in discesa, dà accesso ad un pozzetto di 8 m, la cui base era ingombra di rifiuti; tra le vie che si dipartono, si sceglie quella verso W (le altre chiudono dopo pochi metri). Superata una strettoia tra concrezioni ci si affaccia su un comodo P 30, caratterizzato da una bella colata calcitica; si scende e si arriva ad uno slargo tra massi di crollo. La via principale scende verso W per terminare in una bella sala concrezionata; sul fondo in periodi piovosi si perdono in fessure diversi arrivi d'acqua.

Tornando alla base del P30, una banale risalita ha permesso di accedere al Ramo Nuovo, un meandro impostato su evidente faglia; dopo una ventina di metri, uno stretto passaggio soffiante è stato disostruito permettendo di scendere un P7. Alla base all'epoca della prima esplorazione era possibile continuare solo verso E in salita in comodi ambienti fino ad un altro restringimento non transitabile; poco prima si può risalire per qualche metro un piccolo ruscello proveniente da N. Dalla base del P7 con una breve disostruzione è stato reso praticabile uno stretto cunicolo con aria che porta ad un altro saltino (altra disostruzione); si scende e si trova una saletta in frana che prosegue in ambienti caotici con direzione E, per terminare in un riempimento di ghiaia che costituisce al momento il fondo della cavità.

Sviluppo 164 m; Profondità -62 m

Dati e conclusioni

Con le attuali esplorazioni Grotta Sara raggiunge i 3825 m di sviluppo rilevati (ma sono almeno 4,5 km quelli esplorati) ed un ritocco al dislivello a 166 m (- 161 e +5); dopo questa nuova stagione di esplorazioni tanti sono i punti da sviluppare e le considerazioni da fare. Possiamo iniziare dalla logistica, che ha visto l'installazione del nuovo campo base, punto d'appoggio importante in vista di lunghe esplorazioni che potrebbero essere accorciate da un collegamento per ora odoroso (incenso alla vaniglia per la precisione) tra il rio attivo vicino al Camino Dirty Sanchez e il Ramo No light; anche il travagliato collegamento tra la Fr 398 (Gr 2° a SW di Monteprato) e Grotta Sara ridurrebbe i tempi per riprendere in mano le esplorazioni nel Ramo Samarcanda.

Dalla piena eccezionale che ha devastato il vecchio campo base è stato preso lo spunto per capire le dinamiche idriche del complesso ipogeo, prevedendo la futura installazione di strumenti appositi. Per quanto riguarda le esplorazioni i fronti aperti sono diversi: iniziamo dal Ramo I Turbini, dove la via verso valle è aperta e fa sognare gallerie verso La Fontanate situata vicino al Cornappo- Anche nel settore a monte si cerca di capire se si va verso un collegamento con il Ramo No light (sarebbe il secondo!) e alcuni indizi farebbero pensare a ciò.

Lungo la strada che si percorre dal Sifone dei Marinai al Mudgate sono stati lasciati vari camini e punti da rivedere, che potrebbero puntare sia verso le pareti del Cornappo, sia verso N. Altri rami aspettano di essere risaliti: Contagio verticale e Capitan Mojito primi tra tutti; insomma, tante altre belle esplorazioni sono in programma nel prossimo futuro in questa grotta, che regala e fa sognare da quasi 10 anni i suoi affezionati esploratori!

Bibliografia

Borlini A., Simonetti C., Peressutti S. & Comisso S., 2023 - La Grotta Sara e l'idrologia dell'Altopiano di Monteprato (Ud), *Atti del Convegno "Speleo22"*: 123-130.

Borlini A., 2019a - Grotta Sara (Monteprato, Udine): aggiornamenti. *Mondo Sotterraneo*, n.s., 43: 91-100.
Borlini A., 2019b - Grotta Sara. In: *Monteprato di Nimis*. Centro Ricerche Carsiche "C. Seppenhofer", Comune di Nimis.
Borlini A. & Turco S., 2015 - Grotta Sara (Fr 4740, Monteprato, Prealpi Giulie). *Mondo Sotterraneo*, n.s., 39: 11-24.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 53-66.

Paolo Capisani

La Grotta di Passo Geu Alto (Forni Avoltri, Udine)

Riassunto - La segnalazione da parte di alcuni soci della sezione CAI di Forni Avoltri ha consentito di aggiungere ulteriori dati alla conoscenza della Criosfera nel mondo sotterraneo. La Grotta di Passo Geu Alto (8417/5180 Fr) presentava imponenti depositi di ghiaccio nel 2011, oggi ridotti a pochi lembi non più compatti.
Parole chiave: Forni Avoltri, Dolomiti Pesarine, Ghiaccio sotterraneo.

Abstract - The reporting by some members of the CAI section of Forni Avoltri, has allowed to add further data to the knowledge of the Cryosphere in the underground world. The Grotta di Passo Geu Alto (8417/5180 Fr) had impressive deposits of ice in 2011, today reduced to a few blocks that are no longer compact.
Keywords: Forni Avoltri, Dolomiti Pesarine, Underground glaciers.

Premessa

Il territorio Carnico, sebbene presenti estesi affioramenti di litotipi carbonatici, non risulta al centro delle ricerche speleologiche della regione. Per una serie di ragioni sia geologico-morfologiche che storiche questa porzione delle Alpi Carniche è stata solo parzialmente al centro dell'interesse degli speleologi: di fatto solo il settore del Monte Coglians-Pal Piccolo è stato oggetto di ricerche sistematiche che hanno dato risultati buoni ma non eclatanti, anche se, ad esempio, le indagini relative al bacino di alimentazione del Fontanon di Timau fanno presagire l'esistenza di sistemi carsici ben sviluppati. In tempi recenti le ricerche relative alle "grotte con ghiaccio" (Crio-Caves) hanno fatto sì che questo territorio sia stato al centro delle indagini per la disponibilità di affioramenti carsificabili ad alta quota.

Dopo la Cavità sotto le pareti del Pic Chadenis (4846/2714 Fr), un'altra cavità interessata dalla presenza di ghiaccio è stata segnalata nell'area del Passo Geu Alto (Dolomiti Pesarine: Prato Carnico, Forni Avoltri e Sappada).

Storia delle ricerche

Negli anni Dieci del secolo scorso, Michele Gortani, ha redatto alcuni appunti (ora conservati nel suo archivio presso il Museo di Tolmezzo, Fig. 1) che lo stesso geologo carnico indica come "integrazioni" al primo catalogo delle grotte pubblica-

Aggiunte

al capitolo di De Gasperi

sulle Grotte e Voragini della Carnia

(Mondo Sotterraneo, VII, n. 5-6, 1911)

N. 113 – <u>Voragine del M. Verzegnis</u> – Da esplorarsi
È presso il casone Valle, ~~...~~ a pozzo profondissimo, largo circa 2 m. alla bocca.
Detta localmente <u>Rinchèule</u>

– <u>Grotticelle presso Verzegnis e Cesclans</u>
(Da ricercarsi e visitarsi)

– <u>Grotta</u> verticale a cono sopra cas. <u>Collinetta di Sopra</u>, lungo la via per la Scaletta

– <u>Grotte e Fontanone di Canevа</u>

– <u>Grotte sul M. Gierr</u> (Di cui una, apertasi a mezzo la parete di fronte alla Cleva di Sappada, getta acqua dopo le forti piogge)

– <u>Fonte intermittente</u> (12 ore di attività e 12 di riposo (?)) nella conca di Sauris sulla Rivera

to da De Gasperi (1911), il prodromo della fondamentale opera Grotte e Voragini del Friuli, pubblicata da G.B. De Gasperi nel 1916. In questi appunti Gortani fa esplicito riferimento a: *Grotte sul M. Gieu (di cui una, aprentesi a mezzo la parete di fronte la Cleva di Sappada, getta acqua dopo le forti piogge)*.

A questa segnalazione non fanno seguito esplorazioni o altre ricerche, sino alla segnalazione, dei primi anni del Duemila, della cavità oggetto di questa nota da parte di alpinisti soci della sezione di Forni Avoltri del CAI.

L'antefatto

Alcuni anni fa era inverno e si andava a sciare. Durante un'escursione al Passo di Entralais, posto tra il Cimon di Sappada e la Creta della Fuina, nelle Dolomiti Pesarine (Alpi Carniche Occidentali), giunti in prossimità della forcella, incontriamo due sciatori: Daniele Del Fabbro e il figlio Oleg. Si chiacchiera del più e del meno, sulle varie reciproche attività, e una volta scoperto che pratico la speleologia, Daniele mi rende partecipe di una sua scoperta. Si tratta di un pozzo ghiacciato situato poco a nord del Passo Geu Alto, geograficamente posto a delimitare ad ovest lo stesso Monte Cimon.

Ecco il racconto di Daniele.

"*Il pozzo è stato notato nel 2000. Nel mio primo tentativo, nell'estate del 2005 mi sono calato da solo nel primo Pozzo per circa 20 m, trovandolo completamente ostruito da ghiaccio e neve. Nel secondo tentativo il 26.11.2011 io e Eros Pellegrina (che per primo aveva notato la cavità), invece siamo passati, e la grotta era completamente rivestita di ghiaccio, tanto che ho utilizzato chiodi da ghiaccio per gli ancoraggi oltre a uno spit, e abbiamo raggiunto la massima profondità.*

Nel 2013 Eros Pellegrina ha accompagnato Roberto Colucci (Consiglio Nazionale Ricerche) e alcuni soci della Commissione Grotte E. Boegan di Trieste, ad effettuare un sopralluogo a carattere scientifico in merito al ghiaccio che occupava parte della cavità."

Daniele aveva già a suo tempo segnalato la grotta al CSIF nell'anno 2011, e da allora al Circolo questa possibilità esplorativa affiorava ciclicamente. Nel frattempo, Daniele con alcuni amici si era calato nel pozzo, con attrezzature ibride tra l'alpinismo e la speleologia, e avevano raggiunto una profondità stimata di oltre i cento metri.

In una estate successiva - mi pare quella del 2017 - durante una traversata solitaria del Monte Cimon di Sappada, da Entralais fino a Passo Geu Alto, lungo la cresta del monte, arrivato al Passo mi viene la curiosità di cercare questo pozzo, indicato a circa 50/100 metri scendendo a nord dal Passo. Lo individuo subito scendendo leggermente verso est. Proprio un bel buco. Data un'occhiata e scattate alcune foto, si prosegue nell'escursione, ma ormai la curiosità si è accesa.

Fig. 1 - L'appunto di Michele Gortani che cita cavità sul Monte Geu (Archivio Gortani, Tolmezzo).

Figg. 2, 3, 4 - Alcune immagini della esplorazione del 2011. La quantità di ghiaccio presente è notevole ma in diversi punti si nota già il distacco dalla parete rocciosa (foto D. Del Fabbro).

Le operazioni del CSIF

Passano alcuni anni e arriviamo all'anno 2022. È tempo di agire, quindi al Circolo iniziamo a programmare l'esplorazione.

La grotta è stimata da Daniele Del Fabbro circa 100 m di profondità: quindi, servono almeno 120 m di corda e relativi strumenti per l'armo. Improponibile portare su tutto il materiale nello stesso giorno dell'esplorazione. È quindi necessario salire una prima volta al solo scopo di trasportare parte del materiale e di effettuare una ricognizione per valutare il migliore percorso per giungere alla grotta.

Il giorno 4 giugno 2022, assicurato l'indispensabile aiuto di uno *sherpa*, si parte da Cima Sappada percorrendo la strada forestale verso Malga Tuglia, che termina con un sentiero che a sua volta incrocia la forestale che sale alla Malga. Si trova la grotta senza particolari difficoltà: è già in parte armata e si nota un fix recente sulla parete qualche metro sotto l'ingresso. Viene lasciato il sacco con materiale in un anfratto vicino all'ingresso e, al ritorno, vengono eretti alcuni ometti lungo l'ultimo tratto del percorso.

Partire da Cima Sappada non è conveniente: occorrono 3/4 ore per arrivare alla grotta. È necessario sfruttare le piste forestali che salgono a Malga Tuglia (o Casera Tuglia, come indicato nella carta Tabacco). Una strada parte dai pressi del campo sportivo di Forni Avoltri, e l'altra parte da un tornante della strada statale che porta a Sappada. Per accertarmi di quale sia la più transitabile, decido di fare un giro in bicicletta fino a Malga Tuglia. La strada da Forni Avoltri è più lunga ma meno ripida, con solamente un punto fangoso. Quella dal tornante verso Sappada è più diretta ma presenta dei tornanti piuttosto ripidi e stretti, ma cementati.

Il giorno 17 luglio, assieme a Piero Cristin e Moreno Tosolini, saliamo da Forni Avoltri area campo sportivo, transitiamo per Malga Tuglia e parcheggiamo poco oltre l'inizio del sentiero per Passo Geu Alto. Due ore marcia e arriviamo alla grotta.

Inizia la discesa Piero sfruttando dove possibile i fix già presenti. Scendiamo utilizzando tutta la corda (sia quella portata su in precedenza sia quella portata in questa occasione). La neve/ghiaccio appare dopo circa 50 m in forma di accumuli residuali. Le posizioni, a volte assurde, dei vecchi fix si spiega palesemente con la diversa quantità di neve/ghiaccio rispetto alle precedenti esplorazioni: una decina di anni fa il pozzo era quasi del tutto ostruito, mentre oggi è quasi del tutto libero.

Scendiamo fino ad un fondo, collegato tramite una comoda fessura ad una vasta faglia. Diamo un'occhiata oltre la fessura, dove è presente un fix e risaliamo, lasciando tutto armato. Usciti, passiamo alla Malga Tuglia, dove spieghiamo la nostra presenza; parlando con i gestori, suscitiamo un certo interesse, e ci chiedono di esser aggiornati su ogni ulteriore sviluppo dell'esplorazione.

Il 30 luglio si uniscono a noi Adalberto D'Andrea e Oleg, il figlio di Daniele Del Fabbro. Gli accordi precedenti erano che anche Daniele, lo scopritore ed esploratore della grotta a suo tempo, venisse con noi a rivedere l'abisso, ma purtroppo non gli è stato possibile.

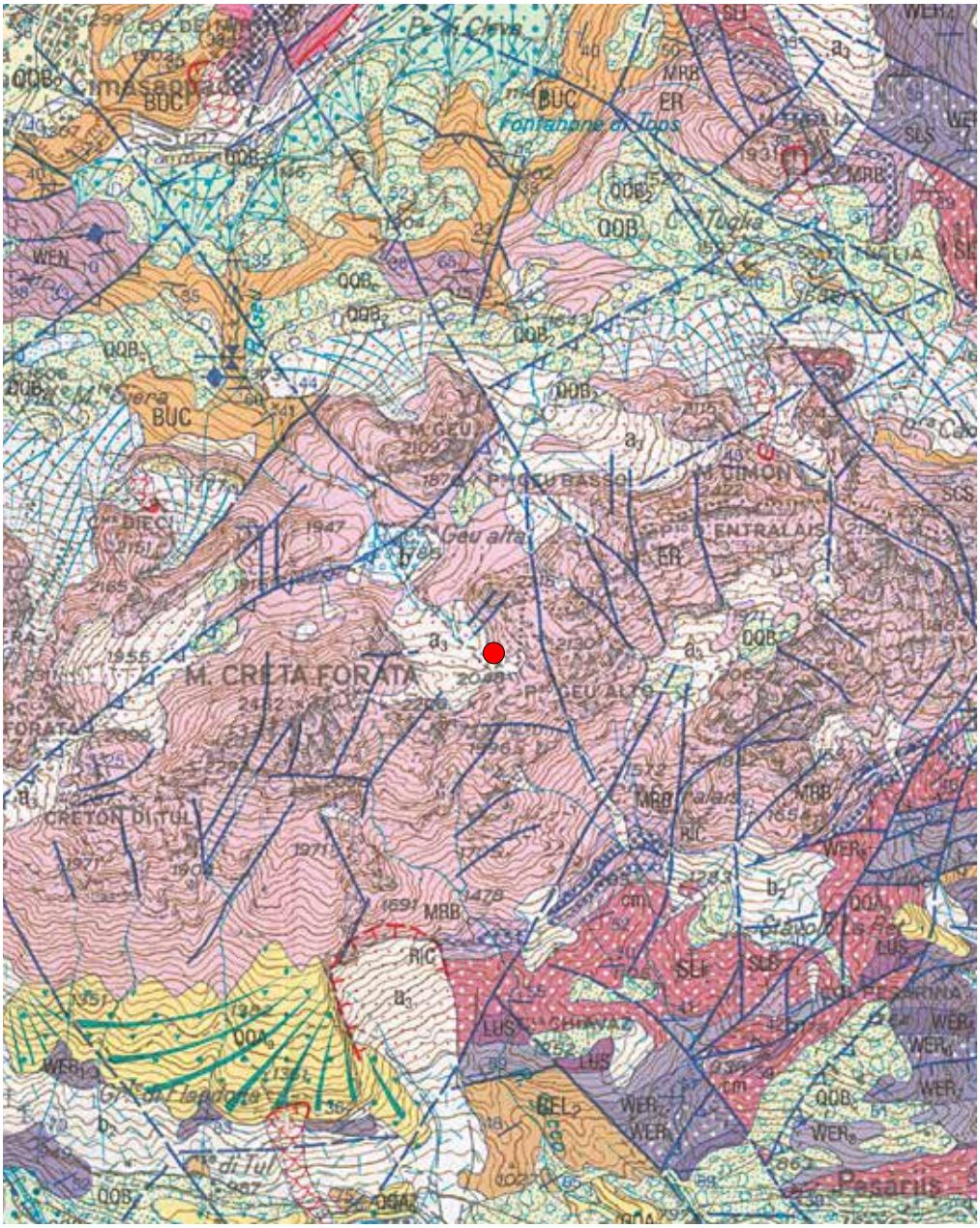


Fig. 5 - Estratto dalla Carta Geologica d'Italia; il cerchietto rosso indica la posizione della Grotta di Passo Geu (da VENTURINI, 2006; scala 1:35.000 circa). BEL - Formazione a Beelerophon, Permiano superiore; WER - Formazione di Werfen, Triassico inferiore; LUS - formazione di Lusnizza, Triassico medio (Anisico); SLI - 'dolomia del Serla inf.', Triassico medio (Anisico); SLS. - 'formazione del Serla sup.', Triassico medio (Anisico); RIC - Conglomerato di Richthofen, Triassico medio (Anisico); MRB - Calcare di Morbiac, Triassico medio (Anisico); ER - gruppo del M. Siera, Triassico medio-superiore (Anisico sup., Ladinico, Carnico inf.); BUC Formazione di Buchenstein, Triassico medio (Ladinco); WEN - Formazione di Wengen-La Valle, Triassico medio (Ladinico); Q - Depositi del Quaternario.

Saliamo dalla forestale che parte dalla strada statale Forni Avoltri-Sappada. poi le solite due ore marcia e arriviamo in loco. Adalberto, Oleg ed io scendiamo attrezzati per completare l'esplorazione, Adalberto anche per scattare qualche foto significativa. Piero e Moreno iniziano dall'ingresso ad effettuare il rilievo con il disto e lo smartphone. Oleg ha poca esperienza speleologica, ma forte di una intensa esperienza alpinistica, unita alla forza dell'età, non ha certo alcun problema. Noi tre scendiamo oltre la strettoia, fin sul fondo della faglia. Qui le pareti si restringono, fino a rendere poi impraticabile l'ulteriore fessura. La profondità rilevata risulta essere di 85 m, cui si sommano una decina di metri discesi e/o sondati nella fessura finale.

Al ritorno incontriamo i due rilevatori, che procedono nonostante alcuni problemi con le apparecchiature. Alla base del pozzo prima della fessura allestiamo il set per la foto di Adalberto, mentre i due rilevatori scendono fino in fondo. Segue la nostra risalita, seguiti da Piero e Moreno che disarmano tutto. Usciti è già tardi, quindi niente malga ma scendiamo subito a valle per la strada forestale. Nel tragitto incontriamo il casaro della Malga Tuglia, che ci ribadisce il suo interesse per l'esplorazione e chiede gentilmente la disponibilità dell'eventuale futura documentazione.

All'ingresso della grotta abbiamo siglato CSIF, l'anno e le sigle dei primi scopritori/esploratori. Oltre alle foto di Adalberto sono stati girati alcuni spezzoni video durante entrambe le discese.

Geologia dell'area

Le Dolomiti Pesarine, la catena che separa la Val Pesarina dalla conca Sappadina, sono costituite per la quasi totalità da depositi del Triassico inferiore e medio con le rocce del Permiano superiore che affiorano nel fondo valle. Il dominio della Formazione di Werfen nel versante meridionale della Val Pesarina conferisce a questi versanti una morfologia più "morbida" che contrasta con le forme ben più aspre, più "dolomitiche", del versante settentrionale.

La parte superiore di questa successione di massicci delle Dolomiti Pesarine, infatti, è costituita da quello che Venturini (2006; Fig. 5) definisce come "Gruppo del Monte Siera". Si tratta di un complesso carbonatico che qui riunisce diverse formazioni: la Fm. del Contrin (Anisico sup.-?Ladinico inf.), la Fm. dello Sciliar (e per estensione i 'calcari dolomitici del M. Tiarfin', Ladinico) e, dove non distinguibile e separabile, la 'Dolomia Cassiana' p.p. (Carnico inf.). Nello specifico l'area fra la Creta Forata, Monte Geu e Monte Cimon è riferibile alla Formazione dello Sciliar datata al Ladinico, costituita da calcari dolomitici, dolomie e calcari, di colore generalmente grigio chiaro, in banchi massicci o debolmente stratificati (10-40 cm), depositati in ambiente da lagunare a mare basso.

Dal punto di vista strutturale il settore è interessato da una importante faglia inversa a basso angolo orientata NE-SW, che passa proprio nell'area di Casera Geu Alta. Gli effetti di questa importante linea tettonica e delle faglie minori ad

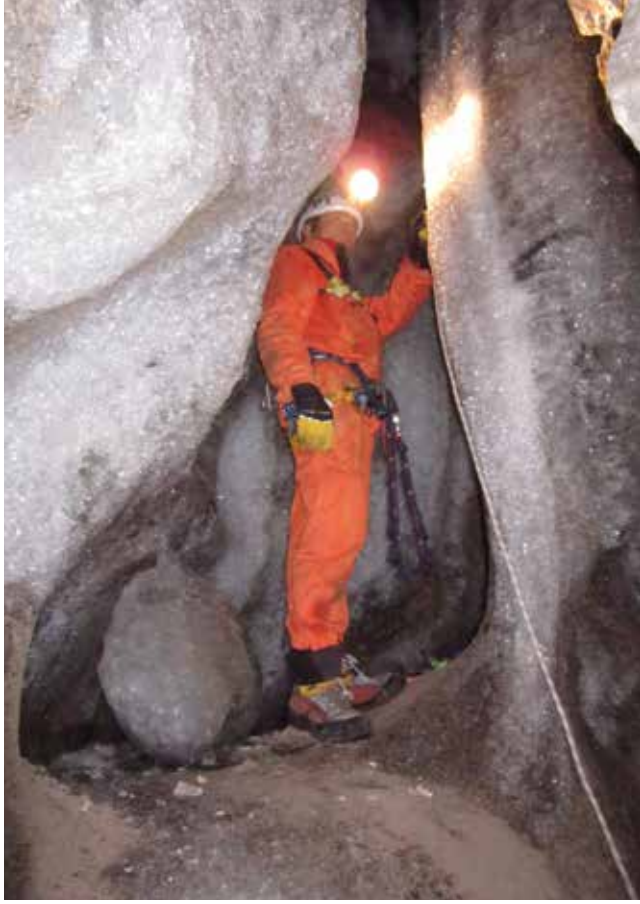


Fig. 6, 7, 8, 9 - Alcune fotografie dell'esplorazione del 2011.
Nelle immagini in alto sono evidenti i depositi di ghiaccio nella zona attorno al punto E del rilievo. Nell'immagine a sinistra una colata di ghiaccio copre una parete.
In Fig. 9 è ben evidente la stratificazione del ghiaccio (foto D. Del Fabbro).

essa collegate sono evidenti nell'intensa fratturazione della compagine rocciosa, riscontrabile anche nella cavità oggetto della presente nota.

Posizione della cavità

La Grotta di Passo Geu Alto (8417/5180 Fr) si apre a 2002 m di quota nel versante settentrionale del Monte Creta Forata-Monte Cimone, a monte di Malga Tuglia, verso il Passo Geu Alto (Figg. 10 e 12; 12,748348° E, 46,54476° N).

Malga Tuglia si raggiunge utilizzando le piste forestali che salgono o da Forni Avoltri (più comoda ma più lunga) o da Sappada (più breve ma più pendente e con più tornanti). Da Malga Tuglia si prende il sentiero CAI 230 che porta verso Passo Geu. Lo si segue fino a Passo Geu Basso per poi abbassarsi un poco oltre in una ampia conca. Da qui si risale a sinistra verso S, lungo un costone erboso con vaga traccia, puntando un po' verso destra alla parete del monte; un po' prima di essa si vede la rada traccia, ora più definita, che in falsopiano prosegue a destra (ometti). La si segue sempre lungo la costa erbosa su una traccia che va scomparendo (ometti) puntando a evidenti affioramenti calcarei. Circa 50 m di quota sotto Passo Geu Alto, su un ennesimo affioramento, si apre l'evidente voragine (ometto nelle vicinanze; Fig. 12).

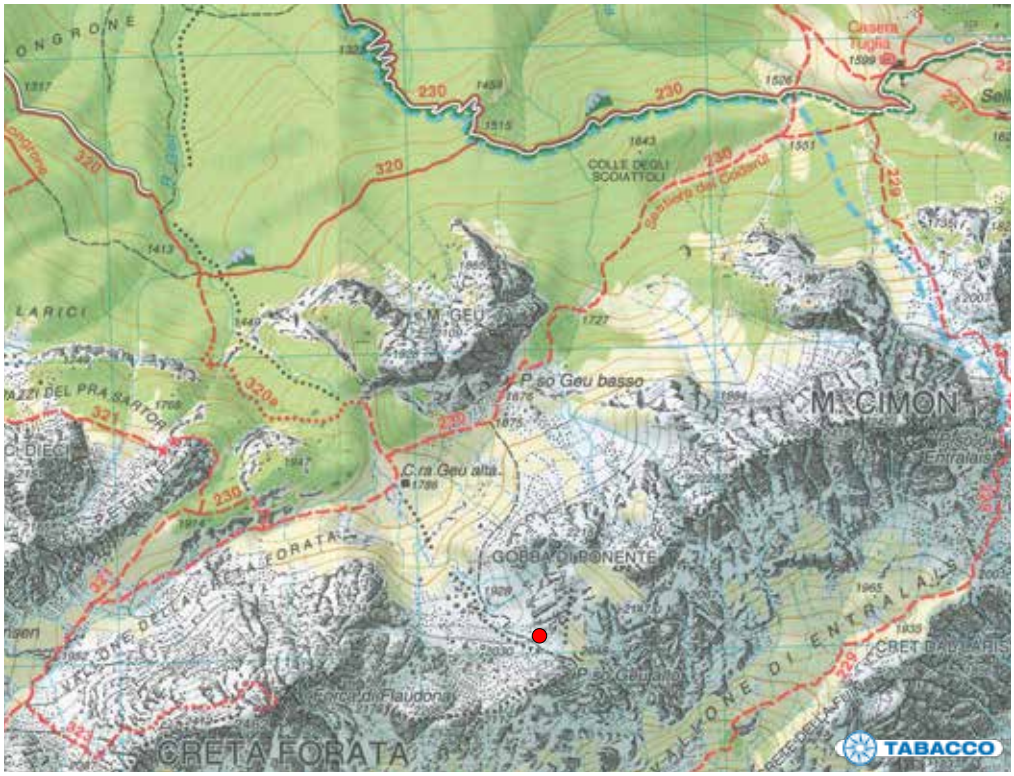


Fig. 10 - L'ingresso della cavità sulla carta Tabacco alla scala 1:25.000.

Descrizione della cavità

L'ingresso della cavità (punto A nel rilievo di Fig. 11) si apre lungo una evidente linea di faglia, che ne condiziona lo sviluppo, ben visibile ed è evidenziata dall'allineamento di alcune doline ed avvallamenti che punteggiano gli affioramenti calcarei da circa 50 m a valle di Passo Geu Alto, scendendo in direzione Nord.

La cavità si presenta come un unico pozzo, che si scende talvolta "appoggiati" su parete, intervallato da vari terrazzini e che mostra un andamento a spirale.

Dopo circa 15 m si incontra un primo semi-terrazzino (frazionamento su lato opposto, punto B) da dove il pozzo prosegue più verticale per circa 15 m (frazionamento intermedio) fino a un piccolo scivolo detritico molto instabile (frazionamento) oltre il quale si prosegue fino a un ulteriore terrazzino detritico più marcato (punto C).

Qui si trova la prima neve compattata, con uno spessore di circa 5 m: appare molto erosa ed è, in parte, semi-sospesa sulla prosecuzione del pozzo. A sinistra un passaggio, piuttosto comodo, tra il nevaio e la roccia consente di affacciarsi sulla prosecuzione del pozzo (frazionamento doppio in partenza).

A questo punto il pozzo incrocia una faglia disposta sull'asse circa E-W (perfettamente coerente con quanto risulta dalla carta geologica in Fig. 5). Questa si chiude verso W, mentre nella direzione opposta, verso E, si allunga di varie decine di metri, approfondendosi (punto D).

Da questo punto il pozzo, quindi, è situato all'estremità di una faglia e si sviluppa sempre in direzione E ma che risulta essere divisa sia dalla stessa morfologia che da massi incastrati. Il pozzo scende altri 20 m (frazionamento disagevole sulla parete opposta) con sez. semicircolare e residui di ghiaccio di rivestimento delle pareti (punto E), in via di scioglimento e piuttosto instabili.

Sul fondo (punto F), ricoperto di ghiaia e ghiaccio, una breve risalita verso sinistra, porta attraverso una strettoia (relativamente comoda e sopra alcuni grossi massi instabili) ad affacciarsi sulla prosecuzione della faglia (frazionamento prima della strettoia e poi subito fuori a destra). Da qui la frattura, in alcuni punti molto ampia e larga alcuni metri nel tratto percorribile, consente di scendere sempre sul suo margine per ulteriori 20 m. A questo punto la faglia stessa si va restringendo, con due saltini successivi, fino ad essere larga non più di 50 cm dopo un ulteriore saltino lungo il piano inclinato tra le sue pareti. Questo è il limite raggiunto dal rilievo (punto G). Da qui il pozzo scende ulteriormente sempre più stretto percorso per alcuni metri e poi semi-impraticabile, e il lancio di pietre non sembra dare adito ad un possibile allargamento della strettoia.

Lo sviluppo planimetrico è di 47 m, la profondità rilevata è di 87 m, quella stimata circa 100 m.

I depositi di ghiaccio

Le informazioni disponibili in questi vent'anni di esplorazioni ci dicono molto sull'evoluzione del riempimento glacio-nivale della cavità.

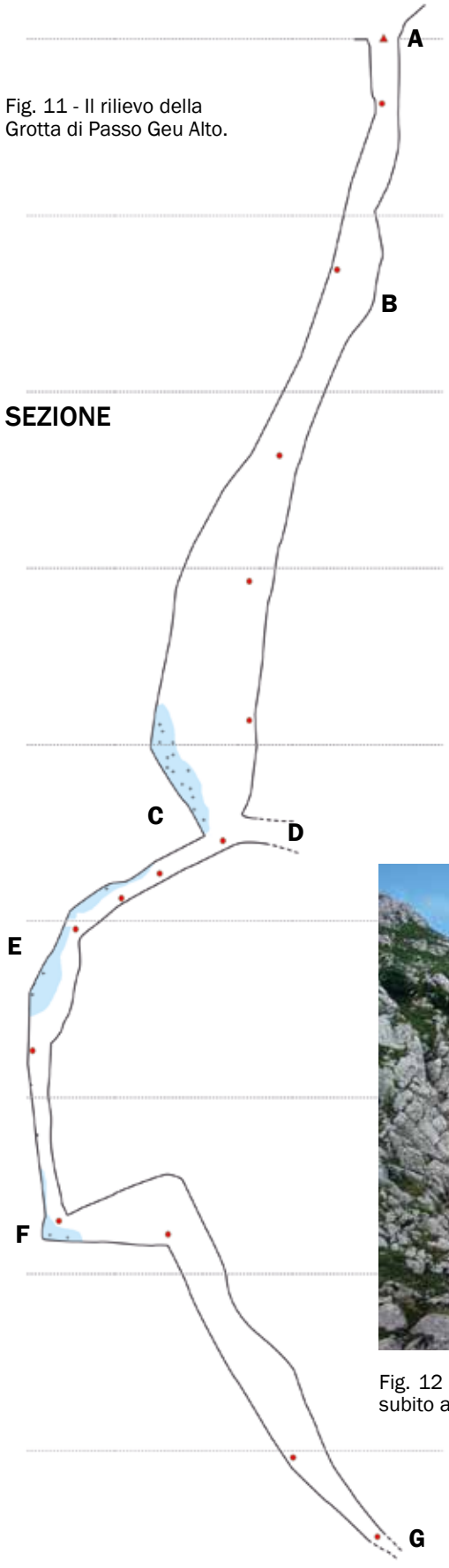


Fig. 11 - Il rilievo della Grotta di Passo Geu Alto.

Fig. 12 - L'area dell'ingresso della cavità (pallino rosso), subito a valle di Passo Geu Alto (foto P. Capisani).

Nel 2005 il primo tentativo di esplorazione di questa grotta da parte dei soci della sezione CAI di Forni Avoltri si ferma ad una profondità di 20 m, dove il pozzo risultò completamente ostruito da neve e ghiaccio.

Durante la visita del 2011 il ghiaccio occupava gran parte della cavità fra i -40 m ed il fondo. La consistenza era tale da consentire la discesa utilizzando chiodi da ghiaccio e la documentazione fotografica (Figg. 2-4 e 6-9) permette di evidenziare questa situazione. Nel tratto finale (corrispondente al punto F-G del rilievo) è ancora presente un seppur ridotto deposito di ghiaccio (Fig. 8).

I depositi di ghiaccio sono comunque ancora piuttosto estesi, estremamente compatti e con evidenti segni di stratificazione (Fig. 9): lo stesso Daniele Del Fabbro conferma che in quelle esplorazioni la discesa fra B e E avveniva quasi del tutto "in un budello di ghiaccio", talmente compatto e resistente da poterci piantare i chiodi da ghiaccio per la progressione su corda.

Le esplorazioni del 2022 evidenziano la presenza di depositi glacio-nivali che risultano oramai in gran parte compromessi. La gran parte di ghiaccio fra i 40 ed i 50 m di profondità è risultata essere in parte "sciolta" e la massa ha perso del tutto la sua compattezza (si sgretola al semplice tocco con la mano) ed è in gran parte "staccata" dalla parete rocciosa. Nei tratti successivi si trovano deposti glacio-nivali solo in alcuni tratti (cfr rilievo di Fig. 11) e verso il fondo della cavità questi sono praticamente scomparsi (Figg. 13-14). Nelle esplorazioni del 2022 la temperatura interna, seppure di poco, era superiore agli 0° e la circolazione d'aria era piuttosto scarsa.

È evidente che il cambiamento climatico in atto ha agito pesantemente su questi depositi, tanto più a queste quote variazioni di pochi gradi spostano le condizioni ambientali dalla sopravvivenza allo scioglimento e questo è un processo che, oltretutto, si autoalimenta con l'acqua che, scorrendo fra roccia e massa ghiacciata, ne accelera scioglimento e distacco.

Come già evidenziato per la Cavità sotto le pareti del Pic Chiadenis (Mocchiutti et al., 2019), che pure si trova ad una quota di oltre 200 m superiore, in pochi anni questo processo sta portando, irreversibilmente, alla scomparsa di questi importanti testimoni del clima del passato ed è quindi fondamentale l'attività di documentazione di queste cavità che ancora conservano tracce di "criosfera", tanto che lo stesso Catasto Speleologico Regionale del Friuli Venezia Giulia ha lanciato

Fig. 13 - L'ingresso della Grotta di Passo Geu Alto (foto A. D'Andrea).

Fig. 14 - Il terrazzino al fondo della cavità, corrispondente al punto E del rilievo in Fig. 10. La frattura, orientata circa E-W, è stata discesa per alcuni metri ma poi diviene impraticabile (foto A. D'Andrea).

Fig. 15 - Il salto da 20 m attorno al punto E del rilievo. Si nota la presenza di un deposito glacionivale oramai notevolmente ridotto rispetto a dieci anni prima (si confronti con le Figg. 3 e 4; foto A. D'Andrea).

un progetto in tal senso (*CryoKarst FVG - Cryosphere in the Karstic environments of Friuli Venezia Giulia*, coordinato da R.R. Colucci) e aperto una sezione dedicata nel portale del Catasto delle Grotte.

Ringraziamenti

Senza le segnalazioni, l'aiuto e la disponibilità di Daniele Del Fabbro queste esplorazioni, e le informazioni scientifiche che ne derivano, non sarebbero state possibili: a lui va un sentito ringraziamento, anche per le immagini che ha messo a disposizione e per il video a suo tempo realizzato (https://youtube/IiY5w09bwxk?si=zQQiK0rDD2GGiWBr).

Grazie a Giuseppe Muscio per le indicazioni geologiche e ai soci del Circolo che mi hanno accompagnato durante le esplorazioni in questa affascinante cavità.

Bibliografia

De Gasperi G.B., 1911 - Catalogo delle grotte e voragini del Friuli. *Mondo Sotterraneo*, 7 (1/2): 24-33; 7 (3/4): 64-78; 7 (5/6): 104-117.

De Gasperi G.B., 1916 - Grotte e voragini del Friuli. *Memorie Geografiche (di Giotto Dainelli)* e *Mondo Sotterraneo*, 11: 220 pp.

Mocchiutti A., Finocchiaro F. & Muscio G., 2019 - Cavità sotto le pareti del Pic Chiadenis (Fr 2714): un laboratorio sotterraneo naturale. *Gortania. Geologia, Paleontologia, Paletnologia*, 40: 57-74.

Venturini C., 2006 - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 031, Ampezzo*. Roma: Apat, Servizio Geologico d'Italia, 232 pp. + carta geologica.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 67-80.

Giuseppe A. Moro, Giuseppe Muscio

Nuove ricerche speleologiche nell'area carsica del Monte Coglians

Riassunto - L'area carsica del Monte Coglians (Alpi Carniche) si sviluppa a carico dei calcari devoniani, cui si sovrappongono i depositi pelitici del Carbonifero. L'assetto tettonico dell'area, condizionato da due distinte fasi orogenetiche, e il successivo modellamento, porta i livelli carboniferi a sovrapporsi ai calcari alle quote inferiori. Il fenomeno carsico ipogeo è poco conosciuto, caratterizzato dalla presenza di una sola cavità di sviluppo significativo, l'Abisso Marinelli (1314/550 Fr), ma a questa zona fa capo il bacino idrico sotterraneo che alimenta il Fontanon di Timau. L'area è stata esplorata dal CSIF negli anni '60-'70 del secolo scorso e le ricerche sono riprese in questi ultimi anni.
Parole chiave: Alpi Carniche, Abisso Marinelli, Devoniano.

Abstract - The karst area of Monte Coglians (Carnic Alps, NE Italy) develops against the Devonian limestone, which overlaps the pelagic deposits of the Carboniferous. The tectonic structure of the area, conditioned by two distinct orogenic phases, and the subsequent modeling, brings the carboniferous levels to overlap the limestones at the lower altitudes. The hypogeum karstic phenomenon is little known, characterized by the presence of a single cavity of significant development, the Abisso Marinelli (1314/550 Fr), but in this area lies the underground reservoir that feeds the Fontanon di Timau. The area was explored by CSIF in the 60s and 70s of the last century and, tahen in the last years.
Keywords: Carnic Alps, Abisso Marinelli, Devonian.

Premessa

Fra la fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta del secolo scorso, il CSIF ha compiuto una serie di campagne di ricerca nell'area del Monte Coglians, avendone subito individuato la grande potenzialità (Moro, 1969, 1971a, 1971b).

In passato solo Gortani (1912) aveva descritto alcune piccole cavità nella zona di Monumenz, riportate anche da De Gasperi (1916), ma nonostante l'enorme diffusione di calcari l'area è stata considerata di interesse secondario dal punto di vista speleologico, probabilmente per l'assetto della zona: il dominio delle pareti verticali a discapito di aree di "altopiano". Le zone a bassa pendenza sono limitate a quelle poste sul Costone Stella a ovest e della Chialderate e di Monumenz a est. Queste sono le zone dove si sono concentrate le ricerche del CSIF che, in occasio-

ne delle campagne sopra citate, avevano consentito la scoperta e l'esplorazione di una ventina di cavità, la maggiore delle quali è l'Abisso Marinelli (Fr 550) con i suoi 145 m di profondità.

Fra le metà degli anni '70 e l'inizio degli anni 2000 l'attività speleologica in zona è stata di minore intensità e svolta da altre associazioni regionali, ma l'interesse da parte del sodalizio udinese si è orientato nuovamente su quest'area carsica, motivato dall'interesse per la delimitazione del bacino idrogeologico della sorgente del Fontanon di Timau.

Geologia dell'area

Il massiccio del Monte Coglians rappresenta non solo la cima più elevata delle Alpi Friulane, ma è anche il più significativo nucleo della catena alpina paleozoica. In generale l'area è costituita da calcari devoniani coperti dai successivi depositi carboniferi del Flysch dell'Hochwipfel: semplificando la situazione è come trovarsi di fronte ad una grande piega anticlinalica con al nucleo i resistenti calcari devoniani e ai fianchi i più erodibili depositi carboniferi che li ricoprono ma che sono stati, in parte, asportati dall'erosione. La situazione è in realtà molto più complessa anche a causa dell'azione di due distinte fasi orogenetiche: quella varisica e quella alpina.

Entrando nel dettaglio della successione stratigrafica (vedi Fig. 1), al di sopra dei più antichi livelli ordoviciani (Uq) e siluriani (Si) affioranti nel versante austriaco, inizia la sequenza del Devoniano, a partire dai livelli di mare basso del Devoniano inferiore (calcari dolomitici D1 e calcari rossi D2), cui si sovrappongono oltre 1000 metri di calcari di piattaforma, testimoni di un vasto apparato di scogliera organogena sviluppatosi per oltre 30 milioni di anni (calcari massicci, con alghe, amfipore, coralli, D4 del Devoniano inferiore e medio). A fianco dell'apparato di scogliera si depositavano coevi calcari di transizione (calcareniti e calcari, D3a e b), mentre con la fine del Devoniano, la scogliera cessa la sua esistenza a causa delle variazioni ambientali e climatiche, così un fase di mare aperto torna a dominare nell'area (calcari a climenie del Devoniano superire, D5).

Un ridotto spessore di radiolari e peliti (Formazione di Zollner, Zo) segna il passaggio fra Devoniano e Carbonifero. Il Carbonifero inferiore è marcato dalle Formazioni di Hochwipfel (Hw) e Dimon (Di), potenti fino ad oltre 1000 m e dominate da depositi terrigeni (arenarie, siltiti e peliti, con anche livelli vulcanici sottomarini (nel Dimon). Con il Carbonifero superiore l'area emerge completamente e si forma la Catena Paleocarnica.

Questa successione è quella proposta nella carta geologica in Fig, 1, alla scala 1:20.000 (Venturini, 2006): studi più recenti hanno consentito di armonizzare le

Fig. 1 - Carta geologica dell'area (da Venturini, 2006). Nei colori verdi i termini devoniani, in quelli ocra quelli carboniferi (per le legenda si veda nel testo). I pallini rossi indicano le posizioni di alkcune delle cavità citate nel testo.

M. COGLIANS
CRETA DELLE CHIANEVATE
KUNZKOPFE
EISKARKOPF
GABE
CRESTA VERDE
FORC. MONUMENZ
Fr 706
Fr 550
Nuova
Fr 1846
PIC CHIADIN
C.ra PLOTTA
C.ra Monumenz
FORC. MORARETO
M. FLORIZ
PIANO DEI BUOI
C.ra Floriz alta
C.ra Floriz bassa
FORC. PLUMBS

successioni definite nei versanti italiano ed austriaco e a definirle con maggiore dettaglio.

L'assetto tettonico è dominato, quindi, dai lineamenti alpini e da quelli più antichi (varisici) in parte riattivati dalla più recente orogenesi alpina. Gli orientamenti sono prevalentemente NW-SE, E-W e N-S.

Alla descritta alternanza di rocce che affiorano nell'area esaminata e alle condizioni strutturali corrisponde, di conseguenza, una notevole diversità di forme con i calcari massici che danno origine a morfologie piuttosto aspre e pareti verticali mentre i depositi carboniferi, molto più erodibili, costituiscono cime "arrotondate" e conche più dolci.

A queste caratteristiche intrinseche si uniscono gli effetti dell'attività glaciale che ha modellato anche le aree carbonatiche (quando l'assetto e la tettonica lo ha consentito, come nella zona in esame), scavando ampi canaloni (Chianevate, dove è conservata anche una significativa morena laterale), lasciando significativi depositi o conche che ospitano piccoli specchi d'acqua (Laghetto Plotta).

Gli affioramenti calcarei, ove l'assetto lo permette, sono intensamente carsificati con forme superficiali, in particolare solchi, ma anche vaschette, pozzi ecc. Le grotte sono però relativamente poche e poco profonde, in conseguenza della situazione dell'idrologia superficiale con il flysch dell'Hochwipfel che funge da substrato impermeabile, ed è proprio al contatto fra calcari e peliti che avvengono gli assorbimenti più importanti.

Fig. 2 - I calcari devoniani ove si aprono l'Abisso Marinelli e alcune altre cavità (foto A. D'Andrea).

Ricerche del CSIF dopo il 2000

L'attività del CSIF è ripresa a rilento negli anni 2000, inizialmente con semplici sopralluoghi finalizzati a ritrovare gli ingressi delle cavità esplorate dal Circolo. Constatato che diverse posizioni calcolate col metodo della triangolazione con bussola negli anni '60 risultavano errate, ci si è dovuti avvalere dei ricordi di chi aveva svolto l'attività allora, prevalentemente di Renzo Moro. L'attività esplorativa è stata sostanzialmente assente fino al 2023, se si eccettua la scoperta e rilievo della Grotta 76 (7623/4610 FR). Questa modesta cavità si apre sopra la conca della Malga Collinetta di Sopra, alle pendici della Creta di Collina. Si riporta qui il rilievo eseguito nell'ottobre 2011 e depositato presso il Catasto Speleologico Regionale ma mai pubblicato in precedenza (Fig. 3). Di grande importanza è stato il contributo fornito dal Circolo alla conoscenza dell'idrogeologia del Fontanon di Timau, grazie all'esecuzione di un tracciamento che ha consentito di dimostrare la connessione, ipotizzata già degli anni '60, fra l'inghiottitoio dell'Acqua Nera e la sorgente nei pressi di Timau (Mocchiutti & Muscio, 2013).

Nel corso degli ultimi anni la cavità più visitata è stata l'Abisso Marinelli (1314/550 FR), che conserva tutt'ora il primato di cavità più profonda nota nel massiccio, con il dislivello di 145 m misurato nel 1969. Sfortunatamente in questa grotta non è stato possibile raggiungere il fondo a causa di un'ostruzione da detriti localizzata a circa 40 m sotto l'ingresso (Figg. 4 e 5). Solo Ida Cossettini è riuscita, in un'occasione, a superare un passaggio selettivo fra i massi e a vedere la

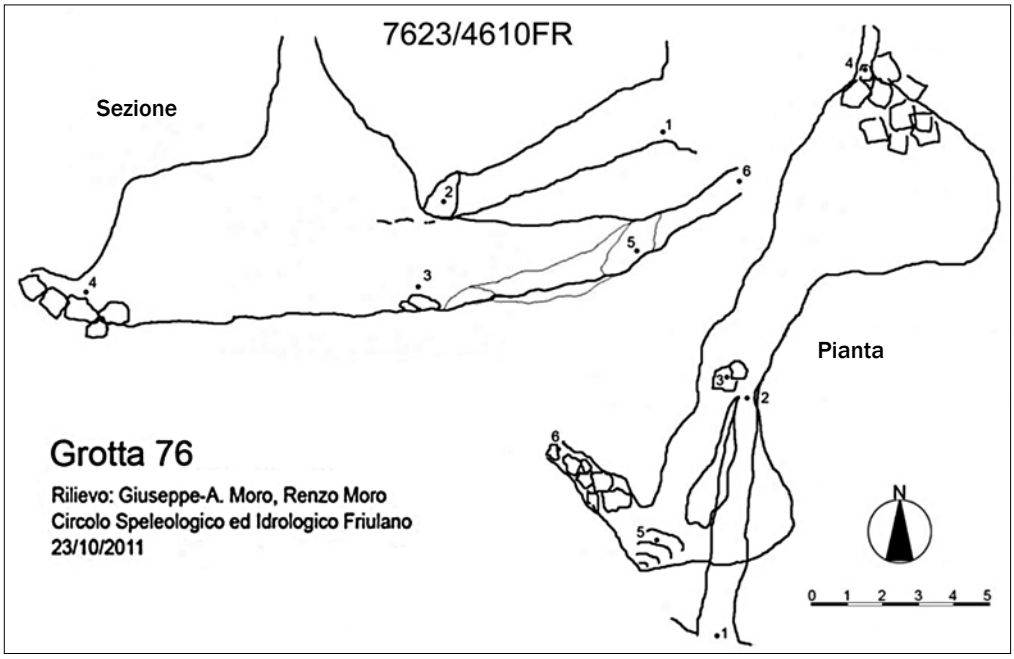


Fig. 3 - Rilievo della Grotta 76.

Fig. 4 - Il pozzo iniziale dell'Abisso Marinelli è chiaramente verticale mentre nel tratto successivo la cavità si sviluppa lungo un piano fortemente inclinato. Si nota come i calcari devoniani, in affioramento chiari a causa dell'alterazione, sono in realtà scuri, quasi neri (2019, foto A. D'Andrea).

Fig. 5 - L'ostruzione presente a circa 40 m di profondità (2019, foto A. D'Andrea).

Fig. 6 - La squadra ferma all'altezza dell'ostruzione, in quell'anno priva di neve (2022, foto A. D'Andrea).

prosecuzione dell'abisso che, in base a quanto ha riferito, è molto più complesso rispetto alla rappresentazione del rilievo effettuato nel 1969. Tentativi di ritornare a superare l'ostruzione di detriti sono risultati in seguito infruttuosi, dato che nel 2022 è stata constata la scomparsa del passaggio precedentemente utilizzato, a causa di ulteriori crolli (Fig. 6). Una rapida azione di disostruzione ha portato a riaprire l'angusta finestra fra i massi, ma in un contesto talmente instabile da sconsigliare di avventurarsi oltre di essa prima di un adeguato periodo di assestamento.

Nello stesso periodo è stato sceso il Pozzo presso l'Abisso Marinelli (3457/1846 FR), cavità rilevata da speleologi del G.S. San Giusto nel 1980, che in quell'occasione chiudeva su un deposito di neve, con profondità di 6,5 m riportata nella scheda catastale. Nel 2019, in assenza del deposito di neve venne raggiunta la sala interna della cavità, a 21 m di profondità e individuata una stretta fessura che consentiva il collegamento a voce con il salto iniziale dell'Abisso Marinelli (Fig. 9). Il rilievo di questa cavità, che inizialmente era stata ritenuta nuova, è stato eseguito nel 2020, ma la perdita dei dati ha imposto di ripetere l'operazione nel 2023.

Come le altre cavità della zona anche il Pozzo Presso l'Abisso Marinelli è impostato su una frattura con orientamento approssimativamente N-S, ampliata da processi carsici ma fortemente modificata da crolli, che creano spessi depositi di detriti, trattenuti da massi incastrati fra le pareti nei punti meno ampi. Il basso salto di ingresso (di profondità effettiva pari a 6,5 m ma senza neve) porta infatti su un pavimento detritico che verso nord costituisce di fatto il soffitto del vano sottostante. Passando sotto l'imbocco superiore della cavità, correttamente localizzato nel rilievo del 1980, si raggiunge un restringimento che risultava quasi completamente ostruito da massi durante la prima visita del 2019. L'accesso ai vani sottostanti è stato possibile spostando alcune pietre e aprendo così un passaggio scomodo ma non selettivo, che consente di scendere per ulteriori 4 metri fino a una china detritica, testimone dell'ennesima serie di crolli, che conduce a una piccola sala a nord dell'ingresso principale della cavità. Questa sala, la cui parete occidentale è evidentemente impostata su una frattura, ha il pavimento ingombro di massi. Una fessura impostata sulla frattura che individua la parete della sala, parzialmente allargata da erosione, prosegue verso nord raggiungendo l'Abisso Marinelli. Il collegamento a voce non è stato seguito dal passaggio di speleologi poiché non è stato trovato un punto sufficientemente largo.

La campagna 2023

Grazie alla possibilità di raggiungere in auto il pianoro detto delle Pozze di Plotta, che si estende subito a est della Forcella Morarêt (e dunque del Rifugio Marinelli), ed al supporto di speleologi di altri gruppi regionali, l'attività in quota è ripresa nel corso dell'estate. Lavorare nella stagione calda ha permesso osservazioni e scoperte altrimenti non possibili. Vale la pena di ricordare che le esplorazioni di fine anni '60 erano avvenute spesso a fine settembre e inizio ottobre e nei

resoconti dell'epoca non viene mai fatto accenno alla circolazione dell'aria nelle cavità esplorate.

Nel corso della prima uscita, effettuata il 9 luglio 2023, sono stati visitati gli ingressi della Voragine 2° sopra l'Acqua Nera (1762/706FR), dell'Abisso Marinelli e del Pozzo Presso l'Abisso Marinelli. Nella stessa giornata è stata effettuata una battuta di zona in tutto il settore compreso fra la Cjalderate e la parte occidentale delle balze calcaree dei Monumenz. In questa occasione la Voragine 2° Sopra l'Acqua Nera risultava ostruita, poco sotto l'imbocco, da un deposito di neve.

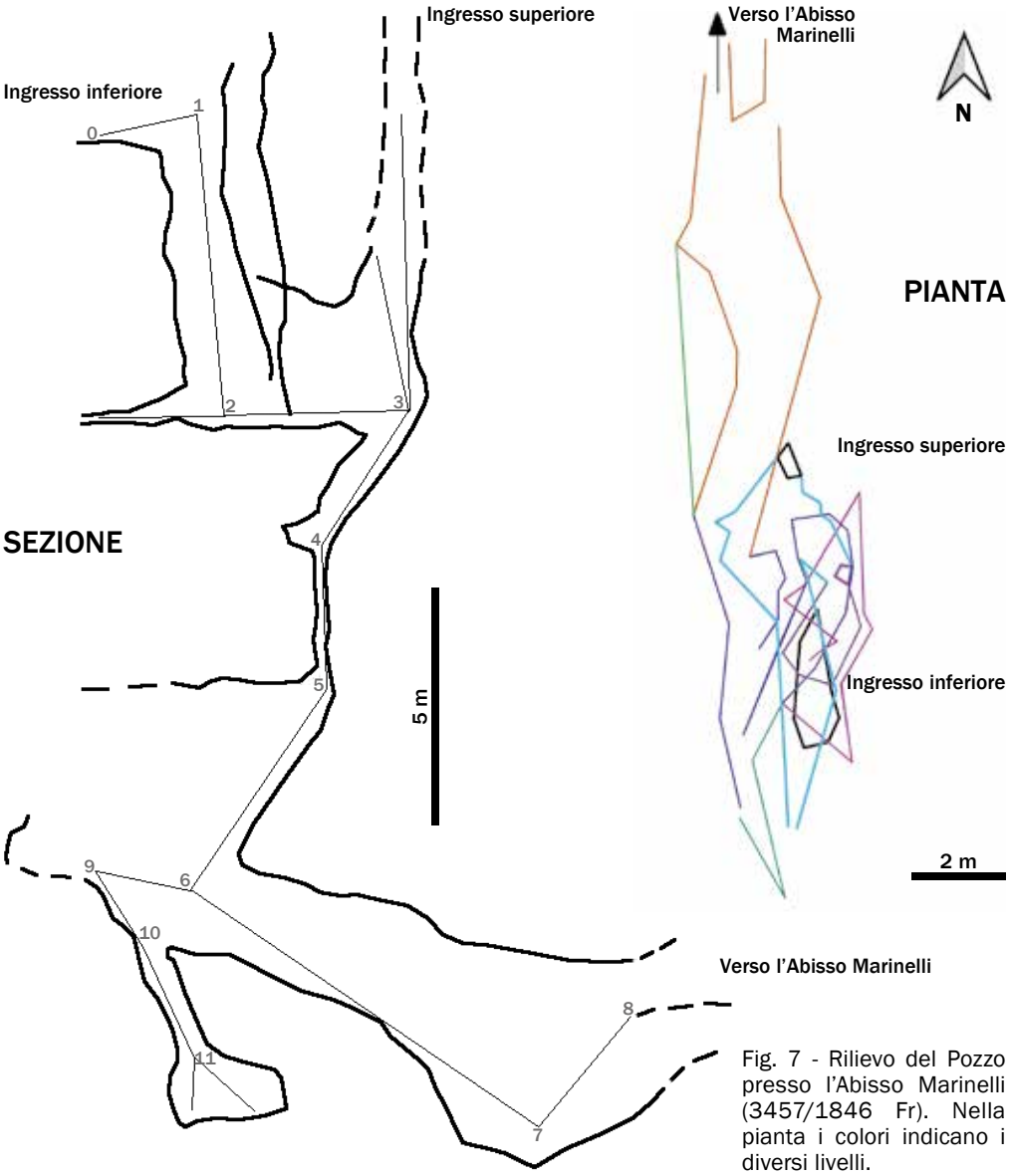


Fig. 7 - Rilievo del Pozzo presso l'Abisso Marinelli (3457/1846 Fr). Nella pianta i colori indicano i diversi livelli.

La battuta di zona si è rivelata particolarmente fruttuosa soprattutto grazie all'intuizione di Rocco Romano (Commissione Grotte Eugenio Boegan) che ha verificato diversi potenziali ingressi, considerati privi di interesse in passato. Grazie alle condizioni termiche estive, in alcuni casi è stata rilevata una chiara corrente d'aria fredda in uscita da passaggi più o meno angusti, cambiando completamente la prospettiva e le ipotesi fatte in passato riguardo a questa zona. Il fatto che la circolazione di aria estiva sia compatibile con degli ingressi meteo bassi, a una quota superiore a 2000 m (oltre 1100 m sopra la sorgente del Fontanon di Timau) era quanto meno inatteso.

Fra gli ingressi potenziali ha particolare interesse quello che si trova a pochi metri di distanza dal Pozzo Presso l'Abisso Marinelli e una ventina di metri sotto l'Abisso. Questo ingresso, che è stato denominato provvisoriamente "La Grotta Nuova", presenta una chiara circolazione dell'aria ed è stato oggetto di esplorazione nel corso di tre uscite estive, cui hanno partecipato speleologi del CSIF, della CGEB e del GS Bertarelli.

La Grotta Nuova si apre a 2081 m slm, meno di 20 m a S dell'Abisso Marinelli e ad appena 7 m dal Pozzo Presso l'Abisso Marinelli. La cavità si sviluppa lungo una frattura con una inclinazione di 45 gradi. L'ingresso è costituito da uno stretto passaggio sul fianco di un'incipiente voragine ostruita da massi. A questo segue un primo salto di 10 metri, che conduce ad una condotta discendente intervallata da 3 ripiani di cui il terzo aggetta su un ulteriore salto di 20 m. La base di questo pozzo è ostruita da massi, ma è stato comunque possibile accedere ad un vano

Fig. 8 - Avvicinamento durante la spedizione del 2023 (foto A. D'Andrea).

Fig. 9 - Il pozzo d'accesso dell'Abisso Marinelli. Si nota, sulla destra, come questo si sviluppi nei calcari brecciati del Devoniano (2023, foto I. Cossettini).

Fig. 10 - Discesa lungo la "Galleria discendente" che si incontra circa a -50 m nella Grotta Nuova. Il suo andamento è chiaramente condizionato da una frattura (2023, foto I. Cossettini).

Fig. 11 - Verso la fine della "Galleria discendente" nella Grotta Nuova (2023, foto I. Cossettini).

sottostante, da cui si diparte una galleria discendente (Figg. 10 e 11), con inclinazione di circa 45 gradi, percorribile in arrampicata e che conduce ad un salto di 15 m. Da questo punto, dopo un'opera di disostruzione, è stata percorsa una frattura orizzontale che conduce ad una cavernetta e quindi a un pozzo di 50 m. A 10 metri dal fondo di questo, una diramazione conduce tramite una arrampicata di 4 metri e successivo scivolo di 5 m a una fessura da cui fuoriusciva una sensibile corrente d'aria, purtroppo impraticabile. L'unica possibile via di prosecuzione individuata si trova circa 10-15 m sopra la fessura sopra citata. Nel punto più basso raggiunto, un'ostruzione di detriti non dà adito a prosecuzioni.

Difficoltà legate al funzionamento delle apparecchiature per il rilievo digitale hanno impedito di ottenere una misura accurata delle dimensioni della Grotta Nuova, ma le stime di dislivello effettuate usando altimetri tarati all'ingresso sono pari a circa 120 m, rendendo al momento la cavità la seconda per dislivello complessivo dopo l'Abisso Marinelli, ma con punto più basso raggiunto equivalente per quota a quello di quest'ultimo.

Nell'Abisso Marinelli è stato verificato che i timori di ulteriori crolli erano fondati. Tornati al deposito di detriti si è presentata una situazione piuttosto diversa rispetto a quella del 2022, con un allargamento del passaggio chiave, accompagnato però dal crollo di altri massi e una situazione di generale instabilità che ha sconsigliato di procedere oltre senza disporre di adeguati mezzi per tentare di mettere in sicurezza il passaggio. Non è stato dunque possibile riesplorare la porzione di cavità posta oltre i 40 m di profondità dall'imbocco. Il fatto che il punto più basso della Grotta Nuova e quello dell'Abisso Marinelli siano entrambi caratterizzati da un'ostruzione di detriti, oltre che localizzati alla medesima quota in base alle stime effettuate al momento, fa ritenere che vi siano ragioni geologiche che determinano la presenza di una sorte di "orizzonte critico", se non altro per l'accessibilità da parte degli speleologi.

Con due uscite dedicate alla Voragine 2° Sopra l'Acqua Nera invece è stato finalmente raggiunto l'estremo limite esplorativo del 21 settembre 1969. All'epoca solo Renzo Moro era sceso nel pozzo interno, difeso da tre strettoie, riportando l'impressione che la cavità potesse proseguire oltre quel limite, pur non facendo alcun riferimento a una corrente d'aria, facilmente percepibile nell'estate 2023. Il 29 luglio 2023 il cumulo di neve trovato in precedenza era scomparso ed il 27 agosto, con un breve lavoro di scavo fra i massi, Lorenzo Scaini (GS Bertarelli) e Giuseppe A. Moro (CSIF) hanno potuto verificare l'eventuale prosecuzione verticale subito sotto l'ingresso, raggiungendo quello che sembra il vero e proprio pavimento in roccia della cavità, mentre Scaini superava la prima delle strettoie interne.

Nel corso dell'uscita del 10 settembre tutte tre le strettoie sono state disostruite e messe in sicurezza, con particolare cautela considerando che in tutta la cavità si trovano massi incastrati sospesi, tappi di detrito pensili e pareti fortemente fratturate. Finalmente sono giunti al fondo del 1969 Adriano Balzarelli (CGEB),

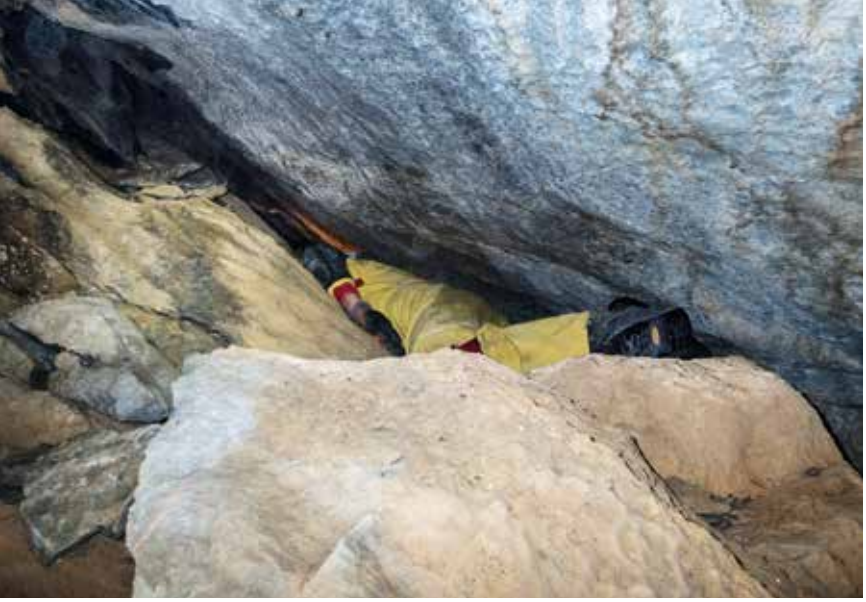


Fig. 12 - Lo stretto passaggio in fessura che conduce all'ultimo pozzo nella 706 Fr (foto A. D'Andrea).

Fig. 13 - La discesa lungo l'ultimo pozzo della 706 Fr (foto A. D'Andrea).

Fig. 14 - Il fondo dell'ultimo pozzo della 706 Fr (foto A. D'Andrea).

Giuseppe A. Moro e Adalberto D'Andrea (CSIF). La cavità ha l'andamento descritto nel rilievo originale, ma nel corso della visita 2023 sono state fatte alcune constatazioni interessanti. Innanzitutto, la circolazione dell'aria in uscita è evidente, confermando che si tratta di un ingresso meteo basso, giustificando anche l'ostruzione di neve osservata a inizio luglio. Abbiamo appurato che la "galleria" inferiore sotto il pozzo interno, che presenta belle morfologie di erosione, non è interessata da circolazione d'aria e sembra terminare effettivamente col restringimento indicato in rilievo. Di particolare interesse è il fatto che, mentre la cavità sembra inizialmente una semplice frattura ampliata da crolli ed erosione parziale sulle pareti (Fig. 12), esaminando l'interno ed aggirando i massi e i detriti che mascherano la vera morfologia della grotta, si individua chiaramente una doccia in calcare, che scende a balzi al fondo di una gola (Figg. 13 e 14), con alcune piccole marmitte e lame che sembrano suggerire antichi livelli di scorrimento. La corrente d'aria che si percepisce nella cavità esce da una prosecuzione "alta" che si diparte a pochi metri dal fondo del pozzo interno, apparentemente sempre con direzione NNE. Questa, tuttavia, non è stata raggiunta.

L'arrivo della prima nevicata ha imposto di ritirarsi dalla zona, lasciando comunque sul posto il materiale necessario ad attrezzare la cavità nel 2024, quando dovrà essere eseguito anche un nuovo rilievo topografico. Sebbene coloro che sono scesi nel 2023 abbiano avuto la sensazione che il dislivello coperto dal pozzo interno sia sovrastimato, un altimetro tarato all'ingresso ha confermato che il dislivello totale percorso finora sia probabilmente pari ai 50 m riportati nella scheda catastale.

Due uscite hanno riguardato un ingresso localizzato poco a monte dell'Abisso Marinelli, cui non è ancora stato attribuito un nome, che risultava mascherato da un accumulo di massi. La copertura non ha ingannato però Romano, che ha intuito la presenza di un pozzo. Dopo un lavoro di disostruzione, reso "emozionante" dall'instabilità del cumulo di pietre, è stato aperto un varco sufficiente perché Cossettini riuscisse a passare e a constatare che anche questo ingresso porta a dei vuoti orientati da S verso N, che proseguono con andamento tendenzialmente verticale e con presenza di numerosi massi e depositi di detrito che rendono la progressione poco sicura.

Durante una delle uscite è stato risalito il solco generato dall'evidente struttura tettonica lungo cui sono disposte (e orientate) la Grotta Nuova, il Pozzo presso l'Abisso Marinelli e l'Abisso Marinelli stesso. Questa struttura è ben identificabile lungo l'intero versante della Creta dei Monumenz. Sfortunatamente le aperture che sembrano essere presenti nella parte inferiore del versante non sono altro che scavernamenti prodotti da crollo o ampie fessure, completamente intasate da detriti a pochi metri dalla superficie. Come in altri punti della zona sono frequentissime delle belle vene di cristalli di calcite e compaiono frequentemente incrostazioni di azzurrite.

Conclusioni

I nuovi dati acquisiti hanno modificato la conoscenza di questo settore del gruppo Coglians-Cjanevate. Innanzitutto, per quanto riguarda la circolazione dell'aria, che sembra suggerire la mancanza di ingressi più bassi. Percorrendo tutta la zona fra il piede delle rocce fra i Monumenz e la Chialderate e il fondovalle si è notato che nelle zone dove affiorano i calcari ogni apertura sembra completamente intasata da suolo o residui dei depositi morenici di fondo.

La circolazione osservata porta a fare delle ipotesi sulla presenza di aperture a quota superiore, ovvero nei circa 400 m di dislivello che separano l'area di ricerca dalla sommità della Creta dei Monumenz (2499 m slm), sebbene sia evidente che la circolazione possa avvenire attraverso un gran numero di fessure non transitabili per l'uomo. L'area continua, infatti, a rivelarsi avara di accessi, sebbene sia evidente che tutta l'acqua delle precipitazioni e della fusione della neve non percorre mai più di pochi metri in superficie. In generale la roccia appare molto fratturata, rendendo instabili quasi dovunque le pareti delle cavità esplorate, dove i crolli rendono difficile o impossibile la progressione verso una quota dove si suppone possano trovarsi dei collettori e, dunque, cavità più ampie. Rimane tuttavia aperta la possibilità che il torrente dell'Acqua Nera abbia avuto la capacità di creare gallerie di sezione rilevante, in particolare quando la conca della Chialderate ha raccolto le acque di fusione del ghiacciaio ormai scomparso.

Ogni ipotesi finora fatta richiede ulteriori attività esplorative e dunque indirizza l'attività futura nella zona carsica del Coglians.

Partecipanti all'attività del 2023

Ida Cossettini, Adalberto D'Andrea, Christian Simonetti, Piero Cristin, David Daici, Lorenzo Della Siega, Giuseppe A. Moro (CSIF), Rocco Romano, Adriano Balzarelli, Spartaco Savio (CGEB), Lorenzo Scaini (GS Bertarelli).

Bibliografia

De Gasperi G.B., 1916 - Grotte e voragini del Friuli. *Memorie Geografiche (di Giotto Dainelli)* e *Mondo Sotterraneo,* 11: 220 pp.

Gortani M., 1912 - Appunti su alcune grotte e voragini della Carnia. *Mondo Sotterraneo*, 8 (5-6): 117-119.

Mocchiutti A., & Muscio G. (eds), 2013 - *Il Fontanon di Timau. Il misterioso viaggio dell'acqua*. Secab e Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, 108 pp.

[Moro R.], 1969 - Campagna estiva 1968 sul Monte Coglians. *Mondo Sotterraneo,* n.u. 1968-1969: 5-13.

[Moro R.], 1971a - Campagna speleologica 1969-70 sul Monte Coglians. *Mondo Sotterraneo,* n.u. 1970: 9-27.

[Moro R.], 1971b - Campagna speleologica 1971 in Alta Carnia. *Mondo Sotterraneo,* n.u. 1971: 9-18.

Venturini C., 2006 - *Evoluzione geologica delle Alpi Carniche [con carta geologica delle Alpi Carniche in scala 1: 25.000]*. Pubbl. Mus. Friul. St. Nat., 48: 208 pp.+2 carte geologiche.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 81-98.

Mauro Chiesi[1], Francesco Murgia[1]

Influenza delle maree sul sistema carsico del Bue Marino (Cala Gonone, Sardegna)

Note preliminari sui parametri fisici rilevati (novembre 2023)

Riassunto - Il Bue Marino è il più esteso sistema carsico costiero del Mediterraneo sinora esplorato ed è considerato dai biologi come uno dei più importanti hot-spot di biodiversità di fauna sotterranea al mondo. Il progetto di ricerca della Società Speleologica Italiana intende indagare le interazioni tra oscillazioni di marea e i principali parametri chimico-fisici (variazioni di livello, temperatura e conducibilità elettrica) nelle parti allagate del sistema verificandone gli effetti sulla biodiversità dell'ecosistema ipogeo.
Queste note preliminari, relative alle osservazioni fisiche finora svolte, confermano una stretta correlazione tra cicli di marea e le oscillazioni cicliche dei parametri fisici di base rilevate ad oltre 2,6 Km di distanza dalla costa.
Parole chiave: Idrologia carsica, Monitoraggi fisici, Influenza delle maree.

Abstract - The Bue Marino is the most extensive coastal karst system in the Mediterranean so far explored and is considered by biologists as one of the most important biodiversity hot-spots of subterranean fauna in the world. The Italian Speleological Society' research project aims to investigate interactions between tidal fluctuations and main chemical and physical parameters (level variations, temperature and electrical conductivity) in the flooded parts of the system by verifying their effects on the biodiversity of the hypogean ecosystem.
These preliminary notes, related to the physical observations carried out so far, confirm a close correlation between tidal cycles and cyclic oscillations of basic physical parameters detected more than 2.6 km away from the coast.
Keywords: Karst hydrology, Physical monitoring, Tidal influence.

Premessa, scopo della ricerca

Il Bue Marino è il più esteso sistema carsico costiero del Mediterraneo sinora esplorato ed è considerato dai biologi come uno dei più importanti hot-spot di biodiversità di fauna sotterranea al mondo. I risultati di uno Studio di Incidenza Ambientale svolto recentemente in questa grotta hanno confermato l'unicità ecosistemica di questo complesso carsico e, più in generale, l'utilità di un approccio

1) Società Speleologica Italiana ETS

interdisciplinare, fisico e biologico, nello studio dell'ecologia sotterranea. L'obiettivo prioritario di questo progetto di ricerca speleologica è quello di stabilire eventuali interazioni tra le oscillazioni di marea e i principali parametri chimico-fisici (variazioni di livello, temperatura e conducibilità elettrica) registrati negli ambienti carsici allagati e di verificare i possibili effetti di tali oscillazioni sulla biodiversità dell'ecosistema ipogeo: dalle osservazioni sinora svolte, infatti, le maree sembrano essere il "motore" principale che regola le evoluzioni fisiche e biologiche nell'intero sistema carsico.

Le variazioni di livello idrico connesse alle oscillazioni di marea osservate nel sistema carsico del Bue Marino, che incidono su un contesto geomorfologico complesso e fortemente condizionato dai cicli climatici del Quaternario, producono effetti che si sovrappongono ai processi idrodinamici che, generalmente, regolano l'evoluzione dei sistemi carsici. Se si eccettuano le fasi parossistiche temporalmente brevi delle piene, le variazioni di livello connesse alle oscillazioni di marea impattano sui sistemi carsici costieri allagati con un'energia molto più intensa e prolungata rispetto a quella generata dalla normale circolazione idrica di tipo carsico: a riprova di ciò è sufficiente considerare che le variazioni di livello idrico di 30 centimetri che si registrano in fase di morbida e di magra negli acquiferi carsici della Sardegna centro - orientale si svolgono in un lasso temporale di 2000/2500 ore mentre le stesse variazioni di livello registrate al Bue Marino si susseguono ad ogni ciclo di marea, ovvero in circa 12 ore e ogni 12 ore. Per quanto sopra considerato, nei grafici che seguono si è scelto di utilizzare una scala dei tempi connessa ai cicli di marea e non ad altri riferimenti temporali.

La ricerca è stata condotta effettuando un'analisi comparata dei dati di monitoraggio acquisiti con il supporto di squadre di speleosubacquei che hanno svolto campionamenti in ambienti post-sifone distanti chilometri dagli ingressi a mare. I monitoraggi biologico ed ecosistemico, le cui risultanze sono in corso di elaborazione, consentiranno di meglio definire estensione e dinamica del complesso habitat di natura anchialina e di aggiungere, probabilmente, nuove specie a quelle finora conosciute.

Il progetto di ricerca è interamente finanziato dalla Società Speleologica Italiana ETS.

Parametro	Produttore	Modello	Risoluzione	Accuratezza
Temperatura	VanEssen	CTD Diver	0.01 °C	± 0.1
		Baro - Diver	0.01 °C	± 0.1
	STS	DNL 70	0.1 °C	± 0.5
	Gemini	TG-4100	0.01°C	0.5 °C tra 0 e +50 °C
Pressione	VanEssen	CTD Diver	0.2 cm H_2O	± 0.5
		Baro - Diver	0.1 cm H_2O	± 0.5
	STS	DNL 70	1 cm H_2O	± 2% sul fondo scala
Conducibilità elettrica	VanEssen	CTD Diver	0.1% della lettura (minimo 10 µS/cm)	± 1% della lettura (minimo10 µS/cm)
	STS	DNL 70	0.2% del fondo scala	± 2% del fondo scala

Tab. 1 - Specifiche della strumentazione utilizzata nel corso della ricerca.

Fig. 1 - Rilievo della Grotta del Bue Marino con localizzazione dei sensori di monitoraggio (da Hutňan & Fancello, 2013, modificato).

Dati Fisici

I dati fisici di temperatura (T), conducibilità (C) e livello (L) sono stati acquisiti in diversi periodi dell'anno, prevalentemente in condizioni di magra, in base alla disponibilità operativa delle squadre di speleologi e, in particolare, degli speleosubacquei coinvolti nel progetto. Il monitoraggio dei parametri chimico-fisici è stato svolto utilizzando la strumentazione elencata in Tab. 1.

Localizzazione delle stazioni di monitoraggio e campionamento

I monitoraggi sono stati eseguiti in tutti e tre i rami nei quali si distribuisce la grotta: le stazioni di rilevamento dei parametri fisici sono state collocate nel Lago Smeraldo e nel Lago Abissale del Ramo Nord, intorno ai punti di rilievo M19 e M27 del Ramo di Mezzo e nei punti RS1, RS2 e T10 del Ramo Sud (Fig. 1).

Analisi dei dati

Ramo di Mezzo (RdM)

Il Ramo di Mezzo (RdM) è stato indagato in due distinte occasioni regolando l'acquisizione automatica dei parametri di temperatura, conducibilità e livello idrico ad una registrazione ogni 5'; più in dettaglio:
Sito di monitoraggio M19 (a circa 1050 m dall'ingresso), dal 14 al 19 luglio 2023;
Sito di monitoraggio M27 (a circa 2600 m dall'ingresso), dal 15 al 16 ottobre 2023.

Per valutare l'influenza delle maree sui parametri di base acquisiti nelle zone allagate è stato allestito, preliminarmente, un sistema di monitoraggio che ha consentito di raffrontare le maree attese con le oscillazioni di livello che si sono susseguite nel

lago Smeraldo, direttamente connesso al Mar Tirreno, e nel Lago Abissale, elaborate in riferimento ai dati acquisiti da un barometro atmosferico. Come è evidente nel grafico di Fig. 2, le oscillazioni di livello registrate nei due siti di monitoraggio risultano tra loro sincrone e corrispondenti ai tempi di oscillazione delle maree attese.

Per quanto sopra, è quindi possibile utilizzare le misure di livello registrate nel Lago Abissale, meno influenzato dal moto ondoso rispetto al Lago Smeraldo, come riferimento per valutare le oscillazioni di livello acquisite nei diversi siti di monitoraggio.

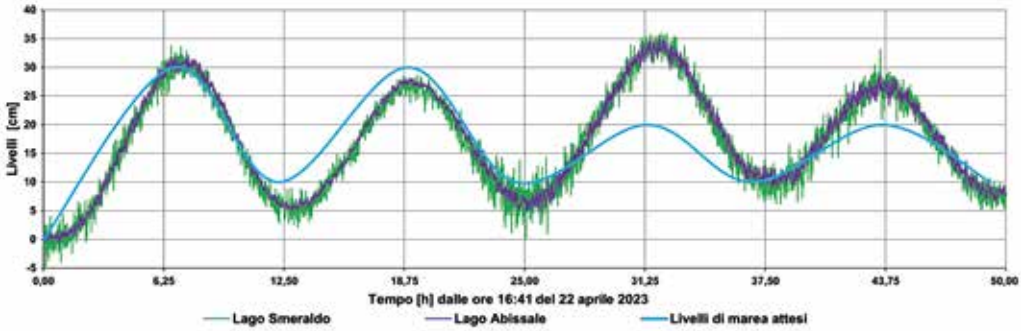


Fig. 2 - Confronto tra maree attese e oscillazioni di livello registrate al Lago Smeraldo e al Lago Abissale.

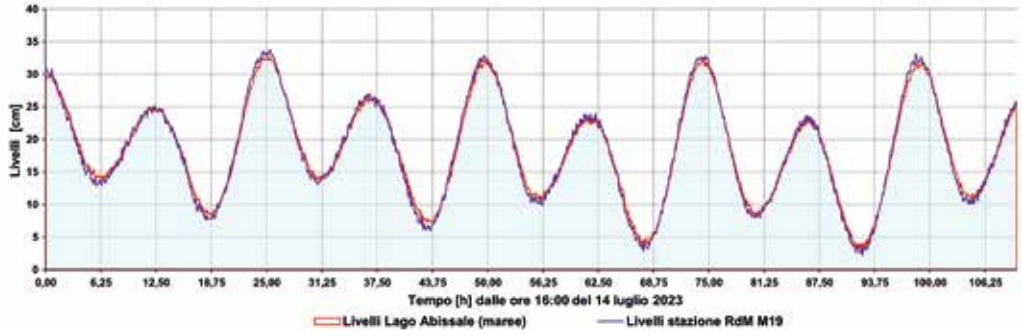


Fig. 3 - Confronto tra livelli nel Lago Abissale e nella stazione M19 in relazione a eventuali ritardi di marea.

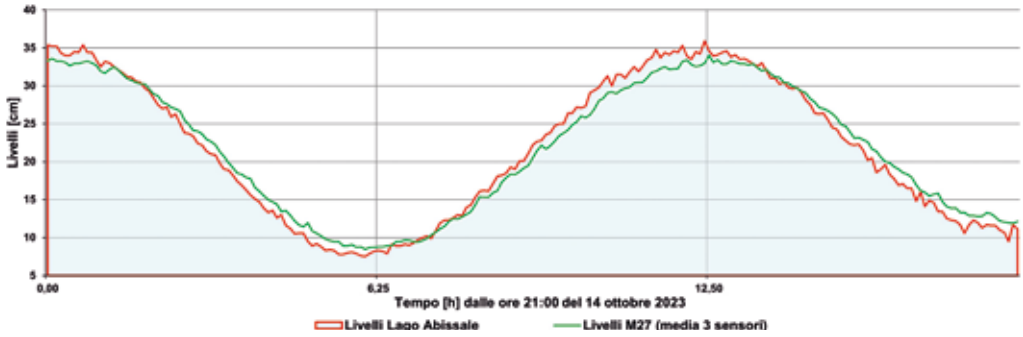


Fig. 4 - Confronto tra livelli nel Lago Abissale e nella stazione M27 in relazione a eventuali ritardi di marea.

Ritardi tra picchi di marea nelle diverse stazioni di monitoraggio

Nei grafici di Figg. 3 e 4 risulta evidente come le variazioni di livello registrate nei due siti di monitoraggio siano congruenti a quelle registrate nel Lago Abissale e, per quanto sopra considerato, alle oscillazioni di marea; considerata la posizione delle due stazioni rispetto a quella di riferimento nel Lago Abissale, i ritardi di marea osservabili potrebbero essere correlati alle distanze orizzontali (in direzione ovest) dalla stazione di riferimento a ciascuno dei siti di monitoraggio: nella stazione M27 (Fig. 4), in particolare, è rilevabile un ritardo stimabile tra 5' e 10' (compreso tra due successive misure strumentali).

Correlazioni livelli di marea - temperature: analisi sulle stazioni verticali

Alla stazione M19 sono stati posizionati due CTD Diver sulla stessa verticale, rispettivamente a -88,8 cm e a -130,9 cm di profondità dalla superficie. Le variazioni di temperatura (Fig. 5) non rivelano alcuna apparente correlazione con le fasi di marea, mentre è osservabile una lieve stratificazione della temperatura che risulta più elevata di circa 0,08°C nel rilevamento più profondo; inoltre, appare evidente la tendenza, registrata da entrambi i sensori, ad un generale leggero incremento termico in tutto il periodo di osservazione.

Nella stazione M27 sono stati posizionati quattro strumenti, tre CTD Diver e un STS, disposti sulla stessa verticale rispettivamente a -67, -103,6, -156,1 e -450 cm di profondità dalla superficie. Le oscillazioni delle misure registrate dai quattro strumenti (Fig. 6) mostrano tutte un'evidente correlazione con le fasi di marea e una notevole stratificazione termica che, in misura crescente dalla superficie verso il fondo, raggiunge i +3,2°C alla profondità di -450 cm. Inoltre, il sensore posto alla quota inferiore ha rilevato variazioni di T rapide e di notevole ampiezza (±2,1°C) che si susseguono impulsivamente e in un breve lasso di tempo. Tali variazioni, correlate con tutta evidenza alle oscillazioni di marea, sembrano manifestarsi leggermente sfasate rispetto a quelle relative ai livelli idrici: rispetto al culmine di marea, i decrementi di T sembrano iniziare con un anticipo di circa 2,5

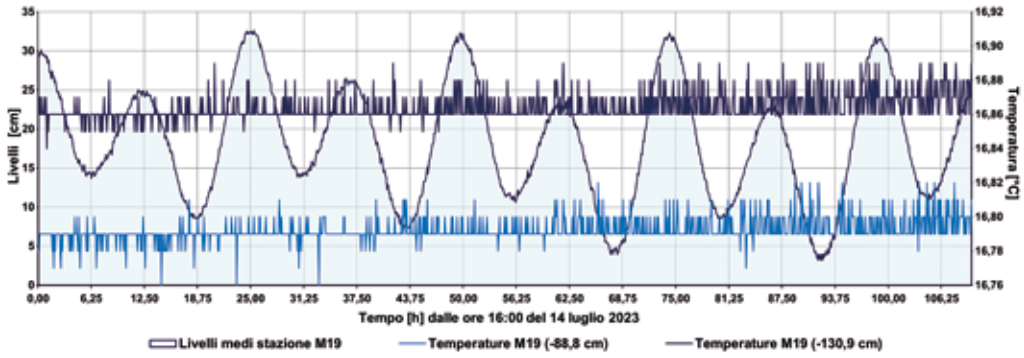


Fig. 5 - Confronto tra variazioni di temperatura e cicli di marea registrati nella stazione M19.

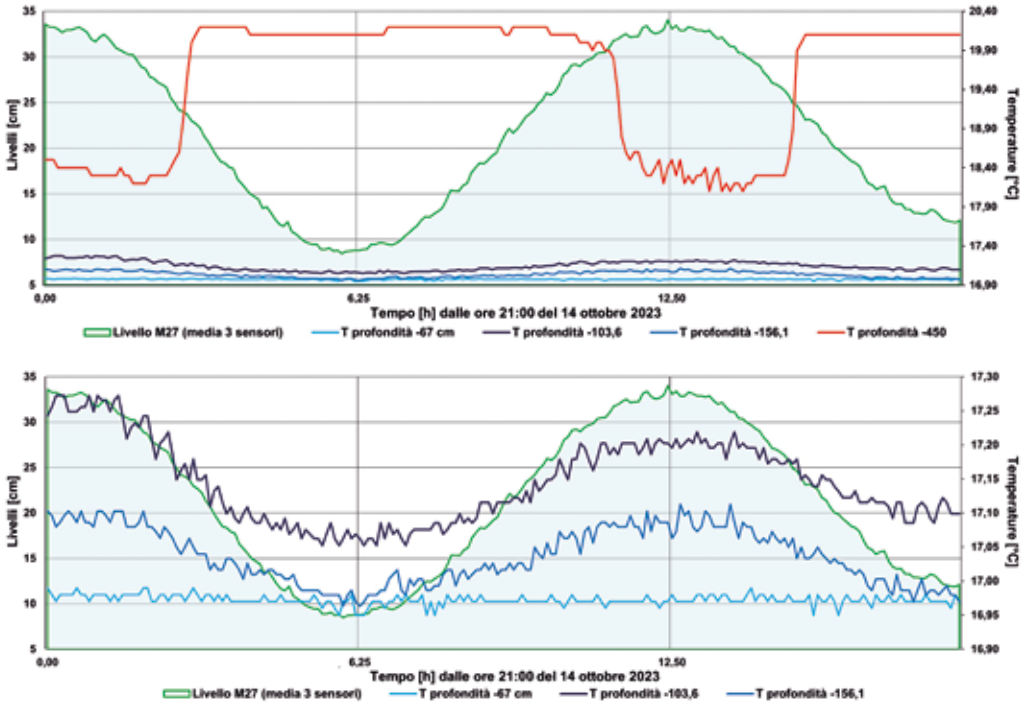


Fig. 6 - Confronto tra variazioni di temperatura e cicli di marea registrati nella stazione M27.

ore mentre la successiva fase di incremento degli stessi valori sembra iniziare con un ritardo di circa 3 ore e con un repentino incremento di 1,6 °C raggiunto in soli 15 minuti.

Correlazioni livelli di marea - temperature: analisi sulle stazioni orizzontali

In un intorno spaziale di circa 120 metri con centro nella stazione verticale M27 sono stati posizionati anche tre sensori di temperatura Gemini TG-4100, disposti tutti ad una profondità di circa 450 cm e a distanze variabili dalla stazione: a 80 metri verso valle e a 2 metri e 40 metri verso monte. L'analisi comparata di tutti i sensori di temperatura utilizzati è rappresentata in Fig. 7. Com'era nelle attese, il sensore Gemini più prossimo alla stazione verticale (+2m) ha rilevato le stesse ampie variazioni di T (~2°C) registrate dallo strumento STS posto alla profondità di -450 cm.

Gli andamenti delle variazioni di T registrati dagli altri due sensori (Fig. 8), anche se caratterizzati da differenziali di T praticamente uguali e valutabili intorno a 0,2 °C, risultano molto differenti in relazione ai rispettivi range di oscillazione: quello ubicato 80 metri a valle della stazione verticale ha registrato variazioni di T comprese tra 17,1 e 17,3°C mentre quello ubicato 40 metri a monte della stessa stazione ha registrato variazioni di T comprese tra 20,0 e 20,2°C. Il differenziale di T tra le due stazioni, distanti poco più di 100 metri, è quindi di circa 3°C.

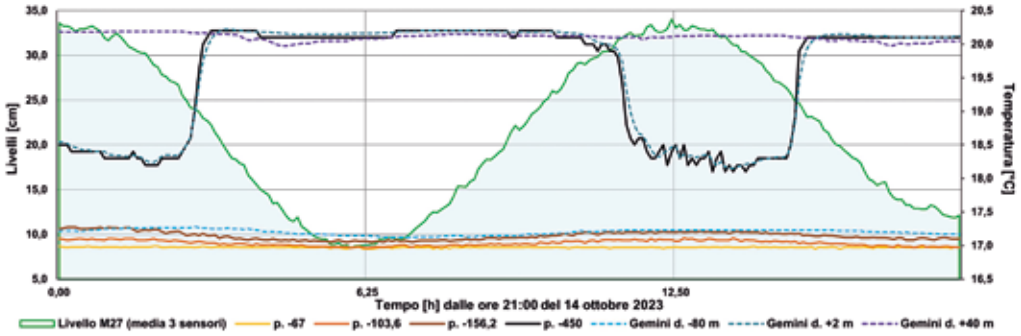


Fig. 7 - Confronto tra variazioni di temperatura e cicli di marea registrati nell'intorno della stazione M27.

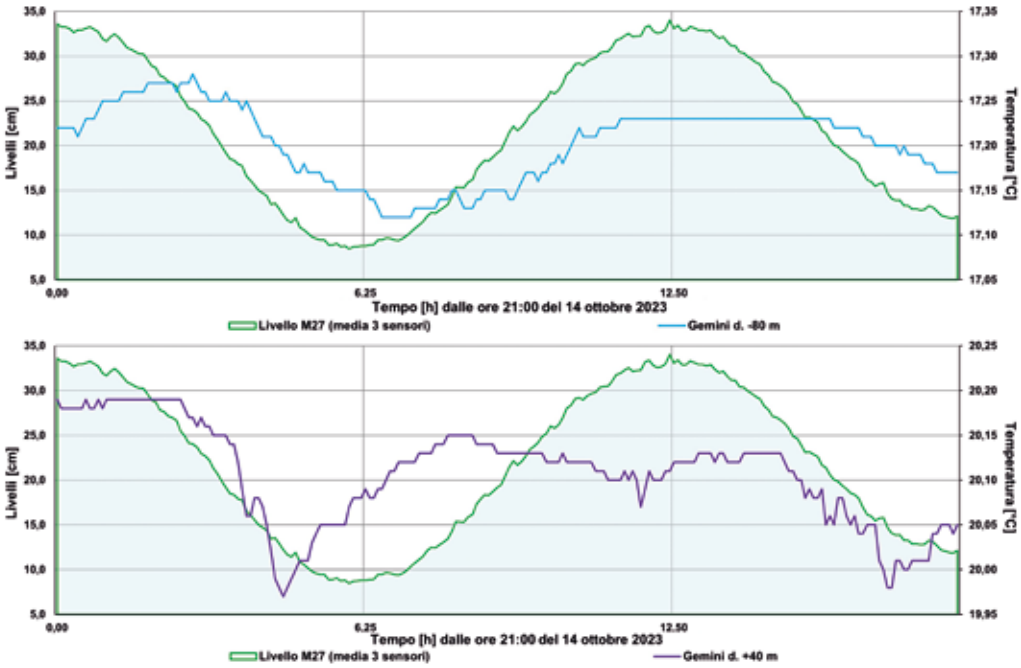


Fig. 8 - Confronto tra variazioni di temperatura e cicli di marea registrati nell'intorno della stazione M27.

Correlazioni livelli di marea - conducibilità elettrica

I due strumenti posizionati alla stazione M19, contrariamente a quanto osservato nell'analisi delle variazioni di T, mostrano una correlazione diretta con le oscillazioni di marea (Fig. 9): in particolare, la conducibilità del sensore posto alla quota inferiore (e più "caldo") assume valori maggiori rispetto a quello posto più in alto, con un differenziale prossimo a circa +0,30 mS/cm. Ai picchi di marea corrisponde, in entrambi i sensori, un innalzamento della conducibilità, pari a +0,20 mS/cm per il sensore più superficiale e a +0,24 mS/cm per il sensore più profondo. Non è rilevabile alcun ritardo temporale tra i picchi di marea e i picchi di conducibilità.

Si osserva, inoltre, una generale tendenza, rilevata da entrambi i sensori e analogamente a quanto registrato in relazione al parametro T, a un aumento dei valori di conducibilità in tutto periodo di monitoraggio.

Anche i quattro strumenti posizionati nella stazione M27 hanno rilevato nel periodo di osservazione una correlazione diretta tra le variazioni dei livelli di marea e quelle di conducibilità (Fig. 10); in particolare, i tre sensori più superficiali (a -67, -103,6 e -156,1) mostrano valori e ampiezze d'oscillazione che aumentano con la profondità (massimo valore a -156,1 cm), confermando una stratificazione progressiva di acque salmastre.

Opposte rispetto a quelle rilevate dai sensori superficiali sono le variazioni di conducibilità elettrica registrate dal sensore più profondo (a -450 cm), caratterizzate da valori decisamente più salini rispetto a quelli registrati nella zona superficiale (Fig. 11). Come già precedentemente rilevato analizzando i valori di temperatura, in corrispondenza dei picchi di marea la conducibilità elettrica subisce un marcato e repentino crollo che, in circa 30 minuti, varia da 46,5 a 29,7 mS/cm per poi raggiungere il minimo valore di 22,65 mS/cm in prossimità del picco di marea. Come nel caso della T, il ripristino dei valori iniziali, valutabile in circa 15 minuti, è assai rapido. I tre sensori più superficiali, nel pur breve tempo di osservazione,

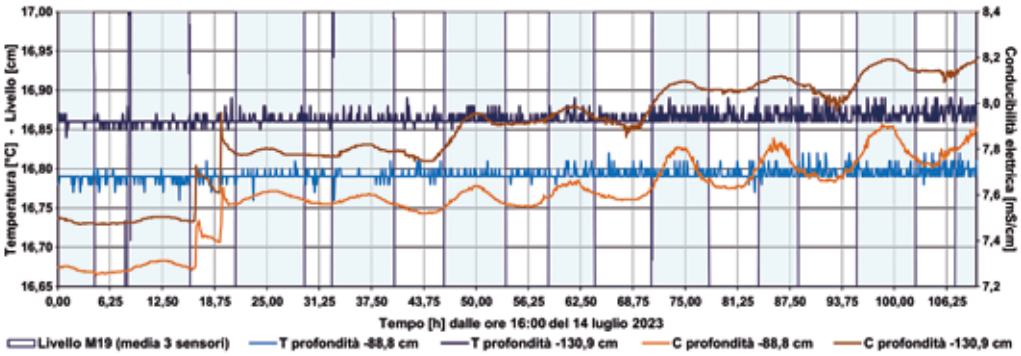


Fig. 9 - Confronto tra variazioni di conducibilità elettrica e cicli di marea registrati nella stazione M19.

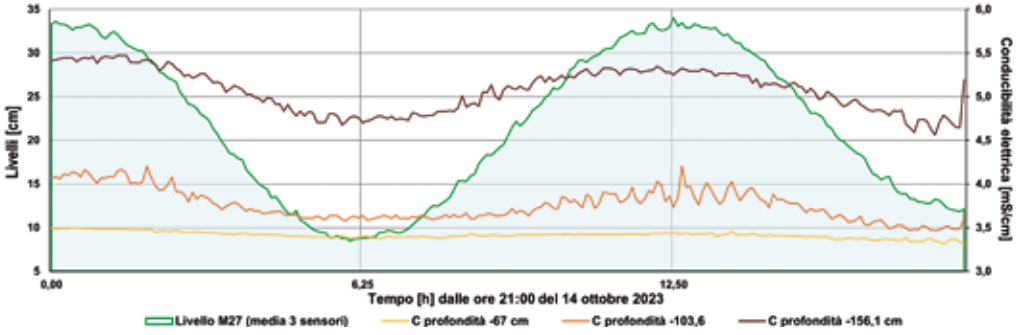


Fig. 10 - Confronto tra variazioni di conducibilità elettrica e cicli di marea registrati nella porzione superficiale della stazione M27.

sembrano mostrare una lieve tendenza alla diminuzione dei valori che, più in profondità, restano stabili.

Correlazioni livelli - conducibilità elettrica - temperature

Il raffronto grafico dei tre parametri rilevati (Fig. 12) conferma quanto finora esposto in relazione alle analisi effettuate per ogni singolo indicatore; in particolare, si evidenzia il singolare andamento dei parametri registrati nella porzione più profonda della stazione M27, caratterizzato da variazioni di T e C coerenti tra loro ma non con le variazioni di livello e di temperatura registrate dai sensori più superficiali.

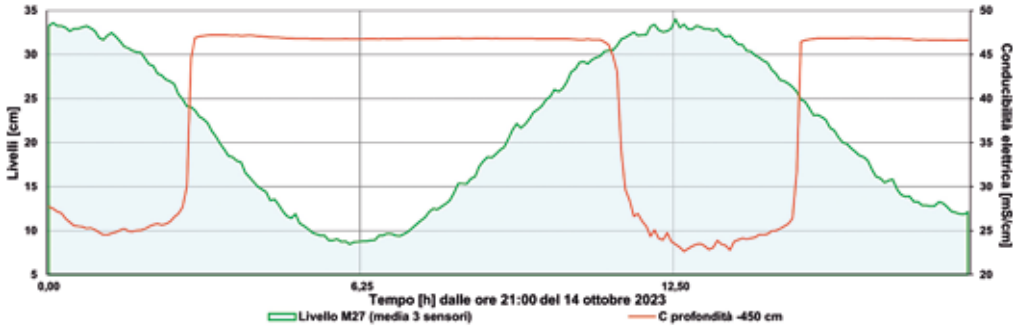


Fig. 11 - Confronto tra variazioni di conducibilità elettrica e cicli di marea registrati nella porzione profonda della stazione M27.

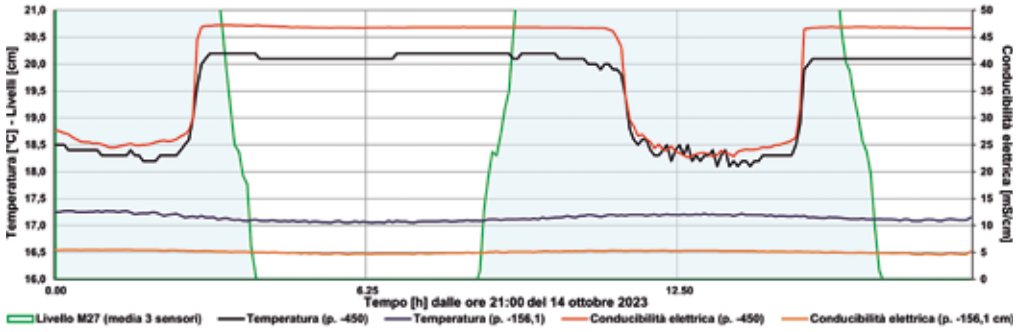


Fig. 12 - Confronto tra conducibilità elettrica, temperatura e cicli di marea registrati nella stazione M27.

Fig. 13 - Confronto tra conducibilità elettrica, temperatura e cicli di marea registrati nella stazione M19.

La stessa singolarità non la si rileva analizzando i parametri T e C in rapporto alle variazioni di marea registrati nella stazione M19 (Fig. 13) ma solamente una tendenza costante alla crescita di entrambi i parametri.

Ramo Sud (RS)

Il Ramo Sud è stato sottoposto a monitoraggio continuo dal 12 al 14 settembre 2023 con il posizionamento di sensori, in acquisizione automatica ogni 5' dei parametri di temperatura, conducibilità elettrica e livello idrico, nelle stazioni RS1 e RS2 localizzate, rispettivamente, a circa 800 m e a circa 1.550 m dall'ingresso a mare.

Per analizzare eventuali correlazioni tra oscillazioni di maree e variazioni di livello idrico negli specchi d'acqua indagati le misure di livello registrate nelle due stazioni sono state correlate a quelle acquisite in modalità sincrona da un barometro atmosferico di taratura posizionato presso il Lago Abissale e da un sensore CTD collocato nello stesso lago.

Marea e variazioni di livello nei laghi RS1 e RS2

Come era nelle attese in considerazione delle morfologie che caratterizzano il Ramo Sud, non è stata rilevata alcuna correlazione tra oscillazioni di marea e

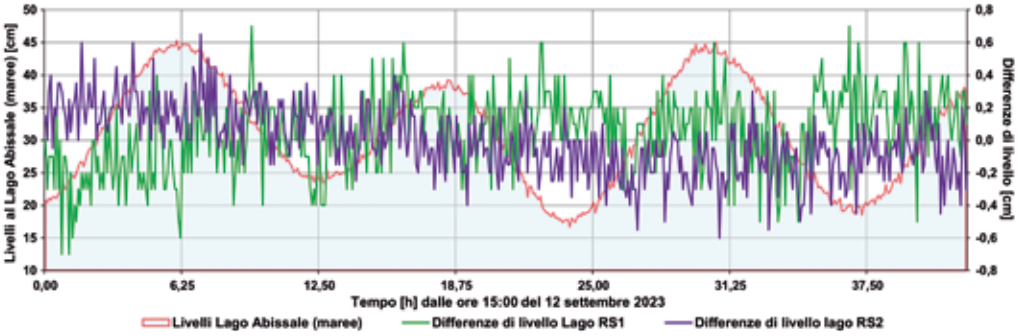


Fig. 14 - Confronto tra variazioni di livello registrate nelle stazioni RS1 e RS2 e cicli di marea registrati nel Lago Abissale.

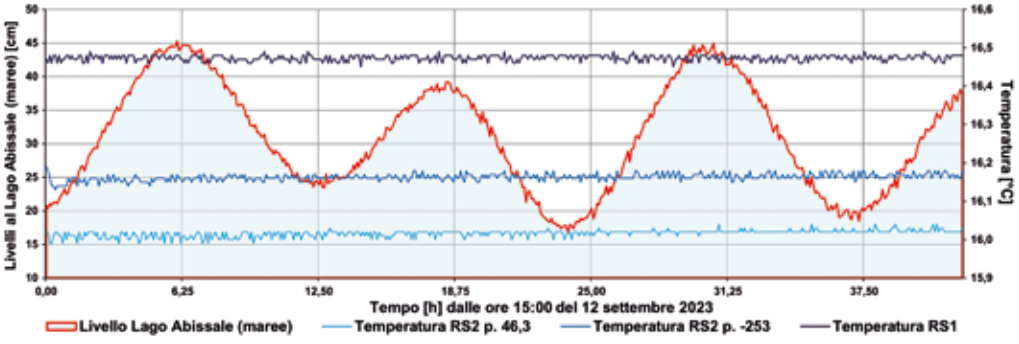


Fig. 15 - Confronto tra variazioni di temperatura registrate nelle stazioni RS1 e RS2 e cicli di marea registrati nel Lago Abissale.

variazione dei livelli nelle due stazioni indagate (Fig. 14). Le variazioni di livello rilevate, leggermente più ampie alla stazione RS1, risultano comunque contenute poco al di sopra della risoluzione degli strumenti utilizzati, con range di oscillazione di 1,4 cm in RS1 e di 1,2 cm in RS2.

Correlazione maree - temperatura

L'analisi delle variazioni del parametro temperatura non evidenzia alcuna correlazione con le oscillazioni di marea nelle due stazioni monitorate (Fig. 15); in particolare risulta evidente una stratificazione termica nella stazione RS2, con un differenziale di 0,1°C circa tra -46 e -253 cm di profondità. Rispetto a quest'ultimo dato, la temperatura registrata in RS1 a -334 cm risulta più elevata di 0,45°C.

Correlazione maree - conducibilità elettrica

Anche l'analisi delle variazioni del parametro conducibilità elettrica non evidenzia alcuna correlazione con le oscillazioni di marea nelle due stazioni analizzate (Fig. 16). In relazione a questo parametro si rileva una stratificazione del contenuto salino nella stazione RS2 che aumenta leggermente con la profondità. Il valore di conducibilità nella stazione RS1 risulta doppio rispetto a quello della stazione RS2, quest'ultima più lontana dall'ingresso a mare.

Misure manuali effettuate nel Ramo Sud

Il 14 settembre 2023, nel corso dei monitoraggi biologici, sono state acquisite ulteriori misure puntuali di temperatura e conducibilità elettrica in alcuni specchi

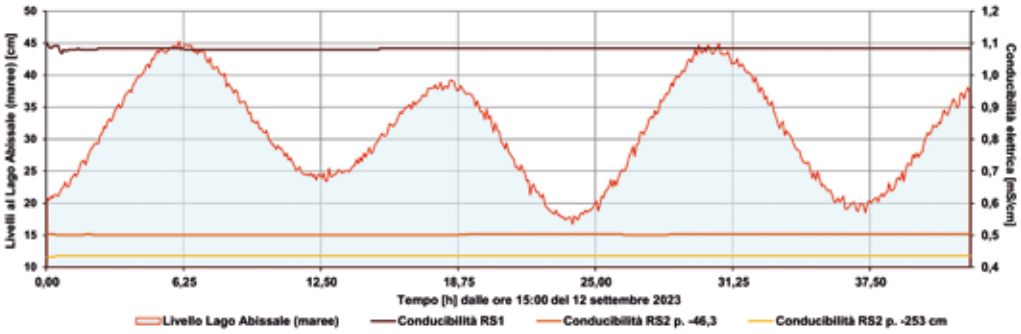


Fig. 16 - Confronto tra variazioni di conducibilità elettrica registrate nelle stazioni RS1 e RS2 e cicli di marea registrati nel Lago Abissale.

Parametro	Produttore	Modello	Risoluzione	Accuratezza
Temperatura [C°]	Hanna instruments	HI98129	0.1°C	±0.5°C
Conducibilità elettrica [mS/cm]			1 µS/cm	±2% F.S.

Tab. 2 - Specifiche della strumentazione manuale utilizzata nel corso della ricerca.

idrici localizzati tra il termine del ramo turistico e il Sifone Terminale. A tal fine è stata utilizzata la strumentazione di Tab. 2.

I dati raccolti manualmente nella superficie dei laghi presentano valori di conducibilità elettrica sostanzialmente costanti e prossimi a 0,5 mS/cm, con un leggero incremento della salinità con l'aumento della profondità rilevato a -80 cm nella stazione T 10 (Sifone Terminale).

Discussione

I dati dei monitoraggi sinora svolti nella grotta del Bue Marino, sintetizzati nella Fig. 18, hanno consentito di correlare le diverse condizioni idrodinamiche che caratterizzano le diramazioni indagate ai differenti processi geomorfologici che hanno modellato, e tuttora modellano, l'intero sistema carsico.

Il Ramo Sud, a monte del termine del percorso turistico e sino al lago "Sifone Terminale", è caratterizzato da gallerie la cui base è occupata da depositi sedimentari, concrezionamenti e antiche morfologie su roccia, anch'esse concrezionate, che ne elevano la quota al di sopra del livello del mare. In questo contesto, le acque presenti sono quelle contenute nelle gours o che da queste tracimano per alimentare una limitata circolazione idrica. Tali acque, che hanno origine da diffusi stillicidi, non interagiscono con le acque salate di origine marina come dimostrano i valori di conducibilità e temperatura registrati.

La temperatura delle acque subisce una diminuzione di circa 0,5°C tra la stazione RS1 e RS2, decremento che si osserva anche valutando il parametro della

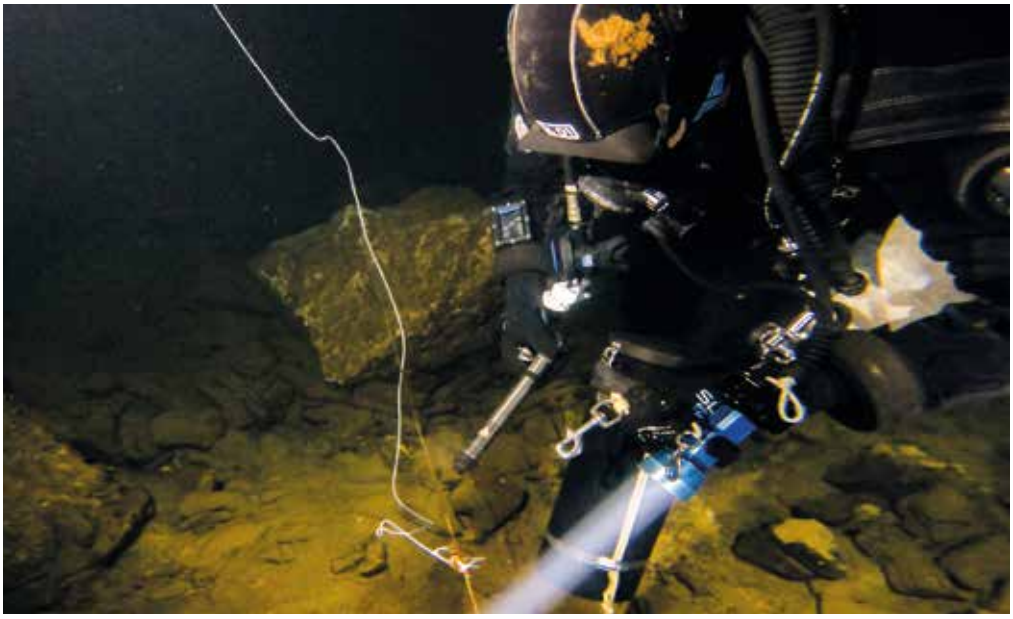


Fig. 17 - Posa dei sensori (foto Marcello Iacca).

Fig. 18 - Localizzazione delle stazioni con indicazione delle medie delle misure acquisite (da HUTŇAN & FANCELLO, 2013, modificato).

conducibilità elettrica. Nelle acque di entrambe le stazioni si rileva una modesta stratificazione che si manifesta con temperature e conducibilità che tendono a crescere con l'aumento della profondità. Si può ipotizzare che il valore della conducibilità elettrica registrato in RS1, quasi doppio di quello registrato in RS2, sia da mettere in relazione alla maggior prossimità alla bocca a mare della prima stazione rispetto alla seconda e, quindi, ad una maggior incidenza dello spray marino in RS1.

Il Ramo di Mezzo è caratterizzato da una continuità idrologica tra il Mar Mediterraneo e le gallerie carsiche, che si protende almeno sino alla stazione di monitoraggio M27. Tale continuità è da mettere in relazione con un'evoluzione geomorfologica delle cavità che ha prodotto, nel tempo, uno smantellamento più pervasivo dei depositi sedimentari e concrezionari che, viceversa, ancora occupano gran parte della base del Ramo Sud. Per questo motivo, le oscillazioni di marea registrate nel Lago Abissale si manifestano, con modalità pressoché sincrone, nelle stazioni di misura M19 e M27.

Le variazioni di conducibilità elettrica registrate nella stazione M19 dai due sensori disposti sulla stessa verticale risultano sincrone alle oscillazioni di marea mentre le variazioni di temperatura nella stessa stazione non sembrano influenzate da tali oscillazioni ma solamente da un incremento lineare che, probabilmente, è dipendente dall'aumento termico stagionale di tutto l'areale. Nella porzione superficiale della stazione M27, viceversa, sia le variazioni di temperatura che quelle della conducibilità elettrica registrate dai tre sensori disposti sulla stessa verticale mostrano tutte una stretta dipendenza con le oscillazioni di marea. In entrambe le stazioni i sensori hanno registrato una stratificazione delle acque superficiali monitorate, con valori di T e C che crescono con l'aumentare della profondità. Il quarto acquisitore posizionato nella stazione M27 ad una profondità di circa 450 cm e sulla stessa verticale dei tre sensori superficiali ha registrato una singolare variabilità dei parametri di T e C: al variare dei livelli di marea, e in tempi molto rapidi, questi parametri assumono differenziali di ±2°C e ±24 mS/cm che indicano la presenza di un'anomalia in grado di differenziare le acque più superficiali da quelle più profonde nell'intorno della stazione. Tale anomalia è da ricondurre agli effetti di pistonaggi causati dalle oscillazioni di marea su serbatoi idrici tra loro connessi ma contraddistinti da differenti chimismi che innescano

Ramo	Misure in continuo	Misure puntuali	Correlazione maree - livello	Correlazione maree - temperatura		Correlazione maree - conducibilità
SUD	X	X	-	-		-
di MEZZO	X	X	X	M19 -	M27 X	X
NORD	-	X	Lago Abissale	Lago Abissale		Lago Abissale

Tab. 3 - Compendio dei risultati conseguiti.

impulsi idrici che transitano, con periodica regolarità, nella porzione più profonda del Ramo di Mezzo.

Il dato più interessante che emerge dall'analisi delle variazioni di temperatura acquisite dai tre sensori Gemini, posti sempre a 450 cm di profondità ma a diverse distanze dalla stazione M27, è che il sensore ubicato 80 metri a valle della stazione verticale ha registrato variazioni di T comprese tra 17,1 e 17,3°C mentre quello ubicato 40 metri a monte della stessa stazione ha registrato variazioni di T comprese tra 20,0 e 20,2°C; pertanto, il differenziale di temperatura assunto dall'acqua, alla profondità di 450 cm e in un tratto del Ramo di Mezzo di poco più di 100 metri di galleria allagata, è di circa ±3 °C. Un rilevamento simile nello stesso tratto di grotta, eseguito in condizioni non statiche nel corso di una singola progressione speleosubacquea, era stato registrato da Daniel Hutňan nell'ottobre del 2011.

Si riporta una tabella (Tab. 3) che riassume i risultati conseguiti nel corso delle ricerche.

Ipotesi interpretative preliminari

Seppur riferito ad un'acquisizione di dati troppo breve per supportare un'analisi statistica che possa dirsi consolidata, l'andamento nel tempo delle oscillazioni dei parametri T e C registrati sia nella stazione M19 che nell'intorno della stazione M27 indicano un medesimo nesso causale dipendente dalle oscillazioni di marea. Le maree, quindi, escludendo gli eventi connessi alle imponenti piene che impattano sull'intero sistema carsico, devono considerarsi come il motore energetico principale che influenza le dinamiche nella grotta del Bue Marino. In relazione alle osservazioni e alle analisi effettuate si propongono due differenti ipotesi interpretative:

A: gli impulsi idrici che transitano nella porzione inferiore del Ramo di Mezzo sono innescati dalle periodiche oscillazioni di marea che richiamano nelle condotte carsiche allagate acque di provenienza marina che fluiscono nelle gallerie da monte verso valle. Tale ipotesi trova sostegno nella tendenza delle variazioni di conducibilità elettriche e temperature riferibili ai singoli impulsi idrici in movimento; queste ultime, in particolare, assumono valori di ≈20°C, prossimi a quelli dell'acqua del mare del periodo, nella stazione posizionata più a monte (Gemini +40), valori di ≈18,2°C nella stazione M27 posta circa 40 metri a valle della precedente e valori di ≈17,2°C nella stazione posta a circa 120 metri più a valle rispetto alla prima (Gemini -80): la variazione di temperatura dell'impulso idrico registrata è compatibile con un meccanismo che prevede il transito di impulsi successivi e periodici di acqua marina proveniente dalla porzione più a monte del Ramo di Mezzo che si diluiscono, defluendo verso valle, in un contesto di acque a chimismo salmastro e in equilibrio termico con la grotta.

B: gli impulsi idrici che transitano nella porzione inferiore del Ramo di Mezzo nell'intorno alla stazione M27 sono innescati dalle oscillazioni periodiche di marea. Il fenomeno presuppone l'esistenza di condotte sommerse inesplorate che collegano ambienti carsici allagati caratterizzati da diverso chimismo, attraversate da iniezioni periodiche di acque carsiche più fredde e a minore salinità direttamente governate dalle variazioni del livello di marea. La notevole differente densità delle acque coinvolte, unitamente a una bassa influenza dei deflussi in fase di magra, non ne consente una miscelazione misurabile nel tempo intercorrente tra innesco e disinnesco dei periodici pistonaggi.

Dati disponibili

In bibliografia sono disponibili importanti contributi alla conoscenza delle dinamiche che governano il sistema carsico del Bue Marino; riguardo gli aspetti relativi ai parametri fisici delle acque dei tratti terminali allagati del sistema, le svariate misure raccolte nei tre rami dalle squadre di speleosubacquei Cechi e Slovacchi (Fig. 19) che da tempo esplorano e studiano questa cavità, sono organicamente organizzate in un'unica pubblicazione (Hutňan, 2013).

In precedenza, sono state pubblicate approfondite analisi chimico-fisiche svolte a seguito di prelievi di campioni d'acqua al Ramo Nord e Sud (Rivolta, 1993).

Conclusioni e prospettive di ricerca

Alla stregua delle più studiate "sorgenti intermittenti", che tuttavia non hanno ancora svelato compiutamente l'idraulica cui sono correlate, i fenomeni osservati

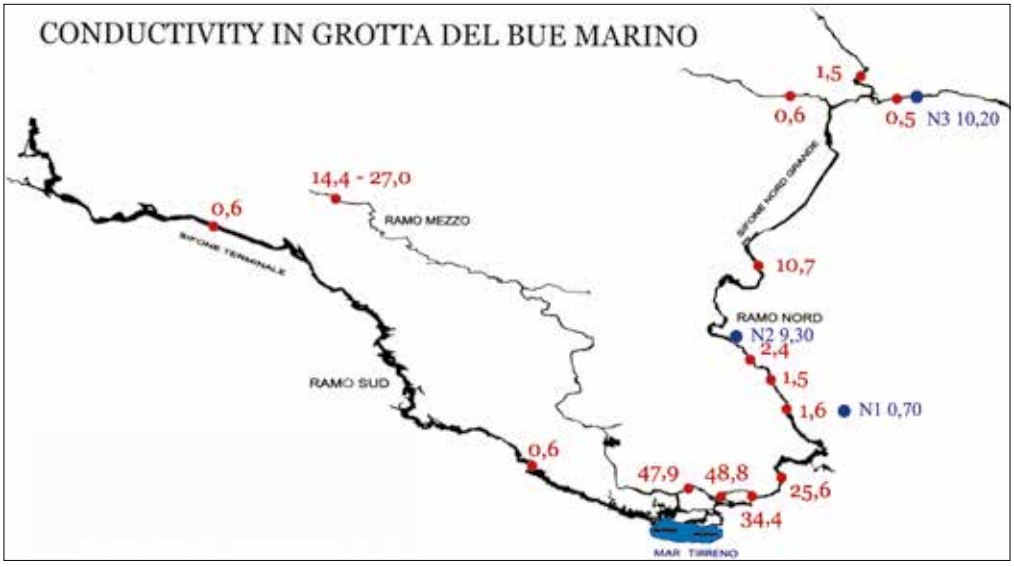


Fig. 19 - Dati pregressi sulla distribuzione delle conducibilità elettriche nelle acque del Bue Marino: in blu 1991-93 (Rivolta, 1993), in rosso novembre 2006 (Hutňan, 2013, modificato).

Fig. 20 - Grotta del Bue Marino: il Ramo Sud (foto Andrea Moretti).

meritano ulteriori approfondimenti da condurre nelle grotte marine della costa orientale sarda ma, anche, in contesti geomorfologici analoghi che si affacciano nel bacino del Mediterraneo.

Per una completa caratterizzazione del complesso sistema sommerso del Bue Marino occorrerà estendere al Ramo Nord i monitoraggi sin qui eseguiti nei Rami Sud (Fig. 20) e di Mezzo. Allo stesso tempo andrà ripetuta l'osservazione del fenomeno di pistonaggio rilevato nel Ramo di Mezzo estendendo il monitoraggio ad un arco temporale di acquisizione dati almeno bisettimanale. Tali operazioni andranno eseguite in periodi di magra (2024) in modo da evitare gli effetti delle piene che possono impattare improvvisamente sul sistema carsico.

Ringraziamenti

Ringraziamo per la rilettura del testo e i preziosi suggerimenti gli amici Bartolomeo Vigna, Francesco De Sio e Paolo Forti.

Si ringrazia sentitamente per la preziosa collaborazione il Nuovo Consorzio Trasporti Marittimi, Cala Gonone.

Partecipanti

Hanno sin qui collaborato alle ricerche: Mauro Chiesi°, Stefano Chiesi°, Leo Cipriano Fancello°, Maria Grazia Fronteddu°, Stefania Loi°, Andrea Marassich*°, Andrea Moretti°, Francesco Murgia°, Fabio Stoch°, Gianfranco Tomasin°. °) Società Speleologica Italiana ETS - Gruppo di lavoro monitoraggi ambientali in grotte naturali, *) Phreatic APS.

Bibliografia

Badino G., 2017 – Two enigmas of rivers of darkness. *Proceedings of the 3rd International Symposium of Speleology, Varenna, Aprile 2017, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia,* s. II, 33: 187-193.

Chiesi M., 2022 - *Studio di Incidenza Ambientale dei lavori di messa in sicurezza itinerario di visita del Ramo Nord delle Grotte del Bue Marino, uscita di sicurezza a terra e impianto illuminazione*. Comune di Dorgali, Regione Autonoma della Sardegna, rapporto inedito.

Chiesi M., Fancello L.C., Fronteddu M.G., Murgia F. & Stoch F., 2022 - Monitoraggio ambientale Grotta del Bue Marino, Ramo Nord. *Geologia dell'Ambiente, Rivista Società Italiana di Geologia Ambientale*, 3.2002: 11-19.

Fancello L., Hutňan D., Loru R., 2017 - Il sistema carsico del Supramonte Orientale, parte prima. *Sardegna Speleologica, Rivista della Federazione Speleologica Sarda*, 29 settembre 2017: 20-31.

Hutňan D., 2013 - Bue Marino, way under the valley. *ZO ČSS Speleoaquanaut Ledařská,* 433/9, Praga 4. ISBN 978-80-260-4478-9.

Rivolta G.P., 1993 - Note sul chimismo delle acque nella grotta del Bue Marino. *Sardegna Speleologica, Rivista della Federazione Speleologica Sarda*, a. II, 4, dicembre 1993: 41-43.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 99-104.

Furio Finocchiaro [1], Maurizio Ponton [1], Luca Zini [2], Chiara Calligaris [2], Paolo Manca [3], Michele Potleca [3]

Test di tracciamento delle acque sotterranee della Bernadia (Prealpi Giulie): seconda puntata

Riassunto - Vengono riportati i risultati di un nuovo tracciamento delle acque della Grotta Tirfor, a integrazione di quanto già realizzato (Ponton et al., 2020) al fine di meglio comprendere l'andamento dello spartiacque sotterraneo nell'area della Bernadia (Prealpi Giulie).
Parole chiave: Grotta Tirfor, Bernadia, Tracciamenti, Acque sotterranee.

Abstract - The results of a new water dye-tracing in the Tirfor Cave, aimed at a better understanding of the underground watershed in the Bernadia area (Julian Pre-Alps, NE Italy; Ponton et al., 2020), are reported.
Keywords: Tirfor Cave, Bernadia, Water Tracing, Underground waters.

Premessa

Il massiccio della Bernadia è caratterizzato da una struttura geologica particolare, per la presenza sia di formazioni carbonatiche di piattaforma, che di flysch ibridi, cioè silicoclastici con alternati banconi prevalentemente carbonatici, ad esse sovrapposti stratigraficamente, (Feruglio, 1954; Ponton, 2019, con bibliografia), struttura complicata dalla presenza di più sovrascorrimenti e linee tettoniche.

Queste caratteristiche geologico-strutturali rendono la Bernadia un ambiente in cui i fenomeni carsici si manifestano in modo classico, entro i calcari cretacici di piattaforma, si pensi alla Valle del Rio Tanaholo, che viene assorbito dalla Grotta di Viganti (110/66 Fr), collegata con un sifone alla Grotta Pre Oreak (176/65Fr), nella Valle del Cornappo. Ma l'area è caratterizzata da estese cavità sub orizzontali, percorse da numerosi corsi d'acqua che si sviluppano entro i megabanchi carbonatici o proprio al contatto tra il Flysch silicoclastico e i megabanchi carbonatici.

La prima ad essere scoperta ed esplorata già a fine '800 è la Grotta Doviza (13/70Fr), seguita dalla Grotta Nuova di Villanova (939/323Fr) e dalla Grotta

1) Circolo Speleologico e Idrologico Friulano; 2) Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste; 3) Servizio Geologico, Direzione Centrale dell'Ambiente, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

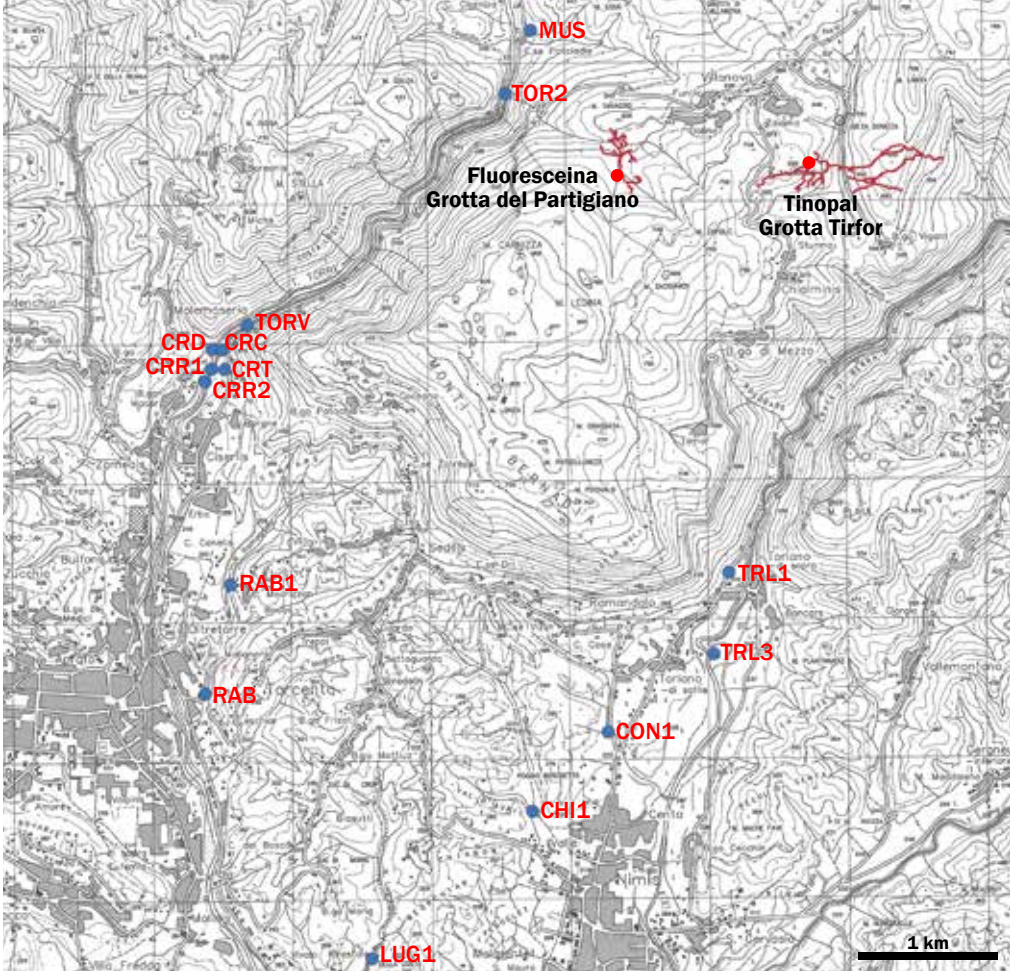


Fig. 1 - Punti di immissione dei traccianti (cerchietti rossi) e dei campionamento (cerchietti azzurri).

"Egidio Feruglio" (3895/2175Fr). La prima di queste cavità si sviluppa nel megabanco n° 14, mentre le altre due nel n° 15 (Pini & Ponton, 2023).

Già Feruglio (1954), autore di una completa monografia sull'area, si pose, a metà del secolo scorso, il problema del punto di emersione delle acque che percorrevano la Grotta Nuova di Villanova e la Doviza. I due tracciamenti da lui effettuati avevano stabilito che le acque delle due cavità emergevano solo dalla Sorgente Mustig, in Val del Torre (Fig. 4). La recente scoperta della Grotta Tirfor (7739/4721Fr), che si sviluppa nel megabanco n° 13 con più di 6 km di sviluppo accatastati e 4 ingressi (dati CSR del dicembre 2023), ha stimolato la ripresa delle ricerche idrogeologiche nell'area. La cavità si sviluppa fondamentalmente in direzione est-ovest, ma con rami attivi che si spingono sia verso il bacino del Torre (Ramo Elianto) che verso quello del Cornappo. I risultati del primo tracciamento (febbraio 2020), hanno evidenziato il collegamento tra il Ramo Off Limits con un piccolo affluente in destra del Cornappo (Fig. 4), mentre invece non hanno consentito di stabilire dove fuoriuscissero le acque del Ramo Elianto (Ponton et al., 2020). Per risolvere questo problema si è deciso di eseguire un secondo tracciamento.

Risultati

Il tracciamento è stato effettuato nel febbraio del 2021, in condizioni di magra, in analogia alle condizioni idrologiche dell'anno precedente. L'obiettivo di questo nuovo esperimento era duplice: da una parte verificare l'emergenza delle acque che percorrono il Ramo "Elianto" della Grotta Tirfor, dall'altra, un obiettivo più generale: definire la circolazione sotterranea del settore meridionale del massiccio della Bernadia.

Sono stati utilizzati due traccianti: nuovamente Tinopal in Grotta Tirfor e fluoresceina nella Grotta del Partigiano (2125/968Fr), una delle più importanti cavità del territorio, profonda ben 327 m, che si apre ad ovest di Tirfor e si sviluppa nei calcari. L'immissione è stata preceduta da un attento sopralluogo sia della parte meridionale delle Valli del Torre e del Cornappo, sia lungo il lato meridionale in cui le formazioni carbonatiche sono in contatto tettonico con il Flysch, per controllare sorgenti già note e per individuare ulteriori punti di emissione. Complessivamente sono stati scelti 15 punti di prelievo, 11 nel bacino del Torre, 4 in quello di Cornappo (Fig. 1). In tre siti (TOR2, CDC e TORL1) sono stati ubicati dei fluorimetri GGUN-FL24 per il monitoraggio in continuo (misure ogni 15') delle acque.

Utilizzando sia acque del Torre che del Cornappo sono state preparate le rette di calibrazione, calcolate utilizzando 6 diverse concentrazioni per la fluoresceina, 7 per il Tinopal. In ambedue i casi il coefficiente di correlazione è altamente significativo (R^2: 0.999).

I tracciamenti sono stati eseguiti il 19 febbraio 2021: per 12 giorni sono stati prelevati due campioni al giorno, poi la frequenza è diminuita e dall'8 al 17 marzo il prelievo è stato di un campione ogni due giorni. In alcuni siti sono stati effettuati

Fig. 2 - Venute di fluoresceina in riva destra del Torre, vicino al sito TOR 2.

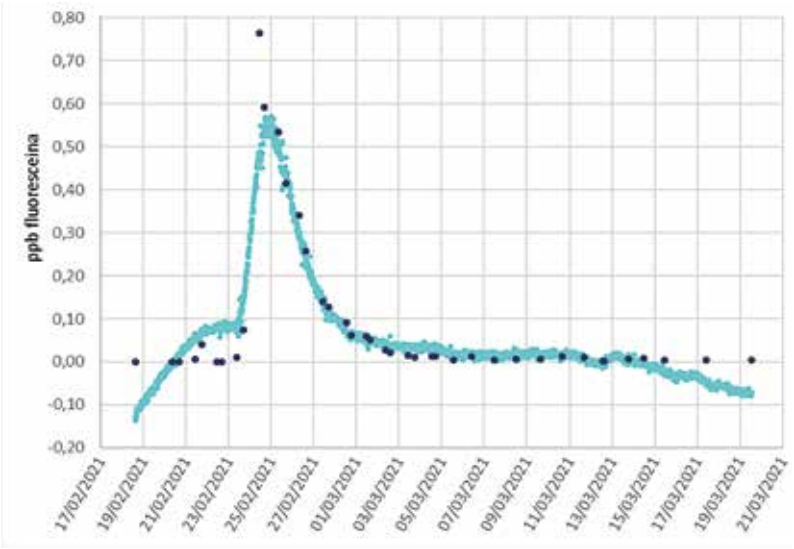


Fig. 3 - Concentrazione di Fluoresceina al sito TOR2. Linea: fluorimetro in continuo; punti: campioni.

prelievi fino ai primi di aprile. I campioni sono stati analizzati con un fluorimetro Perkin Elmer LS45 presso il Laboratorio del Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste.

L'arrivo della fluoresceina lungo il Torre è stato indentificato anche visivamente. Il giorno 24 febbraio, al momento del prelievo delle acque del fiume (sito TOR 2), uno dei coautori (M.P.) si è accorto che, a poca distanza del punto di prelievo, sia in riva destra che in riva sinistra vi erano piccole fuoruscite di acqua del colore decisamente verde (Fig. 2).

Alcune di queste piccole venute d'acqua sono state campionate nei giorni successivi e sono state misurate concentrazioni molto elevate, fino a picchi di 174 ppb. Nelle acque del fiume (Sito TOR 2, Fig. 3) le concertazioni hanno raggiunto un massimo di 0.76 ppb e il picco ad elevate concentrazioni è durato circa 4 giorni.

La fuoriuscita del Tinopal immesso in Tirfor è stata individuata solamente in due dei punti da cui era visibile la fluoresceina, con valori massimi attorno a 6.8 ppb anche se con alcuni giorni di ritardo. In tutti gli altri siti di misura le concentrazioni erano decisamente troppo basse; per cercare di motivare questi ritardi e le eccessive diluizioni una squadra di speleologi è ritornata in Grotta Tirfor, sia il 10 che il 13 di marzo, a valle del luogo di immissione, per verificare le concentrazioni: i valori rilevati sono stati rispettivamente di 10.4 e 28.4 ppb.

Conclusioni

I risultati ottenuti hanno consentito di stabilire che sia le acque che percorrono la Grotta del Partigiano sia quelle del Ramo Elianto della Grotta Tirfor defluiscono verso la Valle del Torre (Fig. 4). La Grotta Tirfor e il megabanco in cui si sviluppa rappresentano una sorta di snodo idrologico e al loro interno passa uno spartiacque sotterraneo, dato che i rami orientali della cavità scaricano le loro acque nella

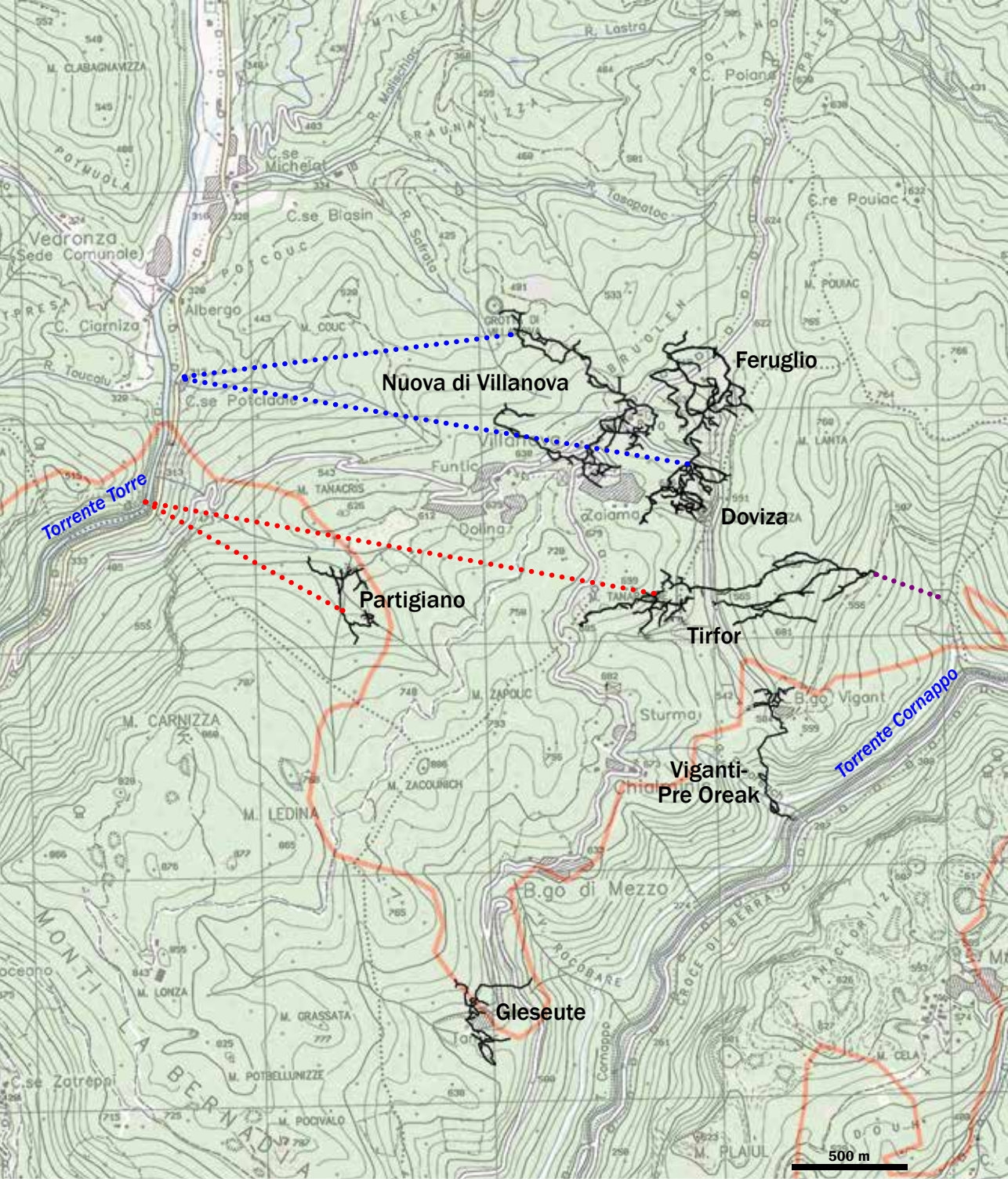


Fig. 4 - Mappa che riassume i risultati dei tracciamenti effettuati nell'area del Bernadia. L'andamento delle cavità è semplificato. Blu: tracciamenti Feruglio 1952; viola: tracciamenti 2020; rosso: tracciamenti 2021. La linea arancione indica in maniera semplificata il passaggio fra Calcari di piattaforma cretacici (a sud) e Flysch del Grivò (a nord).

valle del Torrente Cornappo, mentre le acque di quelli occidentali emergono nella valle del Torrente Torre.

Le modalità dell'emergenza, attraverso numerose piccole venute su ambedue le rive, fa supporre che le acque raggiungano la falda di fondo, nelle alluvioni del Torre, da cui le acque riemergono, anche favorite probabilmente da una discontinuità tettonica trasversale all'asse della valle, che peraltro potrebbe collegare idrologicamente la Grotta Tirfor con quella del Partigiano, visto che i due traccianti sono usciti dagli stessi punti, ancorché in tempi diversi.

I dati qui proposti hanno valore unicamente qualitativo. I ritardi e il fatto che in molti punti di misura i traccianti erano prossimi al limite di sensibilità degli strumenti utilizzati confermano l'importanza delle scelte sia della posizione in cui rilasciare il tracciante all'interno della cavità, sia delle quantità da immettere. Quest'ultima valutazione è particolarmente delicata qualora, come nel caso del massiccio della Bernadia, si operi in aree fortemente antropizzate e tra i punti di controllo ci siano opere di presa.

Ringraziamenti

Per le analisi di laboratorio e l'elaborazione dei dati gli Autori ringraziano le dott.sse Eleonora Cappoia e Shaula Martinolli. Questa ricerca non sarebbe stata possibile senza la collaborazione, in cavità e in superficie di Loris Biasizzo, Lara Clementi, Mara Colautti, Ida Cossettini, Mirko Del Ben, Ilaria Di Noro, Paolo Maddaleni, Erica Mesar, Glenda Nicola, Sara Oberti, Sara Peressutti, Franco Persello, Dean Pertot, Roberto Piermarini, Rosa Romanin, Lorenzo Scaini, Christian Simonetti, Sebastiano Taucer, Philippe Thurpaud, Marco Vecil, Lorenzo Zucca cui va il nostro più sentito ringraziamento.

La ricerca è stata finanziata all'interno dell'accordo attuativo di collaborazione tra l'Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze e la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Servizio Geologico ai sensi della LR 23/2013, art. 4 per la definizione della vulnerabilità degli acquiferi carsici del Friuli Venezia Giulia.

Bibliografia

Cappoia E., 2022 - Idrogeologia del massiccio del Bernadia. Tesi di laurea inedita, rel. L. Zini, Università degli Studi di Trieste, 92 pp.

Feruglio E., 1954 - *La regione carsica di Villanova in Friuli.* Pubbl. Istituto Geologico dell'Università di Torino, 2: 68 pp.

Pini G.A. & Ponton M., 2023 - *Carta geologica dei megabanchi del Bacino Giulio (Flysch del Grivò e Masarolis) - Map of the mass transport deposits ("megabeds") of the Julian Basin*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e Università degli Studi di Trieste.

Ponton M., 2019 - Geologia di una cavità nel Flysch del Grivò: Grotta Tirfor o Sistema Bernardo Chiappa (M. Bernadia, Prealpi Giulie). *Mondo Sotterraneo*, n.s., 43 (1-2): 71-90.

Ponton M., Zini L., Calligaris C., Finocchiaro F., Manca P., Potleca M. & Terribili L., 2020 - Test di tracciamento delle acque sotterranee nella Grotta Tirfor (Bernadia, Prealpi Giulia): risultati preliminari. *Mondo Sotterraneo*, n.s., 44 (1-2): 43-48.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 105-110.

Maurizio Ponton

Carta geologica dei megabanchi e speleogenesi (Prealpi Giulie meridionali)

Riassunto - La “Carta geologica dei megabanchi del Bacino Giulio (Flysch del Grivò e Masarolis)”, curata da G.A. Pini e M. Ponton ed edita dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, rappresenta un utile strumento per comprendere il fenomeno carsico in questi “megabanchi”, con cavità anche di rilevante sviluppo.
Parole chiave: Prealpi Giulie, Megabanchi, Eocene, Paleocene, Carsismo.

Abstract - The “Carta geologica dei megabanchi del Bacino Giulio (Flysch del Grivò e Masarolis) - Map of the mass transport deposits (“megabeds”) of the Julian Basin (Flysch del Grivò and Masarolis)”, edited by G.A. Pini and M. Ponton and published by the Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, represents a useful tool for understanding the karst phenomenon in these “megabeds”, with cavities also of relevant development.
Keywords: Julian Prealps, Megabeds, Eocene, Paleocene, Karst.

Premessa

È stata recentemente pubblicata dal Servizio Geologico della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e dall’Università degli Studi di Trieste la “Carta geologica dei megabanchi del Bacino Giulio (Flysch del Grivò e Masarolis)” realizzata da Gian Andrea Pini e Maurizio Ponton.

Essa mette in evidenza i soli livelli detritici prevalentemente carbonatici definiti megabanchi, cioè banchi di spessore da qualche metro a decine di metri e cartografabili, che sono intercalati nei depositi marnoso-arenacei del Flysch del Grivò e in parte del Flysch di Masarolis. L’area rappresentata va dal settore orientale del Monte Bernadia fino al Fiume Iudrio, comprendendo quindi buona parte delle Prealpi Giulie meridionali.

Questi corpi sedimentari erano originati dal trasporto gravitativo in massa di materiale più o meno grossolano all’interno del Bacino Giulio e proveniente dalla Piattaforma Friulana la quale era di natura carbonatica. Il processo di innesco di estese e imponenti frane sottomarine era molto probabilmente di natura sismica, in un periodo (siamo fra la fine del Paleocene e l’inizio dell’Eocene, circa fra 57 e 54 milioni di anni b.p.) di intensa attività tettonica, quando era in piena evoluzione

la Catena Dinarica settentrionale contemporaneamente ad un progressivo collasso e arretramento della Piattaforma Friulana (Ponton, 2010, con bibliografia).

Come sopra accennato sono rappresentati i soli megabanchi con i loro dati di giacitura e le faglie che li tagliano e deformano, senza alcun altro dato sulle rocce incassanti (marne e areniti che sono parte integrante del Flysch del Grivò) o sulle coperture quaternarie; questo per scelta espressamente voluta dagli autori che stanno studiando la natura dei megabanchi e i meccanismi di messa in posto analizzando esempi di fenomeni simili attuali connessi anche ai fenomeni di "tsunami". L'obbiettivo della carta è mettere in evidenza al meglio la distribuzione dei megabanchi, il loro assetto nello spazio (da orizzontale a verticale fino a rovesciato) e la loro natura sedimentologica.

Il numero progressivo dato ai megabanchi si rifà alla numerazione data ad essi da Egidio Feruglio che per primo li descrisse ponendo le basi per il loro studio (Feruglio, 1925, 1929, 1954); egli allora aveva descritto 23 banchi, ma attualmente avendone individuati altri o avendone distinti alcuni in più corpi, ne sono stati rappresentati 31, inserendo la dicitura bis e ter quando necessario.

Come recita l'introduzione alla carta nel sito internet della Regione Friuli Venezia Giulia (da dove peraltro è scaricabile): "*la loro presenza all'interno delle formazioni del "flysch" costituisce un cambiamento di litologia fondamentale per la comprensione della tettonica, dell'idrogeologia, della speleogenesi e della caratterizzazione litologica a fini di attività estrattive del territorio esaminato, con il particolare risalto della Pietra Piasentina*".

Grotte e megabanchi

È noto che tutto il settore delle Prealpi Giulie meridionali è ricchissimo di cavità carsiche e gran parte di esse si sviluppano prevalentemente all'interno dei megabanchi nella loro porzione calcarenitica e calciruditica, che in carta corrispondono alle unità deposizionali U3 e U4 (ad esempio la Grotta di San Giovanni d'Antro) e in alcuni casi nella porzione basale di brecce carbonatiche cioè unità U1 (ad esempio la Grotta Furmie) o addirittura al contatto inferiore delle brecce basali del megabanco con le marne e areniti sottostanti (ad esempio la Grotta Nuova di Villanova).

La carta può essere uno strumento utile alla comprensione della distribuzione nel territorio del fenomeno carsico all'interno della massa rocciosa e ancor di più dello sviluppo dei singoli sistemi ipogei peculiari di queste litologie e di queste zone oltre che allo studio dei sistemi idrici sotterranei.

Per spiegare ulteriormente con degli esempi l'utilizzo dei dati riportati nella carta si leggano le due sezioni geologiche assieme alla zona da esse attraversata e rappresentata nella carta geologica.

Nella sezione A-B (Figg. 1 e 2) al di sopra della massa di calcari massicci del Cretaceo che costituiscono il nucleo del massiccio della Bernadia, entro cui si svi-

luppano sistemi carsici con sviluppi verticali notevoli, si osservano i megabanchi numero 11 (quello di Vernasso, il più imponente per spessore e estensione), il 12 in verde chiaro molto sottile (pochi metri), il 13 in verde scuro, potente in zona una ventina di metri entro cui si sviluppa la Grotta Tirfor o Sistema Bernardo Chiappa (numero catasto regionale 7739/4721 Fr), il megabanco numero 14 in violetto, potente circa 60 m, sede del sistema della Grotta Doviza (13/70 Fr) e il 15 in arancione chiaro, potente 30-40 m, all'interno e alla base del quale si sviluppano il sistema della Grotta Nuova di Villanova (939/323 Fr) e la vicinissima Grotta Feruglio (3895/2175 Fr). Questi sistemi, pur essendo contigui, sono praticamente isolati fra di loro e con sviluppi prevalentemente orizzontali (anche se in alcuni casi

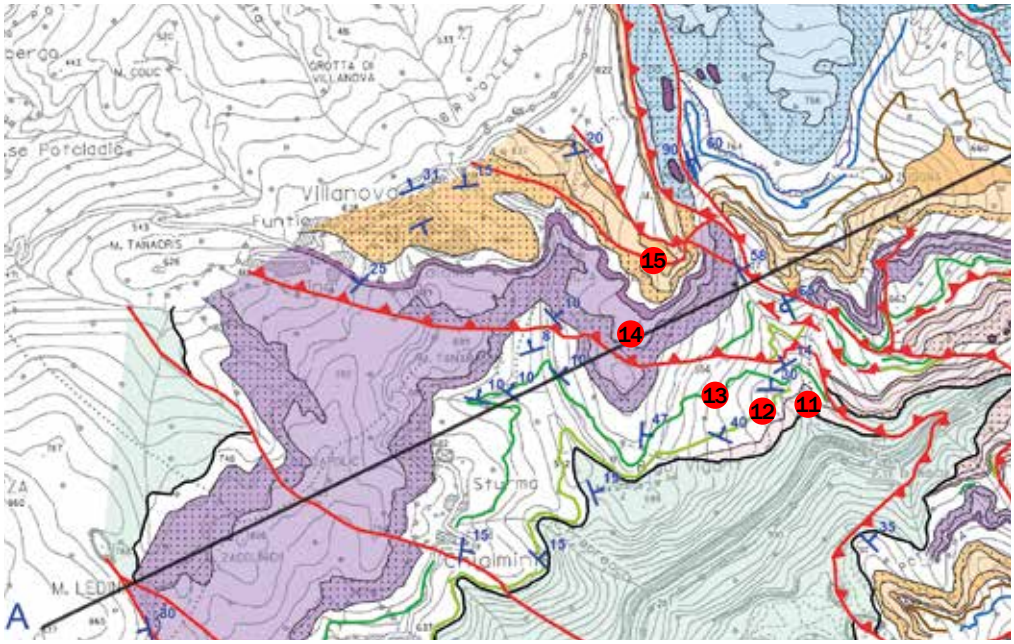


Fig. 1 - Stralcio della carta geologica per la zona di Villanova delle Grotte con traccia della sezione A-B; nei cerchi rossi il numero dei megabanchi. Scala circa 1:30.000.

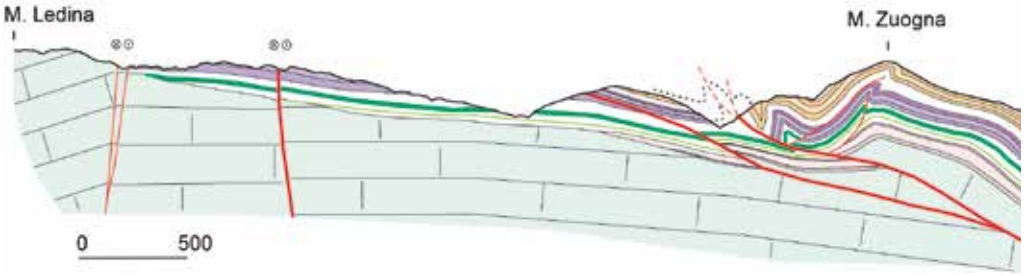


Fig. 2 - Stralcio della sezione A-B: con il mattonato verde i calcari di piattaforma del Cretaceo; i megabanchi dell'Eocene descritti nel testo si appoggiano sui calcari in sequenza dal numero 11 fino al 15 e sono tagliati e piegati dalle faglie (in rosso) presso il Monte Zuogna.

qualche collegamento idrologico c'è, legato a fratture o a contatti stratigrafici anomali) proprio per la natura stessa dei depositi caratterizzata da un fitto alternarsi di livelli carbonatici carsificabili (appunto i megabanchi) e livelli prevalentemente impermeabili e non carsificabili come le marne e areniti.

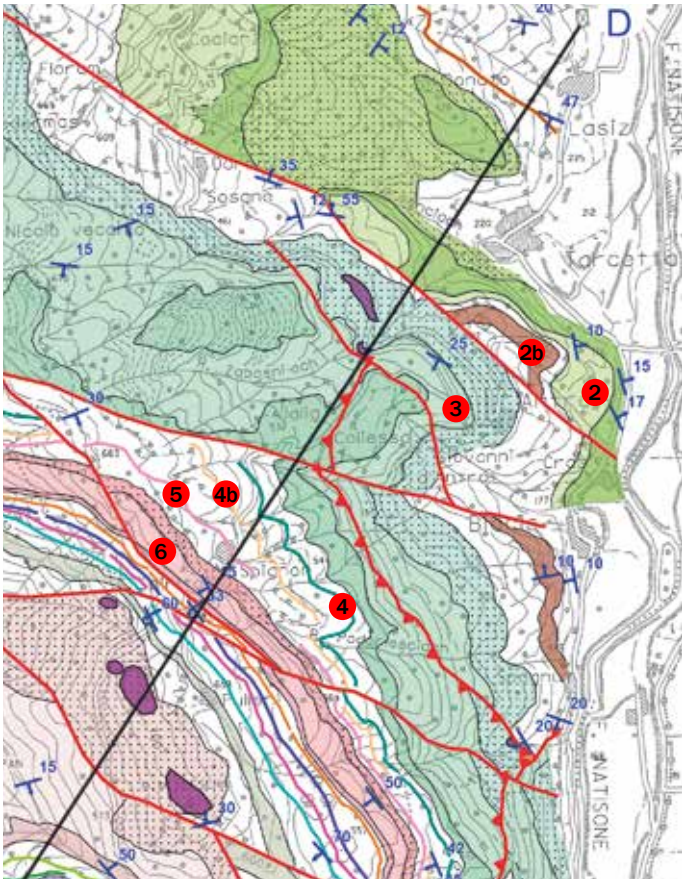


Fig. 3 - Stralcio della carta geologica per la zona di San Giovanni d'Antro con traccia della sezione C-D. Scala circa 1:30.000.

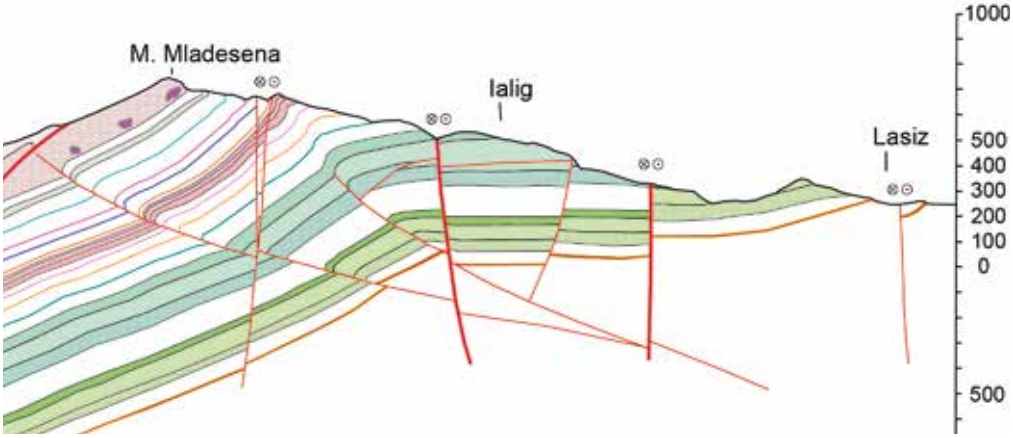


Fig. 4 - Stralcio della sezione C-D: sono rappresentati i megabanchi dal tetto del Flysch di Masarolis ai primi livelli del Flysch del Grivò, quindi dal n° 1 fino al n° 11. All'interno del megabanco n°3, in verde acqua, si sviluppa la Grotta di San Giovanni d'Antro che in sezione si trova appena a destra di Ialig.

Fig. 5 - La chiesa di San Giovanni d'Antro all'uscita della grotta omonima. Sono ben evidenti le pareti di calcareniti del megabanco 3; nel bosco sottostante affiorano le brecce grossolane mentre in quello soprastante le marne del megabanco stesso (foto I. Pecile).

La sezione orientata WSW-ENE (Fig. 2) evidenzia una serie di faglie e pieghe che interessano il M. Zuogna e che interrompono la continuità dei megabanchi limitando così il potenziale sviluppo in quella direzione (cioè verso NW) dei sistemi carsici (Ponton, 2019).

Nella sezione C-D (Figg. 3 e 4) si può osservare la zona presso l'abitato di Ialig ove dentro il megabanco n° 3, o megabanco del Monte Ioanaz, rappresentato in colore verde acqua, si sviluppa la Grotta di San Giovanni d'Antro (4/43 Fr; Ponton & Turco, 1997). In quel punto la porzione carsificabile costituita da calciruditi e calcareniti (unità U3-U4) è potente 80 m (Fig. 5). che corrisponde alla profondità del pozzo recentemente aperto ed esplorato proprio a NE di Ialig; il megabanco in quella zona giace con basse pendenze o suborizzontale per un breve tratto a NE e in tutto il vasto settore a NW verso il Monte Craguenza, zone di potenziale sviluppo del complesso sotterraneo esplorabile. Verso SW invece piega bruscamente e si approfondisce notevolmente entrando nella zona freatica. Al di sotto del megabanco n° 3 si vede il n° 2, rappresentato in verde, potenzialmente sede ideale per la presenza di cavità carsiche; più a monte il megabanco n° 6, in rosa, che costituisce la dorsale erbosa presso Santo Spirito sopra Spignon, sede di inghiottitoi, mentre la cima del Monte Mladesena è costituita dal megabanco n° 11 che si può seguire morfologicamente fino a Vernasso, sede della cava e che qui raggiunge il suo massimo spessore di 240 m.

Bibliografia

Feruglio E., 1925 - Le Prealpi tra l'Isonzo e l'Arzino. *Boll. Assoc. Agr. Friulana*, s. 7, 39-40: 301 pp.

Feruglio E., 1929 - *Note illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie, foglio Udine.* Uff. Idrog. R. Magist. Acque, sez. geol., 77 pp.

Feruglio E., 1954 - *La regione carsica di Villanova in Friuli.* Pubbl. Istituto Geologico dell'Università di Torino, 2: 68 pp.

Pini G.A. & Ponton M., 2023 - *Carta geologica dei megabanchi del Bacino Giulio (Flysch del Grivò e Masarolis) - Map of the mass transport deposits ("megabeds") of the Julian Basin*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e Università degli Studi di Trieste.

Ponton M., 2010 - *Architettura delle Alpi Friulane*. Pubbl. Museo Friulano di Storia Naturale, 52: 80 pp., 8 sezioni, 1 carta geologica.

Ponton M., 2019 - Geologia di una cavità nel Flysch del Grivò: Grotta Tirfor o Sistema Bernardo Chiappa (Monte Bernadia, Prealpi Giulie). *Mondo Sotterraneo*, n.s., 43 (1-2): 71-90.

Ponton M. & Turco S., 1997 - La Grotta di San Giovanni d'Antro: geologia dell'area ed evoluzione della cavità. In: *Il fenomeno carsico delle Valli del Natisone*, Mem. Ist. It. Spel., s. II, vol. 9, 119-126.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 111-122.

Graziano Cancian, Damiano Cancian

Microclima e dinamica dell'ossigeno nell'Antro di Casali Neri (Carso Classico, Comune di Savogna d'Isonzo)

Riassunto - Durante un monitoraggio, durato due anni, sono state misurate le temperature e le concentrazioni dell'ossigeno nell'Antro di Casali Neri (settore nord-occidentale del Carso Classico italiano). Si è visto, così, che le temperature dentro la grotta non sono costanti poiché risentono delle variazioni meteo esterne, soprattutto in inverno quando, nel tratto più profondo, sono risultate comprese tra 6,5°C e 11,0°C. In estate e inizio autunno, invece, vi è una maggiore stabilità, con valori tra 10,2°C e 11,0°C. Per quanto riguarda l'ossigeno, invece, le sue concentrazioni volumetriche dentro la grotta sono influenzate non solo dalla temperatura ma anche dalla dinamica della ventilazione, che nei mesi freddi è diversa quella dei mesi caldi. In inverno, infatti, l'aria fredda, più pesante, entra nella cavità, favorita dal versante inclinato della dolina, si riscalda e poi esce dall'ingresso superiore. Vi è, dunque, un buon ricambio che arriva fino al tratto finale. Per questo motivo, i valori dell'ossigeno sono abbastanza costanti. In estate, invece, quando l'aria esterna è più calda di quella interna, un ricambio significativo avviene soltanto nelle parti più vicine agli ingressi, mentre nel fondo della grotta si può formare qualche sacca di "*foul air*" (aria viziata) con cali dell'ossigeno fino a 19,6% - 19,4%. Nei due anni di monitoraggio, infine, si è visto che nel tratto più profondo della grotta, vi è una leggera tendenza a un aumento delle temperature massime e a una leggera diminuzione dell'ossigeno.
Parole chiave: Antro di Casali Neri, Microclima ipogeo, Carso Classico.

Abstract - **Microclimate and oxygen dynamics in the Casali Neri Cave (Classical Karst, Municipality of Savogna d'Isonzo, NE Italy).**
During a two-year monitoring, temperatures and oxygen concentrations were measured in the Casali Neri Cave (north-western sector of the Italian Classical Karst). Thus, it has been seen that the temperatures inside the cave are non-constant as they are affected by external weather variations, especially in winter when, in the deepest section, they were between 6.5°C and 11.0°C. In summer and early autumn, instead, there is greater stability, with values between 10.2°C and 11.0°C. As far as oxygen is concerned, however, its volumetric concentrations inside the cave are influenced not only by the temperature but also by the dynamics of the ventilation, which in the cold months is different from that of the warm months. In winter, in fact, the heavier cold air enters the cavity, favoured by the inclined slope of the doline, warms up and then exits from the upper entrance. There is, therefore, a significant exchange that reaches the final section. For this reason, the oxygen values are quite constant. In summer, on the other hand, when the external air is warmer than the internal one, a significant exchange takes place only in the parts closest to the

entrances, while in the bottom of the cave some pockets of “foul air” can form with decrease of oxygen up to 19.6% - 19.4%. Finally, in the two years of monitoring, it was seen that in the deepest section of the cave, there is a slight tendency for an increase in maximum temperatures and a slight decrease in oxygen.

Keywords: Antro di Casali Neri, Underground Microclimate, Classic Karst.

Premessa

Gli studi sulla concentrazione dell’ossigeno - O_2 - nell’aria delle grotte sono ancora scarsi. Inoltre, in gran parte delle cavità naturali, di solito le sue concentrazioni sono sufficienti per la normale respirazione degli speleologi ed eventuali abbassamenti magari passano inosservati. Più spesso, invece, sono state descritte le dinamiche contemporanee dell’ossigeno e del diossido di carbonio. Ad esempio, Halbert (1982) introduce il “*Cave Air Index*” (CAI), che è così determinato:

$$\textit{Cave Air Index} = (CO_2)\ \textit{concentration} \,/\, (21 - O_2\ \textit{concentration})$$

Questo indice permette, poi, di distinguere i tre tipi di “*foul air*” (aria viziata), riconosciuti da James (1977): *carbon dioxide addition*; *respiration*; *residue enhancement*.

Ampie informazioni su questi argomenti, comprendenti anche gli effetti sugli speleologi, sono date da Osborne (1990), Garry (1997, 1999) e ancora prima da Wigley & Brown (1976), i quali affermano che la maggior parte delle grotte “respira” mediante un processo descritto come “effetto camino”, basato sulla differenza di temperatura tra l’esterno e l’interno. Più recentemente, Sanchez (2020) mette in relazione gli abbassamenti dell’ossigeno in grotte della Spagna col cambiamento climatico in atto. Per quanto riguarda le grotte del Carso Classico, Dambrosi (2015) riporta interessanti relazioni tra diossido di carbonio e ossigeno mentre Restaino (2023) segnala carenze di ossigeno in certi tratti della Luftloch, dove la percentuale volumetrica era scesa addirittura attorno all’11%.

Per poter meglio interpretare tutti questi dati, è utile ricordare che la concentrazione dell’ossigeno nell’aria si può esprimere in “valori relativi” oppure in “valori assoluti” come descritto da Bugbee & Blonquist (2006). La percentuale relativa, rispetto agli altri gas nell’aria, è sempre costante ed è pari a 20,95% con l’avvertenza, però, che questo valore si riferisce ad aria perfettamente secca. Di solito, invece, l’aria ha un certo grado di umidità e può contenere vapore acqueo fino a un massimo del 4%.

Gli strumenti più comuni per la misura dell’ossigeno sono finalizzati spesso alla sicurezza nei posti di lavoro e nelle comunità e misurano la percentuale assoluta. Questo parametro, al contrario del valore relativo, può cambiare in diverse occasioni. Ad esempio, varia con la quota ed è ben noto che - se si sale su una montagna molto alta - si può avvertire un certo affanno, proprio per una carenza di ossigeno. In altre parole, cala la “pressione parziale” dell’ossigeno.

La dinamica di questo gas può essere associata alla legge dei gas perfetti:

$$pV = nRT \text{ da cui } V = nRT/p$$

dove: p = pressione, V = volume, n = numero di moli, R = costante dei gas perfetti, T = temperatura.

In pratica le variazioni di volume dell'ossigeno sono direttamente proporzionali alla temperatura e inversamente proporzionali alla pressione.

Cali dell'ossigeno possono accadere anche in ambienti chiusi, con ricambio scarso o nullo. A questo proposito, esistono varie normative che prendono in esame l'ossigeno negli ambienti. Nel Registro Federale del Dipartimento del lavoro (USA, 1998), compare questa frase: "*below 19.5 percent oxygen by volume, air is considered oxygen deficient*".

Strumenti e impostazione della ricerca

La ricerca ha preso in esame i dati microclimatici e le concentrazioni dell'ossigeno nell'Antro di Casali Neri che si trova nel settore nord-occidentale del Carso Classico italiano, comunemente chiamato Carso Goriziano o Carso Isontino. In particolare, sono state misurate le temperature tramite un termometro digitale con sonda, modello Checktemp1 (Hanna Instruments), mentre l'ossigeno nell'aria è stato monitorizzato tramite lo strumento Smart Sensor ST-8900, che lo misura in % vol. e che ha il vantaggio di essere sensibile anche altri tre gas: H_2S (acido solfidrico), CO (monossido di carbonio) e LEL (gas combustibili). Durante la ricerca, comunque, la loro presenza non è stata mai segnalata.

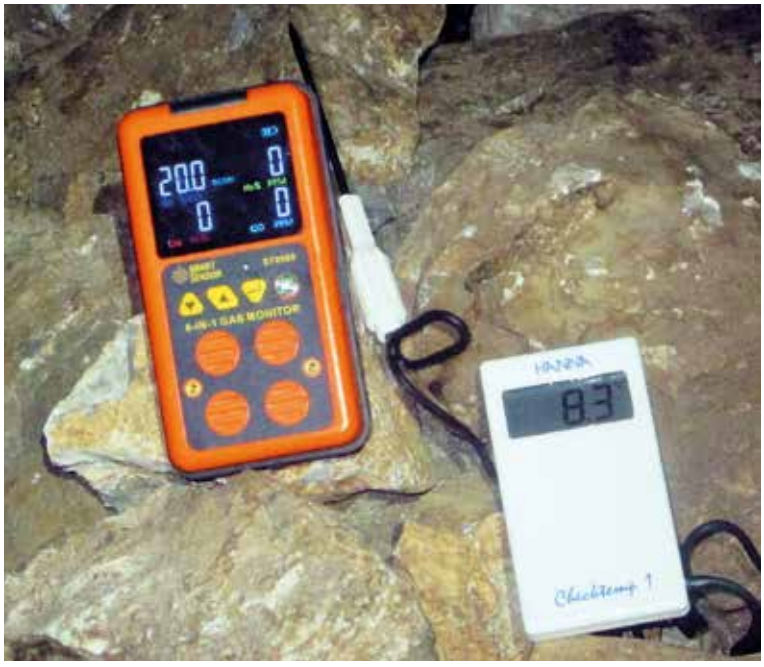


Fig. 1 - Gli strumenti utilizzati per le misure dell'ossigeno e delle temperature. Gennaio 2023.

In questa grotta, il ricambio dell'aria avviene quando l'aria fredda, più pesante, scende lungo il versante della dolina, entra dall'ingresso inferiore e poi percorre la caverna lungo il pavimento (Fig. 6). Per questo motivo, le misure sono state eseguite a qualche decimetro da terra.

Il monitoraggio è durato due anni: da marzo 2021 a febbraio 2023. In ogni mese, entro la prima quindicina, i dati sono stati raccolti due volte, in giorni diversi, spesso tra le 10 e le 11 del mattino. Nelle tabelle e nei grafici dei capitoli seguenti, per ogni mese è stata considerata media delle due misure.

La decisione di protrarre il monitoraggio per un tempo così lungo era stata presa per poter osservare l'andamento delle temperature e dell'ossigeno durante le stagioni e controllare, poi, se la stessa dinamica si ripete nell'anno successivo.

Nella grotta sono tuttora in corso altre ricerche riguardanti il diossido di carbonio e il radon, perciò i dati microclimatici, qui riportati, aiuteranno a interpretare meglio anche la dinamica di questi due gas.

Antro dei Casali Neri

È una cavità modesta ma interessante per queste ricerche poiché, dal punto di vista morfologico, si tratta di un insieme "dolina-grotta". Nel fondo di una doli-

Nome	Antro Casali Neri
Altro nome	Pecina
Numeri di Catasto	326/450 VG
Comune	Savogna d'Isonzo
Quota	191 m slm
Profondità	14.4 m (+ ~13 m della dolina)
Sviluppo	55 m

Tab. 1 - Dati catastali dell'Antro di Casali Neri.

Punti di misura e temperature	mar. 2021 - feb. 2022 media anno °C (minimo - massimo)	mar. 2022 - feb. 2023 media anno °C (minimo - massimo)
superficie (punto 1)	16,0 (5,0 - 28,2)	18,2 (5,6 - 32,6
fondo dolina (punto 2)	12,6 (4,6 - 20,3)	14,5 (5,8 - 24,9)
grotta (punto 3)	9,3 (6,1 - 11,5)	9,1 (5,4 - 11,8)
grotta (punto 4	8,9 (6,2 - 11,1)	9,0 (5,6 - 11,4)
grotta (punto 5)	9,4 (7,4 - 10,8)	9,5 (6,9 - 11,0)

Tab. 2 - dati statistici riguardanti le temperature relative a due periodi di 12 mesi: da marzo 2021 a febbraio 2022 e da marzo 2022 a febbraio 2023.

na asimmetrica, profonda circa 13 metri, infatti, sotto una parete verticale, due ingressi immettono in un'ampia caverna che, durante la Prima Guerra Mondiale, fu adattata a ricovero delle truppe. Nel tratto terminale si trova un muro con un'apertura di 140x75 cm, che restringe rapidamente la sezione. Subito oltre, la grotta prosegue con un corridoio di una decina di metri, con una saletta laterale, alla quale si accede strisciando, tramite un basso pertugio.

Quest'insieme "dolina-grotta" si apre nei Calcari di Aurisina (Cenomaniano sup. - Turoniano p.p. - Senoniano inf.) (Cucchi & Piano, 2013). Qui i calcari sono generalmente di colore grigio, talvolta con resti di Rudiste, in strati dallo spessore più frequente tra alcuni decimetri e 1,5 metri e inclinazioni attorno a 12°-16°.

Risultati

Dati Microclimatici

I risultati del monitoraggio sono stati divisi in due periodi di 12 mesi, da marzo 2021 a febbraio 2022 e da marzo 2022 a febbraio 2023. Per entrambi sono stati calcolati i dati statistici, rendendo possibile così un confronto tra intervalli della durata di un anno ciascuno (Tab. 2).

I valori esterni sono ovviamente diversi per i due periodi poiché le situazioni meteo non erano le stesse durante i momenti di misurazione. Ad esempio, l'estate e l'inizio autunno del secondo periodo sono stati più caldi del primo. Le temperature nel fondo della dolina, comunque, erano sempre più basse rispetto alla superficie, con un abbassamento medio di -3,4°C e -3,7°C. Le differenze maggiori avvengono in estate.

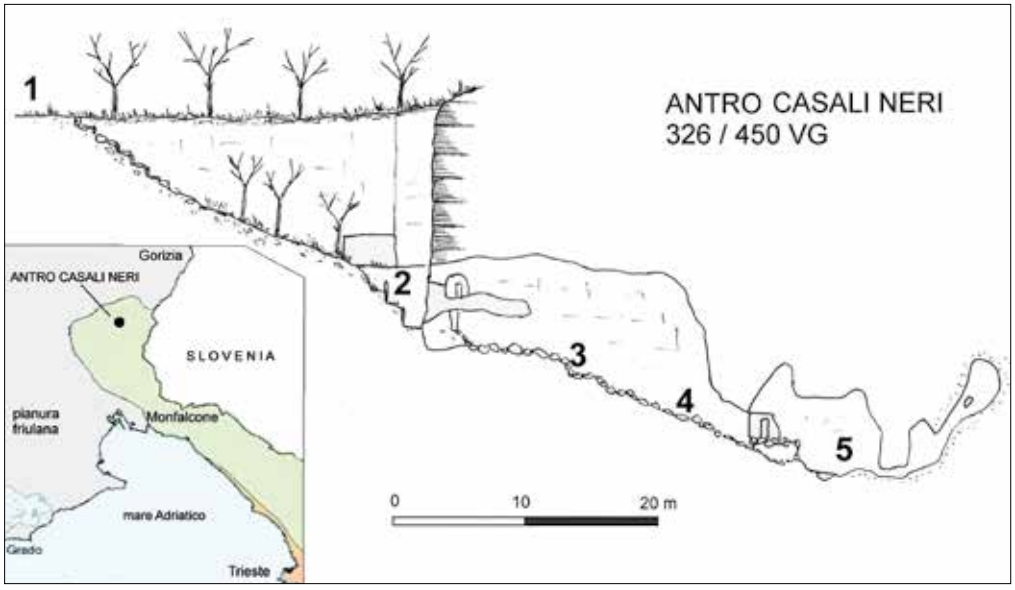


Fig. 2 - La dolina e l'Antro di Casali Neri, con indicazione dei punti dove sono state eseguite le misure.

Dentro la grotta, invece, le temperature medie sono abbastanza simili nei due periodi. Per una migliore valutazione, però, bisogna soffermare l'attenzione sui valori massimi e minimi. Ciò permette di fare due osservazioni:

- Le differenze ΔT tra massimi e minimi sono tra ~3°C e ~6°C, perciò la situazione termica dentro la grotta non è costante durante l'anno, essendo influenzata dalle variazioni meteo esterne, con effetti che tendono ad attenuarsi procedendo verso le parti più interne.
- I valori massimi sono leggermente più alti nel secondo periodo.

Tutto ciò è ancora più evidente nel diagramma di Fig. 5.

Fig. 3 - Nel fondo di questa dolina si apre l'Antro di Casali Neri.

Fig. 4 - La grande caverna dell'Antro di Casali Neri. Da notare le due entrate e i massi di crollo, sistemati a gradoni durante la Prima Guerra Mondiale.

Poiché il complesso morfologico “dolina-grotta” è una sorta di trappola per l’aria fredda, nel dicembre 2022 si è voluto osservare i movimenti delle correnti tramite il fumo di una bacchetta. L’aria fredda scendeva lungo il bordo della dolina ed entrava nella grotta solo dalla parte bassa dell’ingresso inferiore. Nell’ingresso superiore, invece, l’aria riscaldata usciva. Dentro la caverna, poi, la direzione del fumo era sempre verso l’interno, ma soltanto in prossimità del pavimento, infatti, già a poco meno di 2 metri da terra, il fumo andava verso l’alto. Nel tratto finale c’era la stessa dinamica, ma con movimenti più lenti. Nel 20 gennaio 2023, quando la temperatura esterna era solo 3,7°C, si è misurata la velocità d’uscita della corrente d’aria, tramite un anemometro, ottenendo il valore di 0,3 m/s.

A completezza d’informazione, va ricordato che l’umidità relativa, nei tratti più interni, è stata sempre superiore al 90%. La pressione atmosferica nella grotta, invece, tende a mettersi facilmente in equilibrio con quella esterna e nel punto 4 è mediamente di +2,98 hPa rispetto all’esterno.

Per una migliore valutazione di tutti i dati, va ricordato che nei due anni di monitoraggio si sono verificati questi avvenimenti:

- le piogge sono state molto scarse da gennaio ad agosto 2022, con soli 393 mm a Gorizia;
- il mese di marzo 2022 è stato freddo, con temperature sotto la media;
- tra la seconda metà di luglio e inizi di agosto 2022, per alcune settimane vaste porzioni del Carso sloveno e italiano sono state devastate da incendi. In una giornata le fiamme erano arrivate in prossimità di San Michele del Carso, che è il paese vicino all’Antro di Casali Neri.

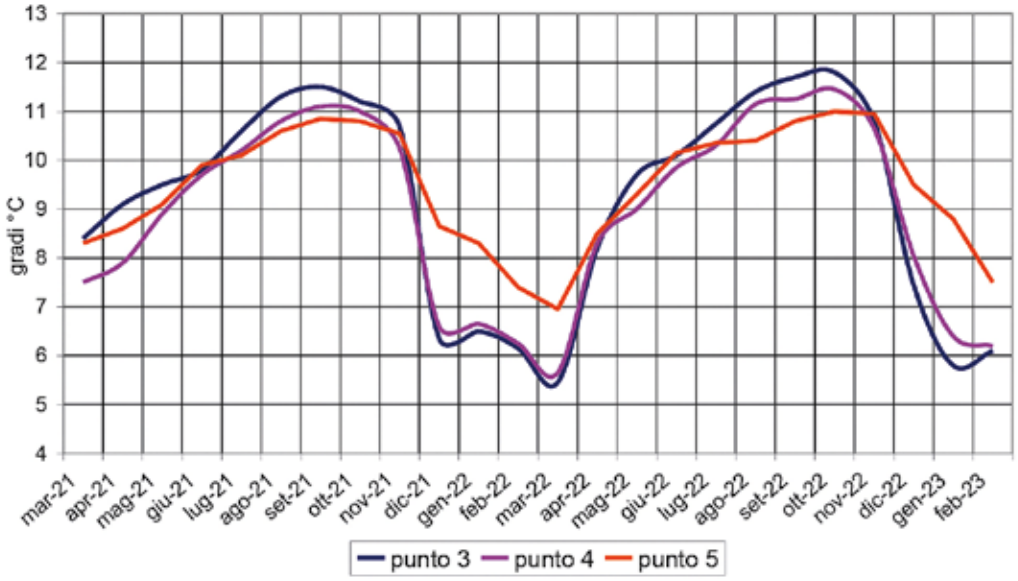


Fig. 5 - Andamento delle temperature nei tre punti della grotta da marzo 2021 a febbraio 2023.

- il mese di ottobre 2022 è stato caldo, con temperatura media di 18,0° C a Gorizia. Rispetto all'anno precedente, in questo periodo le temperature sono aumentate anche dentro la grotta.

Ossigeno - O_2

Il monitoraggio mensile dell'ossigeno è stato eseguito solo dentro la grotta. Com'è stato fatto per le temperature, in Tab. 3 si riportano i dati statistici riguardanti la sua concentrazione volumetrica nei due periodi. Anche in questo caso, le medie sono abbastanza simili nei due intervalli, però se si rivolge nuovamente l'attenzione ai minimi e ai massimi, si può notare che nel secondo periodo, c'è un leggero calo.

Maggiori dettagli si possono avere dalla Fig. 7 che riporta l'andamento mensile dei dati rilevati nei tre punti della grotta.

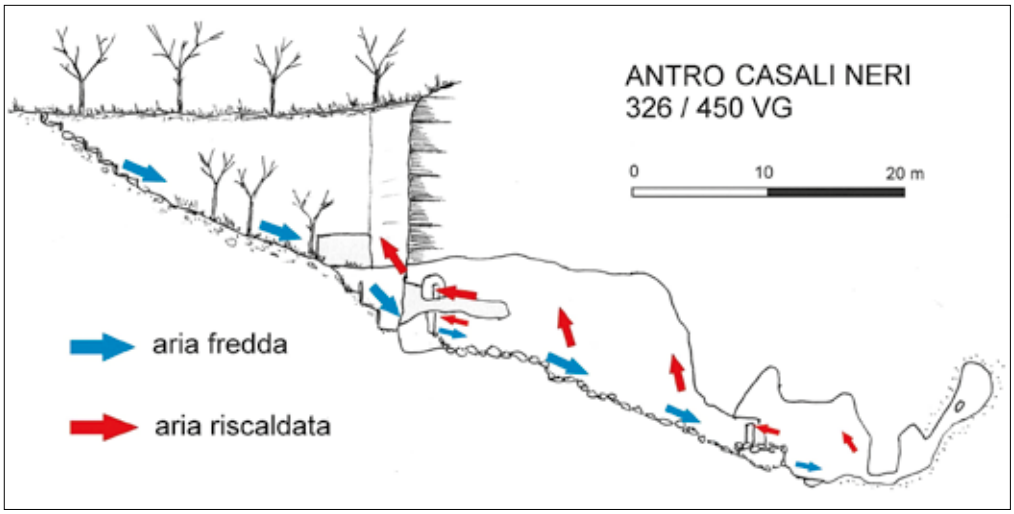


Fig. 6 - Il ricambio dell'aria avviene principalmente in inverno, quando l'aria fredda entra nella grotta. In figura è riportata la situazione osservata nel dicembre 2022. Nella parte finale, che è più riparata, i movimenti erano più ridotti.

Punti di misura e concentrazioni dell'ossigeno	mar. 2021 - feb. 2022 media anno % vol. (minimo - massimo)	mar. 2022 - feb. 2023 media anno % vol. (minimo - massimo)
punto 3	20,2 (20,0 - 20,5)	20,2 (19,9 - 20,4)
punto 4	20,1 (19,9 - 20,5)	20,1 (19,9 - 20,35)
punto 5	20,1 (19,6 - 20,5)	20,0 (19,4 - 20,3)

Tab. 3 - Dati statistici riguardanti la concentrazione dell'ossigeno, espressa in % vol., relativi a due periodi di 12 mesi: da marzo 2021 a febbraio 2022 e da marzo 2022 a febbraio 2023.

Nella figura sono stati distinti due momenti stagionali, chiamati rispettivamente "caldo" e "freddo". Nei primi la temperatura esterna è superiore a quella della grotta per l'intera giornata o per buona parte di essa. Nei secondi, invece, accade l'opposto. Tra i due momenti vi è una situazione intermedia.

Nel periodo freddo, i valori sono abbastanza costanti e simili tra di loro, mentre in quello caldo vi è una maggiore variabilità. Due picchi minimi si sono verificati nell'agosto 2021 (19,6%) e poi nell'ottobre 2022 (19,4%), che è stato un mese caldo. In queste due circostanze è stata misurata anche la concentrazione del diossido di carbonio - CO_2 e in entrambi i casi, lo strumento segnava valori attorno a 9900 ppm oppure andava fuori scala (>9999 ppm). È stata misurata anche la concentrazione dell'ossigeno in superficie ed era 20,6%.

Con questi dati, si può tentare il calcolo del *Cave Air Index* di Halbert adattandolo, però, alla nostra situazione. Per l'ossigeno, al posto del valore 21 (percentuale relativa), previsto dalla formula, si usa il valore che lo strumento segnalava in superficie (20,6%). Per la concentrazione di CO_2, invece, si stimano 10000 ppm, corrispondenti all'1,0 %. Si ottengono, così, questi risultati: 1,0 e 0,8.

Per valutare le caratteristiche dell'aria viziata, si ricorda che i tre tipi, riconosciuti da James (1977), hanno queste caratteristiche:

- tipo 1 (*carbon dioxide addition*): aumento del diossido di carbonio, ma senza consumo dell'ossigeno;
- tipo 2 (*respiration*): consumo dell'ossigeno, sostituito dal diossido di carbonio, ad esempio per cause organiche, biologiche, respirazione, combustione, ecc.;

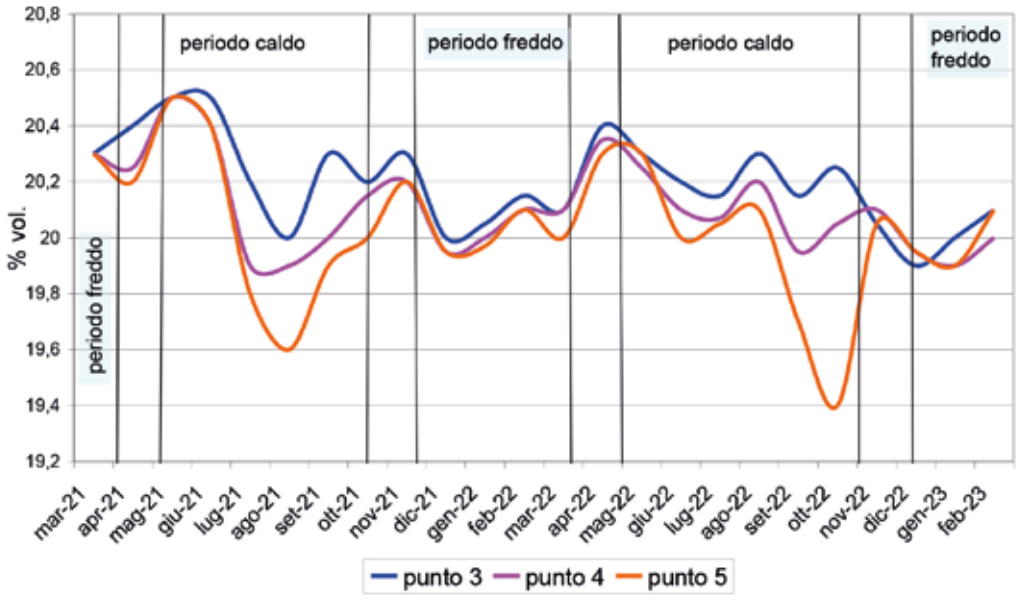


Fig. 7 - Andamento mensile delle concentrazioni dell'ossigeno nei punti 3, 4 e 5 della grotta. Da marzo 2021 a febbraio 2023.

cave air index CO_2 % / 21-O_2%	*foul air type*
4 - 5	1
1 - 4	1 + 2
0,75 - 1	2
0 - 0,75	2 + 3
0	3

Tab. 4 - Interpretazione dei vari tipi di "*foul air*" in base al "*cave air index*". 1: *carbon dioxide addition*, 2: *respiration*, 3: *residue enhancement*. (JAMES, 1977; HALBERT, 1982).

- tipo 3 (*residue enhancement*): significativo impoverimento di ossigeno, molto più che nel tipo precedente, ad esempio per presenza di metano, idrogeno solforato, ecc. Questo tipo di "*foul air*" è chiamato anche "puzzo umido" ed è piuttosto raro.

Nell'Antro di Casali Neri, nel primo caso ci potrebbe essere stata una mescolanza tra i tipi 1 e 2, però con prevalenza di quest'ultimo. Nel secondo, invece, ci potrebbe essere solo il tipo 2. In definitiva l'aria viziata è dovuta a un aumento del diossido di carbonio, con maggiore consumo di ossigeno nel secondo caso. Il fenomeno è favorito dalla scarsa o nulla ventilazione.

Per un ulteriore approfondimento di analisi, in Tab. 5 sono riportate, mese per mese, tutte le concentrazioni volumetriche % dell'ossigeno nel punto più profondo e il più lontano dall'ingresso (punto 5). Anche in questo caso è stato fatto il confronto tra i due periodi di 12 mesi e si è visto che c'è soltanto una leggera diminuzione pari a -0,08%.

Conclusioni

I dati raccolti durante il monitoraggio indicano che le concentrazioni volumetriche % dell'ossigeno sono strettamente correlate agli andamenti climatici stagionali.

Nella grotta, però, la situazione è variabile durante l'anno, poiché dipende anche dalla dinamica della ventilazione. Nei mesi freddi vi è un buon ricambio d'aria e quindi le concentrazioni dell'ossigeno sono vicine a quelle dell'esterno e relativamente stabili. Nei mesi caldi, invece, nel tratto terminale, il ricambio può essere scarso o nullo. Per questo motivo, in due occasioni, sono state registrate delle condizioni di "*foul air*", cioè di aria viziata quando lo strumento segnalava valori prossimi o inferiori a 19,5%. Questi abbassamenti, comunque, non creano alcun fastidio agli speleologi, poiché le loro visite sono brevi, inoltre il fenomeno avviene soltanto in un punto ben localizzato della grotta e solo in alcune giornate dell'anno.

Il confronto tra due periodi diversi di 12 mesi ciascuno, infine, indica che le temperature della grotta sono leggermente aumentate nel campo dei valori massimi, mentre l'ossigeno è leggermente calato, soprattutto nel tratto più profondo. Le future ricerche, quindi, dovranno dimostrare se questa è una tendenza conti-

mese	O_2 % vol	mese	O_2 % vol	differenza
mar. 2021	20,3	mar. 2022	20,0	-0,3
apr. 2021	20,2	apr. 2022	20,3	+0,1
mag. 2021	20,5	mag. 2022	20,3	-0,2
giu. 2021	20,4	giu. 2022	20,0	-0,4
lug. 2021	19,8	lug. 2022	20,05	+0,25
ago. 2021	19,6	ago. 2022	20,1	+0,5
set. 2021	19,9	set. 2022	19,7	-0,2
ott. 2021	20,0	ott. 2022	19,4	-0,6
nov. 2021	20,2	nov. 2022	20,05	-0,15
dic. 2021	19,95	dic. 2022	19,95	0,0
gen. 2022	19,97	gen. 2023	19,9	-0,07
feb. 2022	20,1	feb. 2023	20,1	0,0
media 12 mesi	20,08	media 12 mesi	20,00	-0,08

Tab. 5 - Concentrazioni dell'ossigeno nel fondo della grotta (punto 5). Confronto tra due periodi di 12 mesi ciascuno.

nua, dovuta ai cambiamenti climatici, come visto nelle grotte spagnole (Sanchez, 2020), oppure se si tratta soltanto di una normale e temporanea variazione stagionale.

Bibliografia

Bugbee B. & Blonquist M., 2006 - Absolute and Relative Gas Concentration: Understanding Oxygen in Air. *Environmental Sciences*, 1-9, ID: 7907478.

Dambrosi S., 2015 - *Indagine sulla presenza di diossido di carbonio in alcune cavità naturali del Carso Classico*. Tesi di laurea, anno accademico 2014-2015, Univ. di Trieste, Dip. di Matematica e Geoscienze.

Department of Labor, United States, 1998 - *Federal Register*, 63: 1-1159.

Garry K.S., 1997 - Naked Flame Test for CO2 in limestones cave & the effect of CO_2 and O_2 on humans. *Proceedings of 21st Conf. of the ASF 1997. Australian Speleol. Fed. Conference Papers*: 41-52.

Garry K.S., 1999 - Foul Air in limestone cave and its effect on cavers. *ASF 22nd Biennal Conference Proceedings*: 48-58.

Halbert E.J.M., 1982 - Evaluation of Carbon Dioxide and oxygen data in atmospheres using the Gibbs Triangle and Cave Air Index. *Helictite, Journal of Australian Cave Research*, 20 (2): 60-68.

James J.M., 1977 - Carbon dioxide in the cave atmosphere. *Trans. British Cave Research Assoc.*, 4: 417-429.

Osborne R.A.L., 1990 - *Carbon dioxide in tourist caves - A Review. Proceedings of fifth australian conference on cave tourism and management*. Lakes Entrance, Victoria, april 1983. Ed. by Hamilton Smith.

Restaino M., 2023 - Nuove possibilità di ricerca in correlazione ai valori di ossigeno presenti in grotta. *Speleo2022, Atti del Congresso Regionale Speleologia, Claut (PN), 24-25 sett. 2022*: 73-76.

Sanchez M.G., 2020 - Las consecuencias del cambio climático se notan en los glaciares, en el nivel del mar o en el número de eventos climáticos extremos. Ahora, un nuevo trabajo apunta que también podría reducir los niveles de oxígeno de las cuevas. *EFE: Verde*, 7 de enero 2020, Madrid.

Wigley T.M.L. & Brown M.C., 1976 - The Physics of Caves. In: Ford T.D. & Cullingford C.H.D., *The Science of Speleology*, 329-358. Academic Press, London.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 123-132.

Maurizio Ponton

Sulle orme di Egidio Feruglio
La Grotta Furmie e il Ciondar des Paganis

Riassunto - L'esame approfondito dei quaderni di campagna di Egidio Feruglio è l'occasione per ripercorrere le sue esplorazioni in due interessanti cavità delle Prealpi Giulie: la Grotta Furmie (301/187 Fr) e il Ciondar des Paganis (310/57 Fr), sito di interesse preistorico.
Parole chiave: Egidio Feruglio, Prealpi Giulie.

Abstract - The in-depth examination of Egidio Feruglio's field notebooks is an opportunity to retrace his explorations in two interesting cavities of the Julian Prealps: the Grotta Furmie (301/187 Fr) and the Ciondar des Paganis (310/57 Fr), site of prehistoric interest.
Key words: Egidio Feruglio, Julian Prealps.

Introduzione

Continua la rubrica che trae spunto dai preziosi quaderni di campagna di Egidio Feruglio (1897-1954).

Questa volta riprendo le note di un giovanissimo Egidio che l'11 novembre del 1914, allora diciasettenne studente del regio ginnasio Jacopo Stellini di Udine, si recò presso Forame e poi a Racchiuso, nei dintorni di Attimis, a visitare e descrivere cavità e morfologie. In quegli anni si era creata la situazione ideale per alcuni giovani (fra i quali Giovanni Battista De Gasperi e Ardito Desio) per intraprendere un'attività di ricerca nei campi della morfologia, idrologia, geologia e archeologia, carichi dell'entusiasmo infuso da maestri illustri che gravitavano attorno al Circolo Speleologico ed Idrologico Friulano quali Giovanni Marinelli, Francesco Musoni e Alfredo Lazzarini.

Grotta Furmie

In quel lontano giorno del 1914 Egidio, diretto alla grotta su indicazioni di Giovanni Marinelli (1876), passando per Forame, annotava tipologie di piante correlate ai diversi depositi del quaternario su cui crescevano, descrivendo la Fontana dai Sclas fra Ravosa e Attimis e poi una sorgente presso la strada poco prima di Borgo Bombardier, con temperature dell'aria 14°R e dell'acqua 9,4°R attorno alle ore 10. Ritengo che per le misure adottasse la scala Réaumur che convertita in

Celsius corrispondono ad aria 17,5°C e acqua 11,7°C, valori confermati da quelli riportati nel lavoro su Mondo Sotterraneo qualche anno più tardi (Feruglio, 1922). Poco oltre presso Canzelirs in località Zòn descrive la "Fontana Stedenza" (o Stedenzka) con temperatura dell'acqua 7,8°R (9,7°C) (Fig. 2) e dell'aria "*come alla grotta*"; questa sorgente "*sgorga al di sopra della bancata rocciosa in cui penetra la grotta*" (come ebbe a descrivere su Mondo Sotterraneo), si getta nel rio che forma una cascata, il "Pissù" (Fig. 3), alta una quindicina di metri, che precede di poco l'ingresso alla grotta e che "*è causata da un banco di calcare brecciolifero soprastante a marne ed arenarie*".

Giunge infine alla "Jama Furmie" (Grotta Furmie) presso Canzelirs ove esegue una serie di osservazioni e misure (temperatura dell'aria esterna 13°R - 16,25°C, dell'acqua 8°R - 10°C e dell'aria interna 12°R - 15°C) e un primo rilievo della cavità (Fig. 2) che s'apre sotto una parete rocciosa rivestita di edera (Fig. 5), costituita di conglomerato a piccoli e grossi elementi (Fig. 7). Poco oltre il suo ingresso vi è l'incisione profonda del Rohotig Patoch, ove si può osservare la continuazione del bancone con al di sotto i sottili strati marnosi e arenacei.

Come ebbe più tardi a precisare (Feruglio, 1922) "*la grotta è scavata in una specie di breccia o conglomerato a elementi calcareo-cretacei medi e grossi, spesso del diametro di un decimetro e talora anche di alcuni decimetri, riuniti da un cemento calcareo-marnoso*".

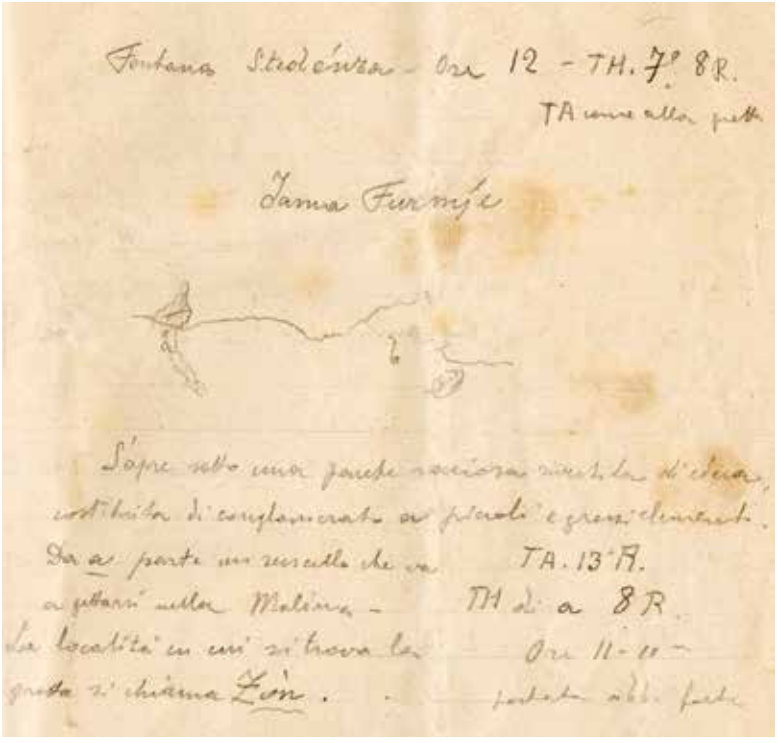


Fig. 1 - Prime note sulla "Jama Furmie" con pianta dell'ingresso e della vicina cavità da cui fuoriesce l'acqua della grotta stessa.

Sono le prime annotazioni sedimentologiche che porteranno non molti anni dopo allo studio di questo tipo di depositi, che sfoceranno nella fondamentale monografia "Le Prealpi fra l'Isonzo e l'Arzino" ancora oggi attuale e nelle note illustrative del "Foglio Geologico Udine" (Feruglio, 1925; 1929). Negli anni '80 e '90 da lì partirono gli innumerevoli studi prevalentemente condotti da Tunis & Venturini sui flysch del Bacino Giulio (Catani & Tunis, 2001 con bibliografia). Nell'ambito delle ricerche e dei rilevamenti effettuati in questi anni ho individuato il megabanco entro cui si apre la grotta, è il numero 6, è uno dei più potenti e dei più continui e che affiora molto bene in tutto il settore più a SE delle Prealpi Giulie, specialmente nelle valli del Fiume Natisone ove raggiunge i massimi spessori attorno ai 50 m velocemente riducendosi verso NW (Pini & Ponton, 2023; Fig. 4).

Qui, nella Valle del T. Malina, affiora limitatamente e forma una caratteristica cornice leggermente inclinata verso SW e potente circa 16 m comprese le marne di tetto; circa metà dello spessore del banco è costituito da brecce perlopiù carbonatiche con clasti dal centimetro a 50 cm di calcari con frammenti di rudiste e rari ciottoli di selce grigia. Qui si apre la grotta le cui pareti sono caratteristiche per la presenza di clasti e blocchi che sporgono (Figg. 5 e 7); l'origine della cavità è mista in quanto sono evidenti sia gli effetti della dissoluzione carsica sui clasti

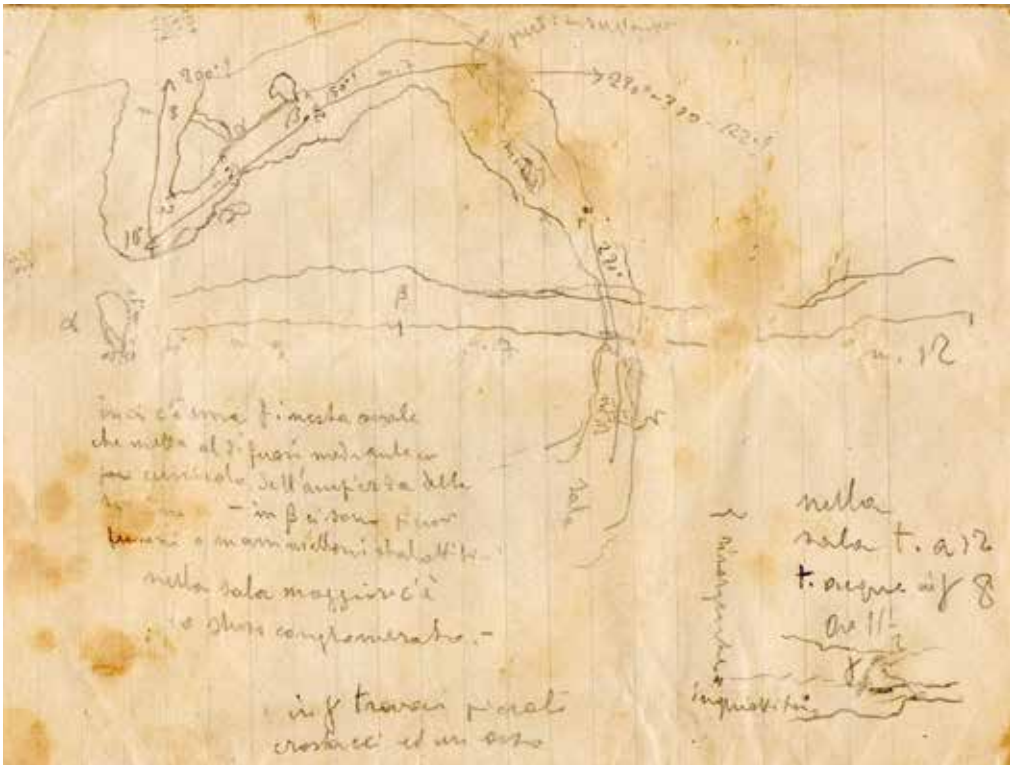


Fig. 2 - Il primo rilievo della Grotta Furmie.

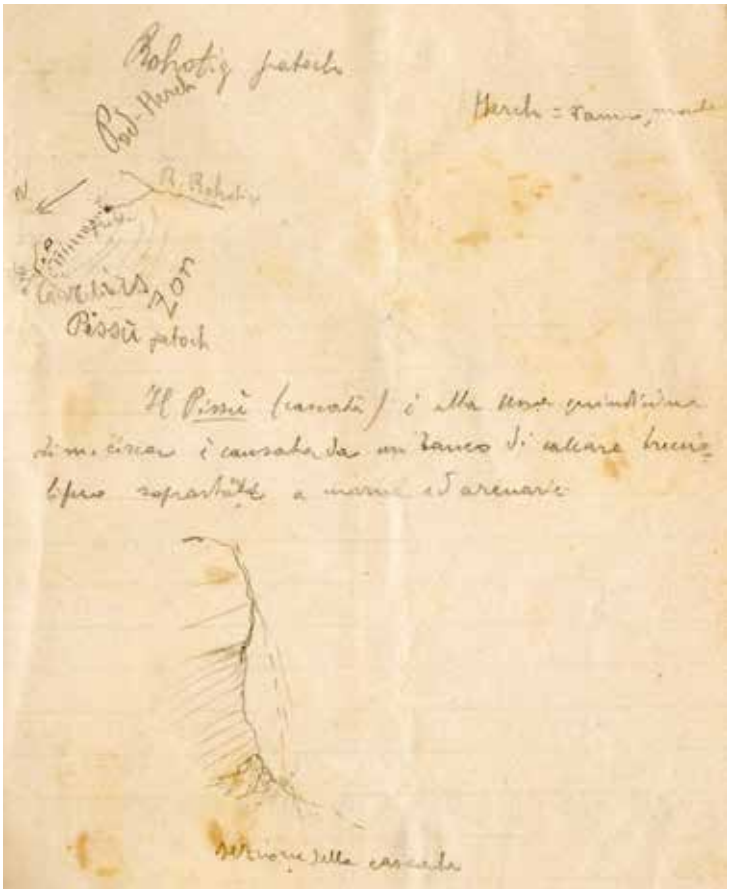


Fig. 3 - Descrizione della zona circostante la Grotta Furmie e della vicina cascata “Pissù”.

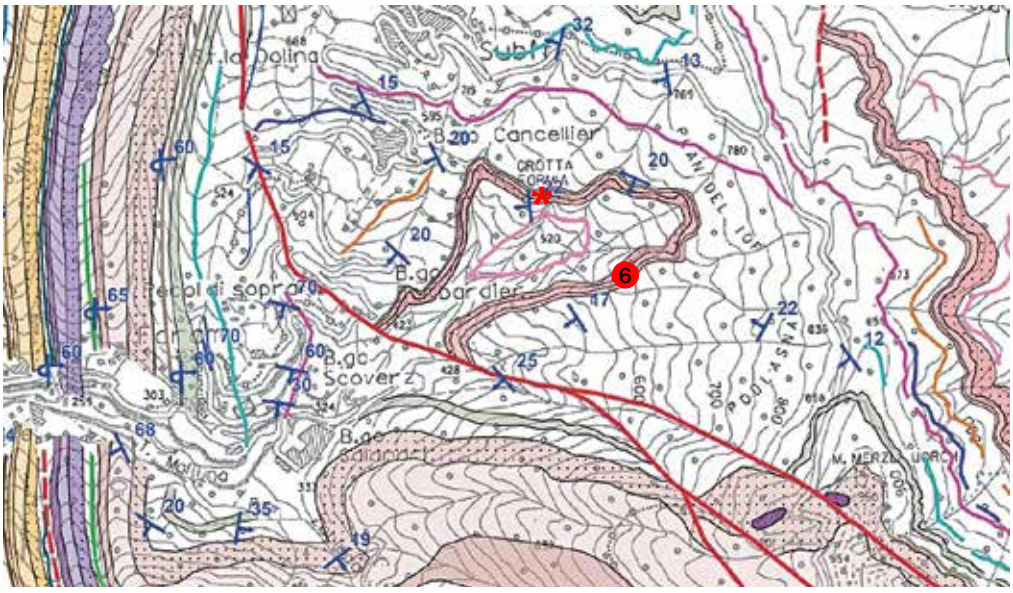


Fig. 4 - Stralcio dalla carta geologica dei megabanchi della zona attorno a Borgo Cancellier; il megabanco 6 è al centro in rosa ed è suddiviso in tre fasce che rappresentano le diverse unità deposizionali: brecce basali, calcareniti e marne. L’asterisco indica la posizione della cavità.

Fig. 5 - L'ingresso della Grotta Furmie (foto A. D'Andrea).

Fig. 6 - La cavità laterale da cui fuoriesce l'acqua della grotta (foto A. D'Andrea).

Fig. 7 - Interno della grotta: si notano sulle pareti i clasti sporgenti della breccia (foto A. D'Andrea).

calcarei della breccia, sia per crollo degli stessi a causa del loro distacco dalla matrice fine anch'essa carbonatica, sia in parte per erosione meccanica ad opera del ruscello interno.

Le note proseguono descrivendo due voragini attigue nei dintorni di Racchiuso a quota 450 m, ma senza altre indicazioni sulla loro posizione; sono scavate in un conglomerato a piccoli elementi, quindi suppongo all'interno di un megabanco (Fig. 8). Nei pressi del Ciondar des Paganis esistono vari pozzi verticali accatastati ma non sembrano corrispondere in pieno con quelli descritti da Feruglio.

Buse dai Pagans

Alla fine di quella giornata di rilevamenti Feruglio giunse a questa cavità conosciuta anche come Ciondar des Pagans o Spilugne di Landri, nota per le leggende legate a personaggi, le Pagane ispirate forse dal ritrovamento di manufatti ed ossa (Maddaleni & Guidi, 2008).

Il Nostro vi arrivò sulle indicazioni derivanti da una prima esplorazione di soci del Circolo Speleologico ed Idrologico Friulano il 16 agosto 1898 e forse con l'intento di cercare resti di manufatti preistorici vista la naturale predisposizione del luogo all'uso come riparo. Il 20 dicembre dello stesso anno, quindi un mese dopo, eseguì i primi sondaggi in compagnia dell'amico Ardito Desio e il 26 dicembre

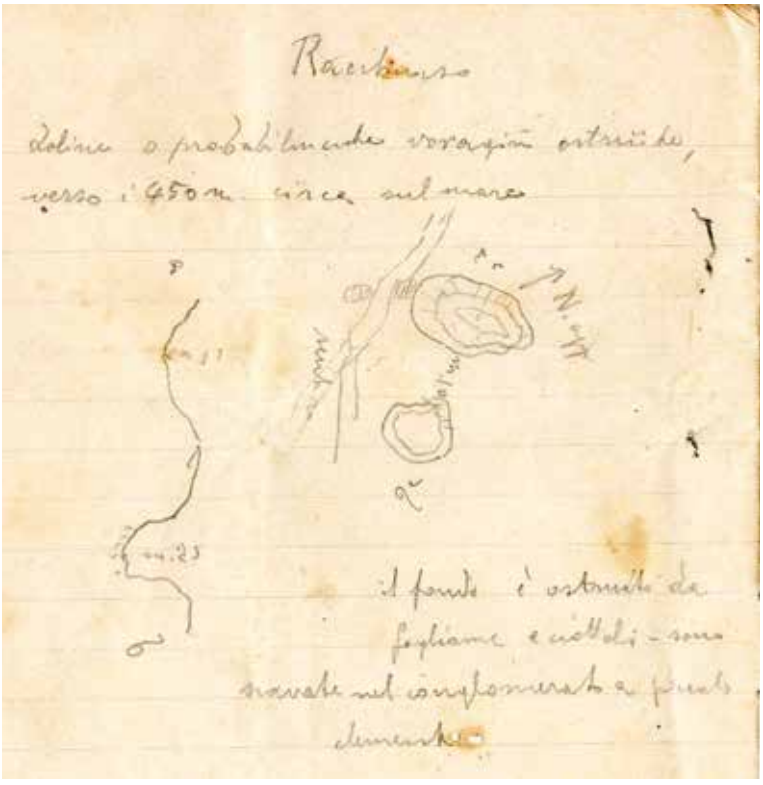


Fig. 8 - Le note relative alle due voragini che si aprono nei dintorni di Racchiuso.

Fig. 9 - Il primo rilievo del Ciondar des Paganis dell'11 novembre 1914.

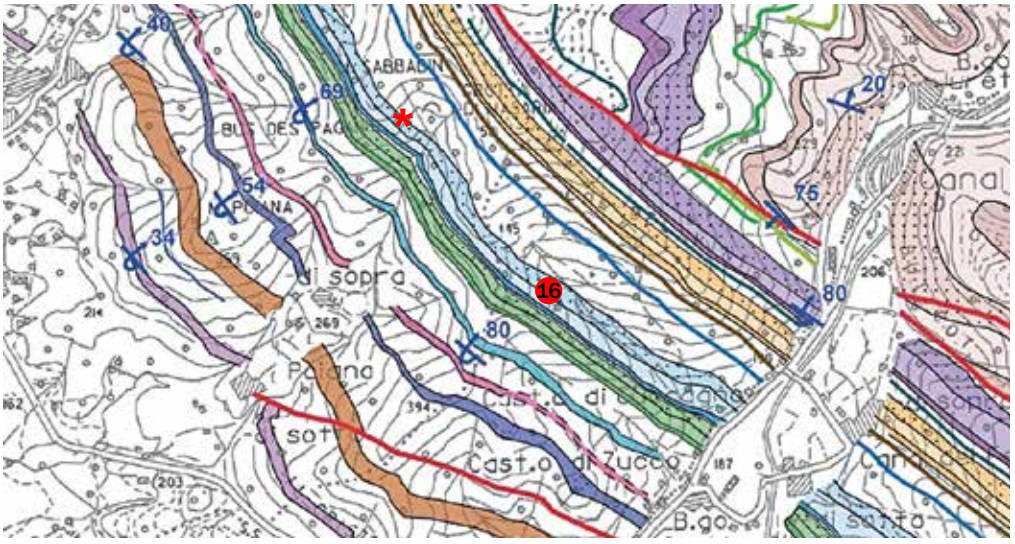


Fig. 10 - Stralcio della Carta dei megabanchi con rappresentati i megabanchi dal 11 al 22 della zona fra Poiana e Canal di Grivò; in azzurro il n° 16 entro cui, al Monte Sabbadin, si sviluppa la grotta. L'asterisco indica la posizione della cavità.

proseguì i sondaggi con Giovanni Battista De Gasperi, eseguendo delle mappe con indicati i settori di scavo. Il CSIF riprese gli scavi parecchi anni dopo, nei primi anni '60, e poi, più proficuamente, negli anni 1971-1975 (Del Fabbro, 1975), ai quali verso la fine partecipai anche io quale giovane appassionato (Ponton, 1978); i ritrovamenti vari sono riferibili ad un periodo fra l'Eneolitico e il Bronzo (Feruglio, 1916; Visentini & Maddaleni, 2008; Guidi et al., 2023).

Nel novembre 1914 Feruglio descrive per la prima volta sommariamente la cavità disegnandone un primo rilievo e scrivendo che "*s'apre sotto una parete rocciosa (di m 6-8) nel calcare brecciolifero*" (Fig. 9).

Più avanti (Feruglio, 1916) descriverà più dettagliatamente la tipologia di rocce della zona, riferendole all'Eocene, come un alternarsi di strati rovesciati verso il piano a costituire pacchi di "*marne in strati alternanti con arenarie compatte; calcari brecciati a grana più o meno grossa. Questi ultimi per maggiore resistenza alla degradazione, sporgono dai terreni circostanti, formando delle coste o balze assai erte e dirupate che risaltano e si distinguono bene anche da lungi*".

Aveva individuato così le caratteristiche essenziali della successione e del suo assetto; la grotta, infatti, si apre all'interno di un grosso banco di calciruditi e

Fig. 11 - Interno della grotta con il fondo ingombro di grossi massi, la volta con la frattura principale e sulle pareti, in rosso, i livelli del piano di calpestio precedenti ai vari scavi (foto A. D'Andrea).

Fig. 12 - A destra, veduta esterna della grotta, si notino le superfici di strato aggettanti molto inclinate, la frattura centrale e i diversi livelli degli scavi (foto A. D'Andrea).

calcareniti in posizione rovesciata con inclinazione di circa 75° immergente a NE (Figg. 11 e 12).

Riferendosi alla Carta dei megabanchi (Pini & Ponton, 2023: Fig. 10) esso è individuato come il megabanco n° 16, molto evidente e continuo, potente circa 20 m e che sembra ispessirsi improvvisamente solo presso la Bernadia. È abbastanza singolare che sia presente una cavità con andamento orizzontale entro un banco subverticale, quando gran parte delle cavità circostanti siano dei pozzi verticali, ma in questo caso il banco ha uno spessore importante e quindi un volume notevole entro cui l'acqua ha svolto la sua azione di dissoluzione lungo una frattura o un sistema di fratture ortogonali agli strati. Considerate le condizioni descritte, al di sotto anche dell'attuale piano di calpestio (che comunque nei vari scavi è stato abbassato notevolmente; Fig. 11) la grotta potrebbe avere una sezione trasversale molto più allungata verso il basso, oggi ricoperta da materiale grossolano di crollo e da crostoni stalagmitici.

Bibliografia

Catani G. & Tunis G., 2001 - Caratteristiche sedimentologiche dei megabanchi carbonatici paleogenici del Bacino Giulio (Valli del Natisone, Friuli orientale). *Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica*, 77: 81-102.

Del Fabbro A., 1975 - *Insediamenti preistorici nelle cavità carsiche del Friuli Orientale*. Soc. Filol. Friul., Serie Preist., 3: 54 pp.

Feruglio E., 1916 - Il Ciondar des Paganis. *Mondo Sotterraneo*, XII, n. 5-6: 37-48.

Feruglio E., 1922 - La grotta Furmie. *Mondo Sotterraneo*, XVII, n. 1-3 e XVIII, n. 1-3: 24-31.

Feruglio E., 1925 - Le Prealpi tra l'Isonzo e l'Arzino. *Boll. Assoc. Agr. Friulana*, s. 7, 39-40: 301 pp.

Feruglio E., 1929 - *Note illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie, foglio Udine.* Uff. Idrog. R. Magist. Acque, sez. geol., 77 pp.

Feruglio E., 1954 - *La regione carsica di Villanova in Friuli.* Pubbl. Istituto Geologico dell'Università di Torino, 2: 68 pp.

Guidi P., Montagnari Kokeli M., Sello U. & Visentini P., 2023 - Storia delle ricerche speleologiche e archeologiche nelle grotte della regione. In: *Grotte preistoriche del Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Servizio Geologico, 31-61.

Maddaleni P., Guidi P. - Le grotte delle Prealpi Giulie settentrionali tra storia e leggenda. In: *Il fenomeno carsico delle Prealpi Giulie settentrionali*. Mem. Ist It. Spel., s. II, 20: 31-41.

Marinelli G., 1876 - Grotte e Caverne. In: Territorio II, Geografia. *Annuario statistico per la provincia di Udine*. I: 65-66.

Pini G.A. & Ponton M., 2023 - *Carta geologica dei megabanchi del Bacino Giulio (Flysch del Grivò e Masarolis) - Map of the mass transport deposits ("megabeds") of the Julian Basin*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e Università degli Studi di Trieste.

Ponton M., 1978 - Cenni sulle ricerche ultimamente svolte in campo paletnologico e paleontologico in alcune grotte del Friuli Orientale. *Atti III Conv. di Speleol. Ftiuli Venezia Giulia (Gorizia 1977)*, 323-327.

Visentini P. & Maddaleni P., 2008 - La preistoria recente delle grotte delle Prealpi Giulie. In: *Il fenomeno carsico delle Prealpi Giulie settentrionali*. Mem. Ist It. Spel., s. II, vol. 20: 91-95.

mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 133-138.

Dario Ersetti

Il primo Catasto mondiale delle Grotte

Riassunto - Storicamente il primo volume dedicato al *Mondo Sotterraneo* è quello pubblicato dal gesuita Athanasius Kircher nel 1665. In realtà, un decennio prima il teologo Jacques Gaffarel pubblica l'indice del volume "*Le monde sousterrain…*" che non verrà mai scritto o comunque edito, ma cui lo stesso Kircher fa espresso riferimento nel catalogare le Grotte e Voragini.
Parole chiave: Storia della Speleologia, Kircher, Gaffarel.

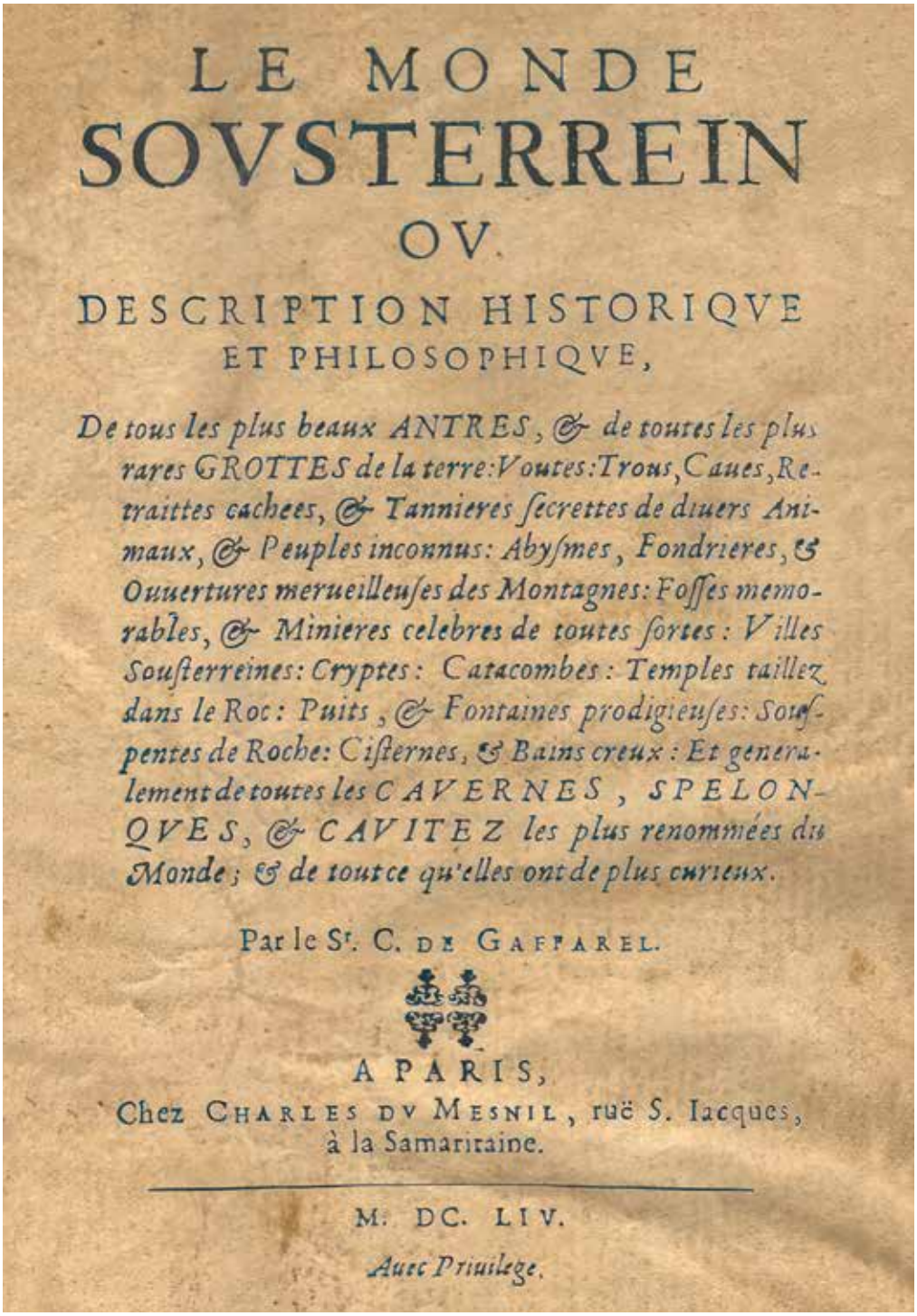
Abstract - Historically, the first volume dedicated to the *Underworld* is the one published by the Jesuit Athanasius Kircher in 1665. In reality, a decade earlier, the theologian Jacques Gaffarel published the index of the volume "*Le monde sousterrain…*" which will never be published but to which Kircher himself makes express reference in listing the caves.
Keywords: History of Speleology, Kircher, Gaffarel.

Premessa

Jacques Gaffarel(1) quasi certamente è stato l'ideatore del primo catasto mondiale delle cavità sotterranee. Purtroppo, ha pubblicato solamente l'indice di questo libro che poi non scrisse, o, comunque, non venne pubblicato, "*Le monde sousterrain ou Description Historique et Philosophique, De tous les plus beaux ANTRES, et de toutes les plus rares GROTTES de la terre* …."(2). In questo indice (Fig. 1) sono elencati solamente i nomi dei vari tipi di cavità.

In merito al Gaffarel (Fig. 2) e ai suoi libri non scritti o non pubblicati è interessante il lavoro di Saverio Campanini "*Epistola Sacra seu de Sacro Concubitu - La traduzione dell'Iggeret ha-qodeš di Jacques Gaffarel*"(3) dal quale si evince anche come nel Seicento ci siano stati numerosi tentativi di catalogare tutto, o quasi tutto.

1) Jacques Gaffarel (Jacobus Gaffarellus) ecclesiastico e dottore in teologia e diritto canonico, nato il 1601 a Mannes (Provenza) e morto a Sigonce (Provenza) nel 1681, astrologo, studioso di storia naturale e di occultismo orientale, con padronanza delle lingue ebraica, persiana e araba, bibliotecario del cardinale Richelieu, autore tra l'altro di *Profonds mystères de la cabale divine* (*Abdita divinae cabalae mysteria*), Parigi 1625 e *Curiosités inouïe sur la sculpture talismanique des Persans, horoscope del Patriarches et lecture des Estoilles*, Parigi 1629, che ha scritto in latino come gli altri suoi libri.
2) Editore Charles du Mesnil, Parigi, 1654.
3) Edizione in pdf, La Giuntina, 2019.



LE MONDE
SOVSTERREIN
OV
DESCRIPTION HISTORIQVE
ET PHILOSOPHIQVE,

De tous les plus beaux ANTRES, & de toutes les plus rares GROTTES de la terre: Voutes: Trous, Caues, Retraittes cachees, & Tannieres ſecrettes de diuers Animaux, & Peuples inconnus: Abyſmes, Fondrieres, & Ouuertures merueilleuſes des Montagnes: Foſſes memorables, & Minieres celebres de toutes ſortes: Villes Souſterreines: Cryptes: Catacombes: Temples taillez dans le Roc: Puits, & Fontaines prodigieuſes: Souſpentes de Roche: Ciſternes, & Bains creux: Et generalement de toutes les CAVERNES, SPELONQVES, & CAVITEZ les plus renommées du Monde; & de tout ce qu'elles ont de plus curieux.

Par le Sr. C. DE GAFFAREL.

A PARIS,
Chez CHARLES DV MESNIL, ruë S. Iacques,
à la Samaritaine.

M. DC. LIV.
Auec Priuilege.

Fig. 1 - L'indice del volume, mai pubblicato, di Jaques Gaffarel.

Fig. 2 - Jaques Gaffarel.

Fig. 3 - Athanasius Kircher.

Tornando al "catasto delle grotte" di Gaffarel, fortunatamente, qualche anno dopo, l'erudito Athanasius Kircher(4) pubblica il monumentale *Mundus Subterraneus*(5), riprende il lavoro di Gaffarel e, al semplice elenco, aggiunge la descrizione di ogni singolo tipo di cavità (Figg. 3 e 4).

È una lettura curiosa e in qualche modo interessante che per maggiore comodità del lettore abbiamo tradotto dall'originale latino.

L'elenco delle grotte

Libro secondo - Capitolo XX. Sulle Grotte, Voragini e innumerevoli cavità terrestri.

Jacòbus Gaffarellus nel suo Mundo subterraneo divide le Grotte della Terra in cinque classi: Divine, Umane, Animalesche, Naturali e Artificiali.

4) Athanasius Kircher (Fulda 1602 - Roma 1680), l'uomo che sapeva tutto, secondo Paula Findlen autrice di "Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything" (2004), libro dedicato all'opera visionaria ed enciclopedica del gesuita tedesco, filosofo, storico, con le sue opere distribuite in più di duemila fonti tra libri a stampa, manoscritti e lettere, su una enorme gamma di materie tra cui i corpi celesti, l'amplificazione del suono, museologia, botanica, matematica, musica, lingue asiatiche, piramidi egizie e la traduzione dei geroglifici. Una produzione, notevole per l'epoca, di studi e approfondimenti, a volte visionari, che anche se spesso confutati da ricerche successive rimangono interessanti per una storia umana delle idee.

5) Athanasius Kircher, *Mundus Subterraneus*, Joannem Janssonium & Izeum Weyerstraten, Amsterdam, 1665.

1 Le Divine le divide ancora in varie specie, che sono le seguenti: cripte angeliche o antri, nei quali c'è stata l'apparizione di angeli, come la spelonca sul monte Gargano famosissima per l'apparizione di S. Michele.
Ecclesiastiche, o Templi entro rocce scavate, per esempio come il Monte Pagodum in India.
Catacombe, o Cimiteri, che nell'agro romano sono abbondanti in modo particolare nella Roma sotterranea dove sono visitati dalle massime celebrità.
Diaboliche o Infernali, nel profondo della Terra.
Purificanti o Purgatorio, Limbo e simili, sostenuti dalla fede.
Queste ricordano le cripte dei Maghi, che si trovano in molti luoghi e nelle quali si compivano innumerevoli operazioni magiche sostenute dalla superstizione.

Fig. 4 - L'anteporta del *Mundus subterraneus* di Athanasius Kircher.

Ci sono anche le grotte degli Eroi, degli Idolatri, degli Indovini, nelle quali sono stati riportati responsi, come gli antri dell'oracolo di Delfi e dell'oracolo di Amon nell'oasi di Siwa.
A queste si possono richiamare le favolose grotte dei Poeti, dei Fauni, delle Driadi, delle Ninfe, di Tritone, della Sirena, e altri Dei.

2 Cripte Umane, tra le quali le cripte dei Giganti che si trovano in Palestina, Sicilia e in altri luoghi. Gli antri delle Muse e della Sibilla si vedono ancora in molti luoghi, come a Napoli nell'agro Cumano.
A queste si possono convenientemente aggiungere gli antri dei Santi Eremiti; come in Egitto e specialmente in Tebaide dove si conoscono innumerevoli cripte abitate dai Santi Antonio, Paolo, Ilarione di Gaza ecc; in Sicilia Santa Rosalia sul Monte Pellegrino; a Subiaco San Benedetto. In Francia B. Maria Maddalena che si ritirò nella Sainte Beaume (Santa Bellezza n.d.t.) in Provenza. Accanto ad Arles S. Egidio, e così di seguito. Con queste si possono anche ricordare le Città sotterranee, e altre che sono menzionate in seguito.

3 Cripte Animalesche, come ad esempio le tane dei leoni, tigri, lepri, volpi, orsi, serpenti e draghi (?!) e altri nascondigli di animali sotterranei e di uccelli che amano i luoghi cavernosi.

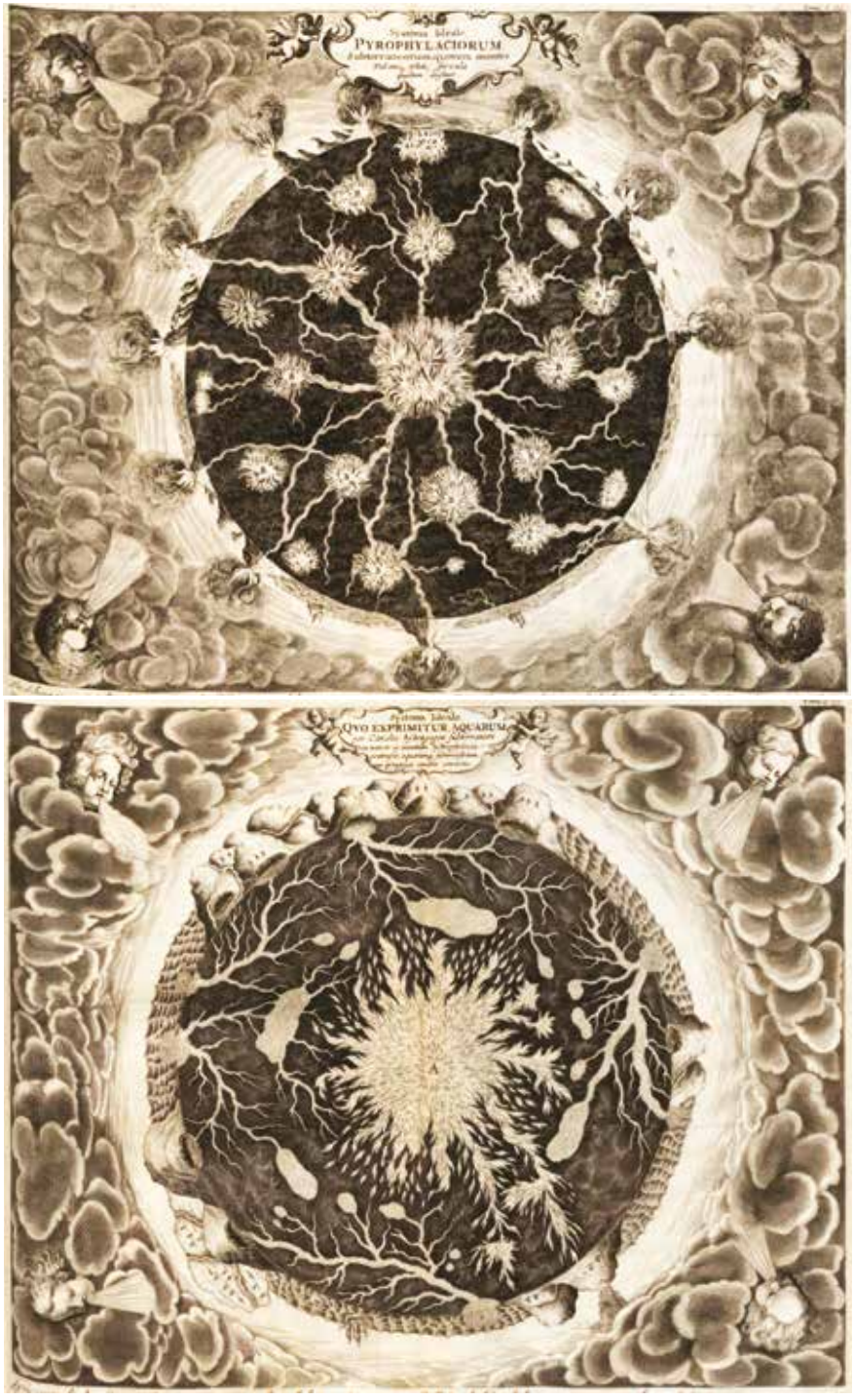


Fig. 5 - In alto le camere interne del geocosmo interessate dall'acqua, in basso dal fuoco (Athanasius Kircher, *Mundus Subterraneus*).

4 Delle Cavità Naturali esistono innumerevoli specie, secondo i fenomeni naturali che le hanno create. Alcune sono note per le loro proprietà medicamentose. Alcune emanano vapori metallici, esalazioni, cascate d'acqua. Sono anche ghiacciate, piene di neve e ghiaccio, come ricordo di aver visto sul monte Sorano. Ci sono anche le Eolie, che emettono continui flussi d'aria.

5 Le Cripte Artificiali sono create per uso umano o per animali domestici. Cunicoli sotterranei furono realizzati ad arte, come la cripta di Napoli scavata sotto Posillipo e il labirinto sotterraneo di San Giovanni a Siracusa. Queste sono chiamate cripte domestiche, idrauliche, templi sotterranei. Allo stesso modo l'estrazione della Sodina (idrossido di sodio n.d.t.) e altri minerali, di cui parleremo in seguito.

E questa è la divisione delle Cripte, e non ne considereremo altre in quest'opera, con solo un accenno a quelle naturali.

Chiamiamo naturali le camere interne della Terra che il Divino Saggio ha stabilito per gli usi necessari alle cose naturali; alcune delle quali si estendono fino alla superficie più esterna della Terra; altre, inaccessibili agli uomini, nelle più intime profondità del geocosmo, si dividono in tre specie distinte e sono create e condizionate dall'Aria, dall'Acqua e dal Fuoco (Fig. 5).

Dall'esterno preparano l'ingresso a un immenso deserto di caverne e abissi, alcuni dei quali abbiamo già menzionato.

Considerazioni

A Jacques Gaffarel va quindi il merito di essere stato il primo (per quanto ci è dato a sapere) a vedere la necessità di "catalogare" le "caverne, spelonche e cavità", siano queste naturali o artificali. Sarà poi Kircher a portare a compimento questa tassonomia, riconoscendone però, con estrema correttezza, la parternità a Gafferel.

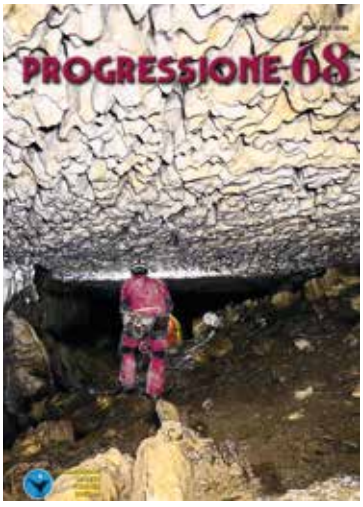
mondo sotterraneo, n.s., a. XLVII (1-2), 2023, pp. 139-145.

Pino Guidi

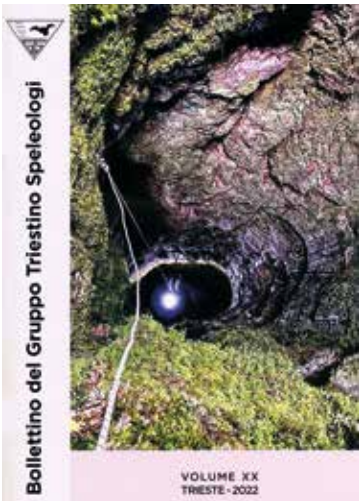
Recensioni bibliografiche 2022-2023

Cinque riviste a stampa (Mondo Sotterraneo più le quattro presentate in questo numero) nella regione sono un buon segno della vitalità non solo tecnica ma anche culturale della speleologia regionale. Ma la presenza degli speleologi non si limita alle riviste dagli stessi stampate, ma anche agli interventi su altre testate, interventi che oltre a marcare la presenza della speleologia al di fuori dello stretto ambito speleo societario, sono palese dimostrazione della volontà e capacità di relazionarsi con l'esterno.

È un segno di vitalità che ritengo venga messo in rilievo dalla serie di monografie (sette, considerando una stampata in Emilia Romagna ma avente ampie radici nella regione) pubblicate in questo periodo. Monografie in buona parte realizzate grazie alla collaborazione fra la Speleologia e la Società, intese tutte e due nel loro senso più ampio.



Progressione, la rivista che dal 1978 ci tiene al corrente sull'operato e sugli intenti della Commissione Grotte "E. Boegan", esce con il numero 68, gennaio-dicembre 2022, dalle mani di una nuova Redazione che ha faticato, come indicato nell'Editoriale, a metterla insieme nelle more della pandemia che ha rallentato non poco tutta l'attività sociale. Si presenta comunque dignitosamente: una trentina di titoli distribuiti in 96 pagine, dovuti ad una quindicina di Autori, ne dimostrano la vitalità, che si sviluppa nelle esplorazioni (Carso, Friuli, altre regioni italiane, estero), nella ricerca (geologia nella Grotta Impossibile, botanica nel Pozzo di Tronchi, maree atmosferiche nella Davorjevo Brezno), nella tecnica (Bric4), nei contributi al Catasto Grotte. Il tutto, poi, completato dalle rubriche fisse: Convegni, Notizie in breve, Narrativa, Novità editoriali, e dai ricordi degli amici scomparsi (ben cinque in questo numero).



Un altro periodico speleo che continua a sopravvivere anche sulla carta è il Bollettino del Gruppo Triestino Speleologi, giunto nel 2022 al suo ventesimo numero. Oltre a proseguire con l'esposizione dell'attività del Gruppo, le sue 64 pagine, riccamente illustrate da foto e rilievi e da una serie di servizi su quanto prodotto dai suoi soci - esplorazioni, catasto, targhettatura degli ingressi, revisioni di rilievi o di posizioni - presenta al lettore uno scritto su una diversa chiave di lettura dell'attività speleologica.

Un ampio servizio - firmato da due speleologhe (Mila Bottegal e Paola Rodari) - ci spiega come la speleologia possa essere considerata il miglior esempio di *citizen science*, scienza dal basso. Intesa non come scienza del sottosuolo (come in effetti, in qualche caso, lo è) ma come attività di ricerca effettuata al di fuori dei luoghi alla stessa deputati - Università, Musei, Istituti Scientifici ... - da persone che con gli stessi hanno poco o nulla a che fare. Si tratta del contributo alla conoscenza, intesa nel senso più ampio, fornito da chi esplora, rileva e descrive le grotte.

Uscita a fine 2022 e distribuita nel 2023 è la rivista scientifica della Commissione Grotte "E. Boegan" Atti e Memorie, giunta al suo 51° volume. Meno corposo dei precedenti - solo 104+XXVI pagine a fronte delle 134+XXIV del n. 50 e delle 202+XX del n. 49 - contiene scritti sull'interesse scientifico ed economico della terre rare (Ree) nelle bauxiti, sulle maree atmosferiche termiche (studiate nella Grotta Sperimentale C. Doria) ed una approfondita disamina dei rapporti fra speleologia e archeologia sul Carso triestino dall'Ottocento al tempo presente.

Una serie di lavori di un certo interesse, come sempre preceduti da una corposa rassegna dell'attività della Boegan nel corso dell'anno 2021 (indicato come il 139° di attività). Un numero cui hanno collaborato una decina di Autori, fra soci della Commissione Grotte e docenti di diversi istituti scientifici.

Nello stesso anno sono usciti, come supplemento numero 28 della Rivista, gli Indici di Atti e Memorie 2005-2021 (numeri 41–50). Sono ben 174 pagine che

illustrano i contenuti dei dieci volumi usciti nel periodo indicato. Quanto pubblicato nelle 1560 pagine complessive della raccolta, che si può riassumere in 96 elaborati dovuti ad una novantina di Autori, è presentato con una serie di chiavi di ricerca che aiuteranno il lettore ad orientarsi nella gran massa di informazioni presenti nei dieci numeri stampati fra il 2005 ed il 2021. La parte entomologica degli Indici è stata curata da Luigi Boscolo Folegana mentre quella botanica da Elio Polli.

Ad un anno dall'uscita del numero undici l'Unione Speleologica Pordenonese - CAI ha distribuito il dodicesimo numero di "Esplorare", Appunti di Speleologia Pordenonese, la rassegna cartacea con la quale questo sodalizio informa, e poi ferma nel tempo, sui risultati della sua attività.

Contributi suddivisi fra esplorazione (Piani Eterni, Dosaip, Genziana), storia (Grotta del Disertore), vari livelli della didattica (scuola dell'infanzia, scuola primaria, corso di introduzione al torrentismo, corso di arrampicata per speleo), ricerca (resti faunistici nella Grotta dell'Orso), turismo sotterraneo (grotte etnee) riempiono una settantina di pagine.

Una bella rivista, diretta da un uomo ma redatta da due donne e in cui dei dieci articoli sei sono firmati da maschi e quattro da femmine: che sia un segno dei tempi?

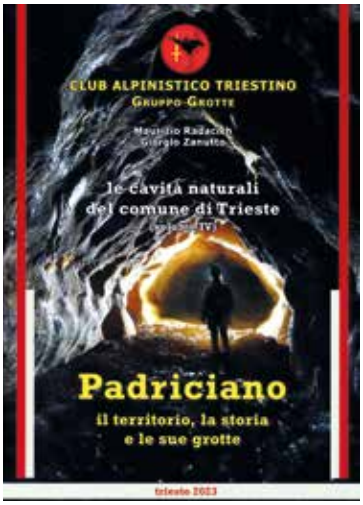
I numeri 183, 184, 185 e 186 di Alpinismo triestino, il trimestrale di informazioni e documentazione della Sezione del CAI Associazione XXX Ottobre, oltre a notizie sulla montagna e sull'attività alpinistica riportano, come di consueto, anche notizie interessanti per lo speleologo. Della didattica nella speleologia tratta Barbara Grillo nei fascicoli 183 e 184 (in quest'ultimo numero anche una nota sulla scuola di torrentismo) mentre Elio Polli, presente in tutti e quattro fascicoli, parla più diffusamente di fenomeni carsici nel n. 184 (Grotta Nemceva, 440/816 VG) e 186 (Baratro dei cavalli).

Anche la consorella rivista (a onor del vero, sorella anziana) Alpinismo goriziano, periodico della Sezione di Gorizia del CAI, ospita sulle sue pagine scritti su grotte e speleologia. Il numero 55/3 (set.-dic. 2022) riporta un'ampia relazione, scritta da Luigi Milanese, sull'opera di bonifica (asporto dei materiali abbandonati nei decenni passati dalle varie spedizioni) condotta nell'Abisso Comici mentre nel successivo 56/1 (gen.-apr. 2023) Lucio Fabi descrive l'uso, anche improprio (foibe),

delle grotte del Carso, dapprima durante la Grande Guerra e quindi durante e dopo la seconda guerra mondiale.

Di speleologia e di grotte trattano anche pubblicazioni scientifiche non speleo: fra queste spiccano, per l'attenzione che da sempre rivolgono al mondo di sotto e per una continuità che risale al XIX secolo, gli Atti del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste, giunti con questo fascicolo al loro 63° volume (2022).

Possono certamente attrarre l'attenzione dello speleologo due lavori. Il primo è un'analisi tafonomica (pagg. 5-28) su di un campione di resti di orso delle caverne raccolto nella caverna Pocala (Carso triestino), analisi volta a meglio conoscere i rapporti fra i Neanderthal e l'orso delle caverne. Il secondo lavoro (pagg. 57-65) analizza, alla luce della più recente bibliografia in materia, la possibilità dell'utilizzazione per il recupero delle Terre Rare (REE) mediante lo sfruttamento dei depositi di bauxite carsica.



Prosegue, da parte del Gruppo Grotte del Club Alpinistico Triestino, la pubblicazione delle monografie catastali sulle grotte che si aprono nel territorio della Provincia di Trieste. Dopo il volume su Longera, presentato sul Mondo Sotterraneo dell'anno scorso, ecco ora quello sulle grotte di Padriciano e dintorni. Realizzato da Maurizio Radacich e Giorgio Zanutto con gli stessi criteri del precedente e cioè: storia e descrizione del territorio esaminato, geografia economica e culturale, estesa presentazione delle 62 grotte ivi conosciute (dati catastali, storia delle esplorazioni, rilievo, stralcio della CTR con la posizione, foto degli ingressi e in molti casi degli interni).

Un breve capitolo sul catasto grotte utilizzato dai militari tedeschi negli ultimi anni dell'ultima guerra, dati sulle nuove grotte inserite in Catasto nelle zone oggetto dei libri precedenti, tabelle (elenco delle grotte già pubblicate, tabella conversione VG / REG) e bibliografia completano il volume, che è arricchito da molte belle fotografie, alcune delle quali di speleo che in quelle grotte avevano operato.

Radacich Maurizio, Zanutto Giorgio, 2023 - *Padriciano, il territorio, la storia e le sue grotte*, Club Alpinistico Triestino. Gruppo Grotte, Le cavità naturale del comune di Trieste, vol. IV, Trieste 2023, pp. 248.

Tra le monografie sulle grotte della regione abbiamo anche un volumetto di 44 pagine, edito dal Gruppo Ermada Flavio Vidonis, dedicato alla Grotta del Mitreo, l'unico ipogeo naturale in Italia sede del culto mitraico (quelli conosciuti

sono tutti in cavità artificiali). Questa pubblicazione è il prodotto di una sinergia fra il Gruppo - che nel nome perpetua il ricordo di quel nostro vecchio socio che aveva dedicato gli ultimi anni della sua vita alla conservazione e salvaguardia dei manufatti della Grande Guerra sull'Ermada - la Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio del Friuli Venezia Giulia e altri Enti, nonché del contributo finanziario della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e della Cassa Rurale del Friuli Venezia Giulia.

I vari testi, dovuti a diversi specialisti, illustrano storia e importanza di questo ipogeo (che era stato portato alla luce negli anni '60 dell'altro secolo dalla Commissione Grotte - Sezione scavi e studi di preistoria carsica "R. Battaglia") sono accompagnati da molte illustrazioni, fra cui una ricostruzione del tempio ipogeo realizzata dalla locale Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio. Vari brani, tratti da pubblicazioni di Cannarella, De Grassi, Marini, Montagnari, Stacul, completano le informazioni sul Mitreo. Una guida esaustiva su di una preziosa testimonianza di una antica religiosità sul Carso triestino.

Il Mitreo tra Storia e Leggenda, Gruppo Ermada "Flavio Vidonis" ed., s.l., s.d. (ma Duino Aurisina 2023), 44 pagine non numerate.

La Società Adriatica di Speleologia ha fatto un bel dono alla collettività speleo, riesumando dai suoi archivi storici la relazione di un'impresa risalente a settanta anni fa. Si tratta del diario sulla prima grande impresa speleosubacquea scritto da Walter Maucci.

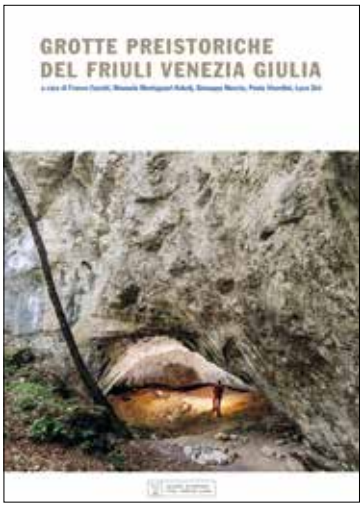
L'Operazione Corsaro accompagna, quasi giorno per giorno, il lettore lungo le varie fasi organizzative, di allenamento ed esplorative che avevano condotto, per la prima volta, a superare nella grande caverna della Grotta di Trebiciano il sifone d'entrata del Timavo. E a raggiungere un primo lago a pelo libero che gli speleosub avevano voluto dedicare alla memoria di Eugenio Boegan, lo speleologo che aveva dedicato tutta la vita allo studio della Grotta ed al corso del Timavo. Cronache di settant'anni fa che si leggono come un libro di avventure.

Maucci Walter, 2023 - *Operazione Corsaro, 1952-1953*, Soc. Adriatica di Speleologia ed., Trieste 2023, pp. 166, 2 ft.

Se la Società Adriatica di Speleologia ci ha aperto una finestra sul passato a noi più prossimo, il Gruppo Speleologico Flondar ce ne offre una su di un passato molto più lontano. Con il libro Rinoceronti a Visogliano, scritto dall'archeologo Giovanni Boschian, ci porta a scoprire e conoscere l'ambiente e le grotte in cui vivevano i nostri lontani proavi, dall'*Homo heidelbergensis*, sino all'*Homo neanderthalensis*, cacciatori stanziati sul Carso in un lasso di tempo fra i 500.000 e i 300.000 anni fa.

Di taglio essenzialmente didattico è strutturato su di una mezza dozzina di brevi capitoli (sull'importanza del sito archeologico, dell'evoluzione climatica, presenza dell'uomo, dei suoi attrezzi, della fauna coeva) l'ultimo dei quali con indicazioni su come vengono effettuali gli scavi archeologici. Una ventina di schede a colori illustrano e rendono immediata la comprensione del testo.

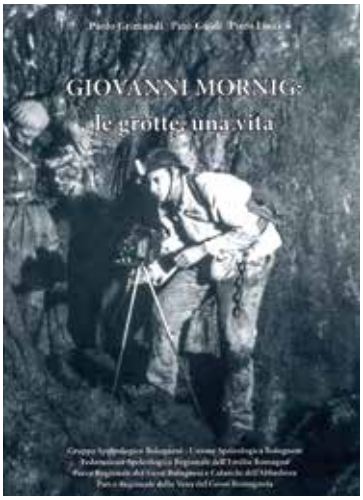
BOSCHIAN Giovanni, 2021: *Rinoceronti a Visogliano*, Gruppo Speleologico Flondar ed., Duino Aurisna (TS), 2021, stampa Luglioprint, Trieste, pp. 108



Se con queste monografie le associazioni speleologiche hanno dato prova della loro vitalità nel settore esplorativo come pure nel campo culturale, l'interazione degli speleologi con Regione, Università, Musei dimostra che anche con la collaborazione si possono ottenere buoni risultati. Una prova evidente è data da Grotte preistoriche del Friuli Venezia Giulia, un volume di 160 pagine, con testi organizzati in dieci capitoli integrati da otto inserti, il tutto completato da foto, disegni, mappe, rilievi di grotte. Pagine destinate a illustrare ad un pubblico non specialistico il cospicuo patrimonio archeologico nascosto nelle grotte. I cinque curatori di quest'opera sono riusciti a coordinare gli scritti di quasi trenta Autori, specialisti nel loro ramo, e a raccogliere foto da una cinquantina di persone ed Enti diversi.

Il risultato di questo lavoro è una panoramica intorno a quanto si conosce sulle oltre 150 cavità che risultano essere state frequentate dall'uomo da 500.000 anni sino al Medioevo. Panoramica aperta da un esaustivo capitolo sulla geomorfologia delle aree carsiche della regione e chiusa dall'elenco delle grotte di interesse paleontologico, paletnologico e archeologico presenti nella stessa.

Cucchi Franco, Montagnari Kokelj Manuela, Muscio Giuseppe, Visentini Paola, Zini Luca (a cura di), 2023 - *Grotte preistoriche del Friuli Venezia Giulia*, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile - Servizio geologico, Trieste 2023, pp. 160



Chiudiamo questa lunga rassegna letteraria presentando un libro stampato in un'altra regione, ma che per una buona parte parla della nostra: Giovanni Mornig: le grotte, una vita. Edito da una serie di enti emiliani - speleo e istituzionali - narra la complessa ed avventurosa vita di Giovanni Mornig (1910-1981), uno speleologo giuliano che divise la sua attività grottistica fra la Venezia Giulia e l'Emilia Romagna. Quindici capitoli ne descrivono la vita fra il Carso, i gessi dell'Emilia-Romagna, i deserti dell'Affrica (come sempre scriveva lui), la guerra e la prigionia, e quindi il ritorno alle grotte sul Carso e nei gessi.

Un omaggio alla memoria di un uomo che è vissuto per le grotte e uno spaccato sul mondo speleologico giuliano ed emiliano di un tempo che fu.

Grimandi Paolo, Guidi Pino, Lucci Piero, 2023 - *Giovanni Mornig: le grotte, una vita*, Gruppo Speleologico Bolognese - Unione Speleologica Bolognese, Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna, Parco Regionale dei Gessi Bolognesi e Calanchi dell'Abbadessa, Parco regionale della Vena del Gesso Romagnola, Bologna 2023, pp. 176

Pietro Someda de Marco
(13 marzo 1957 - 22 luglio 2023)

Caro Piero,
te ne sei andato di fretta, lasciandoci tutti attoniti. Hai avuto fretta di lasciare questo mondo che ti andava stretto come stretta ti stava la vita che hai vissuto questi ultimi anni, lasciando tutto e andandotene lontano dal Friuli. Scelta difficile, per troncare tutti i rapporti con la tua terra, i tuoi parenti, le tue cose, il tuo passato.

Ma è il passato in cui con te ho condiviso molte cose sportive e non. Dopo la morte di Gigi e Stefano eri diventato per me il compagno ideale di avventura. In grotta (tu venivi dall'alpinismo) meravigliavi tutti per la tua disinvoltura: sembrava che la speleologia la praticassi da sempre e quell'ambiente ti fosse cucito addosso. Ricordo in esplorazione in "ALVO" quando alla fine di un meandro ci affacciammo su di un pozzo inesplorato: io cercando il passaggio migliore mi affacciai ad una finestra e con mio sconcerto ti vidi comparire già sul fondo del pozzo. Da dove eri sceso non lo so ancora adesso, ma era tale la tua voglia di esplorare che eri sceso in libera.

Siamo stati insieme sul Kilimangiaro, anche se tu per il mal di montagna hai dovuto rinunciare alla cima scendendo dalla Gilman point (5700 m) accompagnato da un portatore. Poi in Austria sul Grossglockner, quando ormai sullo spallone che conduce alla vetta, una guida di rientro dalla cima ci consigliò di rinunciare e di ridiscendere perchè di lì a poco avrebbe iniziato a nevicare: era fine Agosto e così fu. Una nevicata così intensa da costringerci a scendere in fila indiana seguendo le tracce della Guida. Ma non contenti a causa del perdurare del brutto tempo, siamo

rientrati in Italia a Cortina andando a dormire al Rifugio Giussani sulle Tofane. Il giorno successivo abbiamo scalato la Tofana di Roces praticamente in invernale perchè dal Rifugio in su aveva nevicato in abbondanza e sulla cima c'erano 60 cm di neve e tutto il percorso era vergine. Hai partecipato alla spedizione a Santo Domingo con il CSIF, esplorando grotte sconosciute e andando sulla Sierra de Baoruco in avanscoperta alla ricerca ed esplorazione di grotte verticali presenti su quell'altopiano (Respiradero del Diablo).

Poi un giorno ti sei presentato in sede con un sacco con tutta la tua attrezzatura da speleologia dentro dicendo: "fate ciò che volete di lei io con la grotta ho chiuso". Rimanemmo tutti senza parole, ma a distanza di tempo, capimmo che era un addio definitivo alla Speleologia.

Per te le vie di mezzo non esistevano o era bianco o era nero. Cambiasti vita completamente e le tue amicizie non capirono e neanch'io capii che era in atto in te una trasformazione che ti portò a lasciare Udine, dove vivevi con la tua compagna. Lasciasti tutto, la famiglia, le proprietà etc. per inseguire un mondo diverso che forse esisteva solo dentro di te.

A me piace ricordarti con il tuo sorriso, il tuo entusiasmo, la tua intraprendenza, che alla fine degli anni '80 hai perso. Le vicende della vita di ognuno di noi ha scavato un solco tra te e gli amici del Circolo. Ci siamo telefonati alcune volte o scritti dei messaggi con il cellulare e quando venivi in Friuli ci si incontrava. L'ultimo incontro a Tarcento siamo andati a passeggiare lungo il Torre ricordando le avventure vissute insieme. Sembravi tornato il Piero che conoscevo. Così non era.

Il male che ti attanagliava da anni, ti aveva dato solo uno sprazzo di normalità per poi ricadere in quel vortice, da dove non sei più riuscito a uscire.

Ciao Piero riposa in pace.

Il tuo amico Federico

Federico Savoia

Non c'è molto da aggiungere alle parole affettuose di Federico, solo piccoli flash di ricordi.

Piero (Pietro), Il "royo loco", così è sempre stato chiamato dagli amici per il colore dei suoi capelli in gioventù ma soprattutto per il suo proporsi alquanto generosamente oltre le righe. Arrivò al Circolo a traino di Gigi Savoia, era il 1978. Appassionato di montagna volle provare anche la speleologia. Lo ricordo come oggi in una discesa all'Abisso di Trebiciano, quando si scendeva ancora in scaletta leggera tramezzata dalle scomodissime barre in ferro di traverso dei pozzi. Con noi c'erano Gigi ed alcuni speleo di Padova, città dove studiava; Piero era alla prima esperienza e tutti si meravigliarono per l'incoscienza di portare un neofita in profondità ma fu lui che uscì tra i primi con tutta la sua esuberanza giovanile,

Piero durante la spedizione a Santo Domingo nel 1986.

prima degli speleo provetti, anzi fu proprio lui che aiutò nella risalita i compagni di avventura esausti.

Frequentò il Circolo con momenti di pausa, la sua occupazione nell'azienda agricola di famiglia, lo portava a lunghe sfacchinate che a lungo termine minarono il fisico e la sua capacità di reazione.

Fu compagno di esplorazioni di molti di noi sul Col Lopic dove applicava , come ricorda Federico, le folli tecniche di arrampicata libera in un ambiente di certo più ostile. Fece parte della prima e più fortunata spedizione in Repubblica Dominicana nel 1986 e si "sacrificò" nel gruppo di alta montagna con Marietto Gherbaz e Mario Bandon. Non mancò in ogni caso di aiutarci anche in bassa quota con le esplorazioni in ambienti labirintici e resi fetidi dagli abbondanti depositi di guano nella Grotta Camili o nella Misterio.

È questo il Piero che voglio ricordare, il suo sorriso ironico nel fango delle grotte.

Umberto Sello

SOCI DEL CIRCOLO SPELEOLOGICO E IDROLOGICO FRIULANO

Soci Ordinari

Roberto BARDELLI
Giuseppe BASSI
Alberto BIANZAN
Loris BIASIZZO
Paolo BLASONI
Andrea BORLINI
Paolo CAPISANI
Andrea CHIAVONI
Cinzia CODELUPPI
Sara COMISSO
Ida COSSETTINI
Piero CRISTIN
Franco CUCCHI
David DAICI
Adalberto D'ANDREA
Emanuele DEGANO
Ilaria DI NORO
Pietro DONATIS
Luca DORIGO
Paolo FABBRO
Furio FINOCCHIARO
Marco GARDEL
Andrea GATTESCO
Fausto GEI
Rinaldo GRESSANI
Roberto LAVA
Mario LEONCINI
Elisabetta LEONE
Giovanni LUCA
Paolo MADDALENI
Roberto MARINI
Anastasia MOCCHIUTTI
Andrea MOCCHIUTTI
Damiano MOCCHIUTTI
Paolo MORETTIN
Giuseppe-Adriano MORO
Massimo MURGIA
Giuseppe MUSCIO
Renzo PAGANELLO
Elisabetta PECCOL
Sara PERESSUTTI
Franco PERSELLO
Matteo PERSELLO
Ranieri PERSELLO
Roberto PIERMARINI
Marco PIVA
Lucia PONTON
Maurizio PONTON
Carmen PREDAN
Roberto PUPOLIN
Antonella RADDI
Roberto REIA
Rosa ROMANIN
Stefania ROS
Giulio ROSA
Claudio ROSAFIO
Federico SAVOIA
Umberto SELLO
Christian SIMONETTI
Margherita SOLARI
Enrico STAGNI
Maura TAVANO
Claudio TESSITORI
Carlo TONAZZI
Mario TRIPPARI
Franco VAIA
Marco VECIL

Benemeriti

Arrigo A. CIGNA
Dario ERSETTI
Pino GUIDI
Dario MARINI
Paolo PAIERO
Piero PIUSSI

Onorari

Trevor R. SHAW

PRESIDENZA E CONSIGLIO DIRETTIVO DEL C.S.I.F. PER IL 2022-23

Presidente: Umberto Sello

Vice Presidente: Adalberto D'Andrea

Consiglieri: Ida Cossettini, Furio Finocchiaro, Roberto Lava, Giuseppe Muscio, Maurizio Ponton, Christian Simonetti

Probiviri: dr. Arrigo A. Cigna, prof. Paolo Forti, Pino Guidi

Sindaci: dr. Cesare Feruglio Dal Dan (presidente), ing. Giovanni Luca, dr. Paolo Fabbro

Soci e collaboratori che ricoprono particolari incarichi

Addetto alla Segreteria: Furio Finocchiaro
Addetto alla Tesoreria: Giuseppe Muscio
Coordinatore dell'attività scientifica: Maurizio Ponton
Archivio fotografico e sito Web: Adalberto D'Andrea
Archivio storico: Umberto Sello
Biblioteca: Valentina Bacinello
Catasto grotte: Andrea Borlini e Andrea Chiavoni
Magazzino: Christian Simonetti
Museo: Paolo Maddaleni
Scuola di Speleologia: Roberto Lava
Rapporto con la FSR FVG: Furio Finocchiaro
Ispettore al Bivacco Modonutti-Savoia: Federico Savoia
Ispettore al Bivacco Bertolutti: Emanuele Degano

INDICE

Umberto Sello - Relazione morale per l'anno 2022 ..... pag. 3

Cristina Liñán Baena, Paolo Forti, Concepcion Jiménez de Cisneros - Le spatiti elicoidali della Grotta Loma de los Riscos 3 (Torremolinos, Spagna) ..... pag. 15

Andrea Borlini - Dentro il Monte Plaiul: Grotta Sara si espande ancora ..... pag. 35

Paolo Capisani - La Grotta di Passo Geu (Forni Avoltri, Udine) ..... pag. 53

Giuseppe A. Moro, Giuseppe Muscio - Nuove ricerche speleologiche nell'area carsica del Monte Coglians ..... pag. 67

Mauro Chiesi, Francesco Murgia - Influenza delle maree sul sistema carsico del Bue Marino (Cala Gonone, Sardegna). Note preliminari sui parametri fisici rilevati (novembre 2023) ..... pag. 81

Furio Finocchiaro, Maurizio Ponton, Luca Zini, Chiara Calligaris, Paolo Manca, Michele Potleca - Test di tracciamento delle acque sotterranee della Bernadia (Prealpi Giulie): seconda puntata ..... pag. 99

Maurizio Ponton - Carta geologica dei megabanchi e speleogenesi ..... pag. 105

Graziano Cancian, Damiano Cancian - Microclima e dinamica dell'ossigeno nell'Antro di Casali Neri (Carso Classico, Comune di Savogna d'Isonzo) ..... pag. 111

Maurizio Ponton - Sulle orme di Egidio Feruglio. La Grotta Furmie e il Ciondar des Paganis ..... pag. 123

Dario Ersetti - Il primo Catasto mondiale delle Grotte ..... pag. 133

Pino Guidi - Recensioni 2022-2023 ..... pag. 139

- Pietro Someda De Marco (13 marzo 1957 - 22 luglio 2023) ..... pag. 147

finito di stampare nel dicembre 2023
poligrafiche san marco, cormòns (go)