



Andrea Mocchiutti
Furio Finocchiaro
Giuseppe Muscio

CAVITÀ SOTTO LE PARETI DEL PIC CHIADENIS (FR 2714): UN LABORATORIO SOTTERRANEO NATURALE

CAVITÀ SOTTO LE PARETI DEL PIC CHIADENIS (FR 2714):
A NATURAL UNDERGROUND LABORATORY

Riassunto breve - Alle pendici del Pic Chiadenis (Alpi Carniche, Udine) si apre una cavità (4846/2714 FR) nella quale è stato individuato un significativo deposito di ghiaccio che, sulla base delle analisi effettuate, risulta essersi formato fra gli anni sessanta e gli anni ottanta del secolo scorso e che oramai è quasi del tutto scomparso. La grotta ha fornito anche indizi di neotettonica e presenze di mineralizzazioni aragonitiche: per tutti questi aspetti la cavità potrebbe essere utilizzata come “laboratorio sotterraneo naturale” ai fini dello studio applicato del carsismo di alta quota.

Parole chiave: Speleologia, Glacialismo, Neotettonica, Minerali di grotta, Quaternario, Alpi Carniche.

Abstract - *On the slopes of Pic Chiadenis (Carnic Alps, Udine, NE Italy) there is a cave (4846/2714 FR) in which a significant ice deposit has been identified. On the basis of the analyzes carried out, it appears to have been formed between the sixties and the eighties of the last century and now it has almost completely disappeared. The cave has also provided evidence of neotectonic and presence of aragonitic mineralization: for all these aspects the cave could be used as a “natural underground laboratory” for the purpose of the applied studies of high altitude karst.*

Key words: *Speleology, Glacialism, Neotectonic, Cave Minerals, Quaternary, Carnic Alps.*

Premessa

Le cavità naturali sono ambienti particolari, definibili “conservativi” (CASTIGLIONI 2003), dove la dinamica dei processi geologici e morfologici può essere esaminata con facilità perché sono meno soggetti ai processi dell’ambiente esterno e non sono (salvo rarissimi casi) influenzati dall’intervento antropico. Le grotte hanno, quindi, la possibilità di conservare nel tempo la registrazione di eventi senza che gli effetti prodotti possano essere rapidamente cancellati o alterati dalla dinamica esogena. Fanno eccezione, almeno per alcuni aspetti, i sistemi sotterranei attivi dal punto di vista idrogeologico.

Per questi motivi le cavità carsiche sono “fonti” di informazioni geologiche nel senso più ampio del termine: dalla paleontologia alla mineralogia, dalla tettonica alla sedimentologia, dall’idrogeologia alla climatologia. Senza dimenticare gli aspetti storici e archeologici. Già nel 1989 FORD & WILLIAMS ricordavano come la geomorfologia degli ambienti carsici fornisce utili informazioni sui climi passati, specie durante il Quaternario. Tutti questi concetti sono stati riassunti da Giovanni Badino in una sola frase: *le grotte sono archivi del tempo* (BADINO 1995).

Negli ultimi decenni quello dei cambiamenti climatici è diventato un tema di grande interesse, non solo scientifico, ma anche argomento di discussione a livello politico e sociale. Ad esempio, le grotte, non risentendo delle variazioni stagionali esterne, possono conservare - se ve ne sono le condizioni climatiche - anche depositi di ghiaccio più o meno estesi. Queste cavità appartengono quindi alla criosfera il cui studio nell’area alpina ha ripreso vitalità, soprattutto come strumento fondamentale per valutare l’entità dei cambiamenti climatici in atto (BADINO 2004). La criosfera è un termine molto generale che definisce tutte quelle porzioni della superficie terrestre dove l’acqua è allo stato solido: dalle grandi calotte polari, ai ghiacciai montani, al permafrost (BARRY & GAN 2011), ai depositi di ghiaccio perenne all’interno di cavità, sia carsiche sia di origine vulcanica.

Osservazioni e descrizioni di cavità di ghiaccio datano già da molti secoli (TURRI et al. 2009a), ma solamente a partire dal secolo scorso sono iniziate le osservazioni scientifiche finalizzate a studi paleoclimatici (TURRI et al. 2009b). Una sintesi sullo stato delle conoscenze relative alle grotte con ghiaccio in Italia è stata recentemente proposta da MAGGI et al. (2018).



Fig. 1 - Posizione della cavità indicata sulla carta topografica alla scala 1:25.000 (Editrice Tabacco).

- Position of the cave on the topographic map at the scale 1:25.000 (Editrice Tabacco).



Fig. 2 - La parete Est del Pic Chiadensis: le persone al centro della foto si stanno dirigendo verso la cavità (foto A. D'Andrea).

- The east slope of Pic Chiadensis: people in the center of the photo are heading towards the cave (photo A. D'Andrea).

Nella nostra regione le Alpi Giulie conservano i lembi glaciali - ovviamente - più orientali dell'intera catena alpina, ma anche quelli collocati alle quote minori, fenomeno legato alle condizioni geomorfologiche e climatiche locali che portano ad un significativo abbassamento dei limiti altimetrici, come meglio spiegato da MARINELLI (1896) e successivamente da MORANDINI (1979).

Anche per queste ragioni i lembi glaciali del Monte Canin e dello Jôf di Montasio (CARTURAN et al. 2012) così come quelli del Monte Triglav in Slovenia (DEL GOBBO et al. 2016) sono oggetto di particolare interesse (cfr. COLUCCI & ŽEBRE 2016, anche per la bibliografia; in questa pubblicazione gli autori ricordano come "...surveys permitted the evaluation of the evolution of surface topography, thickness and the volume of glaciers in the late Holocene, that is, at present (2012) and during the LIA [ndr: la Piccola Età Glaciale, fra il XVI e il XIX secolo] maximum. The volume of small glaciers in the Julian Alps decreased drastically, by about 96%. Today only isolated glacierets and ice patches persist, having avalanche feeding and low dynamics. High precipitation permits their existence at the lowest altitude in the Alps").

Gli studi in corso, ad opera soprattutto del gruppo coordinato da R. Colucci, si stanno sviluppando anche nella direzione dell'esame dei piccoli depositi di ghiaccio presenti nelle cavità che si sviluppano ad alta quota, come quelle ben diffuse nell'Altopiano del Monte Canin. Queste ricerche, a partire dall'importanza delle informazioni che questi particolari ambienti conservativi possono restituire, hanno anche lo scopo di definire la risposta di questi lembi glaciali ai

mutamenti climatici: "A strong influence of global and local climate change in the evolution of the ice deposits has been particularly highlighted in the dynamic ice cave type, especially in regard to the role of weather extremes. The natural response of ice caves to a warming climate could lead to a fast reduction of such ice masses. The increased occurrence of weather extremes, especially warmer and more intense precipitation caused by higher mean 0°C-isotherms, could in fact be crucial in the future mass balance evolution of such permanent ice deposit" (COLUCCI et al. 2016a).

Mancavano però informazioni sulla presenza di depositi glaciali nel versante italiano delle Alpi Carniche, fino all'individuazione e allo studio di un piccolo deposito di ghiaccio in una cavità alla base del Pic Chiadenis (Monte Chiadenis nelle carte topografiche più recenti), poco a sudest del Monte Peralba e a ovest del Monte Avanza (FLORA et al. 2004; MOCCHIUTTI 2009; Fig. 1).

GUGLIELMIN e SMIRAGLIA (1998) avevano già individuato, in via preliminare attraverso l'elaborazione di foto aeree, un primo elenco di 20 *Rock glacier* nelle Alpi Carinche, ma solo 11 ricadevano nel territorio regionale, tutti classificati come "inattivi". Solo in tempi più recenti COLUCCI et al. (2016b) riprendono ed ampliano la ricerca arrivando ad identificare 41 *Rock glacier*. Indagini più approfondite (COLUCCI et al. 2019) su un *Rock glacier* attivo nei pressi di Casera Razzo, a circa 1800 m di quota, hanno permesso di individuare un corpo di ghiaccio misto a detrito del volume di circa 1-1.5 milioni di mc ad una profondità di 8 m e che gli autori ipotizzano potesse avere un volume più che doppio nella sua massima estensione. Di maggior

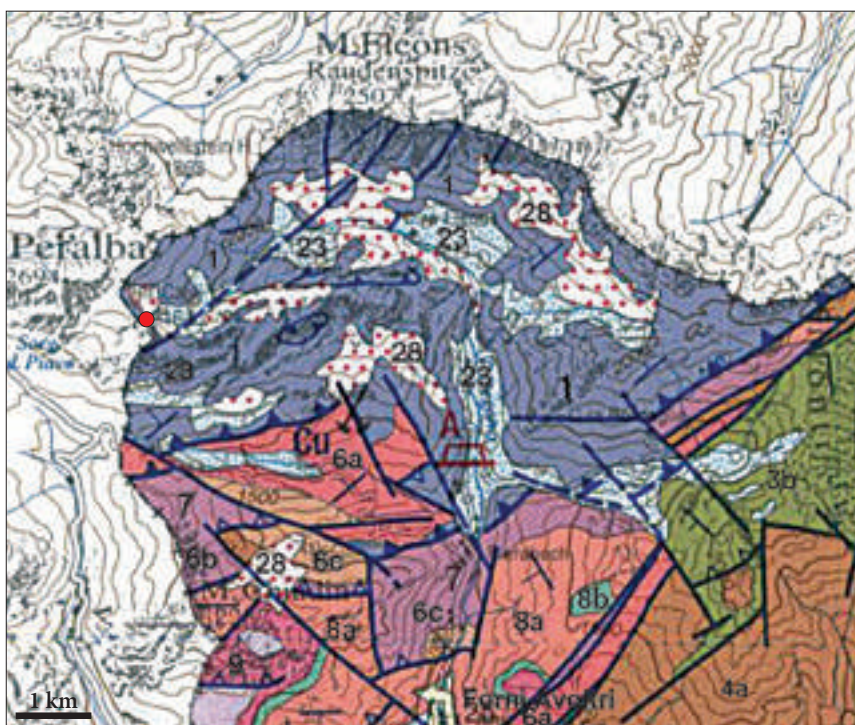


Fig. 3 - Stralcio della Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia (CARULLI 2006). 1: Basamento ercinico metamorfico (calcarei metamorfosati ecc., Siluriano-Devoniano); 3b: Calcarei di scogliera (Devoniano); 4a: Fm. Hochwipfel (Carbonifero); 6: Arenaria di Val Gardena (a) e Fm. a Bellerophon (b, c) (Permiano sup.); 7: Fm. di Werfen (Trias inf.); 8: Prevalenti calcarei dell'Anisico (Trias medio); 23: conglomerati Pleistocenici; 28: detriti di falda

- Extract of the Geological Map of Friuli Venezia Giulia (CARULLI 2006). 1: Metamorphic Hercynian basement (metamorphic limestone, etc., Silurian-Devonian); 3a: Reef limestones (Devonian); 4a: Hochwipfle Fm. (Carboniferous) 6: Val Gardena Sandstone (a) and Bellerophon Fm. (b, c) (Upper Permian); 7: Werfen Fm. (Lower Trias.); 8: Anisian limestones (Middle Trias); 23: Pleistocene conglomerates; 28: debris.



Fig. 4 - I calcari metamorfosati nei quali si sviluppa la Grotta, in uno dei pochi tratti dove non presentano alterazione superficiale. La porzione inferiore è modellata dagli *scallops* (foto A. Mocchiutti).

- *The metamorphic limestone in which the cave develops in one of the few stretches where they do not show surface alteration. The lower part is molded by scallops (photo A. Mocchiutti).*

rilievo, seppure anch'esso in netta fase di regressione (HOHENWARTER, 2013), il ghiacciaio dell'Eiskar, collocato in un'ampia conca nel versante austriaco, quindi esposto a nord, fra la Creta delle Chianevate e la Creta di Collina.

Geologia dell'area

L'area fra Forni Avoltri e Sappada rappresenta l'importante snodo tettonico fra Carnia e Cadore (VENTURINI 2006; VENTURINI et al. 2009), la zona dove gli sforzi tardo-varisici (e poi anche quelli alpini) hanno intensamente agito lungo la Faglia della Val Bortaglia, orientata circa NE-SW, l'ultimo atto dell'Orogenesi Varisica in Carnia (chiamata anche Ercinica), lungo il settore di Bortaglia ha sovrapposto una serie di rocce metamorfiche (Monte Avanza, Monte Peralba, Pic Chiadenis e Navagiust, costituiti soprattutto da metacalcari datati al Siluriano-Devoniano) su quelle non metamorfiche del restante alto Friuli (Fig. 3). Nel dettaglio, vi sono alcune centinaia di metri di spessore di calcari metamorfosati da grigio scuro a nocciola (Fig. 4), intercalati a più rari marmi arenitici e ridotti livelli di selce radiolaritica, mentre più diffusi sono i marmi massicci (calcari e calcari dolomitici metamorfosati) e le metaclastiti (*slate* e filladi).

La Linea della Val Bortaglia si è generata nel Carbonifero sup. come limite di un settore in distensione. È stata poi riattivata durante l'orogenesi Alpina, complicando l'assetto dell'area. Se a piccola scala si possono riconoscere i calcari metamorfosati dall'orogenesi Varisica nel settore a NW della faglia ed i depositi pa-

leozoico-triassici a SE della stessa, a maggior dettaglio si riconoscono una serie di scaglie e spesso intense fratturazioni. Questa linea tettonica si è comportata infatti - in oltre 300 milioni di anni - come distensiva, trascorrente e compressiva. Le direzioni dominanti delle faglie nello schema deformativo, sono comunque NE-SW e NW-SE, perfettamente coerenti con l'andamento della cavità (Fig. 5); questa si sviluppa, quindi, entro i calcari del Devoniano del Pic Chiadenis, quindi nel settore ovest della Linea della Val Bortaglia.

Dal punto di vista più prettamente morfologico l'area è caratterizzata da potenti corpi di calcari metamorfosati (Monte Avanza, Monte Peralba, Pic Chiadenis) che presentano alla base imponenti depositi detritici, separati da ampie vallate intensamente modellate dall'azione glaciale würmiana.

Grotta sotto le pareti del Pic Chiaden

La "Grotta sotto le pareti del Pic Chiadenis" (4846/2714 FR) si apre a 2.255 m di quota alla base della parete settentrionale del Pic Chiadenis (Fig. 23), cima collocata fra i massicci del Monte Avanza e del Monte Peralba, all'estremità nord-occidentale della Regione Friuli Venezia Giulia. Fra le sue caratteristiche peculiari vi è quindi quella di essere una delle cavità che si apre alle quote più elevate in regione.

Quando, nel 1988, venne scoperta e catastata dai soci del Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, la grotta era percorribile per una cinquantina di metri: dopo una breve galleria, larga un paio di metri in lieve salita ad andamento sinuoso si poteva raggiungere un

Grotta sotto le pareti del Pic Chiadenis, Forni Avoltri, Udine.

Rilevatori: Vecil, Trippari, Codeluppi, Mrak (CSIF, 1988);
Mocchiutti, D'Andrea, Turco, Donatis (CSIF, 2002-2003).

Lat. WGS-84 46° 37' 31,9133" (46,62553148)
Long. WGS-84 12° 43' 56,7751" (12,73243752)

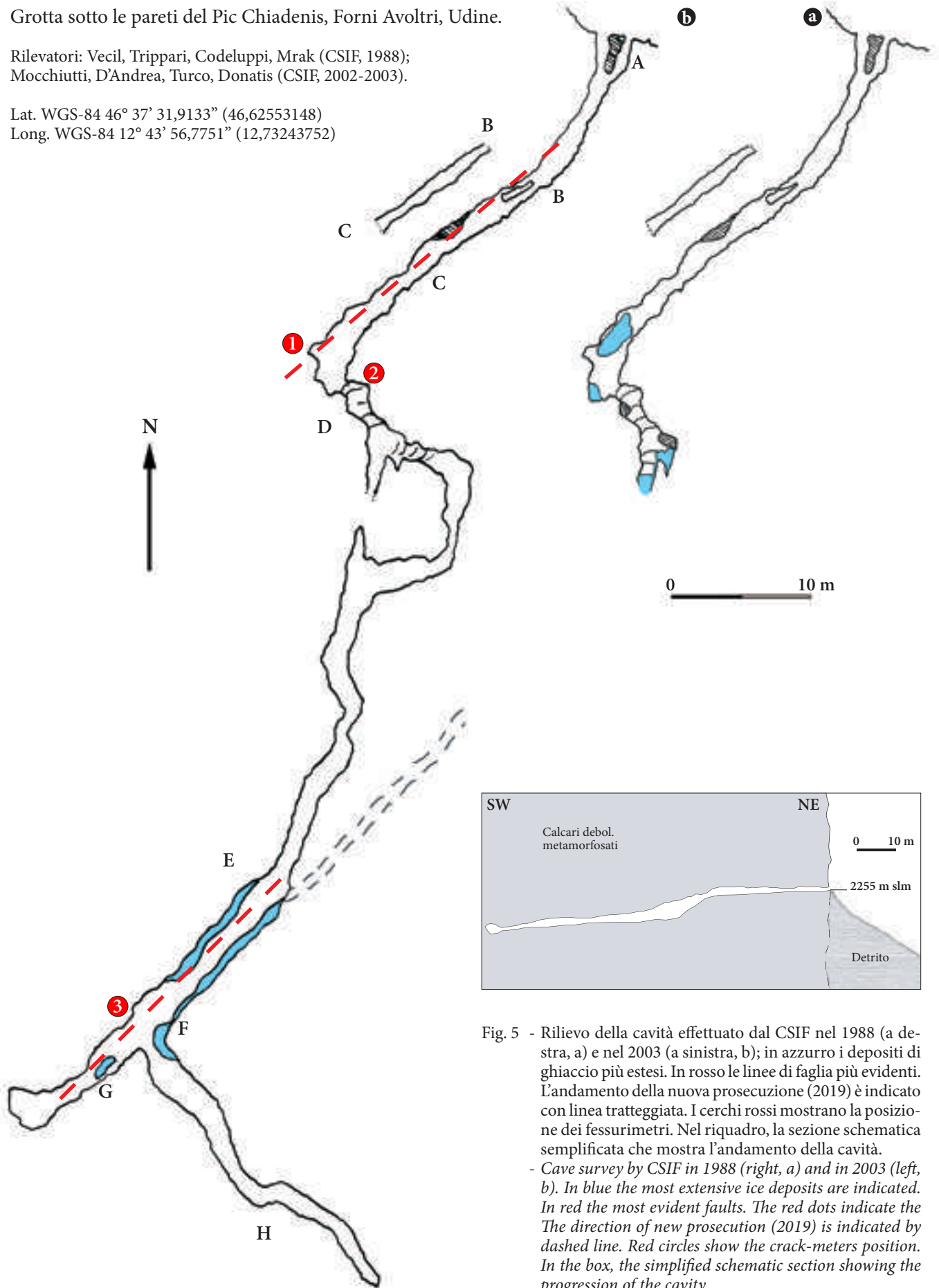


Fig. 5 - Rilievo della cavità effettuato dal CSIF nel 1988 (a destra, a) e nel 2003 (a sinistra, b); in azzurro i depositi di ghiaccio più estesi. In rosso le linee di faglia più evidenti. L'andamento della nuova prosecuzione (2019) è indicato con linea tratteggiata. I cerchi rossi mostrano la posizione dei fessurimetri. Nel riquadro, la sezione schematica semplificata che mostra l'andamento della cavità.

- Cave survey by CSIF in 1988 (right, a) and in 2003 (left, b). In blue the most extensive ice deposits are indicated. In red the most evident faults. The direction of new prosecution (2019) is indicated by dashed line. Red circles show the crack-meters position. In the box, the simplified schematic section showing the progression of the cavity.

piano inclinato che, disceso per alcuni metri, conduceva ad un'altra galleria che, all'atto della scoperta era completamente occlusa da un vero e proprio "muro di ghiaccio" (Fig. 5a) che inglobava (come verificato nelle successive esplorazioni) anche alcuni massi di crollo.

Solo fra il 2002 ed il 2003, grazie alla riduzione dei depositi di ghiaccio interni, superata una strettoia e una piccola frana, fu possibile percorrere la galleria, sempre in salita lieve, per altri sessanta metri (E in Fig. 5b). La sezione delle gallerie era (ed è) a tratti triangolare e a tratti a condotta forzata ed aveva (ed ha) sul pavimento un classico solco di approfondimento largo mediamente 50-70 cm e profondo circa 1 m (Fig. 10) dal fondo coperto da ghiaccio. Si tratta della parte più interessante di questo piccolo sistema sotterraneo dove il soffitto della grotta era coperto da una spessa coltre di ghiaccio, di un colore dal trasparente al bianco e all'azzurro intenso, e la volta ghiacciata si presentava levigata e sagomata in ampie cupole. Il ghiaccio, compatto, si alternava in strati lungo tutto il condotto fino ad una piccola sala (F in Fig. 5b). A sinistra si sviluppava un ampio meandro (H di Fig. 5b) mentre a destra concrezioni e colate di ghiaccio conducevano ad un'ulteriore saletta (G di Fig. 5b). Grazie alle nuove esplorazioni, lo sviluppo della cavità passava così da poco più di 40 a circa 140 m, con un dislivello complessivo di 10 m.

Sopralluoghi nella cavità furono ripetuti negli anni 2004, 2009, 2013 e nell'autunno del 2014, riscontrando che la quantità di ghiaccio era via via inferiore rispetto a dieci anni prima ma non in maniera eccessiva (cfr. Fig. 10). In occasione dell'esplorazione del 2009 nella

saletta G si rinvennero, sulla parete e sulla volta, alcune piccole dendriti ed infiorescenze aragonitiche, allineate lungo fratture (Fig. 17).

Durante il recentissimo sopralluogo dell'autunno 2019 il ghiaccio risulta oramai ridotto a piccoli lembi, tanto da poter considerare questo piccolo deposito glaciale sotterraneo come "in via di estinzione" (in Fig. 10 il confronto fra le tre esplorazioni). Nella parte più in quota del corridoio E lo scioglimento del ghiaccio ha consentito di accedere ad un nuovo tratto di condotta di oltre 50 m di sviluppo, ma ancora da esplorare completamente e rilevare (cfr Fig. 5a), che conduce sempre verso l'alto ma con direzione che riporta verso la parete di ingresso (NW-SE).

Nell'insieme questo piccolo sistema sotterraneo è caratterizzato da un tratto iniziale fortemente condizionato da fratture e crolli, probabilmente influenzato dalle variazioni climatiche esterne, e uno interno modellato dal carsismo con alcune piccole frane che ostruiscono in parte il passaggio. Dal punto di vista idrologico, la cavità funge da sistema drenante anche se ora praticamente inattiva.

Caratteristiche peculiare della cavità sono, in più punti, evidenti indizi di movimenti tettonici relativamente recenti che interessano in alcuni punti pareti e volte delle gallerie.

La "Grotta sotto le pareti del Pic Chiadenis" non solo è un interessante (e unico per le Alpi Carniche) sito ove studiare l'evoluzione di depositi glaciali recenti e i rapporti fra l'idrologia sotterranea e la dinamica del reticolo idrografico superficiale, ma custodisce interessanti indizi di neotettonica e presenze di minerali



Fig. 6 - Il campionamento di ghiaccio effettuato nel 2003 (foto A. D'Andrea).
- *Sampling of ice in 2003 (photo A. D'Andrea).*

Campione	$\delta^{18}O$ ‰ (vs. V-SMOW)	δD ‰ (vs. V-SMOW)	Eccesso di deuterio $d = \delta D - 8 \cdot \delta^{18}O$	Attività tritio TU
1	-9,08	-62,7	9,9	49,5
2	-9,32	-65,2	9,4	29,2
3	-9,33	-65,6	9,2	22,1
4	-9,15	-66,8	6,4	18,9
5	-8,01	-55,0	9,0	18,2
6	-9,35	-67,2	7,6	10,6

Tab. II - Risultati delle analisi effettuate sui campioni di ghiaccio raccolti nel 2003.
- Results of analyses carried out on ice samples collected in 2003.

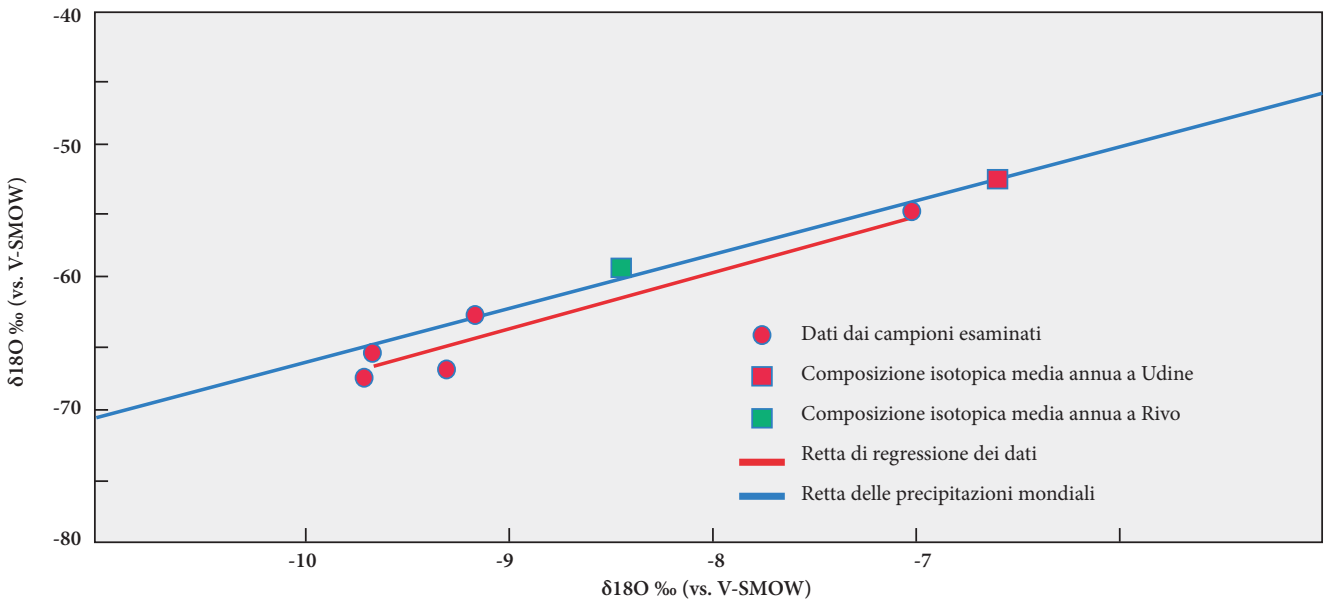


Fig. 7 - Grafico che pone in relazione gli isotopi dell'Ossigeno e dell'Idrogeno nei campioni di ghiaccio analizzati e nelle precipitazioni a livello mondiale (CRAIG 1961; da FLORA et al. 2004).
- Graph relative to the isotopes of oxygen and hydrogen in the analyzed ice samples and in the global precipitation (CRAIG 1961; from FLORA et al. 2004).

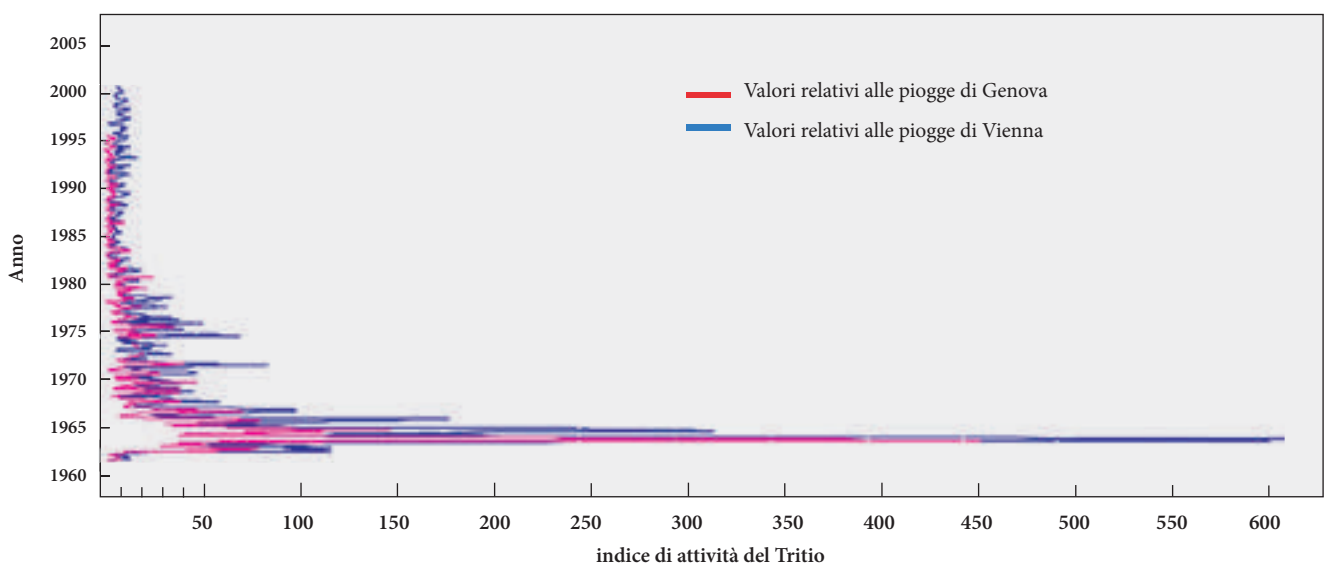


Fig. 8 - Grafico relativo ai valori di attività del tritio nelle precipitazioni delle stazioni di Vienna e Genova, calcolati al 2003 (dati GNIP: Global Network on Isotopes in Precipitations).
- Graph relative to the Tritium activity in the precipitations of Wien and Genova, calculated for 2003 (data GNIP: Global Network on Isotopes in Precipitation).



Fig. 9 - a) La galleria E prima del punto F (Fig. 5b) nel 2002; b) il punto di campionamento (cfr Fig 6) nel 2019 (foto A. D'Andrea e A. Mocchiutti).
- a) The gallery E before point F (Fig. 5b) in 2002; b) the sampling point (cfr Fig 6) in 2019 (photo A. D'Andrea and A. Mocchiutti).



Fig. 10 - Alcune immagini del tratto terminale della galleria indicata con E in Fig. 5b, che testimoniano la progressiva riduzione, nel tempo, dei depositi di ghiaccio.

Nel 2004 (a) le pareti sono completamente coperte dal ghiaccio e dal terrazzo alla volta in ghiaccio vi è meno di 1 m; nel 2009 (b) la parete di sinistra è libera dal ghiaccio e dal terrazzo alla volta ci sono circa 1,5 m (questa immagine è ripresa in direzione opposta rispetto alla precedente); nel 2019 (c) non vi è più ghiaccio che copre la volta e le pareti, ma solo alcune concrezioni originate dalla rielaborazione di parti del ghiaccio fossile sciolto (foto A. D'Andrea e A. Mocchiutti).

- Some images of the final part of the gallery, indicated by E in Fig. 5b, that show the reduction of ice.

In 2004 (a) the walls are completely covered by ice and from the terrace at a time on ice there is less than 1 m; in 2009 (b) the left wall is free from ice and from the terrace at a time there are about 1.5 m (this image is taken in the opposite direction from the previous one); in 2019 (c) there is no more ice covering the vault and the walls, but only some concretions originating from the reworking of parts of the melted fossil ice (photo A. D'Andrea and A. Mocchiutti).



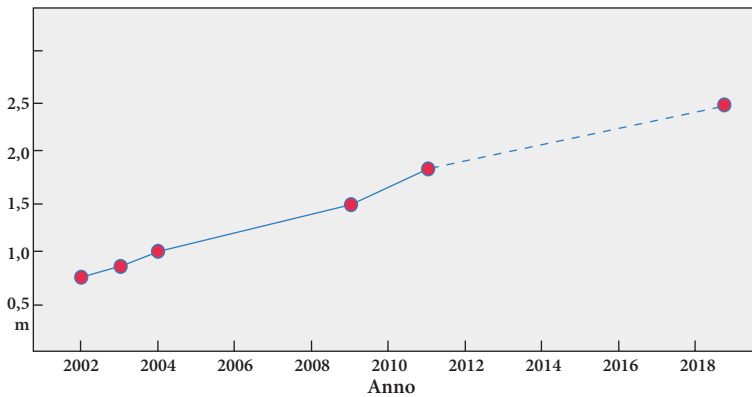


Fig. 11- Grafico relativo alla riduzione di spessore di ghiaccio. I valori indicativi, basati sul confronto fra le immagini di diversi anni, sono riferiti alla distanza fra la base della condotta e la cupola di ghiaccio al termine della galleria E (Fig. 4b). L'ultimo segmento è tratteggiato: non è possibile sapere se il ghiaccio sia stato completamente sciolto prima del 2019.

- Graph on ice thickness reduction. The indicative values, based on the comparison between images of different years, are related to the distance from the base of the phreatic passage to the ice dome at the end of the gallery E (Fig. 4b). The last part of the line is dashed: it isn't possible to know if ice was completely dissolved before 2019.

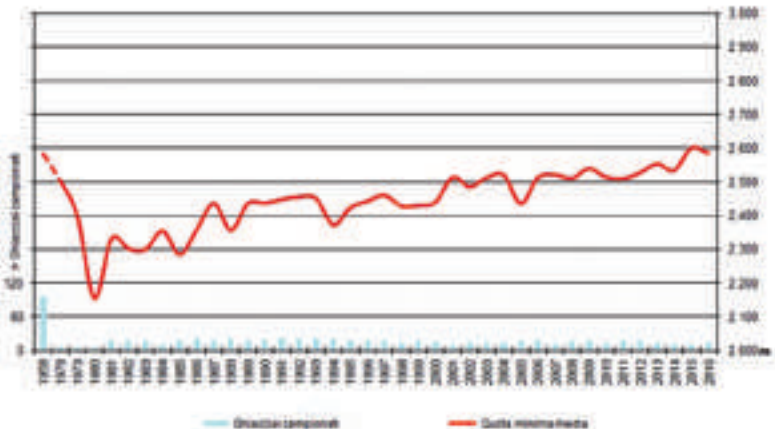


Fig. 12- Andamento della quota minima media delle fronti glaciali nelle Alpi Orientali. Nel 1980 è stata raggiunta la quota più bassa, ovvero la fase di espansione più recente; da allora, pur con piccole variazioni, la tendenza è quella della riduzione dei corpi glaciali. (Elaborazione ISPRA su dati del Comitato Glaciologico Italiano).

- Trend of the minimum average altitude of the glacial fronts in the Eastern Alps. In 1980 the lowest quota was reached, or the most recent expansion phase; since then, despite small variations, the tendency is to reduce glacial bodies. (ISPRA elaboration on data of Italian Glaciological Committee).

di grotta. Risulta così un vero e proprio “laboratorio sotterraneo naturale” che può fornire dati sui diversi aspetti dell'evoluzione più recente del territorio.

Il deposito di ghiaccio

Nell'estate del 2003 il Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, visto l'interesse e l'unicità dei depositi di ghiaccio presenti, decise di effettuare una serie di campionamenti dei depositi glaciali (Fig. 6) in collaborazione con l'allora Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Trieste per saggiarne le caratteristiche geochimiche.

Viste le evidenze di stratificazione del deposito glaciale nell'ultima sala (G in Fig. 5b) sono stati raccolti 6 campioni, prelevati e numerati dal basso verso l'alto (Fig. 6 e Tab. I), coprendo l'intera successione visibile. Sono state eseguite, nei laboratori del DST-UNITS analisi isotopiche sull'idrogeno e sull'ossigeno, per avere informazioni affidabili sui meccanismi di formazione del ghiaccio e sul trizio, utili a definirne l'età. Sui sei campioni è stata quindi determinata la composizione isotopica dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$), dell'idrogeno (δD), si è calcolato l'eccesso di deuterio e misurata l'attività del trizio (TU).

Benché i campioni esaminati non siano molti, le considerazioni che si sono potute trarre sono risultate particolarmente interessanti. La discussione più com-

pleta è quella riportata in FLORA et al. (2004) dove vengono illustrati anche i metodi di analisi, di seguito ci limitiamo a riproporre i principali risultati emersi.

La composizione isotopica dell'ossigeno non si accorda con i valori teorici medi annui delle precipitazioni locali e i valori dell'eccesso di deuterio (D) suggeriscono che la formazione del ghiaccio sia avvenuta in un “sistema aperto”, con un'acqua di alimentazione derivata prevalentemente dalla fusione delle precipitazioni nevose invernali (D'AMELIO et al. 1994, DANSGAARD 1964; JOUZEL & SOUCHEZ 1984; JOUZEL & MERLIVAT 1984). Si deve quindi pensare ad una successione di fenomeni di congelamento di acque legate alle precipitazioni locali e che, nel corso del processo di congelamento, queste acque ricevevano importanti apporti di acque isotopicamente più negative, molto probabilmente legate alle precipitazioni invernali.

Interessanti sono anche i dati ottenuti dall'esame dell'attività del trizio, i cui valori di TU sono via via più bassi dal campione 1 (TU = 49,5) al 6 (TU = 10,6), come evidenziato in Tab. I.

La presenza del trizio in atmosfera e quindi nelle precipitazioni divenne significativa negli anni '50 del secolo scorso quando, a causa degli esperimenti termoneucleari in atmosfera, si raggiunsero valori elevatissimi, che scesero poi gradualmente con le moratorie nucleari. L'attività del trizio infatti decade nel tempo e quindi i confronti vanno effettuati con le tabelle dei



Fig. 13 - Le “concrezioni” di ghiaccio presenti nei primi anni 2000 sono residui del “ghiaccio fossile”, come dimostra la stratificazione presente (a: 2004); in questi ultimi anni, invece, si sono formate nuove stalattiti e stalagmiti di ghiaccio (b: 2019, altezza circa 1 m, cfr anche Fig. 10c) che inglobano cristalli del ghiaccio fossile, e sono frutto di una attività più prettamente stagionale; in c) dettaglio del ghiaccio di neoformazione (foto A. D'Andrea e A. Mocchiutti).

- *The ice “concretions” present in the early 2000s are residues of the “fossil ice”, as shown by the present stratification (a: 2004); in recent years, on the other hand, new ice “concretions” have formed (b: 2019, height approximately 1 m, see also Fig. 10c) which incorporate crystals of fossil ice, and are the result of a more purely seasonal activity; in c) detail of the newly formed ice (photo A. D'Andrea and A. Mocchiutti).*

valori calcolati sulla base dell'attività di tritio corretta per decadimento relativa all'anno di effettuazione delle analisi.

Dal confronto con il grafico di Fig. 7 e con i dati puntuali del *Global network of Isotopes in Precipitations* (GNIP), risulta così che i valori più elevati di TU riscontrati nel ghiaccio della cavità sono da riferire agli anni 1962-1967, mentre il valore più basso, quello relativo al campione 6, va riferito alla metà degli anni '80.

Il ghiaccio campionato nel 2003 si era quindi formato a partire dagli anni Sessanta fino alla fine degli anni

Ottanta del secolo scorso, dato che nel 1988 la cavità era in gran parte occlusa.

Questa cavità quindi oggi custodisce quanto resta dell'unico deposito glaciale in grotta sinora noto per le Alpi Carniche. Come detto l'evoluzione di questo piccolo ghiacciaio sotterraneo, formatosi a metà degli anni sessanta e che ha raggiunto il suo massimo negli anni Ottanta del secolo scorso, è coerente con quanto osservato da SERANDREI BARBERO (2000) per il ghiacciaio del Canin, confermato per i ghiacciai dell'arco alpino da SMIRAGLIA (1992) e da SANTILLI et al. (2002)





Fig. 14 - Alcuni degli indizi di movimenti recenti presenti nella grotta: a) le cupole nel soffitto della galleria, con tracce di movimenti lungo un piano SW-NE subverticale (dettaglio di f); b) gradino nel soffitto della galleria E; c) evidenti dislocazioni di circa 15 cm nelle cupole presenti nel soffitto della galleria E; d) installazione di un fessurimetro; e) fessurimetro 1, che nel 2019 indica oltre 1 mm di spostamento con un leggero basculamento; f) spostamenti nel soffitto della cavità (foto A. D'Andrea e A. Mocchiutti).

- *Some of the signs of recent movements: a) the domes in the ceiling of the gallery, with traces of movements along a subvertical SW-NE plane (detail of f); b) step in the ceiling of gallery E; c) dislocations of about 15 cm in the domes present in the ceiling of gallery E; d) installation of a crack-meter; e) crack-meter 1, which in 2019 indicates more than 1 mm of displacement with a slight tilt; f) dislocations in the ceiling of the cavity (photo A. D'Andrea and A. Mocchiutti).*

ed evidenziato dai dati ISPRA, che indicano come in Italia l'ultima fase di espansione glaciale sia avvenuta fra la fine degli anni settanta e l'inizio degli ottanta del secolo scorso (cfr. Fig. 12).

L'elemento fondamentale per la conservazione di un deposito glaciale è, ovviamente, la temperatura e nel caso di un cavità questa è costante e pari, indicativamente alla temperatura media annua dell'area in cui la grotta si sviluppa. Per una cavità che si apre ad oltre 2200 metri di quota nelle Alpi Carniche la temperatura interna ha un valore leggermente inferiore a 0°C¹⁾. Un ruolo importante è anche quello svolto dalla circolazione dell'aria.

In occasione del campionamento effettuato nell'estate del 2003 la temperatura interna risultava essere at-

torno a 0°C, mentre nell'ottobre del 2019 si è notato un certo gocciolamento in atto a carico delle concrezioni di ghiaccio, segno di valori di temperatura leggermente positivi.

La continua riduzione dei depositi di ghiaccio è stata determinata visivamente, in particolare valutando lo spazio libero fra il terrazzo presente lungo la galleria E e la volta di ghiaccio, nelle varie esplorazioni e quantificata in Fig. 11 che mostra un andamento piuttosto lineare del tasso di scioglimento. L'innalzamento delle temperature è ovviamente la causa prima della scomparsa di questo deposito glaciale sotterraneo, il fatto che lo scioglimento sia stato più repentino negli ultimi anni è legato al ritardo con cui un sistema sotterraneo risente della modificazioni climatiche esterne. Con molta probabilità, inoltre, lo scioglimento dei ghiacci - favorendo l'apertura di nuovi collegamenti con l'esterno e fra i "vuoti" del sistema carsico - ha modificato la circolazione dell'aria che può fungere da acceleratore per lo scioglimento dei ghiacci. Analogamente questa condizione può incrementare l'effetto delle piogge (soprattutto estive) a carico delle masse ghiacciate.

1) La temperatura media annua di Forni Avoltri è di 7,4°C ed è a circa 650 m di quota: stimando un decremento della temperatura media di 0,65° ogni 100 m di quota si può ipotizzare, per una quota attorno ai 2250 m, un valore medio attorno a -2°C; per Sappada a 1350 m di quota il valore medio è 4,7°C e si otterrebbe un valore di -1°C. Nelle parti più interne delle cavità naturali si registrano oscillazioni stagionali di temperatura dell'ordine dei pochi decimi di grado.



Fig. 15- La parete di faglia (direzione del piano NW-SE) che caratterizza il primo tratto della cavità (fra i punti B e C di Fig. 5b; foto A. D'Andrea).

- The fault (direction NW-SE) that characterizes the first part of the cave (between points B and C of Fig. 5b; photo A. D'Andrea).

Neotettonica

Nella cavità sono numerosi gli indizi di movimenti lungo alcune discontinuità della massa rocciosa. Si tratta di quelli che vengono definiti “indizi di neotettonica” in quanto potenzialmente significativi di attività tettonica esplicitasi negli ultimi due milioni di anni. La cavità è impostata su un fascio di faglie subverticali che si sviluppa in direzione NW-SE, dagli effetti evidenti soprattutto nel primo tratto di cavità (Fig. 15). Il settore delle Alpi Orientali in cui la cavità si apre è ritenuto generalmente inattivo e la sua sismicità è considerata medio bassa, in un settore in sollevamento (CARULLI et al. 1981) (cfr. Carta del Rischio Sismico edita dall'INGV, dove la zona è indicata con valori di accelerazione massima prevista del suolo pari a 0,100-0,125g).

Tuttavia i movimenti riscontrati nelle gallerie della cavità sono chiari indizi di neotettonica e potrebbero essere indici di riattivazioni recenti dell'attività crostale. I movimenti sono evidenziati soprattutto da spostamenti lungo discontinuità parallele alle faglie strutturanti interessanti alcune condotte carsiche la cui evoluzione si è quasi fermata e le cui forme sono

Fessurimetro 1

NW	0,5 mm verso N	SW	0,1 mm verso E
NE	1,7 mm verso E	SW	1,2 mm verso S

Fessurimetro 2

NW	0 mm	SW	0 mm
NE	0,3 mm verso E	SW	0,2 mm verso S

Tab. II - Dati rilevati dai fessurimetri nel 2019. Vengono indicati gli spostamenti misurati nei 4 punti di riferimento, cfr. Fig 15e (i dati dal fessurimetro 3 non sono stati rilevati).

- Data taken from crack-meters in 2019. The displacements measured in the 4 reference points are shown, see fig 15e (data from the crack-meter 3 were not detected).

perfettamente conservate. Gli spostamenti osservabili (Fig. 14) sono avvenuti lungo piani a direzione NW-SE da subverticali a immergenti a Sud di circa 75° e variano generalmente da alcuni millimetri ad alcuni centimetri, mentre uno spostamento eccezionale di circa 15 centimetri si riscontra in corrispondenza di alcune cupole di corrosione allineate lungo il soffitto impostate su uno dei piani di faglia in asse delle cavità nella zona del ghiaccio.



Fig. 16 - Tratto di galleria che mostra l'evoluzione idrologica della cavità. Ad una prima fase freatica, con la sezione a condotta forzata (condizionata dalla presenza di una faglia con inclinazione circa 75°), segue una fase vadosa, che porta ad un approfondimento della base con la formazione del meandro sulle cui pareti sono evidenti gli *scallops* e fasi di diversa capacità erosiva delle acque (foto A. D'Andrea).

- Section of the gallery showing the hydrological evolution of the cave. At a first phreatic phase, with a phreatic passage section (conditioned by the presence of a fault with an inclination of about 75°), follows a vadose phase, which leads to a deepening of the base with the formation of the meander on whose walls the scallops and phases of different erosive capacity of the waters are evident (photo A. D'Andrea).

Allo scopo di definire intensità e direzione dei movimenti, già nel 2004 sono stati posizionati tre fessurimetri, la cui posizione è indicata in Fig. 5b. Nell'arco dei 15 anni che intercorre fra il 2004 e l'autunno del 2019, lo spostamento misurato nel fessurimetro n. 1 è di oltre 1.0 mm, quello nel fessurimetro n. 2 di 0.2 mm, entrambi concordanti nel verso con la riattivazione del sistema di faglie NW-SE e con una componente suborizzontale. Nell'autunno del 2019 non si è potuto raggiungere il fessurimetro n. 3.

Per le caratteristiche geologico geometriche delle discontinuità del massiccio e per quelle geo-morfologiche della grotta si può escludere un fenomeno gravitativo profondo di versante. Si è quindi in presenza

o di movimenti innescati dalle masse glaciali interne, o di movimenti crostali legati alle maree terrestri, o di una riattivazione neotettonica recente. Lungo i piani di movimento sub orizzontale non sono visibili strie ma i gradini morfologici, così come i rigetti sono netti e concordi in più punti lungo la cavità e sempre lungo la stessa direzione.

Caratteristiche idrologiche

La cavità, come detto, funge da sistema drenante verso l'interno, oramai poco attivo. Oltre all'andamento stesso della cavità, a testimonianza della direzione



Fig. 17 - Cristalli e infiorescenze di aragonite (foto A. Mocchiutti).

- Crystals and inflorescences of aragonite (photo A. Mocchiutti).

di movimento delle acque vi sono le geometrie degli scallops presenti soprattutto nel primo tratto della grotta, che indicano proprio un moto dell'acqua verso SW. Analogo è il comportamento del nuovo ramo individuato nel 2019, anch'esso non più percorso dalle acque, che convogliava le acque verso la saletta G. Il ramo si dirige, in leggera salita, verso la stessa parete del Pic Chiadenis ove si apre l'ingresso della cavità. Ciò potrebbe testimoniare fasi diverse anche nei vari periodi di attività del sistema sotterraneo (Fig. 16).

Attualmente l'ingresso si trova ad una quota di diverse decine di metri più elevata rispetto all'impluvio del Rio Avanza e a circa 200-300 m dal fondovalle, distante poche centinaia di metri dallo spartiacque fra Piave e Degano-Tagliamento. Durante il Quaternario si sono verificate significative variazioni nel reticolo drenante superficiale che non sono state registrate all'interno di questa cavità. VENTURINI et al. (2009), ipotizzano che, nel pre-Würmiano, le acque attualmente drenate dall'alto Degano confluissero direttamente nel bacino del Piave passando a N del Monte Siera. I fondovalle erano allora più elevati di centinaia di metri e quindi l'ingresso della cavità poteva trovarsi, in un contesto idrologico ben diverso dall'attuale, alla quota della superficie topografica esterna.

Per le vicine aree di Timau e Forni di Sopra si assumono abbassamenti dei fondovalle di 300-500 m rispetto a un generico pre-Würmiano (500-300 mila anni fa, presumibilmente nell'interglaciale Mindel-Riss, come ipotizzato da VENTURINI 1991, 2003): allora lo spazio dello spartiacque era molto più ampio

e sistemi di drenaggio locali potevano alimentare la cavità, mentre oggi le testate dell'Alto Piave e del Rio Avanza sono praticamente a contatto a causa dell'erosione retrograda.

L'intesa attività erosiva, prima glaciale e poi fluviale, e le catture fluviali hanno portato da un lato al reticolo idrografico superficiale attuale, dall'altro a privare la cavità della sua funzione drenante, limitandone la funzione idrologica alla raccolta delle poche acque di percolazione (Fig. 16).

Minerali di grotta

Nelle cavità d'alta quota, per loro caratteristica, vi è generalmente una limitata presenza di speleotemi e anche questa grotta non sfugge alla regola: non vi sono infatti concrezioni importanti. Peculiare, però, è la presenza di infiorescenze e minuti cristalli di aragonite individuati su una parete della saletta G (Fig. 17).

L'aragonite è un cristallo che tipicamente si forma in condizioni di forte evaporazione, quindi nei climi caldi. Tuttavia, se le acque contengono magnesio, anche in climi freddi e a quote elevate, per evaporazione lenta la presenza in soluzione di magnesio a bassa concentrazione (fra 4 e 5%) porta alla formazione di cristalli di aragonite. Sostituita ben presto da calcite se altre acque poverissime in magnesio interessano i cristalli aragonitici (P. Forti, com. pers.). Ecco che l'aragonite può, in condizioni quali quelle in cui si trova la cavità, rappresentare un ottimo "sensore" di variazioni ambientali.

Considerazioni conclusive

Le Grotta sotto le pareti del Pic Chiadenis è quello che potremmo definire un ottimo laboratorio sotterraneo di alta montagna in cui studiare le variazioni climatiche in atto. Non solo, ma viste le altre peculiarità geologico strutturali, idrogeologiche, minero-petrografiche può essere utilizzata anche in altre linee di ricerca applicata.

La cavità è posta a quote superiori ai 2250 m slm, unica nelle Alpi Carniche, non è lontana da strutture abitative (il rifugio Calvi del C.A.I.), è facilmente raggiungibile ma relativamente isolata. Contiene quello che resta di un deposito glaciale del quale si è definita sia l'età di formazione (circa fra il 1965 e il 1985) che l'inizio dello scioglimento (indicativamente dagli anni novanta del secolo scorso); nel 2019 il deposito è risultato essere in fase di pre-scomparsa.

La cavità non presenta difficoltà nella progressione speleologica, per cui seguire l'evoluzione in negativo (o occasionalmente in positivo) dei ghiacci mediante tecniche laser scanner ripetute consentirebbe di collegare le vicissitudini interne con le variazioni climatiche (precipitazioni e temperature) esterne.

Legati alle variazioni in spessore dei ghiacci, in un angolo della cavità vi sono depositi concrezionari di aragonite. Lo studio mediante prelievi oculati e analisi di sezioni sottili ripetuti nel tempo potrebbe portare ad interessanti ricostruzioni di micro-paleo-climatologia: il passaggio da aragonite a calcite e viceversa, con magari l'inclusione di microcristalli dedolomiti consentirebbe di ricostruire i microclimi interni (e quindi quelli esterni).

Distribuiti lungo le gallerie vi sono numerosi indizi di tettonica recente che, seguiti nel tempo mediante microfessurimetri ed immagini tridimensionali consentirebbero di appurare se i movimenti sono indotti da sforzi tettonici (sismogenetici o no) in atto o da deformazioni legate alle maree terrestri o ancora da banali deformazioni termiche.

Non solo, ma consente anche di comprendere le interrelazioni possibili fra i dati raccolti che possono fornire interessanti elementi per comprendere l'evoluzione quaternaria di questo settore, il più occidentale delle Alpi Carniche e importante snodo tettonico fra Carnia e Cadore.

L'inquadramento della cavità nel sistema ipogeo di circolazione delle acque e lo studio dei movimenti antichi e recenti idrici all'interno potrebbero fornire ulteriori elementi per disegnare i complessi rapporti fra le modificazioni del reticolo drenante superficiale e i movimenti tettonici recenti che assieme all'azione degli agenti esogeni hanno portato a catture fluviali con il conseguente spostamento degli spartiacque.

La speleologia, con le scienze ad essa collegate, è infatti uno strumento insostituibile per comprendere

l'evoluzione "geologica" di un territorio, ed in tal senso alcune cavità carsiche possono divenire dei veri e propri laboratori.

Manoscritto pervenuto il 20.XI.2019, accettato il 05.XII.2019.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento ai soci del Circolo Speleologico e Idrologico Friulano che con impegno ed attenzione hanno per anni raccolto dati in questo interessante sistema carsico e ad Onelio Flora e Barbara Stenni per la disponibilità nello studio dei campioni di ghiaccio e nell'elaborazione dei dati così ottenuti.

Un sentito grazie a Franco Cucchi per la disponibilità e gli utili consigli. Un doveroso ringraziamento, infine, a Paolo Forti, Maurizio Ponton, Corrado Venturini e Michele Potleca per la collaborazione.

Bibliografia

- BADINO, G. 1995. *Fisica del clima sotterraneo*. Bologna: Istituto Italiano di Speleologia.
- BADINO, G. 2004. Cave temperatures and Global Climate Change. *Intern. Jour. of Speleol.* 33 (1-4): 103-114.
- BARRY, R., & T.Y. GAN. 2011. *The Global Cryosphere: Past, Present and Future*. Cambridge University Press.
- CARTURAN, L., G.A. BALDASSI, A. BONDESAN, S. CALLIGARO, A. CARTON, F. CAZORZI, G. DALLA FONTANA, R. FRANCESE, A. GUARNIERI, N. MILAN, D. MORO & P. TAROLLI. 2012. Current behaviour and dynamics of the lowermost Italian Glacier (Montasio occidentale, Julian Alps). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 95 (1): 79-96.
- CARULLI, G.B. 2006. *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia (scala 1:150.000)*. Firenze: Selca, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- CARULLI, G.B., L. CAROBENE, A. CAVALLIN, B. MARTINIS, R. ONOFRI, F. CUCCHI & F. VAIA. 1981. Evoluzione strutturale Plio-Quaternaria del Friuli e della Venezia Giulia. *Contributi preliminari alla realizzazione della carta neotettonica d'Italia, CNR Progetto Fin. Geodinamica* 356: 488-545.
- CASTIGLIONI, B. 2003. Il geo-ecosistema carsico. *Studi Trentini Sci. Nat., Acta Geol.* 80: 11-6.
- COLUCCI, R.R., & M. ŽEBRE. 2016. Late Holocene evolution of glaciers in the southeastern Alps. *Journal of Maps*. doi: 10.1080/17445647.2016.1203216.
- COLUCCI, R.R., D. FONTANA, E. FORTE, M. POTLECA & M. GUGLIELMIN. 2016a. Response of ice caves to weather extremes in the Southern Alps, Europe. *Geomorphology* 261: 1-11.
- COLUCCI, R.R., C. BOCCALI, M. ŽEBRE & M. GUGLIELMIN. 2016b. Rock glaciers, proglacial ramparts and pronival ramparts in the south-eastern Alps. *Geomorphology* 269: 112-21. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.06.039.
- COLUCCI, R.R., E. FORTE, M. ŽEBRE, E. MASET, C. ZANNETTINI & M. GUGLIELMIN. 2019. Is that a relict rock glacier? *Geomorphology* 330: 177-89. doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.002.
- CRAIG, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702-3.

- D'AMELIO, L., O. FLORA & A. LONGINELLI. 1994. Environmental isotope data: oxygen isotope concentration in precipitation in N-E Italy (Friuli Venezia Giulia). *Min. Pet. Acta* 37: 113-24.
- DANSGAARD, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436-68.
- DEL GOBBO, C., R.R. COLUCCI, E. FORTE, M. TRIGLAV ČEKADA & M. ZORN. 2016. The Triglav glacier (south-Eastern Alps, Slovenia): volume estimation, internal characterization and 2000-2013 temporal evolution by means of Ground Penetration Radar measurements. *Pure Appl. Geophys.* 173: 2753-66.
- FLORA, O., B. STENNI & G. MUSCIO. 2004. Analisi isotopiche preliminari su campioni di ghiaccio della Cavità alle pendici del Pic Chiadenis (Fr 2714, Alpi Carniche). In *Il fenomeno carsico delle Alpi Carniche (Friuli)*, cur. G. MUSCIO, 69-74. Udine: Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, Provincia di Udine.
- FORD, D., & P. WILLIAMS. 1989. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Unwin Hyman Ltd (2nd edition in 2007, by John Wiley & Sons Ltd).
- GUGLIELMIN, M. & C. SMIRAGLIA. 1998. The rock glacier inventory of the Italian Alps. *Permafrost. 7th International Conference (Proceedings) Collection Noridcana* 55: 375-82.
- HILL, C., & P. FORTI. 1997. *Cave Minerals of the World (2nd edition)*. Huntsville: National Speleological Society.
- HOHENWARTER, G. 2013. Eiskar. 115 anni di misure al ghiacciaio più meridionale dell'Austria. In *Sottozero. Storie di climi e ghiacciai degli ultimi 30 mila anni. XIII Conferenza annuale UMFVG*, 26-8. Meteorologia 12 (2).
- INGV, 2006. *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*. http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html.
- JOUZEL, J., & L. MERLIVAT. 1984. Deuterium and oxygen-18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snow formation. *J. Geophys. Res.* 89: 11749-57.
- JOUZEL, J., & R.A. SOUCHEZ. 1982. Melting-refreezing at the glacier sole and the isotopic composition of the ice. *J. Glaciol.* 28 (98): 35-42.
- LARSEN, L. 2011. Caves of Ice. The Next Frontier in Paleoclimatology? *Earth magazine* January 2011: 44-53.
- LUETSCHER, M., & P. JEANNIN. 2004. On the role of air circulations for the presence of subsurface ice fillings: an example from Monlesi ice cave (Switzerland). *1st International Workshop on Ice Caves*.
- MAGGI, V., R.R. COLUCCI, F. SCOTO, G. GIUDICE & L. RANDAZZO. 2018. Ice caves in Italy. *Ice Caves*, cur. A. PERSOU & S.E. LAURITZEN, 399-423. Amsterdam: Elsevier.
- MERLIVAT, L., & J. JOUZEL. 1979. Global climatic interpretation of the deuterium-oxygen-18 relationship for precipitation. *J. Geophys. Res.* 84: 5029-33.
- MARINELLI, O. 1896. Una particolarità relativa ai limiti altimetrici dei fenomeni fisici e biologici sulle Alpi. *Riv. Geogr. It.* 3 (4): 559-62.
- MOCCHIUTTI, A. 2004. Evidenze morfologiche di movimenti tettonici recenti e attuali nelle cavità delle Alpi Carniche. In *Il fenomeno carsico delle Alpi Carniche (Friuli)*, cur. G. MUSCIO, 47-50. Udine: Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, Provincia di Udine.
- MOCCHIUTTI, A. 2009. La Grotta del Pic Chidenis. In *Andar per Grotte*, cur. G. MUSCIO & A. MOCCHIUTTI, 38-41. Udine: Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, Provincia di Udine.
- MORANDINI, C. 1979. *L'abbassamento dei limiti altimetrici dei fenomeni fisici e biologici in Friuli, con particolare riguardo alle Prealpi Carniche e Giulie, visto nelle sue cause*. Udine: Pubbl. Mus. Friul. St. Nat. 28.
- SANTILLI, M., G. OROMBELLI & M. PELFINI. 2002. Variations of Italian glaciers between 1980 and 1999 inferred by the data supplied by the Italian Glaciological Committee. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 25: 61-76.
- SERANDREI BARBERO, R. 2000. I ghiacciai Occidentale e Orientale del Canin dalla fine della piccola età glaciale ad oggi. In *80° Riunione estiva, Società Geologica Italiana. Guida alle escursioni*, cur. G.B. CARULLI et al., 97-101. Trieste: Università degli Studi.
- SMIRAGLIA, C. 1992. *Guida ai ghiacciai e alla glaciologia. Forme, fluttuazioni, ambienti*. Bologna: Zanichelli.
- TURRI, S., E. TRIFIMOVA, A. BINI & V. MAGGI. 2009a. Ice caves scientific research history: from XV to XIX centuries. *Data of Glaciological studies* 107: 156-62.
- TURRI, S., V. MAGGI & A. BINI. 2009b. Ice caves as natural archives in the paleoclimatic studies. *Data of Glaciological studies* 107: 163-9.
- VENTURINI, C. 1991. Evoluzione geologica e morfologica del bacino dell'Alto Bût. In *Pramosio*, cur. C. VENTURINI, 69-81. Udine: Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- VENTURINI, C. 2003. Il Friuli nel Quaternario: l'evoluzione del territorio. In *Glacies. Catalogo della mostra*, cur. G. MUSCIO, 23-106. Udine: Museo Friulano di Storia Naturale.
- VENTURINI, C. 2006. *Evoluzione geologica delle Alpi Carniche*. Udine: Pubbl. Mus. Friul. St. Nat. 48.
- VENTURINI, C., C. SPALLETTA, G.B. VAI, M. PONDRELLI, C. FONTANA, S. DELZOTTO, G. LONGO SALVADOR & G.B. CARULLI. 2009. *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50,000. Foglio 031 Ampezzo*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- Andrea MOCCHIUTTI
Circolo Speleologico e Idrologico Friulano
Via Chisimaio 141, I-33100 UDINE
e-mail: geo@geomok.it
- Furio FINOCCHIARO
Circolo Speleologico e Idrologico Friulano
Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi
Via E. Weiss 2, I-34128 TRIESTE
e-mail: finofu@units.it
- Giuseppe MUSCIO
Circolo Speleologico e Idrologico Friulano
Museo Friulano di Storia Naturale
via Sabbadini 22-32, I-33100 UDINE
e-mail: giuseppe.muscio@comune.udine.it