

N. 0 - 2023

# LOMBARDIA

[www.speleolombardia.it](http://www.speleolombardia.it)

Con patrocinio  
di



# IPOGEOA

SPECIALE



ORMEA '22

ISBN: 979-12-21-05775-1



Rivista della Federazione Speleologica Lombarda

FSLo - GRUPPI ADERENTI - ANNO 2023	PROVINCIA
Gruppo Speleologico Mantovano	Mn
Associazione Speleologica Bresciana	Bs
Gruppo Grotte Alto Garda Bresciano	Bs
Gruppo Grotte Brescia	Bs
Underland Odv	Bs
Associazione Progetto Sebino	Bg
Gruppo Speleologico Bergamasco Le Nottole	Bg
Gruppo Speleologico Val Seriana Talpe	Bg
Gruppo Speleologico Valle Imagna CAI SSI	Bg
Speleo CAI Lovere	Bg
Speleo Club Orobico CAI Bergamo	Bg
Gruppo Speleologico CAI Lecchese	Lc
Gruppo Speleologico Comasco CAI Como	Co
Speleo Club CAI Erba	Co
Gruppo Grotte I Tassi	Mb
Gruppo Grotte Milano CAI-SEM	Mi
Gruppo Grotte CAI Busto Arsizio	Va
Gruppo Grotte CAI Carnago	Va
Gruppo Grotte CAI Gallarate	Va
Gruppo Grotte CAI Laveno Mombello	Va
Gruppo Grotte Saronno CAI SSI	Va
Gruppo Speleologico CAI Varese	Va



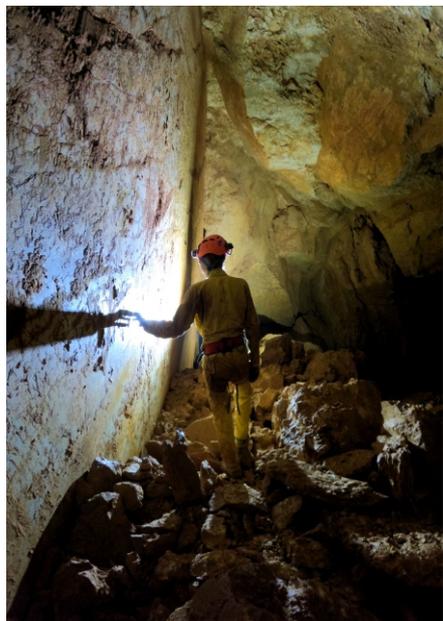


Foto di copertina

Terza grotta presso la Pocia dei Laconi  
LoBs 791  
Salone Nero (Specchio delle Brame)  
Foto: Nicolò Falgari

## LOMBARDIA IPOGEA N.0 - 2023

ISBN: 979-12-21-05775-1

Rivista della Federazione  
Speleologica Lombarda



### Sede Legale

Piazza Coriolano n.2  
20154 - MILANO (Mi)  
C.F.: 97539890158

### Contatti

[federspeleolombarda@gmail.com](mailto:federspeleolombarda@gmail.com)

### Redazione

Massimo Pozzo, Andrea Ferrario  
Vincenza Franchini, Antonio Premazzi

### Impaginazione e grafica

Massimo Pozzo

La riproduzione totale o parziale di articoli,  
notizie, disegni o fotografie è concessa  
citandone la fonte e l'autore.

Gli articoli firmati impegnano solamente gli  
autori.

La rivista è virtuale ed è scaricabile in  
formato pdf dal sito:

[www.speleolombardia.it](http://www.speleolombardia.it)

## Virginia Mandracchia (Presidente FslO)

LOMBARDIA IPOGEA: la rivista della Federazione Speleologica Lombarda prende luce nei primi mesi del 2024. Esordisce con il numero «zero» e la scelta non è casuale. È lo zero interpretato come nelle scienze matematiche: origine e riferimento. Un'origine da cui tutto prende inizio e un riferimento per nuovi e vecchi speleologi. È così che il lettore, con il proprio filo di Arianna, si fa strada tra i meandri di una speleologia trasversale.

In un'epoca in cui cerchiamo risposte «veloci» e «immediate» e i *social* diventano la fonte di informazione più utilizzata e comoda, la speleologia lombarda si affida alla divulgazione in stile tradizionale e meno effimero di studi, di analisi e ricerche, e di testimonianze speleologiche.

Il lungo e certosino lavoro della redazione svolto in questi anni è notevole e lodevole. L'accattivante grafica e i contenuti di spessore proposti, ci fanno perdere in una lettura intensa e scorrevole.

Il mio ringraziamento per l'inizio di quest'avventura va agli autori e alla redazione che hanno dedicato ore del proprio tempo libero per tale realizzazione.

L'augurio più sincero è che questa pubblicazione cresca e accolga sempre più contributi di tutti i gruppi lombardi e che continui come da tradizione ad essere uno stimolo e un esempio per una speleologia sempre più innovativa, bacino di conoscenza e confronto tra gli speleologi tutti.

*Ad maiora semper!*

## Massimo Pozzo (La redazione)

I gruppi speleologici lombardi hanno svolto nella storia un'attività esplorativa molto fervida nelle aree carsiche regionali, con risultati spesso di alto livello sotto tutti gli aspetti della ricerca scientifica. La divulgazione di queste informazioni è stata ben documentata nel tempo con pubblicazioni cartacee, bollettini e monografie dedicate.

Il quadro del panorama editoriale speleologico è cambiato negli ultimi anni con l'arrivo della comunicazione informatica, la nascita dei *social* e la possibilità di creare un canale di lettura personalizzato con immagini e documentari video: una fortuna per gruppi speleologici e singoli speleologi, che nei loro attuali *blog* mantengono l'informazione continua ma con comunicazioni leggere in una sorta di «stillicidio di pillole settimanali». Paradossalmente l'attività scrittoria degli speleologi è aumentata, ma si è anche frammentata in centinaia di pagine *social*, con tempi di lettura di breve durata e testi stringati, note informative o riferimenti bibliografici assenti e con inesattezze tecniche meno filtrate.

Le biblioteche dei gruppi un tempo permettevano di risalire a «tutto» su un argomento, ma ora sono tristemente ferme e le ricerche narrate in decine di *post* si perdono in labirinti virtuali: ricomporre i frammenti diventa un percorso arduo e mai completo.

LOMBARDIA IPOGEA nasce con l'idea di non essere un notiziario di attività regionale, ma uno strumento utile agli speleologi. Una rivista a carattere informativo che raccoglie i risultati del passato fino a quelli del presente, dando lustro alle eccellenze sul territorio, con un livello di contenuti possibilmente alto e che possano continuare ad essere rilevanti nel tempo.

Le esplorazioni storiche, i campi di interesse promossi dalla FSLo e i progetti sviluppati dai gruppi, hanno prodotto una mole di informazioni che LOMBARDIA IPOGEA vuole raccogliere in forma espositiva approfondita, per costituire un valido supporto a speleologi e interessati su un determinato argomento e nel modo più esaustivo.

L'occasione del Congresso di Ormea del 2020 poi rimandata al 2022, ha rilevato la partecipazione di numerosi contributi di gruppi e di speleologi lombardi. La loro versione iniziale estesa, per esigenze di spazi sulla pubblicazione degli Atti, è stata poi ridotta a riassunti o sintesi.

In accordo anche con gli organizzatori del Congresso, dedichiamo questo primo Numero Zero, alla versione estesa dei lavori presentati sia perché già pronti ed esaminati da una commissione scientifica, sia perché contengono spirito e caratteristiche di questo nuovo impegno editoriale.

Le prime centocinquanta pagine, sono una buona fundamenta su cui costruire i prossimi numeri e un ottimo stimolo per continuare a fare di meglio.



## Sergio Orsini (Presidente SSI)

A proposito di una deriva scientifica della SSI, che lascerebbe a terra tanti speleologi, in uno scambio di messaggi su speleo.it, mi è stato detto che: *“la qualità, come in tutte le cose, toglie la quantità”*. Un'affermazione sulla quale non sono d'accordo: i numeri dicono il contrario, non c'è mai stata tanta vitalità e tanta adesione in SSI. Comunque, ben venga una deriva scientifica.

Andare in grotta anche solo per esplorare è fare SCIENZA.

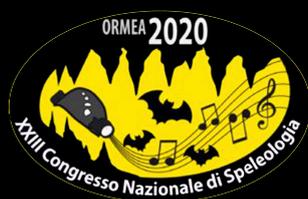
Ogni commento, ogni osservazione è un dato che, trasmesso a chi lo sa utilizzare, riveste una grande importanza.

I lavori presentati in questo numero di LOMBARDIA IPOGEA, dimostrano che la ricerca è viva, sentita, e che ogni informazione, anche se reputata insignificante, ha invece un suo importante valore. La speleologia ha un ruolo notevole nella vita di ogni persona, anche se solo gli speleo lo sanno. E questo è male.

La ricerca e la pubblicazione dei suoi risultati farà finalmente emergere la nostra attività e le darà il giusto riconoscimento e la visibilità che merita.

Acqua, aria, fuoco, terra, vuoto, buio, gli elementi che identificano la nostra realtà speleologica: alcuni sono stati affrontati in questo numero, altri fanno parte di un'altra pubblicazione che completa gli argomenti sviluppati nel corso del **XXIII Congresso Nazionale di Speleologia** di Ormea e che saranno a breve disponibili online.

02



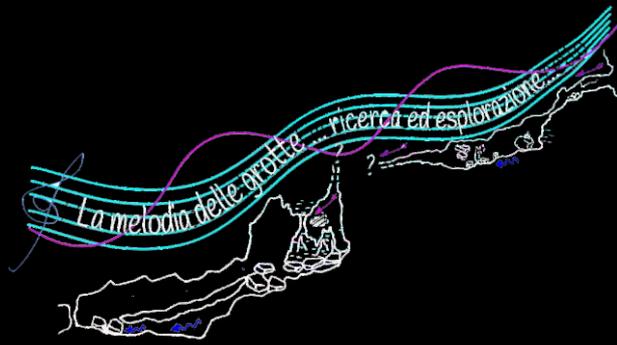
## Bartolomeo Vigna (Comitato organizzatore del Congresso di Ormea)

La realizzazione di questo volume, dedicato a tutti i lavori presentati dagli speleologi lombardi al Congresso di Ormea, è stata senz'altro una scelta molto valida. Sugli atti del congresso infatti lo spazio a disposizione degli autori è stato limitato anche a causa dell'elevato numero dei contributi, con richiesta quindi unicamente di riassunti estesi. Un lavoro completo ha bisogno di illustrazioni, grafici e disegni che richiedono spazio per la loro pubblicazione, come risulta in questo volume dove, per la sola presentazione degli articoli scritti dagli speleologi lombardi, sono state necessarie 150 pagine. Dalla lettura del volume emerge evidente il notevole lavoro svolto dagli speleologi lombardi sia dal punto di vista esplorativo che scientifico, anche se in realtà i concetti di esplorazione e scienza spesso si sovrappongono. Infatti anche solo la semplice descrizione degli ambienti sotterranei scoperti costituisce un dato scientifico, se fatta in modo rigoroso: senza gli speleologi non potrebbe essere acquisita alcuna informazione raccolta sottoterra.

I lavori presentati in questo volume contengono non solo descrizioni ma sono arricchiti da dati scientifici rigorosi: questo è lo spirito che Giovanni Badino cercava di diffondere tra gli speleologi.

Non bisogna inoltre trascurare il fatto che anche la ricerca scientifica può essere di grande aiuto al campo esplorativo: come è emerso in numerose relazioni nel corso del congresso, i dati raccolti hanno permesso di ipotizzare nuove prospezioni e possibili sviluppi di un sistema carsico.

Congratulazioni infine alla redazione per l'ottima scelta iconografica e a tutti gli autori per le approfondite e dettagliate informazioni contenute nei loro articoli.



*“Non c’è differenza tra un’onda del mare e una montagna; sono entrambi elementi naturali in costante movimento. Chi fa la differenza è il punto di vista umano. Riusciamo a percepire chiaramente i movimenti delle onde del mare, ma non quelli delle montagne semplicemente perché non abbiamo sufficiente tempo a disposizione per osservarli”*

*Giovanni Badino*

## La melodia delle Grotte

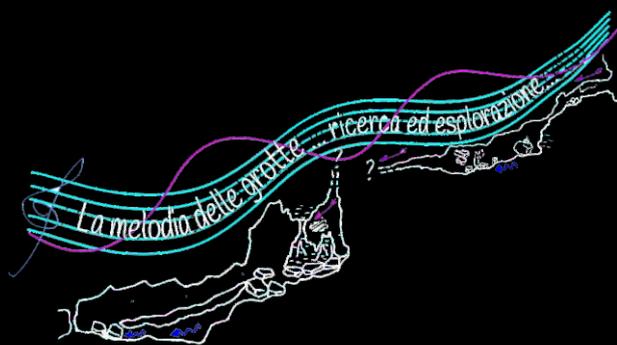
Perché la **ricerca scientifica** e l’**esplorazione** coesistono

La musica è concatenazione di suoni, è melodia; la grotta è concatenazione di aspetti differenti. La melodia nasce dal contributo di tanti strumenti, così come una buona esplorazione può esserci solo grazie all’osservazione attenta di diversi fenomeni. Giovanni Badino studiava il suono che caratterizza ogni grotta, il suo timbro, la sua armonica. Così nasce l’idea del XXIII Congresso Nazionale di Speleologia, che vuole coniugare scienza ed esplorazione perché, a uno sguardo attento, queste coesistono e si rafforzano vicendevolmente. Imparare a comprendere i segnali lasciati dal tempo nelle grotte può regalarci sorprese inaspettate, può dare indizi preziosi.

Il titolo proposto dagli organizzatori per il XXIII Congresso Nazionale “La Melodia delle Grotte” diventa l’occasione per affrontare argomenti molto diversi fra loro, che spaziano dalla scienza alla cultura, passando dalla documentazione, perché conoscere e condividere devono essere imprescindibili dalla Speleologia.

L’ambito geo-speleologico è caratterizzato da scarsa visibilità mediatica, è spesso considerato irrilevante o portatore di sensazionalismo, con una conseguente scarsa conoscenza generale delle peculiarità carsiche del nostro Bel Paese. L’attività speleologica ha il pregio di non essere un mestiere; gli speleologi hanno molteplici bagagli di conoscenza, che spaziano in ogni settore culturale e professionale, che sono costantemente messi a disposizione dell’esplorazione di questi vuoti carichi di storia e informazioni. Esiste però, nell’accezione comune, una doppia veste dell’esplorazione, che si chiama tale quando è portata avanti dai cosiddetti “grottisti” (cattiva traduzione di cavers) o sportivi della disciplina e si chiama, invece, ricerca se a farla sono gli scienziati.

Si percepisce un cronico dualismo dell’attività, come se esistessero una speleologia di serie A e una di serie B. Sebbene ci si riferisca in realtà alla stessa cosa, è proprio questo diverso modo di chiamare la stessa attività che crea fazioni, a volte grandi distanze. Lo sforzo deve essere, quindi, quello di cercare di rendere interoperabili questi due mondi che sono vicendevolmente imprescindibili. Si discuterà anche in chiave normativa della figura dello speleologo, nella sua molteplice veste di esploratore, scienziato o professionista.



## XXIII Congresso Nazionale di Speleologia

### La melodia delle grotte

(in ricordo di Giovanni Badino)

Ormea (CN) 2-5 giugno 2022

*I contributi presentati da speleologi lombardi nelle varie sessioni e tavole rotonde saranno inseriti in formato sintetico negli Atti del Congresso, che verranno pubblicati nell'ambito delle Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia. Si pubblica in questo numero la loro versione più estesa.*

#### Tavola rotonda: La circolazione dell'acqua negli ammassi carbonatici

Spreafico Felicità, Basirico Stefano, Frattini Paolo, Crosta Giovanni Battista, Ferrario Andrea, Tognini Paola - **Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lc)**

Tognini Paola, Pera Sebastian, Ferrario Andrea, Inglese Mauro, Testa Paolo, Uboldi Margherita - **Tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai Ghiacciai dei Forni (It) e del Morteratsch (Ch)**

#### Tavola rotonda. Geologia e processi carsici

Tomasi Giorgio - **Grotta 5 in Condotta: le forme del tempo (Bg)**

Ghidoni Giordano, Conti Roberto, Ghidelli Sandro - **Appunti sulla geologia del Monte Cich (Lc)**

#### Tavola rotonda. Meteorologia sotterranea

Cella Gian Domenico, Miragoli Maurizio - **Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica**

Pozzo Massimo, Miragoli Maurizio, Franchini Vincenza - **Altopiano di Cariadeghe: ricerca di correlazioni tra ingressi tramite monitoraggio e analisi delle temperature (Bs)**

#### Tavola rotonda: La documentazione attraverso le immagini

Ferrario Andrea, Triacchini Luca, Annoni Piero, Castelnuovo Nicola - **Divulgare per tutelare: l'esempio del Museo delle Grigne (Esino Lario, Lc)**

#### Sessione speleologica: Le esplorazioni dei grandi sistemi carsici

Pozzo Massimo - **Il sistema carsico del Sebino Occidentale risultato d'interazione tra speleologia di ricerca ed enti locali**

Maconi Andrea, Corvi Marco, Merazzi Marzio, Spreafico Felicità - **Esplorazioni nel massiccio del Grignone (Lc)**

#### Sessione speleologica: La ricerca di grotte e di prosecuzioni attraverso le nuove tecnologie

Pozzo Massimo, Tremari Marco - **Droni e ricerca speleologica - tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio**

Cella Gian Domenico - **Tracciamento dei flussi sotterranei dell'aria: stato dell'arte e prospettive**

#### Sessione scientifica: Le grotte come archivi archeologici

Longhi Cristina, Pozzo Massimo, Tremari Marco - **La Grotta Altro Pianet (BG): tutela e valorizzazione del paesaggio archeologico sotterraneo**

Falgarì Nicolò, Longhi Cristina, Redaelli Marco - **La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia**

#### Sessione scientifica: Le grotte come archivi di cambiamento

Ferrario Andrea, Tognini Paola, Inglese Mauro, Testa Paolo - **Grotte glaciali e mutamenti recenti dei ghiacciai**

#### Sessione scientifica: Biospeleologia

Oneto Fabrizio, Ferrario Andrea, Torretta Marco, Spada Martina, Mazzaracca Stefania, Rossi Elisabetta Maria, De Carli Elisabetta, Comini Bruna - **Piano di azione per i Chiroterteri in Lombardia: un processo partecipato**

## PRESIDENTE FSLo - REDAZIONALE

01

Il Presidente della Federazione Speleologica Lombarda  
La redazione

## PRESENTAZIONI ISTITUZIONALI

02

... dal Presidente SSI e dal Comitato Organizzatore "Ormea '22"

## SPECIALE "ORMEA 2022"

03

Testo pagina iniziale del sito istituzionale del Congresso  
Elenco autori e lavori lombardi presentati secondo le varie sessioni/tavole rotonde al Congresso

## TAVOLA ROTONDA

06

## LA CIRCOLAZIONE D'ACQUA NEGLI AMMASSI CARBONATICI

**Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lc)**

Felicità Spreafico, Giovanni Battista Crosta, Paola Tognini, Paolo Frattini, Stefano Basiricò, Andrea Ferrario

**Tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai Ghiacciai dei Forni (It) e del Morteratsch (Ch)**

Mauro Inglese, Paola Tognini, Sebastian Pera, Andrea Ferrario, Margherita Uboldi, Paolo Testa

## TAVOLA ROTONDA

22

## GEOLOGIA E PROCESSI CARSI

**Grotta 5 in Condotta: le forme del tempo (Val Canale - Bg)** - Fabio Baio, Gianni Comotti, Giorgio Tomasi, Giovanni Merisio, Stefano Masserini, Paola Tognini

**Appunti sulla geologia del Monte Cich (Lc)** - Giordano Ghidoni, Roberto Conti, Sandro Ghidelli

## TAVOLA ROTONDA

46

## METEOROLOGIA SOTTERRANEA

**Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica** - Gian Domenico Cella, Maurizio Miragoli  
**Altopiano di Cariatoghe: ricerca di correlazioni tra ingressi tramite monitoraggio e analisi delle temperature (Bs)**

Massimo Pozzo, Maurizio Miragoli, Vincenza Franchini

## SESSIONE SPELEOLOGICA

86

## LE ESPLOAZIONI DEI GRANDI SISTEMI CARSI

05

**Il sistema carsico del Sebino Occidentale risultato d'interazione tra speleologia di ricerca ed enti locali**  
Massimo Pozzo

**Esplorazioni nel massiccio del Grignone (Lc)** - Andrea Maconi, Marco Corvi, Felicità Spreafico, Marzio Merazzi

## SESSIONE SPELEOLOGICA

108

## LA RICERCA DI GROTTA ATTRAVERSO NUOVE TECNOLOGIE

**Droni e ricerca speleologica - tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio**

Massimo Pozzo, Marco Tremari

**Tracciamento dei flussi sotterranei dell'aria: stato dell'arte e prospettive** - Gian Domenico Cella

## SESSIONE SCIENTIFICA

118

## LE GROTTA COME ARCHIVI GEOLOGICI

**La Grotta Altro Pianet (BG): tutela e valorizzazione del paesaggio archeologico sotterraneo**

Cristina Longhi, Massimo Pozzo, Marco Tremari

**La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia (Bg)** - Nicolò Falgari, Cristina Longhi, Marco Redaelli

## TAVOLA ROTONDA

140

## LA DOCUMENTAZIONE ATTRAVERSO LE IMMAGINI

**Divulgare per tutelare: l'esempio del Museo delle Grigne (Esino Lario, Lc)**

Andrea Ferrario, Luca Triacchini, Piero Annoni, Nicola Castelnuovo

## SESSIONE SCIENTIFICA

142

## LE GROTTA COME ARCHIVI DI CAMBIAMENTO

**Grotte glaciali e mutamenti recenti dei ghiacciai** - Andrea Ferrario, Mauro Inglese, Paola Tognini, Paolo Testa

## SESSIONE SCIENTIFICA

146

## BIOSPELEOLOGIA

**Piano di azione per i Chiroterteri in Lombardia: un processo partecipato** - Bruna Comini, Fabrizio Oneto, Marco Torretta, Andrea Ferrario, Martina Spada, Stefania Mazzaracca, Elisabetta Maria Rossi

## BIOGRAFIE LOMBARDE

148

## IMMEMORIAM

**Roberto Conti** - A cura di Giordano Ghidoni

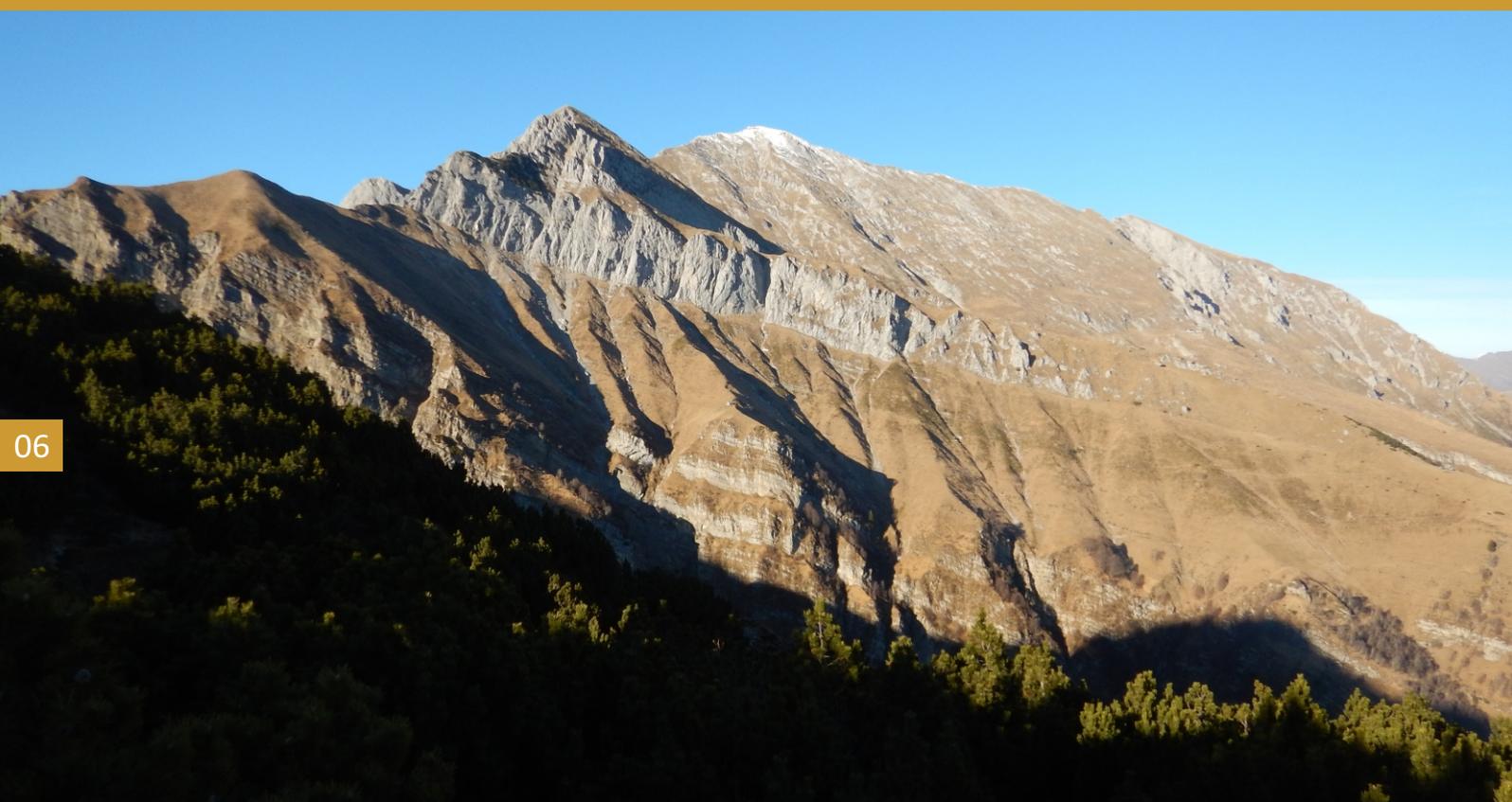
# Grigna Settentrionale

## Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lecco - Lc)

Felicita Spreafico, Giovanni Battista Crosta, Paola Tognini, Paolo Frattini, Stefano Basiricò (a), Andrea Ferrario (b)

(a) Gruppo Grotte Milano CAI-SEM; (b) Gruppo Grotte Saronno CAI-SSI

2018-2022



06

### Riassunto

Nell'ambito di un progetto di ricerca nato dalla collaborazione tra vari enti del territorio, tra il 2018 e il 2019 è stato condotto uno studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lecco) attraverso il monitoraggio idrologico delle principali sorgenti e un test di tracciamento multiplo all'interno di due grotte del massiccio. Tramite strumentazioni posizionate all'interno della Grotta di Fiumelatte, importante sorgente carsica temporanea, e della vicina risorgenza perenne Fonte Uga, è stata indagata la loro risposta idrogeologica alle precipitazioni e approfondite le loro relazioni reciproche. Grazie al test di tracciamento, realizzato immettendo Tinopal CBS-X nell'Abisso W le Donne e Fluoresceina sodica nella Grotta Bellaria, sono stati studiati i circuiti idrici sotterranei e le caratteristiche dell'acquifero.

Lo studio è nato con entusiasmo dall'idea, di ripetere la prova di tracciamento delle acque di W le Donne effettuato nel 1989. Il test, effettuato con Fluoresceina sodica, confermò l'effettiva connessione tra il complesso carsico della Grigna e la vicina

Foto 1. Il Grignone (gli Scudi), vista dall'Alpe Campione - Foto A. Maconi

sorgente temporanea della Grotta di Fiumelatte, lasciando tuttavia alcuni dubbi in merito ad una possibile correlazione con la vicina sorgente perenne di Fonte Uga (Pavia, 1994).

Con lo scopo di indagare più approfonditamente con moderne strumentazioni le relazioni tra le grotte e le emergenze carsiche della Grigna, nell'ambito di questo progetto sono stati programmati ed effettuati due test di tracciamento delle acque sotterranee tramite coloranti innocui fluorescenti, preceduti da una campagna di monitoraggio idrogeologico delle acque del massiccio.

Con i dati raccolti relativamente alle due sorgenti ne è stato definito un modello concettuale, secondo cui Fiumelatte costituisce il sistema di troppopieno di Fonte Uga, come già sostenuto da precedenti autori (Guzzi, 1936; Servida, 1954; Pavia, 1994; Bini e Sirtori, 1998). La sorgente temporanea si attiva solo quando Fonte Uga e le sorgenti sottolacustri non sono in grado di smaltire l'ingente deflusso idrico sotterraneo nei periodi di maggior carico del sistema.

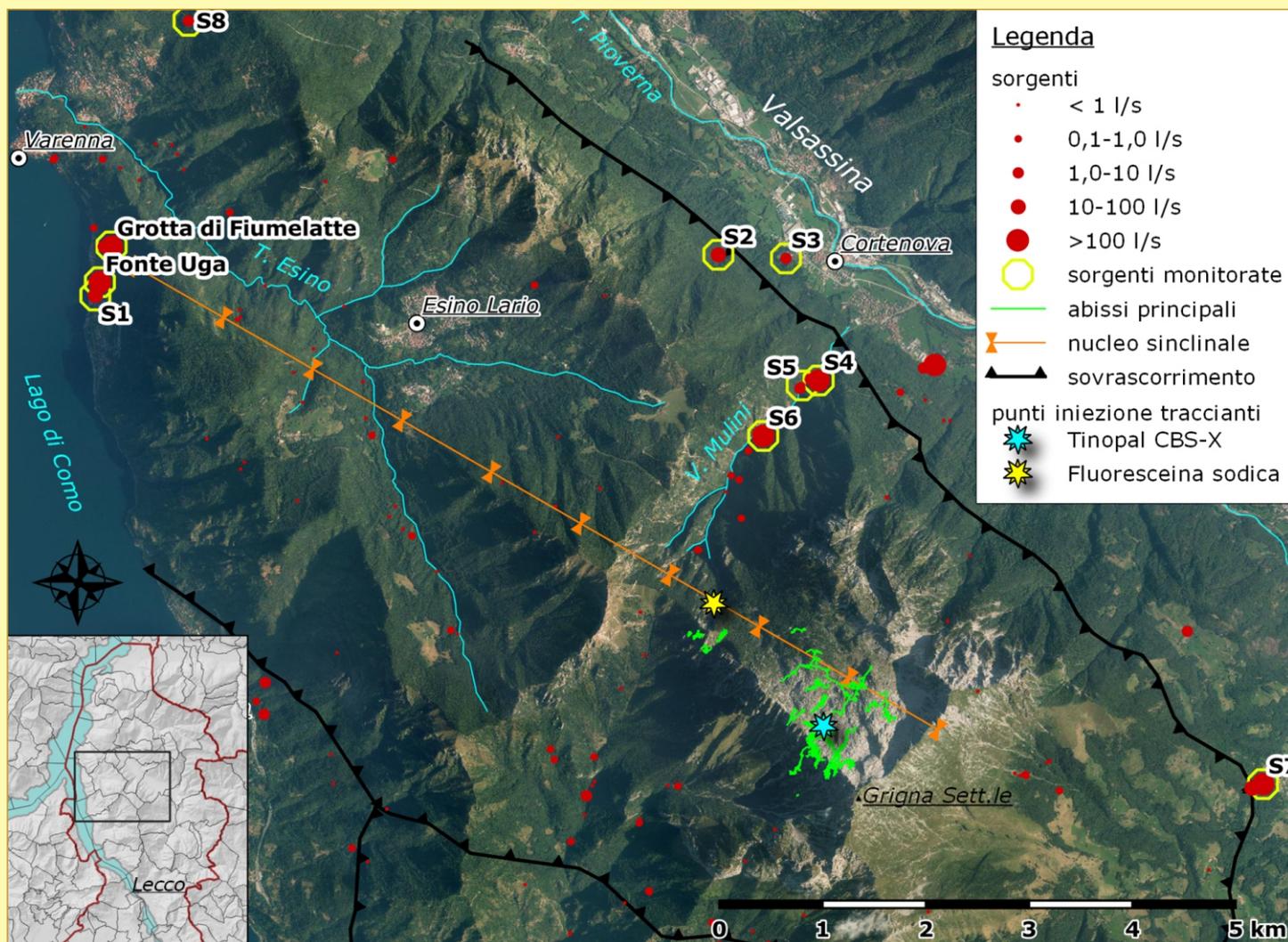


Figura 1. Inquadramento dell'area di studio con indicate le principali strutture geologiche, le sorgenti del massiccio e i punti di immissione dei traccianti

## Introduzione

Gli acquiferi carsici rappresentano una preziosa risorsa idrica per il territorio italiano a causa della significativa estensione dei massicci carbonatici su Alpi e Appennini, le cui maggiori sorgenti carsiche spesso costituiscono un'importante fonte di approvvigionamento idropotabile.

Il presente elaborato si prefigge di esporre alcuni dei risultati dello studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lecco) svolto tra il 2018 e il 2019.

Nell'ambito di una collaborazione tra l'Università degli Studi di Milano-Bicocca, la Federazione Speleologica Lombarda, Lario Reti Holding S.p.A. (gestore del servizio idrico della Provincia di Lecco) e il Parco Regionale della Grigna Settentrionale, è stata condotta una ricerca finalizzata ad approfondire le conoscenze circa le dinamiche dei flussi idrici sotterranei di tale massiccio. In questo elaborato sono presentati i risultati del monitoraggio in continuo della sorgente temporanea di Fiumelatte e della sorgente perenne di Fonte Uga per studiare la loro risposta agli eventi di ricarica e le loro relazioni reciproche.

Grazie alle approfondite conoscenze del sistema carsico ottenute dalle recenti esplorazioni (Maconi et al., 2022), a distanza di 30 anni è stato inoltre ripetuto il test di tracciamento delle acque sotterranee effettuato nell'Abisso W le Donne nel 1989; il test è stato integrato con il contemporaneo tracciamento delle acque della Grotta Bellaria per individuarne le relazioni con le risorgenze in Valle dei Mulini.

## Inquadramento geologico e idrogeologico

Il massiccio delle Grigne (Prealpi Orobriche occidentali, Provincia

di Lecco) si estende per circa 140 Km<sup>2</sup> ed è delimitato a W dal Lago di Como e ad E dalla Valsassina.

Dal punto di vista geologico-strutturale, è costituito da una serie di sovrascorrimenti sud-vergenti formati dalla medesima successione sedimentaria permo-triassica, tra cui la più spessa e carsificabile unità carbonatica è la Formazione di Esino (Casati, Bini, 1982).

La Grigna Settentrionale (2410 m s.l.m.) è il rilievo più elevato e maggiormente carsificato del massiccio ed è strutturato in una piega sinclinale con asse diretto ESE-WNW e inclinato di circa 20° verso WNW, ovvero verso il Lago di Como.

Sul versante settentrionale sorge la conca del Moncodeno, estesa per circa 2 Km<sup>2</sup> e con un'elevata densità di doline e ingressi di cavità per Km<sup>2</sup>.

Complessivamente, il massiccio conta oltre 1100 ingressi, tra cui il Complesso del Releccio-Alfredo Bini, con 18 ingressi, uno sviluppo di oltre 26 km e una profondità di -1313 m.

Nel database della Federazione Speleologica Lombarda sono censite oltre 170 sorgenti sul massiccio della Grigna Settentrionale, tra cui 6 grotte-sorgenti. Di queste emergenze naturali, 47 sono perenni, con portate medie comprese tra meno di 1l/s e alcuni m<sup>3</sup>/s, mentre 46 risultano captate a scopo idropotabile e per attività di piscicoltura. Le quote di emergenza spaziano da 196 m a 2115 m s.l.m.

La sorgente principale ad oggi nota della Grigna Settentrionale è la Grotta di Fiumelatte (Figura 2A), il cui ingresso è situato a 285 m s.l.m. nell'omonima frazione di Varenna (LC). La cavità ha uno sviluppo complessivo di 1,2 km, un dislivello positivo di +57 m e uno negativo di -93 m (profondità massima raggiunta dalle

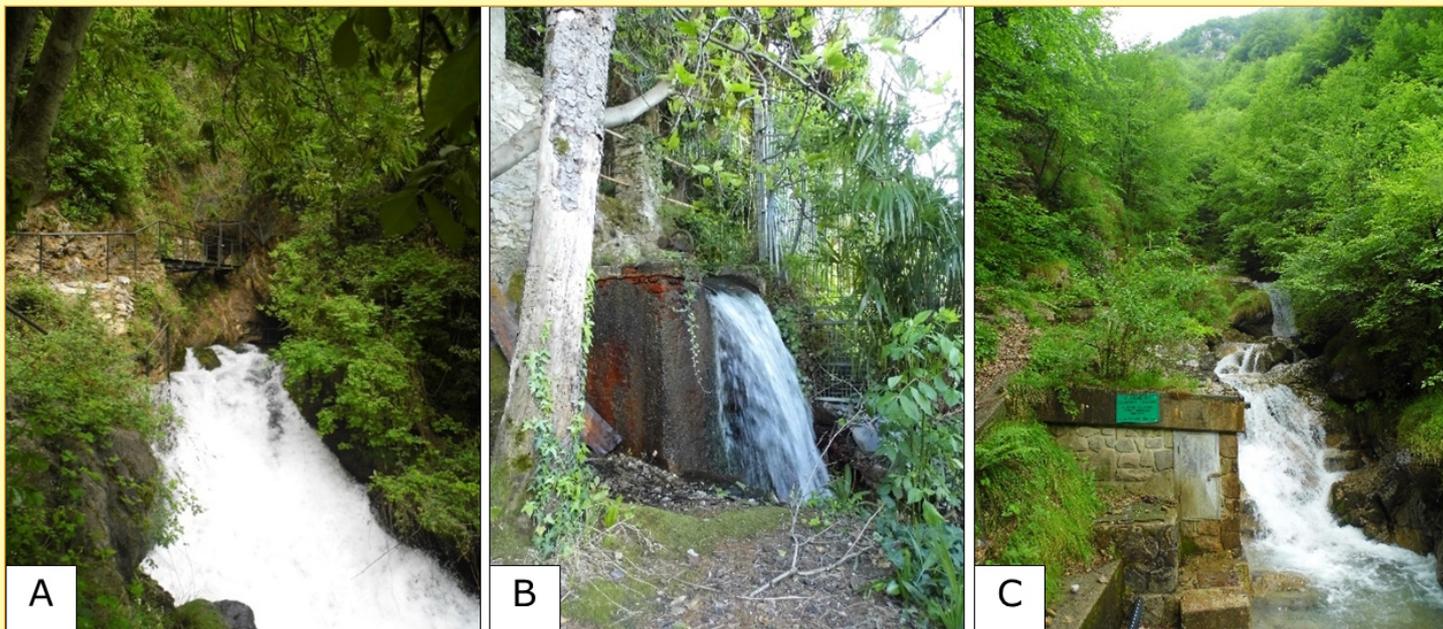


Figura 2. A) Sorgente della Grotta di Fiumelatte. B) Captazione di Fonte Uga. C) S5, sorgente captata in Valle dei Mulini - Foto F. Spreafico

esplorazioni speleo-subacquee). Si tratta di una sorgente carsica temporanea captata a scopo idropotabile, con portata in piena di alcuni  $m^3/s$ . Citata e studiata da scienziati sin dai tempi di Leonardo da Vinci, nei secoli passati è stata erroneamente considerata una sorgente intermittente a causa di una certa regolarità nell'alternanza tra i periodi di attivazione e di secca. In realtà, il comportamento temporaneo è legato alla presenza di un sifone attivo solo nei periodi di maggior deflusso e che è stato ipotizzato essere il sistema di troppopieno della vicina sorgente perenne di Fonte Uga (Guzzi, 1936; Pozzi, 1959; Pavia, 1994; Bini, Sirtori, 1998). Quest'ultima, anch'essa captata dall'acquedotto comunale, sgorga da una breve cavità in breccie di versante situata nell'abitato di Fiumelatte a 225 m slm; la sua portata varia da 150 l/s a 200 l/s (Figura 2B).

Per comprendere i deflussi sotterranei delle acque, nel 1989 fu effettuato un test di tracciamento in cui furono immessi 2,4 kg di Fluoresceina sodica nel torrente del Ramo del Cobra nell'Abisso

W le Donne a -900 m di profondità, in regime di magra. A distanza di 7 giorni dall'immissione, la riattivazione della sorgente della Grotta di Fiumelatte permise la restituzione del tracciante, rilevato tramite carboni attivi. I risultati diedero esito negativo invece per Fonte Uga, presumibilmente a causa dell'eccessiva diluizione della Fluoresceina. Le altre sorgenti monitorate nel corso del test non risultarono positive al transito del tracciante. Furono considerate in particolare le sorgenti in Valle dei Mulini (Figura 2C), incisione valliva nel versante orientale della Grigna il cui approfondimento, posteriore allo sviluppo del carsismo profondo, potrebbe aver determinato una cattura parziale del sistema di drenaggio principale verso la Valsassina (Bini et al., 1977; Bini, Sirtori, 1998).

### Materiali e metodi

Per studiare il comportamento idrologico delle sorgenti di Fonte Uga e della Grotta di Fiumelatte in relazione agli apporti meteorici, sono stati installati alcuni strumenti di monitoraggio all'interno delle due cavità. Dal mese di marzo 2018 entrambe

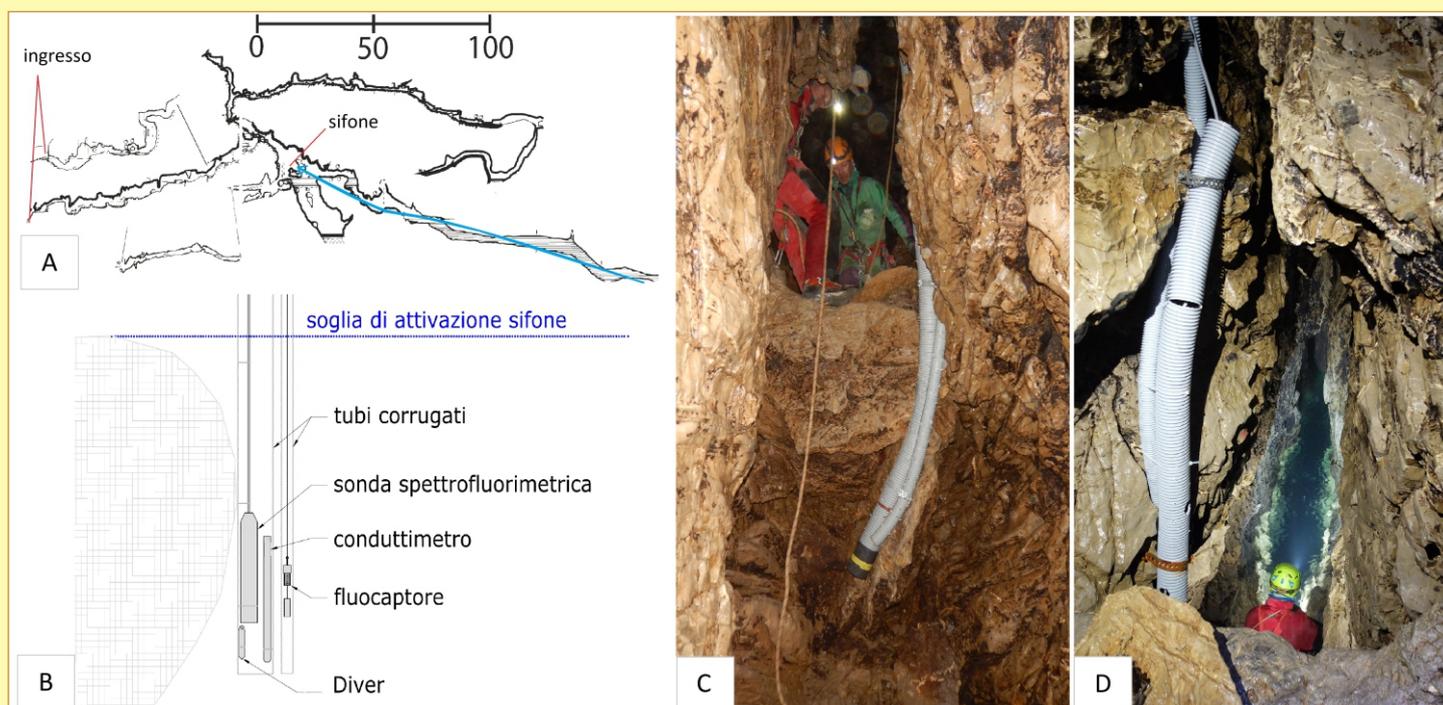


Figura 3. A) Stralcio della sezione della Grotta di Fiumelatte (Pellegrini, 1989); B) Schema disposizione strumentazione di monitoraggio; C) Strumentazione nei pressi del sifone - Foto F. Spreafico e A. Ferrario

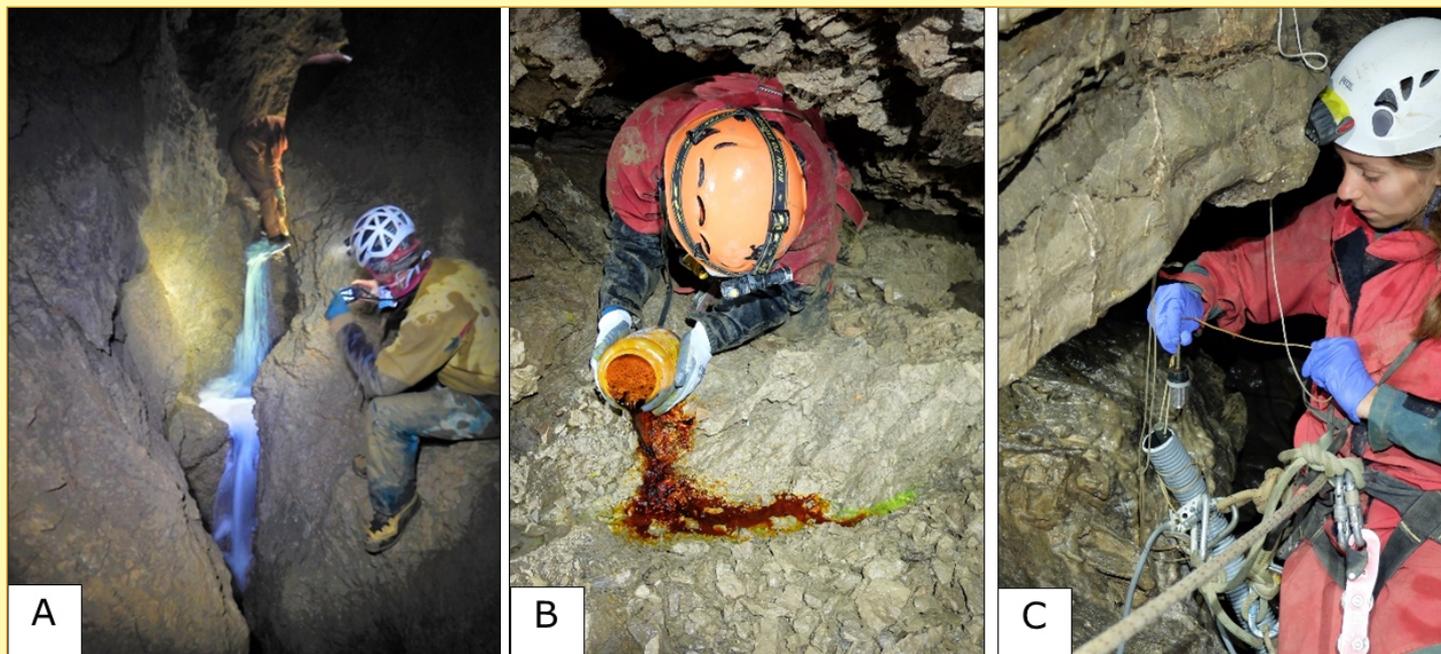


Figura 4. A) Immissione di Tinopal nel Ramo del Cobra a W le Donne - Foto F. Spreafico; B) Immissione di Fluoresceina nella Grotta Bellaria - Foto A. Ferrario; C) Sostituzione dei fluocaptori nella Grotta di Fiumelatte - Foto A. Ferrario

sono state attrezzate con uno spettrofluorimetro da pozzo (Albillia-Neuchâtel), in grado di rilevare la temperatura dell'acqua, la torbidità e il transito di diversi traccianti fluorescenti (Tinopal, Fluoresceina e Rodamina). All'interno della Grotta di Fiumelatte sono stati installati anche un trasduttore di pressione idrica (DIVER-Eijkelpamp), un conduttimetro (Insitu AquaTROLL 100) e un barometro (BaroDIVER) per la compensazione barometrica. La strumentazione è stata sincronizzata con frequenza di acquisizione di 5' e posizionata nei pressi del sifone principale grazie all'utilizzo di un tubo passacavo lungo 2,5 m, all'interno del quale sono stati fissati il conduttimetro e il trasduttore di pressione circa 80cm al di sotto della soglia di attivazione del sifone, oltre alla sonda spettrofluorimetrica. Il tubo è stato fissato alla parete del sifone insieme ad un altro, più sottile e lungo 12m, utilizzato per facilitare il recupero e la sostituzione dei captori a carboni attivi durante il test di tracciamento (Figura 3). Il datalogger dello spettrofluorimetro e il barometro sono stati posizionati in luogo asciutto. È stata inoltre periodicamente calcolata la portata sorgiva di Fonte Uga tramite metodologia conduttimetrica con lo strumento EasyFlow (Madd).

Per quanto riguarda il test di tracciamento multiplo, sono stati utilizzati 500 g di Fluoresceina sodica e 5 kg di Tinopal CBS-X, immessi rispettivamente a -90 m nella Grotta Bellaria (5245 LoLc) a -920 m nell'Abisso W le Donne (1936 LoLc).

La scelta e le quantità di traccianti sono state determinate sulla base delle diverse condizioni idrauliche dei due corsi d'acqua sotterranei e da dati bibliografici. I traccianti sono stati trasportati in forma di polvere fino ai punti di immissione e successivamente diluiti in bidoncini colmi d'acqua. L'iniezione di Tinopal nel Ramo del Cobra, avente una portata di 3l/s, è avvenuta a partire dalle 18:30 del 29 giugno (Figura 4A, Figura 6), mentre la Fluoresceina è stata immessa nel corso d'acqua di Bellaria (0,03 l/s) alle 22:00 (Figura 4B).

Le sorgenti monitorate con fluocaptori sono state, oltre a Fiumelatte e Fonte Uga, una vicina risorgenza perenne utilizzata per attività di piscicoltura (S1, Incubatoio De Marchi), due sorgenti minori sul versante nordorientale (S2, Freconera, e S3, Acqua della Salute), tre sorgenti in Valle dei Mulini (S4, Acqualatte, la captazione S5 lungo il torrente e la risorgenza S6 in

Valle Polisena) e una sul versante sudorientale della Grigna (S8, Grenzone). Inoltre, lungo la Valle dei Mulini, a valle delle sorgenti, è stato posizionato un terzo spettrofluorimetro, operativo dal 25 giugno. I fluocaptori utilizzati consistono in gabbiette metalliche ricavate da filtri industriali (Figura 4C) riempiti con carboni attivi in pellet di diametro 3 mm e lunghezza massima di 1 cm. Il monitoraggio con i carboni è avvenuto con periodiche sostituzioni degli stessi presso tutte le sorgenti considerate e con l'estrazione delle sostanze fluorescenti tramite la procedura condivisa dal Laboratorio Speleologico e di Tecniche Fluorimetriche di Taipana.

### Monitoraggio idrogeologico di Fiumelatte e Fonte Uga

Grazie al monitoraggio di Fiumelatte e Fonte Uga tra aprile e luglio 2019 è stato indagato il comportamento idrogeologico delle due sorgenti in relazione agli eventi di ricarica. La Figura 5A mostra l'andamento della portata, della conducibilità elettrica e della temperatura delle acque di Fiumelatte a confronto con le temperature di Fonte Uga e le precipitazioni rilevate alla stazione di misura di Cortenova (dati ARPA Lombardia). Dall'analisi dei dati rilevati in concomitanza degli eventi meteorici si desume che la risposta della sorgente è rapida, con aumenti consistenti di portata a partire da circa 9 ore dall'inizio delle piogge, contemporanei al decremento di temperatura e conducibilità elettrica. Tale comportamento è riconducibile al fenomeno definito come "sostituzione prevalente", secondo cui le acque di ricarica raggiungono rapidamente la sorgente attraverso una rete di condotti sostituendosi completamente alle acque di circolazione attiva, non intercettando la rete di deflusso profonda.

Il breve tempo di residenza delle acque di neoinfiltrazione, più fredde di quelle in equilibrio con il sistema, impedisce il loro arricchimento in ioni, causando il brusco abbassamento di temperatura e conducibilità elettrica durante la piena.

Tale fenomeno è tipico di sistemi carsici con un sistema di deflusso "a dreno dominante", ovvero sistemi caratterizzati da elevate permeabilità dell'acquifero, in cui la rete di deflusso è organizzata in condotti preferenziali che drenano velocemente le acque di ricarica, impedendo l'esistenza di una zona satura "tradizionale" (Vigna, 2007, 2014).

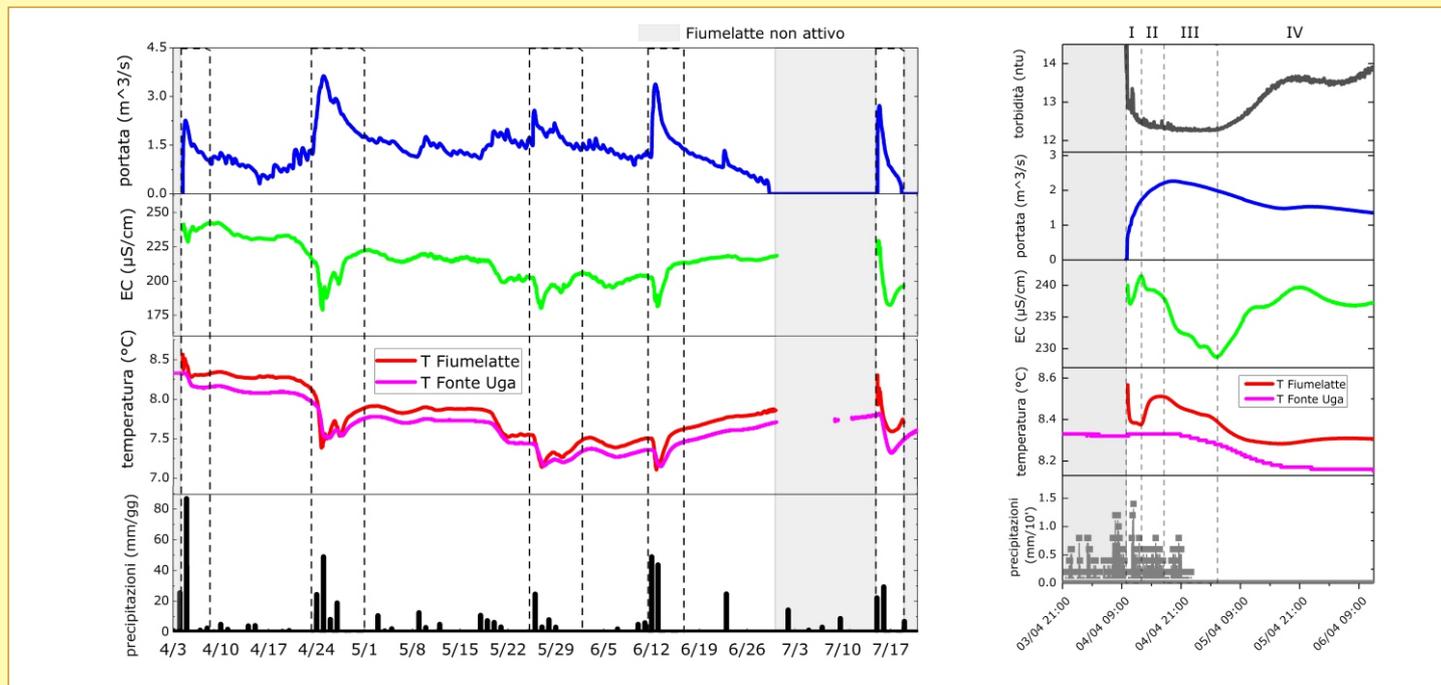


Figura 5 (5A-5B). Andamento di temperatura, conducibilità elettrica e portata di Fiumelatte in relazione alle precipitazioni; andamento dei parametri nella fase di riattivazione di aprile

La Figura 5B mostra l'andamento dei parametri delle acque di Fiumelatte durante la prima riattivazione della sorgente nell'aprile 2019. Sono state individuate 4 distinte fasi nella risposta idrologica della risorgenza, indicative dell'arrivo di acque di natura differente.

La prima fase, della durata di 3 ore, corrisponde al transito delle acque "vecchie" del sifone pistonate dall'arrivo della piena, in quanto caratterizzate da un grado di mineralizzazione relativamente elevato, come anche la torbidità.

Un secondo fenomeno di pistonaggio contraddistingue la seconda fase, relativa al transito delle acque relativamente calde e mineralizzate appartenenti alla lenta circolazione del deflusso profondo, ovvero quello relativo a Fonte Uga. La temperatura di quest'ultima si mantiene infatti costante in questo stadio, a prova del fatto che le acque di neoinfiltrazione non hanno ancora raggiunto le risorgenze. Il loro arrivo avviene solo nella terza fase: in concomitanza con il picco di piena si registra la diminuzione della conducibilità e delle temperature a causa del veloce recapito delle acque di ricarica (sostituzione prevalente). La quarta fase inizia con l'incremento di torbidità e conducibilità, indicativo dell'arrivo di acque di infiltrazione più lenta, cariche di sostanze in sospensione. L'andamento di portata, temperatura, conducibilità e torbidità, considerati "traccianti naturali" sono infatti funzione del tipo di ricarica dell'acquifero, delle caratteristiche litologiche dell'ammasso roccioso e delle modalità di circolazione all'interno del sistema.

Le variazioni dei parametri idrologici in seguito a eventi meteorici consentono di discriminare diversi tipi di acque presenti nel circuito idrico sotterraneo (Vigna, Calandri, 2001). Sulla base dell'interpretazione di tutti i dati idrogeologici raccolti (compresi quelli idrogeochimici, non trattati in questo elaborato), è stato delineato il modello concettuale delle due sorgenti, rappresentato in Figura 6.

Fonte Uga e le sorgenti perenni dell'area (sottolacustri e S1) rappresentano la via deflusso primaria del sistema carsico della Grigna, impostata lungo il nucleo della sinclinale.

La dislocazione di tali emergenze nell'area di Varenna è da attribuire alla presenza di breccie carbonatiche di versante cementate che determinano l'emergenza diffusa delle acque.

Le portate di Fonte Uga variano da un minimo di 150 l/s in periodi di minor deflusso a un massimo di 200 l/s, valore che si mantiene pressoché costante quando la sorgente di Fiumelatte è attiva. Tale comportamento conferma il ruolo della sorgente temporanea come sistema di troppopieno.

Inoltre, analisi delle acque effettuate nell'ambito dello studio confermano la medesima composizione idrogeochimica delle due emergenze. Si ipotizza quindi l'esistenza di un serbatoio, alimentato dalle acque provenienti dal sistema carsico, che sia drenato da un condotto in cui l'acqua scorra in pressione fino alle sorgenti perenni. Nei periodi di maggior deflusso tale serbatoio trova sfogo nel sistema di troppopieno di Fiumelatte, attraverso il sifone ad oggi parzialmente esplorato.

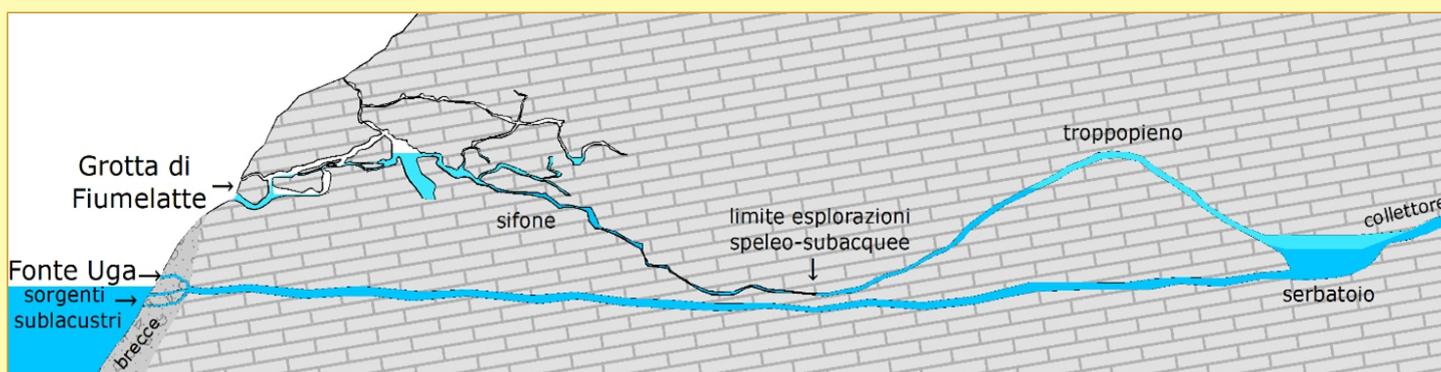


Figura 6. Modello concettuale del sistema Fiumelatte-Fonte Uga: in blu il livello idrico in regime di magra, in azzurro in regime di piena, con bordo spesso la porzione nota della grotta

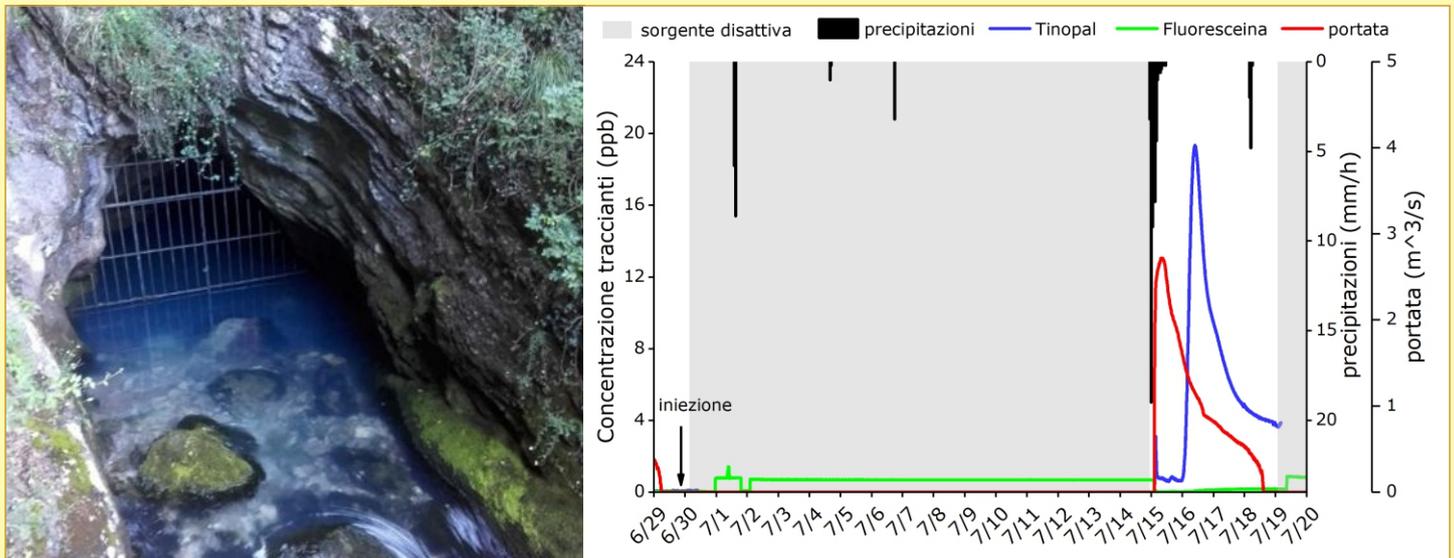


Figura 7. A destra: grafico dei risultati del tracciamento a Fiumelatte; Transito di Tinopal dalla Grotta di Fiumelatte - Foto F. Spreafico.

### Risultati del test di tracciamento

I risultati del tracciamento relativi a Fonte Uga e Fiumelatte sono rappresentati in Figura 9 e 10. Il prosciugamento della sorgente temporanea a distanza di poche ore dall'immissione dei traccianti ha determinato un periodo di inattività di due settimane, nonostante il breve meteorico verificato due giorni dall'immissione abbia determinato solo un momentaneo innalzamento del livello del sifone, senza tuttavia attivarsi. In seguito è stato possibile stabilire l'arrivo a Fonte Uga di un primo picco di Tinopal tra il terzo e il settimo giorno dall'immissione, essendo risultato molto positivo il captore relativo in questo intervallo di tempo. Le elevate concentrazioni del tracciante rilevate tra l'8 e il 9 luglio (circa 5 ppb) confermano il transito di Tinopal e il suo esaurimento nei giorni successivi, così come le analisi sui carboni attivi prelevati dalla sorgente S1, che drena le stesse acque di Fonte Uga.

Il 15 luglio sono state registrate abbondanti precipitazioni nell'area (circa 60 mm), le quali hanno determinato dopo solo 2 ore la riattivazione di Fiumelatte.

A distanza di 13 ore dall'inizio delle precipitazioni, ovvero a 15 giorni e mezzo dall'immissione, è stato registrato il primo arrivo di Tinopal a tale sorgente, raggiungendo un picco di concentrazione di circa 19 ppb il 16 luglio e risultando visibile a occhio nudo all'ingresso della Grotta (Figura 7).

Il medesimo giorno anche a Fonte Uga è stato rilevato un picco di Tinopal di 14 ppb (Figura 8), anticipato di 1 ora rispetto a quello di Fiumelatte. Il 19 luglio quest'ultimo si è disattivato, sebbene le concentrazioni del tracciante fossero ancora elevate (4 ppb).

Le successive precipitazioni non sono state sufficienti a riattivare la sorgente né sono stati osservati ulteriori picchi di Tinopal a Fonte Uga. In merito alle concentrazioni di Fluoresceina, in entrambe le emergenze esse risultano dell'ordine di grandezza dei valori di fondo registrati in seguito a eventi meteorici monitorati nei mesi precedenti (0,15 ppb per Fiumelatte e 0,19 ppb per Fonte Uga), suggerendo dunque il mancato recapito di tale tracciante. A sostegno di questa ipotesi si osserva la minore concentrazione di Fluoresceina a Fiumelatte rispetto a Fonte Uga, a differenza di quanto riscontrato per l'altro tracciante.

Le curve di concentrazione di Tinopal, oltre ad avere un'identica forma per le due sorgenti, risultano ripide e strette nel tratto ascendente e costituite da un unico picco asimmetrico, con un tratto di esaurimento meno ripido legato alla diminuzione del deflusso.

Considerando l'intervallo di tempo tra l'inizio delle precipitazioni e il primo arrivo del tracciante a Fiumelatte, su una distanza di circa 8 km dall'ipotetico punto di accumulo a quello di recapito, la velocità di deflusso stimata è di oltre 300 m/h. Complessivamente, a Fonte Uga è stato calcolato un recupero del tracciante del 10% dall'8 luglio in poi e stimato un ulteriore 10% nel periodo precedente; a Fiumelatte il recupero è stato del

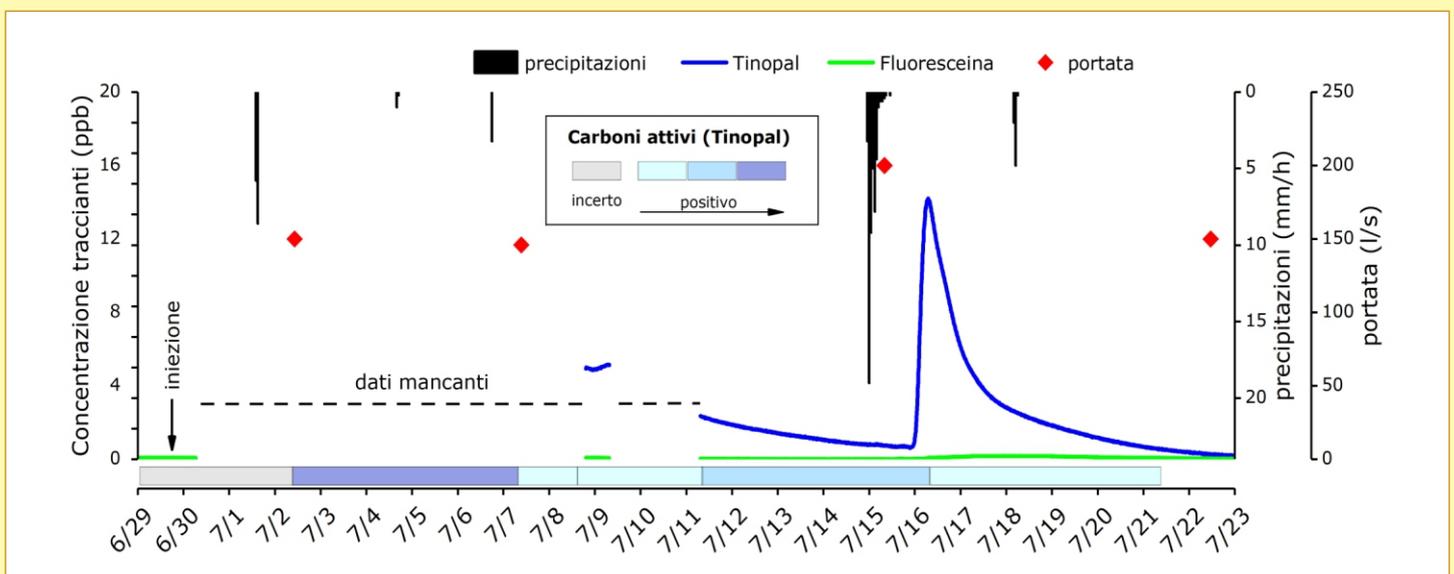


Figura 8. Risultati del tracciamento a Fonte Uga

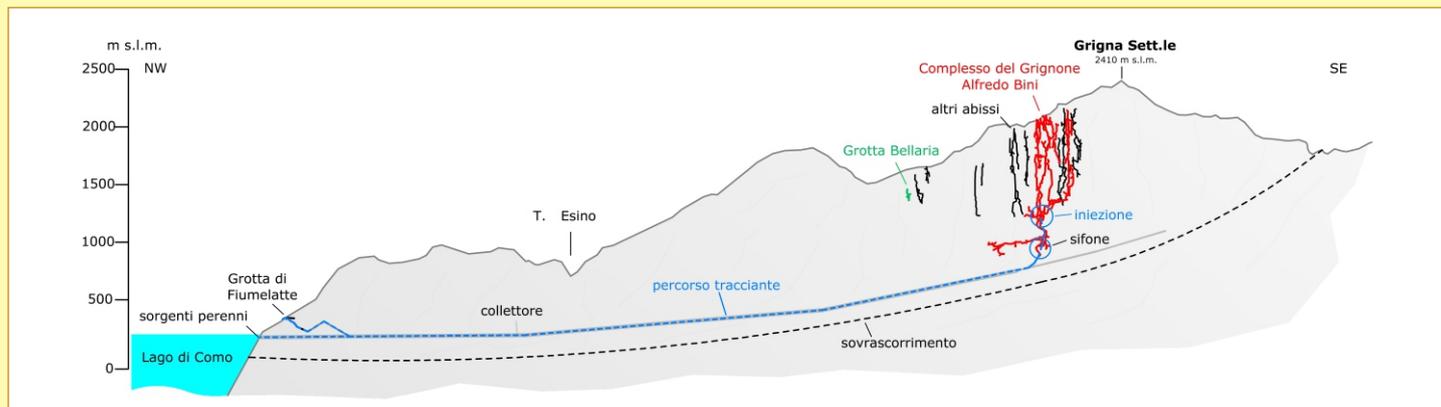


Figura 9. Modello concettuale del sistema di deflusso principale della Grigna settentrionale

35%. A tali percentuali vanno sommate quelle ignote relative alle sorgenti sottolacustri che drenano le medesime acque del sistema. La restituzione del Tinopal immesso a W le Donne è dunque avvenuta in due distinte fasi, grazie alle quali è stato possibile ipotizzare tempi e modalità di risposta del sistema, nonché la configurazione dei circuiti idrici sotterranei e il modello concettuale del sistema (Figura 9).

Dopo l'immissione, il tracciante ha percorso il Ramo del Cobra in regime di magra e, a causa della diminuzione del deflusso, si è accumulato in un bacino sotterraneo (un sifone), riuscendo tuttavia in parte a defluirne prima della sua disattivazione e raggiungendo il collettore del sistema, perennemente attivo. Essendo in quel momento Fiumelatte da poco in regime di secca, il tracciante proveniente da W e Donne è transitato solo da Fonte Uga e dalle altre sorgenti perenni connesse, costituendo il deflusso principale del sistema.

Al termine di questa prima restituzione, le abbondanti precipitazioni hanno determinato la rapida riattivazione di Fiumelatte e la rimobilizzazione del tracciante rimasto accumulato nel sifone a valle di W le Donne. Dopo 6 ore dall'inizio delle piogge è stato registrato il picco di portata a Fiumelatte, mentre il primo arrivo del Tinopal a distanza di circa 24 ore dal picco di piena. Tale scostamento indica che il tracciante si è accumulato in un punto relativamente lontano dalla sorgente. La sua rapida restituzione nella seconda fase attraverso un impulso unico ha permesso di confermare che il sistema di drenaggio principale della Grigna è di tipo "a dreno dominante". L'anticipo di un'ora del picco di concentrazione a Fonte Uga rispetto a quello di Fiumelatte è da attribuire alla diversa configurazione dei condotti che alimentano le due sorgenti. Fiumelatte, in quanto sistema di troppopieno, è

caratterizzato dalla presenza di sifoni che rendono tortuoso il percorso dei deflussi idrici, mentre le emergenze perenni sono alimentate da un condotto lineare impostato lungo l'asse della sinclinale (Figura 9).

Oltre ai risultati positivi riscontrati a Fiumelatte e Fonte Uga, il test di tracciamento ha permesso di identificare la connessione tra la Grotta Bellaria e la Valle dei Mulini (Figura 10). Un breve evento di pioggia (14 mm) si è verificato a distanza di 40 ore dopo l'iniezione del tracciante e dopo 1h è stato registrato un picco di torbidità contemporaneo a uno di Tinopal (1,7 ppb) e a un lieve incremento di Fluoresceina (0,3 ppb). Dopo 12 ore dall'inizio delle precipitazioni è stata invece rilevata una serie di picchi di Tinopal e Fluoresceina distribuiti su un arco di tempo di circa 4 ore, con concentrazioni massime rispettivamente di 2,3 ppb e 5,1 ppb. È importante sottolineare che l'interpretazione di questi risultati è stata effettuata in mancanza di significativi dati di background relativi alla risposta del torrente a eventi meteorici e in mancanza di ulteriori dati di monitoraggio successivi all'8 luglio. I picchi di sostanze fluorescenti rilevati immediatamente dopo le precipitazioni sono stati quindi interpretati come la risposta "naturale" del torrente all'evento di ricarica, come suggerito dal repentino aumento di torbidità e dagli incrementi di concentrazione delle sostanze, dovuti alla presenza di materia organica in acqua. L'evento di ricarica ha determinato dopo circa 10 ore la risposta dell'intero bacino e dunque delle sorgenti con la rimobilizzazione del tracciante immesso a Bellaria e rimasto accumulato nella rete di drenaggio a causa del periodo di secca. Nella serie di picchi a impulsi multipli di Fluoresceina è stato riconosciuto il transito del tracciante lungo il torrente, come confermato dalle analisi sul fluocaptore recuperato il giorno stesso a S5. I contemporanei impulsi di Tinopal sono stati invece attribuiti a concentrazioni di fondo legate alla risposta del bacino, in quanto i valori di picco sono simili a quelli rilevati

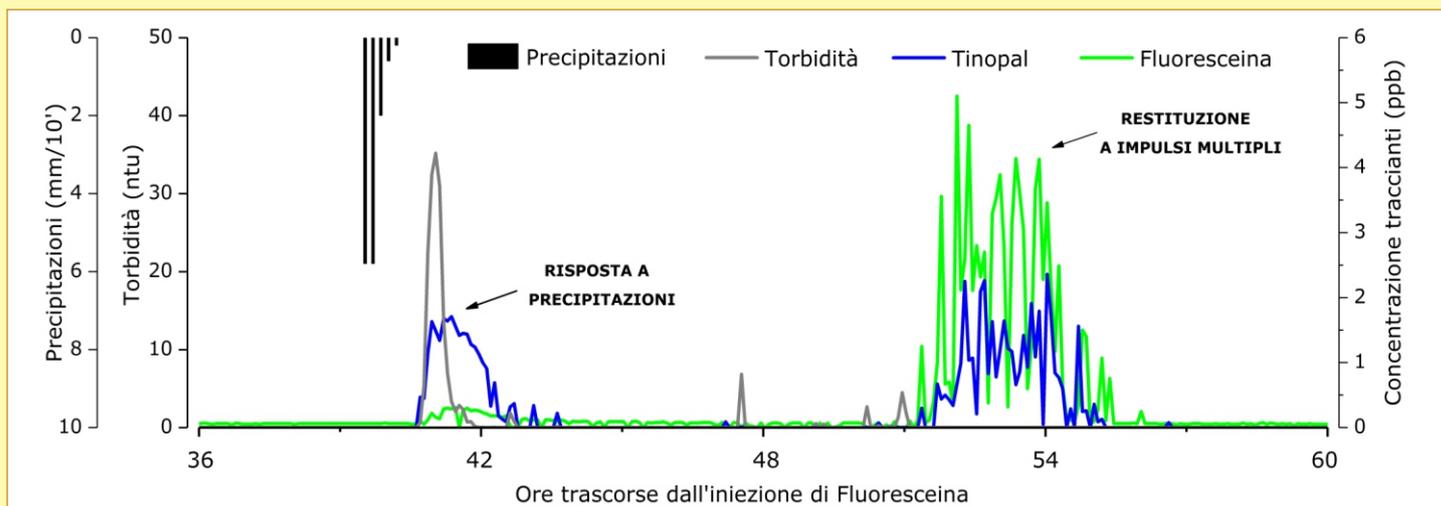


Figura 10. Risultati del tracciamento lungo il torrente della Valle dei Mulini

immediatamente dopo le piogge a circa 40 ore dall'iniezione (2,4 ppb). Ciononostante, la mancanza di dati di background non consente di escludere a priori un'eventuale connessione tra il sistema di deflusso di W le Donne-Fiumelatte/Fonte Uga e la Valle dei Mulini.

Come ipotizzato da precedenti autori (Bini et al., 1977; Bini, Sirtori, 1998), il deflusso sotterraneo principale impostato lungo l'asse della sinclinale potrebbe essere stato deviato in tempi relativamente recenti verso la Valle dei Mulini a causa del suo approfondimento tardivo. L'elevato grado di fratturazione che caratterizza la valle, impostata lungo faglie dirette SW-NE, potrebbe aver favorito lo sviluppo di tale assetto idrogeologico e la formazione di un bacino di drenaggio indipendente da quello principale. Il tipo di restituzione a impulsi multipli suggerirebbe infatti l'esistenza di un sistema di deflusso a dreni interdipendenti, ovvero costituito da una rete di condotti e/o fratture entro cui la circolazione idrica sotterranea risulta essere di tipo semidispersivo. All'interno della rete di reticoli fratturati e/o carsificati sarebbe presente un'estesa rete a pieno carico e una zona satura piuttosto sviluppata, con più serbatoi semidipendenti (Vigna, 2007, 2014).

Dal momento che la sorgente S4 era asciutta il 2 luglio, si desume che la restituzione del traccinate sia avvenuta attraverso la risorgenza captata S5, come confermato dai fluocaptori, e presumibilmente anche tramite la S6. Infatti, le analisi idrogeochimiche effettuate nell'ambito del progetto di ricerca hanno stabilito una connessione tra le due e un'alimentazione legata ad un deflusso profondo delle acque. Tali analisi hanno inoltre identificato per S4 un bacino di drenaggio differente da quello di S5 e S6 e legato a quote più elevate del massiccio. Per quanto riguarda le altre sorgenti monitorate con fluocaptori, non è stato rilevato transito dei due traccianti in alcuna di queste.

### Conclusioni

L'interpretazione congiunta dei risultati delle prove di tracciamento e del monitoraggio della Grotta di Fiumelatte e di Fonte Uga ha permesso di stimare le modalità e i tempi di risposta delle due emergenze carsiche in relazione agli eventi meteorici. La risposta delle sorgenti avviene a distanza di circa 9 ore dall'inizio delle precipitazioni tramite sostituzione prevalente delle acque di circolazione, caratteristica tipica di sistemi di deflusso a dreno dominante. Il monitoraggio ha inoltre consentito di stabilire la connessione tra le due risorgenze e di delinearne un modello concettuale, convalidato dai risultati dei test di tracciamento, che ha confermato il collegamento tra



Figura 11. Il torrente della Valle di Pannero colorato dalla Fluoresceina durante il test di tracciamento del torrente Esino del 3 giugno 2019 - Foto F. Spreafico

l'Abisso W le Donne e il sistema sorgivo di Fiumelatte-Fonte Uga-S1. Ha permesso inoltre di ipotizzare l'esistenza di un sistema di deflusso a dreni interdipendenti al di sotto della Valle dei Mulini, le cui emergenze drenano le acque della Grotta Bellaria e presumibilmente delle altre cavità limitrofe. Permangono tuttavia alcune incertezze circa una possibile cattura delle acque del deflusso profondo principale (collettore W le Donne-Fiumelatte) verso la Valle dei Mulini. Tale argomento meriterebbe in futuro un adeguato approfondimento mediante ulteriori indagini idrogeologiche. La circolazione idrica sotterranea della Grigna Settentrionale è dunque fortemente influenzata dall'assetto geologico-strutturale del massiccio. Le acque di ricarica defluiscono principalmente lungo il nucleo della sinclinale in quello che è ipotizzato essere il collettore del sistema, impostato al di sopra del sovrascorrimento basale che funge da limite impermeabile alla circolazione idrica. Marginalmente sono presenti altri bacini di drenaggio caratterizzati da differenti sistemi di deflusso sotterraneo.

Grazie a questa ricerca è stato possibile incrementare le conoscenze dell'acquifero carsico della Grigna, predisponendo un punto di partenza per una più approfondita caratterizzazione del sistema carsico non solo dal punto di vista idrogeologico e speleologico, ma anche per quanto concerne l'utilizzo delle acque carsiche per l'approvvigionamento del territorio.

### Ringraziamenti

Questo studio è stato condotto grazie alla collaborazione tra la Federazione Speleologica Lombarda, il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra dell'Università di Milano Bicocca, Lario Reti Holding S.p.A. e il Parco della Grigna Settentrionale.

Si ringraziano in particolare gli speleologi che hanno partecipato alle varie attività di monitoraggio e di tracciamento (G. G. CAI Busto Arsizio, G. G. CAI Novara, G. G. Milano CAI SEM, G. G. Saronno CAI SSI, G. S. CAI Lecchese, G. S. Valle Imagna, S. C. CAI Erba, S. C. CAI Romano di Lombardia).

### Riferimenti bibliografici

- Bini A., Sirtori F. (1998), "La Grotta di Fiumelatte 1501 LoLc", *Geologia Insubrica*, 3: 101-110;
- Bini A., Cappa G., Pellegrini A. (1977), "Ricerche sugli aspetti del fenomeno carsico profondo del Gruppo delle Grigne (Lombardia): V - Il carsismo nella zona Bregai - Val Laghetto (Circo di Moncodeno) parte II", *Le Grotte d'Italia*, 6: 5-72;
- Casati P., Bini A. (1982), "Itinerari Geologici nel Gruppo delle Grigne (Prealpi lombarde)", *Itinerari Naturalistici e Geografici attraverso le montagne italiane*, 18;
- Guzzi G. (1936), "Il Fiumelatte. Come si spiega il fenomeno dell'intermittenza", *Rivista mensile Club Alpino Italiano*, 55: 403-405;
- Maconi A., Corvi M., Merazzi M., Spreafico F. (2022), "Esplorazioni nel massiccio del Grignone", *XXIII Congresso Nazionale di Speleologia, Ormea 2022*;
- Pavia R. (1994), "Idrologia del sistema W le Donne-Fiumelatte", *Grotte di Lombardia*, 23-27;
- Vigna B. (2014), "Acquisizione ed interpretazione dei dati di monitoraggio delle sorgenti", *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 143: 43-58;
- Vigna B. (2007), "Schematizzazione e funzionamento degli acquiferi in rocce carbonatiche", in Cucchi F., Forti P., Sauro U. (a cura di), *L'acqua nelle aree carsiche in Italia. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, 19: 21-26;
- Vigna B., Calandri G. (2001), "Gli acquiferi carsici", *Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana*, 12.

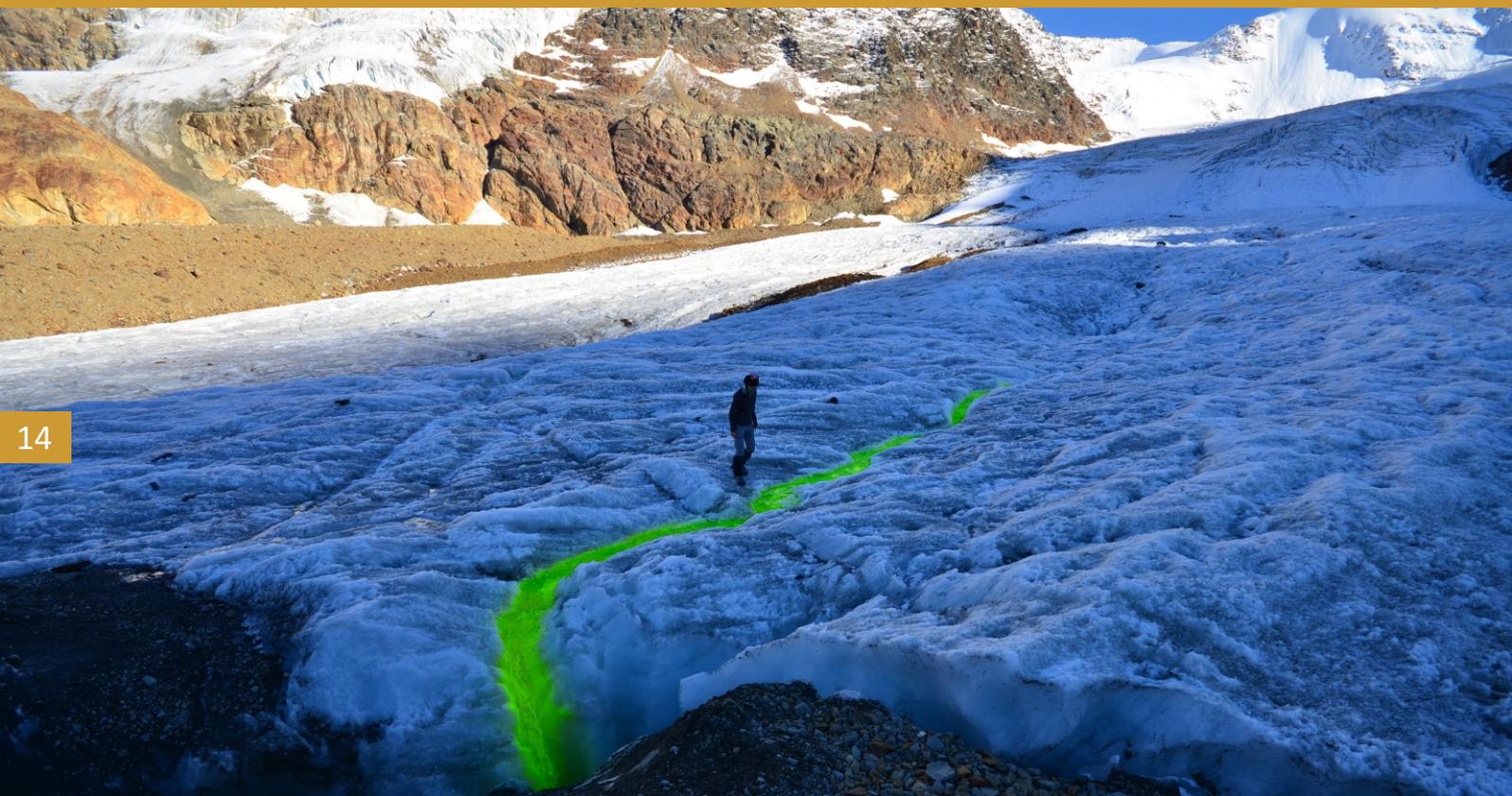
# Ghiacciai dei Forni e del Morteratsch

## Test di tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai ghiacciai dei Forni (Italia) e del Morteratsch (Ch)

Mauro Inglese, Paola Tognini (a), Sebastian Pera (b), Andrea Ferrario, Margherita Uboldi (c), Paolo Testa (d)

(a) Gruppo Grotte Milano CAI-SEM; (b) SUPSI Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, Istituto di Scienze della Terra;  
(c) Gruppo Grotte Saronno CAI-SSI; (d) Gruppo Speleologico CAI Varallo

2022



14

### Riassunto

Le grotte glaciali e le grotte in rocce carsificabili mostrano molte analogie, sia morfologiche, sia per quanto riguarda la circolazione dell'acqua. In un ghiacciaio, il ghiaccio si comporta in modo fragile nella sua parte più superficiale (circa 150-200 m nei ghiacciai temperati alpini e subpolari), presentando quindi sistemi di fratture le cui caratteristiche (distribuzione, orientamento, apertura) dipendono dallo stato tensionale a cui è sottoposto il ghiaccio stesso: un ghiacciaio è quindi assimilabile a un ammasso roccioso fratturato, limitato inferiormente da ghiaccio virtualmente impermeabile.

Processi di fusione e sublimazione creano sistemi di cavità attraverso le quali si muovono le acque all'interno del ghiacciaio e lungo il contatto con il substrato. La circolazione di queste acque può essere studiata con i metodi normalmente utilizzati in idrogeologia carsica, in particolare con prove di tracciamento. Immettendo un tracciante in un inghiottitoio (mulino), utilizzando un fluorimetro con data logger nel punto di recapito alla fronte è possibile ottenere curve di restituzione continue,

Foto 1. Ghiacciaio dei Forni- Foto M. Inglese

che permettono di studiare i sistemi di drenaggio endoglaciale. Tali prove sono anche un metodo efficiente, veloce, semplice e poco costoso per valutare la presenza di bacini di accumulo idrico all'interno o alla base di un ghiacciaio, situazione all'origine delle Glacial Lake Outburst Flow (GLOF) o piene del ghiacciaio, il cui riconoscimento precoce può essere di grande aiuto nella prevenzione di danni agli insediamenti a valle di un ghiacciaio potenzialmente soggetto a questo fenomeno. Nonostante le prove di tracciamento non permettano di distinguere tra bacini endo- e subglaciali (con rischio di GLOF molto più elevato nel primo caso), questo tipo di test fornisce indicazioni sulla loro presenza, importante specialmente nell'attuale fase di forte instabilità dei ghiacciai, legata alle crescenti velocità di ritiro e riduzione volumetrica della massa glaciale. A titolo di esempio delle potenzialità del metodo, vengono presentati i risultati di due test di tracciamento, eseguiti al Ghiacciaio del Morteratsch (CH) e al Ghiacciaio dei Forni (SO).

### Introduzione: acquiferi carsici e acquiferi glaciali

Anche se i processi di formazione sono molto diversi, il carsismo glaciale ha fortissime analogie con il carsismo s.s. in roccia (Eraso & Pulina, 1994, 2011; Badino & Piccini, 1995): processi prevalentemente chimici, di dissoluzione, sono infatti responsabili della carsificazione di rocce carbonatiche o solubili, mentre le grotte glaciali sono originate da processi fisici (passaggio di stato dell'acqua da solida a liquida), ma le forme risultanti sono sorprendentemente simili.

Le analogie non sono soltanto morfologiche, ma riguardano anche il funzionamento idrogeologico: negli ultimi decenni, infatti, ricerche nei ghiacciai di tutto il mondo hanno mostrato che, all'interno di un ghiacciaio temperato, l'acqua si muove attraverso condotti endo- e subglaciali, con una struttura, un'organizzazione del drenaggio e un funzionamento idrodinamico molto simili a quelli di un sistema carsico in roccia (Tognini, 2002; Mavlyudov, 2006b; Cella & Botta, 2018).

Per comprendere la struttura degli acquiferi glaciali è necessario conoscere le particolari caratteristiche del comportamento meccanico del ghiaccio, fortemente influenzato dalla temperatura, dalla pressione e dalla velocità di applicazione delle sollecitazioni alle quali è sottoposto. Ne deriva che a basse pressioni e per sollecitazioni applicate rapidamente il ghiaccio si comporta in modo fragile, mentre a pressioni elevate e per sollecitazioni applicate lentamente il ghiaccio si comporta come un fluido viscoso. Esiste quindi uno "strato" superficiale, fragile e quindi permeabile, e una parte "profonda" a comportamento plastico, virtualmente impermeabile.

Nei ghiacciai alpini, relativamente temperati, la profondità di fratture e crepacci è in genere intorno ai 50 m (più elevata per ghiacciai più freddi - Paterson, 1994): la presenza di acqua allo stato liquido, e altri fattori, fanno sì che, nei ghiacciai subpolari, il ghiaccio si comporti in modo fragile fino a circa 150-200 m di profondità (Badino, 1999, 2002; Badino & Piccini, 1995; Tognini, 2002). Le grotte all'interno della massa glaciale si formano soltanto dove il ghiaccio si comporta in modo fragile e può quindi fratturarsi: 200 m circa è la profondità massima osservata per grotte e pozzi glaciali, in tutti i ghiacciai temperati della Terra, indipendentemente dallo spessore del ghiaccio (Figura 1).

In corrispondenza della transizione fragile-plastico (che è una fascia, e non un passaggio netto), si stabilisce un limite di permeabilità/carsificabilità, che determina la formazione di una zona satura sospesa.

Le condotte in zona satura possono esistere solo se allagate, quando la pressione dell'acqua contrasta il collasso plastico del ghiaccio: eccezionalmente, possono risultare visibili, per brevissimi periodi, quando vengono smembrate da crolli lungo fratture o crepacci, ma, se il flusso idrico al loro interno diminuisce o si arresta, rapidamente collassano e si chiudono (Badino & Piccini, 1995; Badino, 1999, 2002)

All'interno di un ghiacciaio si possono quindi individuare due tipologie di acquiferi:

- **acquiferi endoglaciali**: si localizzano nella parte superiore, fragile, del ghiacciaio, e possono essere considerati come acquiferi carsici sospesi, limitati alla base da un limite di permeabilità rappresentato dalla zona di transizione tra ghiaccio fragile e ghiaccio plastico; nello stesso ghiacciaio possono esistere più acquiferi endoglaciali, con estensioni differenti, variamente interconnessi o anche completamente isolati tra loro;

- **acquiferi subglaciali**: si trovano alla base dei ghiacciai temperati, limitati in profondità dal substrato roccioso o dalla copertura sedimentaria; occupano vuoti formati sia nel ghiaccio che nei sedimenti di fondo (canali di Röthlisberger e canali di Nye - Paterson, 1994); possono essere isolati tra loro o costituire un continuum (creando in questo caso un ghiacciaio con base "umida" e contribuendo quindi a una maggior rapidità di scivolamento verso valle).

I due diversi tipi di acquiferi in genere coesistono, e normalmente entrano in contatto nella zona della fronte, tramite fratture e crepacci che attraversano l'intero spessore del ghiacciaio e permettono alle acque dei due acquiferi di mescolarsi tra loro.

L'esistenza di diversi acquiferi "compartimentati" all'interno e alla base di un ghiacciaio è dovuta alle caratteristiche reologiche del ghiaccio. In assenza di fratturazione, infatti, il ghiaccio è un materiale impermeabile, cosa che permette la coesistenza di acquiferi vicini, ma non necessariamente interconnessi.

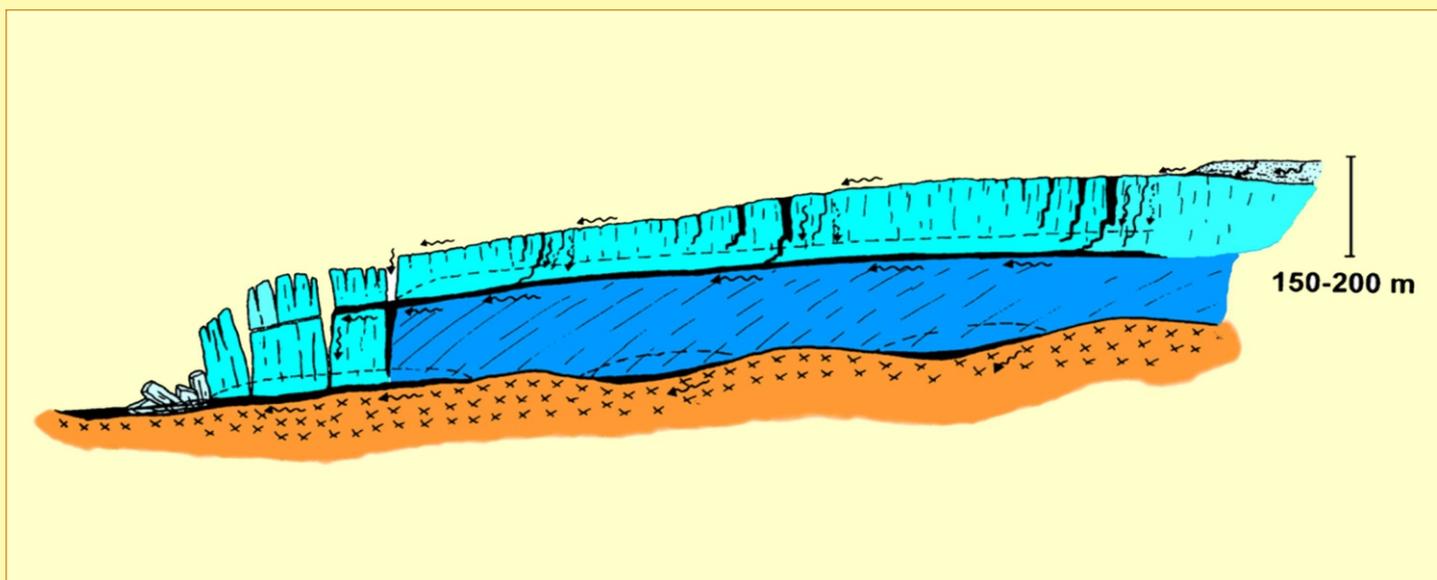


Figura 1. (disegno P. Tognini) Sezione schematica di un ghiacciaio che mostra:

- la zona superiore fragile (azzurro chiaro), con differenti acquiferi e sistemi di grotte endoglaciali, generalmente non interconnessi tra loro;
- la massa glaciale inferiore, a comportamento plastico (blu), virtualmente impermeabile e perciò priva di grotte: condotte allagate si creano lungo la transizione tra ghiaccio fragile e ghiaccio plastico, a formare un acquifero sospeso;
- acquiferi subglaciali, al contatto con il substrato roccioso, variamente interconnessi tra loro;
- la zona della fronte, dove acquiferi endo- e subglaciali possono connettersi tra loro grazie a fratture e crepacci che tagliano l'intero spessore del ghiaccio

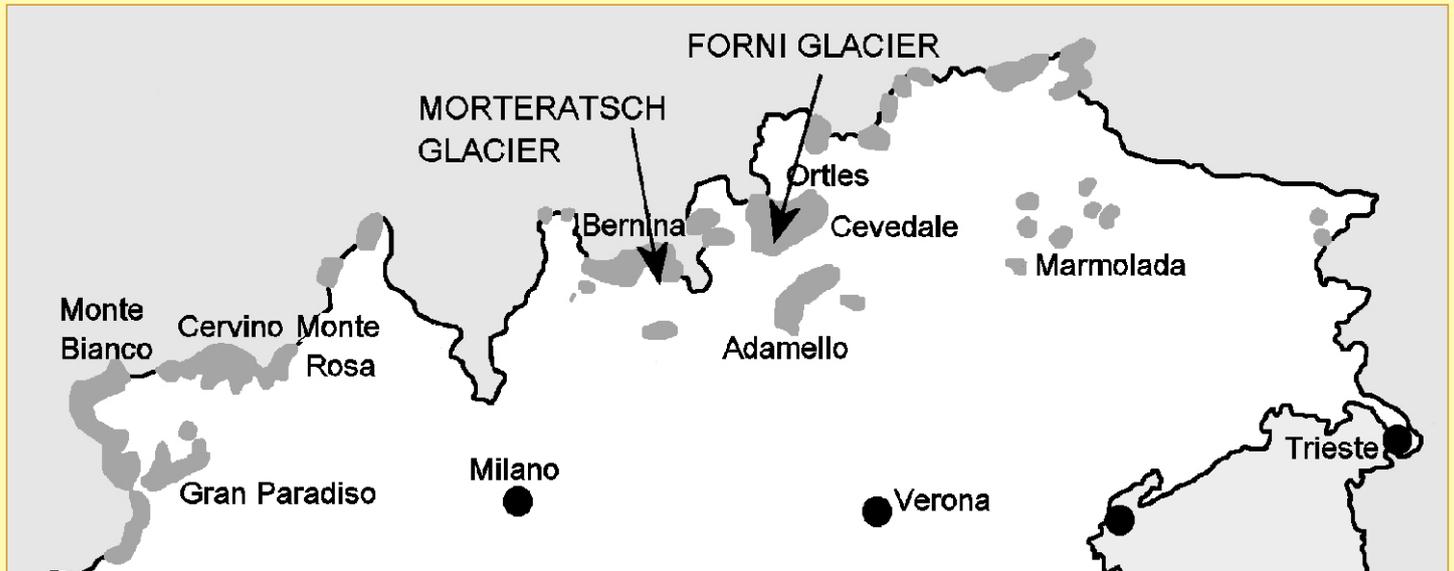


Figura 2. Localizzazione dei due ghiacciai studiati

### I test di tracciamento nei ghiacciai

L'analogia nella struttura degli acquiferi carsici e degli acquiferi glaciali permette di studiare questi ultimi con gli stessi metodi utilizzati comunemente in idrogeologia carsica, attraverso test di tracciamento delle acque (Tognini, 2002; Mavlyudov, 2006 a,b; Werder et alii, 2009).

Ovviamente, riguardo i ghiacciai le sorgenti sono di facile individuazione, essendo localizzate in corrispondenza degli scaricatori glaciali alla fronte. Come per i sistemi carsici in roccia, i tempi e le modalità di arrivo dei traccianti alle sorgenti (curve di restituzione, diluizione e ritenzione) possono dare molte informazioni sulla struttura dei sistemi di grotte e sul loro grado di sviluppo, sull'esistenza di sistemi indipendenti all'interno del ghiacciaio e sulla presenza di bacini di accumulo.

Proprio quest'ultima possibilità rende i test di tracciamento delle acque nei ghiacciai di grande importanza applicativa. Grazie all'impermeabilità del ghiaccio, all'interno di un ghiacciaio possono crearsi accumuli di masse d'acqua, a formare bacini endoglaciali, così come laghi sottoglaciali possono formarsi al contatto con il substrato (Mavlyudov, 2006b). La presenza di laghi o bacini endo o subglaciali può rappresentare una situazione di potenziale rischio di GLOF (Glacial Lake Outburst Flow), piene del ghiacciaio, quando, per motivi vari, le masse d'acqua accumulate si dovessero liberare (per esempio, per rottura delle soglie che le sostengono, o per apertura, o crollo, di gallerie endoglaciali). Nel caso di volumi idrici importanti, questo può rappresentare una situazione di grande rischio potenziale, anche per le popolazioni che vivono a valle: numerose sono infatti le testimonianze storiche delle devastazioni causate dalle "piene dei ghiacciai", in tutto il mondo.

L'esplorazione in grotte glaciali può a volte scoprire laghi endo- o subglaciali, ma è una situazione abbastanza rara (Tognini, 2009; Ferrario et alii, 2012): in mancanza di osservazioni dirette, i test di tracciamento delle acque possono essere un metodo efficiente, veloce e semplice per valutare la possibilità di rischio da GLOF.

### Test di tracciamento ai Ghiacciai dei Forni (SO) e del Morteratsch(CH)

Per caratterizzare meglio la circolazione idrica e per stimare possibili rischi da GLOF, sono stati realizzati due test di tracciamento, in collaborazione con il SUPSI di Lugano (Scuola Universitaria Superiore della Svizzera Italiana – Istituto di Scienze della Terra): il primo alla Vadret da Morteratsch e Vadret da Pers

(CH), nel settembre 2012, e il secondo al Ghiacciaio dei Forni, nell'ottobre 2014.

In entrambi i casi, due diversi traccianti (Fluoresceina e Aminorodamina G) sono stati immessi simultaneamente in due differenti inghiottitoi (mulini). Sono state preventivamente misurate le portate dello scaricatore alla fronte, con il metodo della diluizione salina (Salinomadd, *data logger* con *software* per il calcolo automatico della portata), per il calcolo della quantità di tracciante da utilizzare (con metodo E.P.A. - U.S. Environmental Protection Agency- EHTTD Efficient Hydrologic Tracer Test Design).



Foto 2. Preparazione degli strumenti per il test al Ghiacciaio del Morteratsch - Foto M. Inglese

I traccianti sono stati rilevati utilizzando fluorimetri con *data logger* per il rilevamento simultaneo dei due traccianti, torbidità e temperatura, con sensibilità 2 ppb: Fluorimetro Albillia GGUN FL22 e Albillia GGUN FL30. Per il test al Ghiacciaio dei Forni è stato utilizzato solo quest'ultimo, in quanto il primo, non rilevando la torbidità, nel precedente test al Ghiacciaio del Morteratsch non ha fornito grafici utilizzabili: uno dei principali problemi nell'utilizzo dei tradizionali traccianti fluorescenti in acque di ghiacciaio è infatti dato dall'elevata torbidità dell'acqua, che maschera o modifica la risposta dei traccianti (Foto 2).

L'uso di fluorimetri con *data logger* ha dato la possibilità di ottenere grafici di restituzione continui e dettagliati, cosa che ha permesso di stimare sia lo sviluppo e l'efficienza del sistema di drenaggio endoglaciale, sia la possibile esistenza di laghi o bacini di accumulo all'interno o alla base del ghiacciaio. Traccianti e strumenti sono stati messi a disposizione dal SUPSI.

### Ghiacciaio del Morteratsch

Con un'area di circa 16 Km<sup>2</sup>, un volume di 1,2 Km<sup>3</sup> e una lunghezza di 7 km (2008), il Ghiacciaio del Morteratsch (Canton Grigioni, Engadina) è il principale ghiacciaio delle Alpi Centrali e il più lungo del Gruppo del Bernina.

È un tipico ghiacciaio vallivo, formato dalla confluenza di due distinte lingue: la Vadret da Morteratsch, che si origina nell'anfiteatro Piz Morteratsch, Piz Bernina, Crest'Agüzza, Piz Argient, Piz Zupò e Bellavista, e la Vadret da Pers, che scende dal Piz Palü. Come tutti i ghiacciai alpini, anche il Ghiacciaio del Morteratsch sta subendo una massiccia perdita di volume e un rapido ritiro alla fronte: tra la fine del XIX secolo e il 1999, il ritiro alla fronte è avvenuto a una media di 17 m all'anno, ma negli ultimi due decenni ha raggiunto i 30 m/a, con un ritiro complessivo dal 1878 di oltre 2800 m (GLAMOS, 2018).

La connessione della Vadret da Morteratsch con la Vadret da Pers esisteva ancora al momento del test, ma è praticamente scomparsa nel 2015, e ora le due lingue costituiscono ghiacciai indipendenti. Entrambe le lingue contengono sistemi di cavità endoglaciali ben sviluppate e grandi grotte subglaciali si trovano (o, meglio, si trovavano fino al 2011) alla fronte della Vadret da Morteratsch.

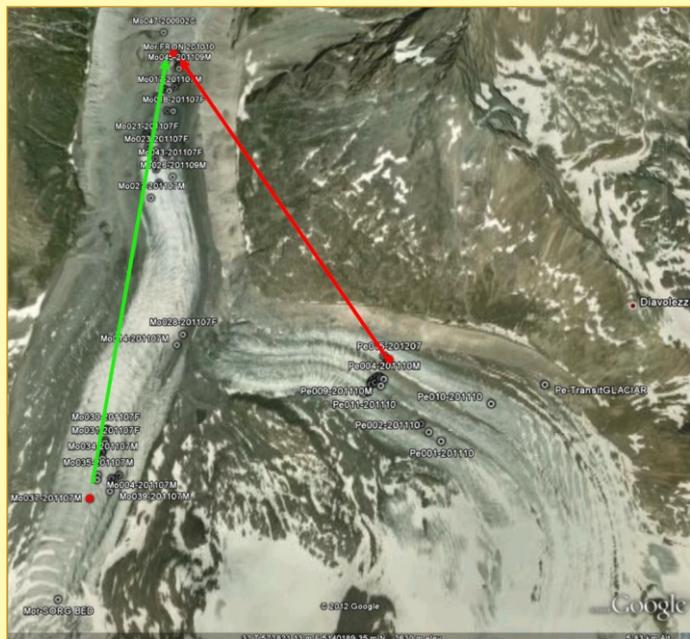


Figura 3. Punti di immissione nella Vadret da Morteratsch (sinistra) e Pers (destra): attualmente le due lingue sono due distinti ghiacciai separati



Foto 3. Immissione dei traccianti alla Vadret da Pers - Foto A. Ferrario

Il test è stato effettuato il 29 Settembre 2012: la portata misurata alla fronte era di 3720 l/s (Salinomadd), la salinità delle acque era di 0-1 mg/l, la temperatura di 0,4° C e la torbidità molto elevata. Il tempo era coperto con leggere piogge diffuse anche in quota (zero termico a 3600 m): le condizioni quindi erano di tipo estivo, con intensa fusione glaciale e conseguenti portate molto elevate.

Un tracciante (Aminorodamina G) è stato immesso in un mulino della Vadret da Pers, l'altro (Fluoresceina) è stato immesso in uno dei grandi inghiottitoi glaciali della zona superiore della Vadret da Morteratsch, dove si trovano i mulini più profondi di questo ghiacciaio. La distanza tra i punti di immissione e il punto di rilevamento era, rispettivamente di 2200 (Pers) e 2580 m (Morteratsch) (Figura 3, Foto 3 e Foto 4).



Foto 4. Immissione dei traccianti al Morteratsch - Foto M. Inglese

I grafici di restituzione dei traccianti sono molto diversi per i due diversi punti di immissione:

- Vadret da Morteratsch - fluoresceina, 1° arrivo 3,7 ore dopo l'immissione, 2 picchi minori dopo 8 e 10 ore. La maggior parte del tracciante esce in corrispondenza del primo picco di arrivo: questo permette di ipotizzare l'esistenza di un collettore principale, che drena il flusso dominante; i due picchi minori fanno ipotizzare la contemporanea esistenza di diffluenze laterali, con percorsi più lunghi e articolati e probabilmente una maggiore sinuosità;

- Vadret da Pers - Aminorodamina G, 1° arrivo 3,7 ore dopo l'immissione, picco 2° arrivo dopo 8 ore. La curva di restituzione di questo tracciante è più complessa, e mostra una certa diluizione nella restituzione del tracciante.

Al primo veloce picco di arrivo segue un secondo arrivo, più lento e con curva più ampia (trattenimento del tracciante, flusso lento e diluizione) che presenta un picco massimo dopo circa 8 ore dall'immissione. Il primo picco è presumibilmente dovuto a un flusso rapido attraverso un collettore principale, ma, a differenza del sistema del Morteratsch, gran parte del tracciante viene ritenuta e rilasciata successivamente con una curva di restituzione più lenta.

La buona simmetria della seconda curva di restituzione potrebbe far ipotizzare la presenza di un serbatoio (lago endo- o subglaciale?) dove il tracciante subisce un rallentamento e può distribuirsi in modo omogeneo (Figura 4 e Figura 5).

In entrambi i sistemi, per il primo arrivo si ricava una velocità di deflusso simile: circa 0,65 m/s. Poiché in genere la sinuosità dei canali endo- e subglaciali è di circa 1,5, la velocità effettiva potrebbe essere nell'ordine di 1 m/s, simile a quella stimata alla fonte: più le velocità di drenaggio endoglaciale sono prossime a quelle di deflusso superficiale, più il grado di sviluppo delle condotte carsiche è elevato (osservazioni di altri Autori indicano che in genere, con condotte ben sviluppate, la velocità di deflusso endoglaciale è circa la metà di quella di scorrimento superficiale - Mavlyudov, 2006b. Il Prof. Bulat Mavlyudov (Russian Science Academy in Moscow) ha calcolato che i condotti glaciali nei due sistemi potrebbero avere una sezione di 5,7 e 3,8 m<sup>2</sup> e un diametro di 2,6 e 2,2 m rispettivamente: questa

è ovviamente soltanto una stima, ma mostra che i condotti endoglaciali principali sono piuttosto ampi e molto efficienti per il drenaggio del flusso idrico.

Il sistema della Vadret da Morteratsch è probabilmente più complesso, con una rete di condotti secondari meno efficiente, responsabili di un percorso di deflusso più lungo e complesso (picchi minori nella curva di restituzione); per la Vadret da Pers si evidenzia invece la possibilità che esista un bacino endo- o subglaciale, che potrebbe rappresentare un possibile rischio di GLOF. I risultati sono compatibili con ricerche di Frey et alii (2010) e Cook & Swift (2012): secondo gli Autori, questi bacini dovrebbero essere situati al contatto con il substrato, con un rischio di GLOF relativamente limitato (Figura 5). Il ritiro della fronte della Vadret da Pers negli ultimi 10 anni ha effettivamente mostrato la presenza di una soglia e di un piccolo bacino di sovraescavazione nell'area recentemente deglaciata, confermando sia le ipotesi di Frey et alii e di Cook & Swift che i risultati del test di tracciamento. Sarebbe interessante ripetere il test, per verificare se il possibile bacino subglaciale individuato dal test è ancora presente.

La Vadret da Morteratsch non mostra invece evidenze di possibili bacini subglaciali, probabilmente a causa dello spessore del ghiaccio, superiore al limite della transizione fragile-plastico, per cui la circolazione idrica endoglaciale non arriva a interessare la base del ghiacciaio.

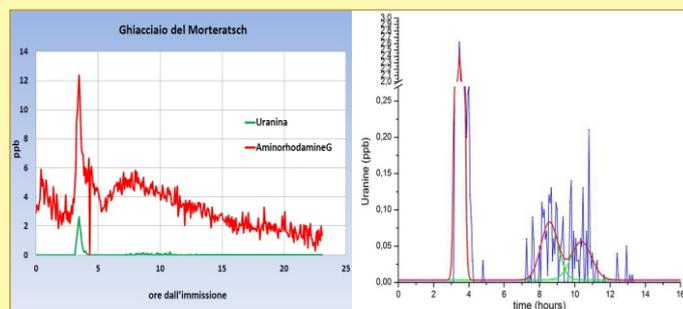


Figura 4. Curve di restituzione dei traccianti al Ghiacciaio del Morteratsch Glacier (in rosso Aminorodamina, in verde Fluoresceina). Il grafico nella parte destra mostra il particolare amplificato dei picchi secondari della Vadret da Morteratsch (elaborazione M. Menichetti)

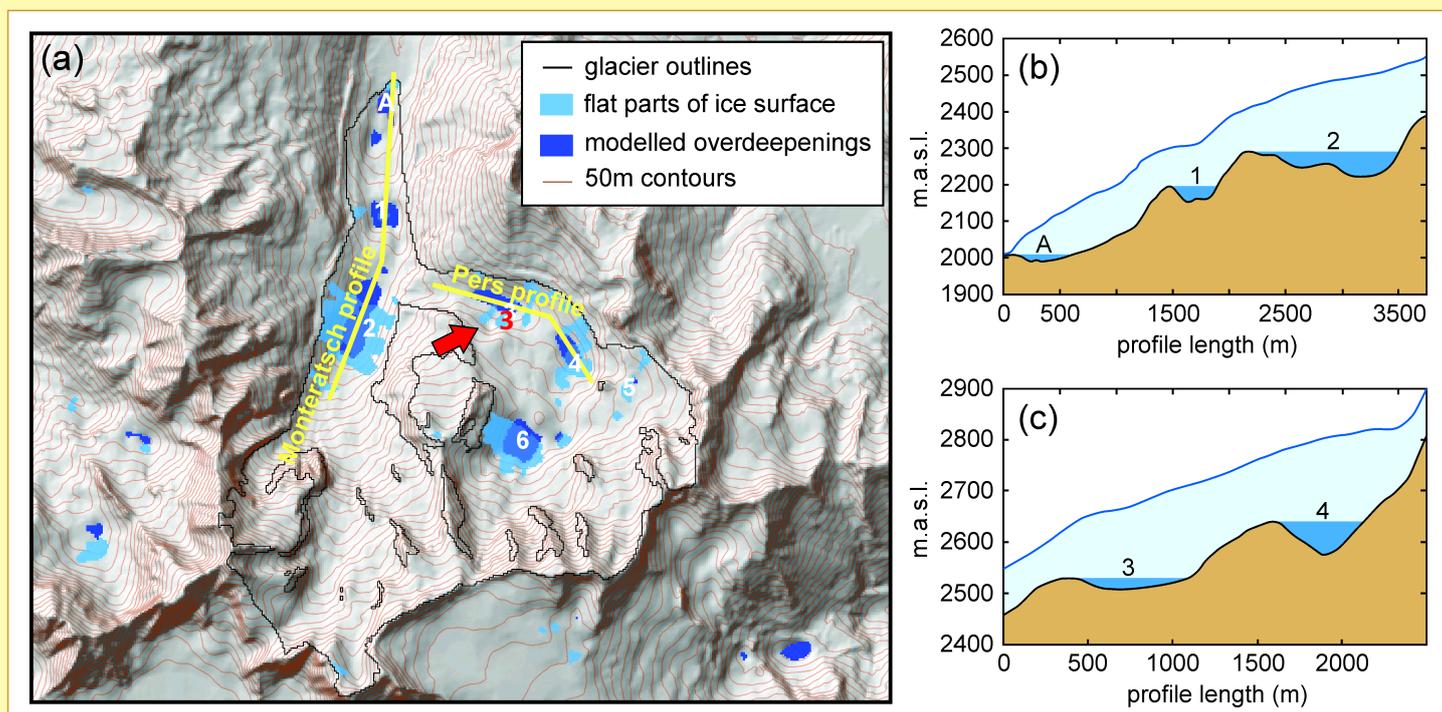


Figura 5 (in basso). Possibili laghi subglaciali alla Vadret da Morteratsch e Vadret da Pers secondo le ipotesi di Cook & Swift, 2012: la deglaciamento degli ultimi 10 anni ha confermato l'esistenza del bacino di sovraescavazione in corrispondenza del numero 3, possibile sede di un lago subglaciale

### Ghiacciaio dei Forni

Il Ghiacciaio dei Forni (Valfurva, Lombardia) è situato nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale, dove si trovano i più estesi ghiacciai delle Alpi Centrali. Con una superficie di 11,4 Km<sup>2</sup> e una lunghezza di 3,2 km (secondo l'ultimo inventario dei ghiacciai lombardi del Servizio Glaciologico Lombardo - Bonardi *et alii.*, 2012), è il secondo ghiacciaio italiano per estensione e il più lungo ghiacciaio delle Alpi italiane: era un tipico ghiacciaio vallivo con tre bacini di alimentazione confluenti, ora però separati in tre differenti ghiacciai. Dalla fine della PEG (1850), la lingua valliva è in continuo ritiro, tanto da essere quasi scomparsa.

Il Ghiacciaio dei Forni è sotto osservazione dal punto di vista glaciospelologico dai primi anni '90: le sue principali morfologie carsiche sono state osservate per un periodo di quasi 25 anni, sia in superficie che all'interno del ghiacciaio (Meneghel *et alii.*, 1996; Tognini, 2001, 2009; Ferrario *et alii.*, 2012; Tognini, 2018). Nel 1992, un primo test di tracciamento fu effettuato (con NaCl) per la valutazione della velocità di deflusso endoglaciale (Meneghel *et alii.*, 1996).



Figura 6. Punti di immissione al Ghiacciaio dei Forni (in verde Fluoresceina, in rosso Aminorodamina): attualmente i tre bacini confluenti sono completamente separati



Foto 4. Ghiacciaio dei Forni: punto di immissione del tracciante (Aminorodamina) - Foto S. Franchi

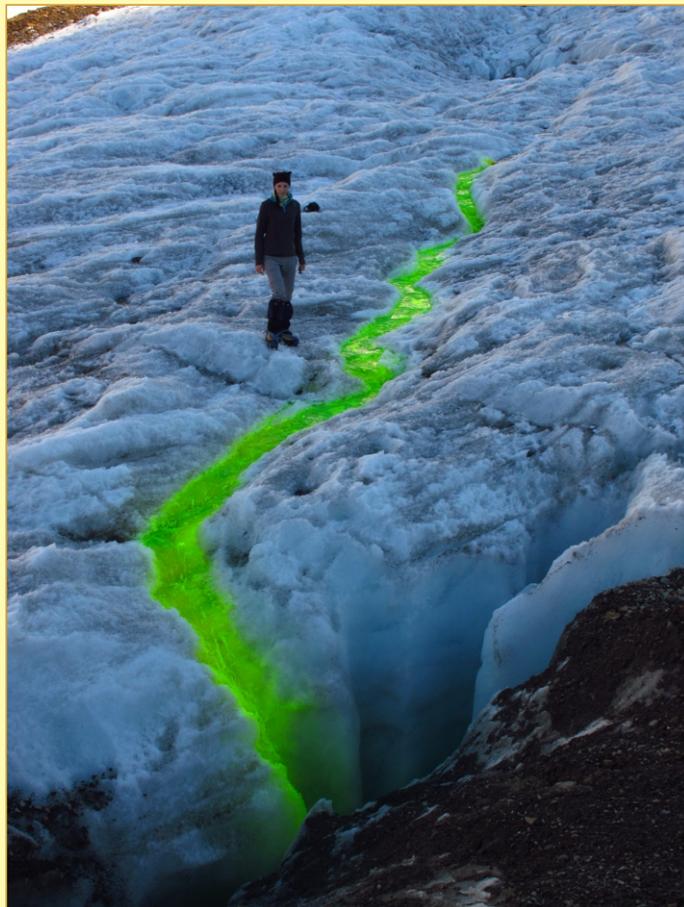


Foto 5. Ghiacciaio dei Forni: punto di immissione del tracciante (Fluoresceina) - Foto A. Ferrario

Il test è stato effettuato il 18 ottobre 2014. Anche in questo caso sono stati utilizzati due traccianti: Aminorodamina G è stata immessa in un piccolo inghiottitoio nel settore orientale del ghiacciaio, in una zona un tempo ricca di mulini e grotte, ora con ghiaccio assottigliato e fortemente crepacciata, a una distanza di 1122 m dal punto di rilevamento; Fluoresceina è stata immessa in un mulino nel settore occidentale, dove il ghiaccio è più spesso, a una distanza di 974 m dal punto di rilevamento. Anche qui si voleva valutare il grado di organizzazione della rete di drenaggio e possibili rischi legati a bacini endo- o subglaciali (Figura 6 e Foto 5).

La portata uscente alla fronte era molto bassa (536-563 l/s), la temperatura dell'acqua di 1,1 °C, il tempo era soleggiato, ma freddo, e la portata entrante nei mulini era molto bassa a causa della scarsa fusione di ghiaccio in superficie, in una tipica situazione autunnale.

I due traccianti mostrano una curva di restituzione nettamente diversa:

- il punto di immissione occidentale era uno dei numerosi mulini presenti nell'area. Il tracciante è stato rilevato 1,24 ore dopo l'immissione, con un picco molto netto: il sistema occidentale mostra la tipica curva di un sistema ben carsificato, con un'efficiente rete di drenaggio carsico attraverso condotti principali;

- il punto di immissione orientale era un mulino molto piccolo. Il tracciante è stato rilevato 2,69 ore dopo l'immissione, con un picco basso e allungato: il sistema orientale mostra una curva tipica di acquiferi scarsamente carsificati, con prevalente circolazione diffusa attraverso sistemi di frattura (Foto 6).

Le portate e le velocità di deflusso sono molto basse (0,22 m/s per il sistema occidentale, 0,12 m/s per il sistema orientale), a causa delle basse temperature, e conseguente limitata circolazione idrica, nel giorno del test.

Nel caso del sistema orientale, le curve di restituzione suggeriscono che la velocità sia compatibile con una circolazione dispersiva attraverso rete di fratture, mentre nel sistema occidentale la bassa velocità potrebbe essere imputata a un'elevata sinuosità dei canali di drenaggio endoglaciale.

Nella zona orientale fino al 2006-2008 erano presenti numerosi mulini e pozzi glaciali (con una profondità massima di 40 m), ma il ghiacciaio in questa zona è attualmente in uno stato di grande sofferenza, con una copertura di ghiaccio molto sottile e intensamente dissecata da fratture e crepacci che attraversano l'intero spessore di ghiaccio, giungendo fino al substrato roccioso, e il numero di inghiottitoi si è drasticamente ridotto: sembra quindi valida l'ipotesi che in questa zona la circolazione idrica avvenga attraverso una rete di fratture piuttosto che attraverso condotti endoglaciali. Nella zona occidentale lo spessore del ghiaccio è maggiore - probabilmente ancora superiore ai 100 m (Servizio Glaciologico Lombardo, com. pers.) e vi si osservano ancora diversi mulini, alcuni dei quali profondi, nel 2014, oltre 50 m, che continuano in profondità con lunghi canyon endoglaciali: in questo caso, la bassa velocità di scorrimento idrico può essere causata, oltre che alle scarse portate dovute alle basse temperature, anche all'elevata sinuosità dei condotti (effettivamente osservata all'interno delle cavità esplorate in quest'area).

In entrambi i casi, non sembra si possano ravvisare indizi della possibile esistenza di bacini idrici endo- o subglaciali. Va segnalato, però, che nel mese di agosto 2014, tre mesi prima del test, un'improvvisa piena ha liberato una grande quantità di acqua dal sistema occidentale, causando crolli di grandi porzioni di ghiaccio alla fronte e loro trasporto a diverse centinaia di metri dalla fronte stessa: questo suggerisce che le condizioni all'interno dei ghiacciai possono cambiare rapidamente, e che i test di tracciamento dovrebbero essere ripetuti più volte, sia in tempi diversi, sia con punti di immissione differenti.

## Conclusioni

Le analogie tra gli acquiferi carsici in roccia e gli acquiferi endo- e subglaciali suggeriscono che gli acquiferi glaciali possano essere studiati con i metodi normalmente utilizzati in idrogeologia carsica: la ricca bibliografia su quest'ultimo argomento può

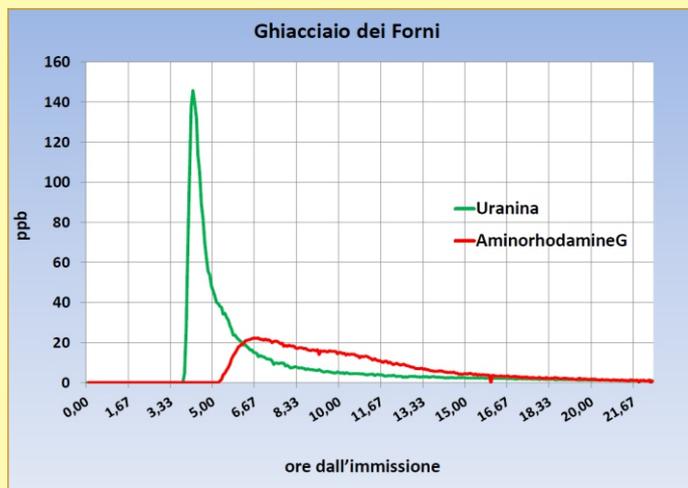


Figura 7. Curve di restituzione dei traccianti al Ghiacciaio dei Forni (in rosso Aminorodamina, in verde Fluoresceina).

Il grafico della Fluoresceina è tipico di un sistema di cavità ben sviluppate, mentre la curva dell'Aminorodamina indica circolazione diffusa attraverso fratture o una rete di condotte molto piccole (N.B. sul grafico, l'ora dell'immissione non coincide con lo 0 delle ordinate, che indica, invece, l'ora di accensione dello strumento, effettuata poco più di due ore prima dell'immissione dei traccianti)



Foto 6. Lago subglaciale osservato sotto al Ghiacciaio dei Forni nel settembre 2009 (scomparso un mese dopo, a causa del collasso della cavità): queste osservazioni dirette sono estremamente rare e casuali: qualcosa di simile è esistita sotto la Vadret da Pers? - Foto M. Inglese

essere di aiuto per interpretare i test con traccianti nei ghiacciai, che possono quindi essere utilizzati per ricavare informazioni sui diversi percorsi di drenaggio all'interno di un ghiacciaio, sulle interconnessioni tra i sistemi di cavità, sul grado di sviluppo e di carsificazione delle condotte, sull'organizzazione ed efficienza della rete di drenaggio endoglaciale, sull'idrodinamica degli acquiferi e molto altro.

Inoltre, questo tipo di test permette di individuare la presenza di bacini di accumulo all'interno o alla base di un ghiacciaio, situazione che può potenzialmente creare un elevato rischio di GLOF: un riconoscimento precoce di condizioni di potenziale pericolosità è molto importante per prevenire gravi danni agli insediamenti a valle del ghiacciaio. Poiché l'esplorazione e l'osservazione diretta di laghi endo- o subglaciali sono un fatto molto raro e fortuito (Foto 7), i test di tracciamento delle acque glaciali potrebbero essere un metodo efficiente, veloce e semplice per valutare possibili rischi da GLOF, soprattutto nell'attuale fase di forte riduzione e sofferenza dei ghiacciai.

Questo metodo ha, ovviamente, alcuni limiti: i rischi da GLOF sono molto più elevati per i bacini endoglaciali, che sono più instabili e molto più frequentemente soggetti a rotture di soglie e dighe interne in confronto ai più stabili bacini di accumulo subglaciali, sostenuti da soglie in roccia, ma i test con traccianti da soli non permettono di distinguere tra i due casi. Inoltre, con questo metodo la presenza di bacini endoglaciali è relativamente facile da riconoscere, mentre la possibilità di individuare bacini subglaciali dipende dallo spessore del ghiaccio: se il ghiaccio è abbastanza spesso (> 150-200 m in ghiacciai temperati e subpolari) da originare una zona fragile superiore e una plastica profonda, le acque endoglaciali potrebbero non raggiungere la base del ghiacciaio (questo può accadere soltanto nella zona della fronte, dove lo spessore del ghiaccio si riduce). In questo modo eventuali bacini subglaciali non sarebbero coinvolti nel passaggio dei traccianti e non potrebbero quindi essere individuati. Nonostante queste restrizioni, però, i test con traccianti sono al momento il metodo più semplice ed efficace per individuare potenziali rischi da GLOF.

I due test di tracciamento sono stati realizzati con l'aiuto di: E. Beccaluva, R. Colucci, D. Corengia, A. Ferrario, S. Franchi, M. Inglese, B. Mavlyudov, V. Nava, S. Pera, M. Pera, T. Schneider, U. Taranto, P. Testa, P. Tognini, M. Uboldi, e supportati dal Comitato Scientifico Centrale CAI., Federazione Speleologica Lombarda, Società Speleologica Italiana.

**Riferimenti bibliografici**

Badino G. (1999), "Il carsismo glaciale", *Le Scienze* 372/1999: 44-51;

Badino G. (2002), "The glacial karst", *Proceedings of 5th International Symposium Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions*, UIS, 15-16 April 2000, Courmayeur (Italy), Nimbus 23-24, *Rivista della Società Meteorologica Italiana*: 82-93;

Badino G., Piccini L. (1995), "Aspetti morfologici ed evolutivi delle cavità endoglaciali di origine criocarsica", *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 18: 225-22;

Bonardi L., Rovelli E., Scotti R., Toffaletti A., Urso M., Villa F. (2012), "I ghiacciai della Lombardia: evoluzione e attualità", Servizio Glaciologico Lombardo, Hoepli ed;

Cella G.D., Botta L. (2018) "il Ghiacciaio del Belvedere (macugnaga, VB): note sull'ideogeologia ipogea", *Labirinti*, bollettino del Gruppo Grotte Novara, 37: 62-66;

Cook S.J., Swift D.A. (2012), "Subglacial basins: their origin and importance in glacial systems and landscapes", *Earth Science Reviews* 115: 332-372;

Eraso A., Pulina M. (1994), "Cuevas en hielo y rios bajos los glaciares", McGraw-Hill;

Eraso A., Pulina M. (2011), "Cuevas en hielo y rios bajos los glaciares", Project GLACKMA eds;

Ferrario A., Inglese M., Testa P., Tognini P. (2012), "Progetto Speleologia Glaciale: ricerche per conoscere, esplorare e documentare le cavità glaciali dell'arco alpino", *Speleologia*, 67, *Rivista della Società Italiana di Speleologia*: 26-34;

Frey H., Haeberli W., Linsbauer A., Huggel C., Paul F. (2010) "A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials", *Natural Hazards and Earth System Science* 10: 338-352;

Glamos (2018), "Swiss Glacier Volume Change, release 2018", *Glacier Monitoring Switzerland*. 2018;

Mavlyudov B. R. (2006a), "Glacial karst, why it is important to research", *Acta Karstologica* 35/1: 55-67;

Mavlyudov B. R. (2006b), "Internal drainage systems of glaciers", *Institute of Geography RAS Moscow*;

Meneghel M., Celi M., Bondesan A. (1996), "The moulines of the Forni Glacier (Italian Alps)", *Proceedings of 4th International Symposium Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions*, UIS, 1-7 September, 1996, Salzburg (Austria), *Salzburg Geographische Materialien*, 28, 47-54;

Paterson W.S.B. (1994), "The physics of glaciers", *Pergamon/Elsevier Science*;

Tognini P. (2001), "I sistemi di cavità endoglaciali: modello genetico ed evolutivo sulla base di osservazioni sul Ghiacciaio dei Forni (Alta Valtellina, Italia Settentrionale)", *Atti 8° Convegno Glaciologico Italiano - Bormio*, 9-12 Settembre, 1999, *Geografia Fisica e Geodinamica Quaternaria Supplemento V- 2001*: 165-178;

Tognini P. (2002), "Considerazioni teoriche sulla struttura e sul funzionamento degli acquiferi endo-e sottoglaciali: il contributo della speleologia glaciale", *Terra Glacialis* n. 5: 33-64;

Tognini P. (2009), "L'evoluzione delle grotte glaciali del Ghiacciaio dei Forni", *Il Grottesco* n. 55, *Bollettino del Gruppo Grotte Milano, CAI-SEM*: 89-95;

Tognini P. (2018b), "Il Ghiacciaio dei Forni, 25 anni di studi e ricerche", *Labirinti*, bollettino del Gruppo Grotte Novara, 37: 29-33;

Werder M.A., Loye A., Funk M. (2009) "Dye tracing a jokulhlaup: subglacial water transit speed and water-storage mechanism", *Journal of Glaciology*, vol. 55, n. 193: 889-898.



Foto 7. Ghiacciaio dell'Aletsch (CH) - Foto M. Inglese

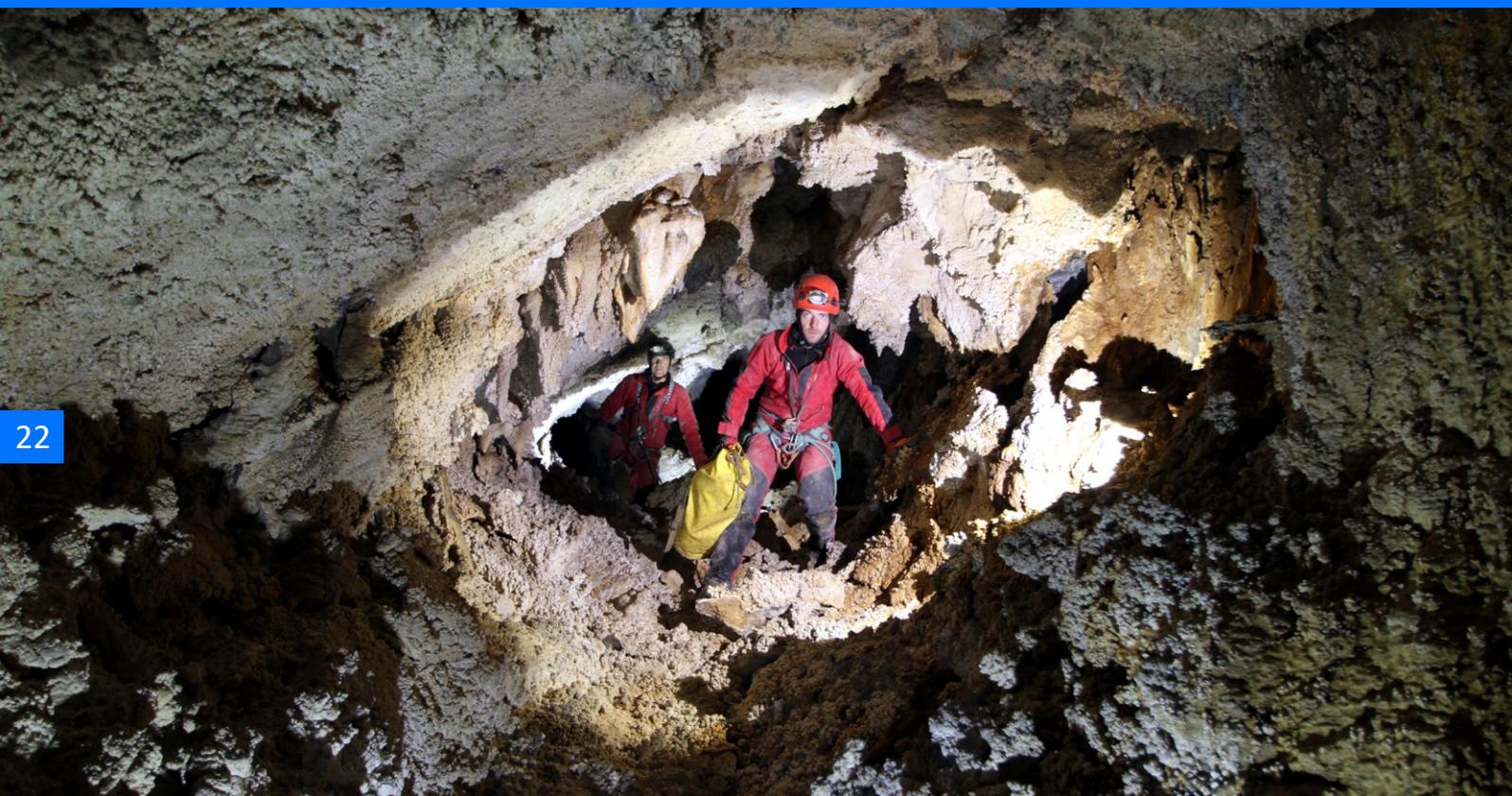
# Val Canale

## 5 In Condotta: le forme del tempo (Bergamo - Bg)

Fabio Baio (a), Gianni Comotti, Giorgio Tomasi, Giovanni Merisio, Stefano Masserini (b), Paola Tognini (c)

(a) Speleo Club Orobico; (b) Gruppo Speleologico Valseriana Talpe; (c) Gruppo Grotte Milano CAI-SEM

2012 - 2021



22

### Introduzione (S. Masserini)

*Sapevamo che doveva esserci qualcosa da quelle parti ma non immaginavamo nemmeno di trovare una grotta come questa!*

La ricerca delle acque della sorgente Nossana è, da decenni, il chiodo fisso del Gruppo Speleologico Valseriana Talpe.

Esaurite le ricerche nelle zone più accessibili era venuto il momento di perlustrare anche quelle più impervie, sul versante nord: eccoci quindi in Valcanale, una delle più amene valli bergamasche, tra le più visitate e conosciute.

Sapevamo che sul versante settentrionale è difficile trovare grotte: roccia impermeabile, il basamento cristallino con la sua copertura non carsificabile...

L'altro versante invece è interessantissimo: rocce calcaree! Peccato che questo si presenti con pareti vertiginose e friabili, stretti canaloni di difficile accesso e perlustrare questi luoghi è difficile e pericoloso. Dal dal fondo valle e verso queste pareti, si vedono occhieggiare quelli che potrebbero essere ingressi di grotte o semplicemente macchie scure di muschi e licheni. Bisogna comunque fare qualcosa, andare a vedere cosa c'è.

Foto 1. 5 in Condotta: nella Galleria Alta - Foto S. Masserini

Tutto iniziò quindi con una lunga arrampicata di 200 m in stile alpinistico per raggiungere il più evidente di quei presunti ingressi. La fatica di tre giornate di scalata non venne premiata con una nuova grotta: si trovò solo una grande nicchia annerita dai licheni. Superata la delusione, si riprovò con un obiettivo nuovo, un po' più comodo da raggiungere, e questa volta la grotta c'era, grande, pianeggiante e percorsa da una forte corrente d'aria. Avevamo lasciato l'attrezzatura speleo all'inizio dell'arrampicata, in quanto l'obiettivo della giornata era solo il raggiungimento dell'apertura... fortunatamente uno di noi aveva una piccola torcia elettrica in tasca e con questa misera fonte di luce percorremmo, affascinati e increduli, i primi 200 m di galleria inesplorata! Era il 18 Novembre 2012.

Le esplorazioni si susseguirono nei fine settimana successivi fino a quando la neve fermò per qualche mese il nostro entusiasmo.

Dovevamo anche dare un nome a questa grotta. Fu così che una sera, scendendo dalla montagna verso le nostre auto, Guido disse: "5 in condotta!".

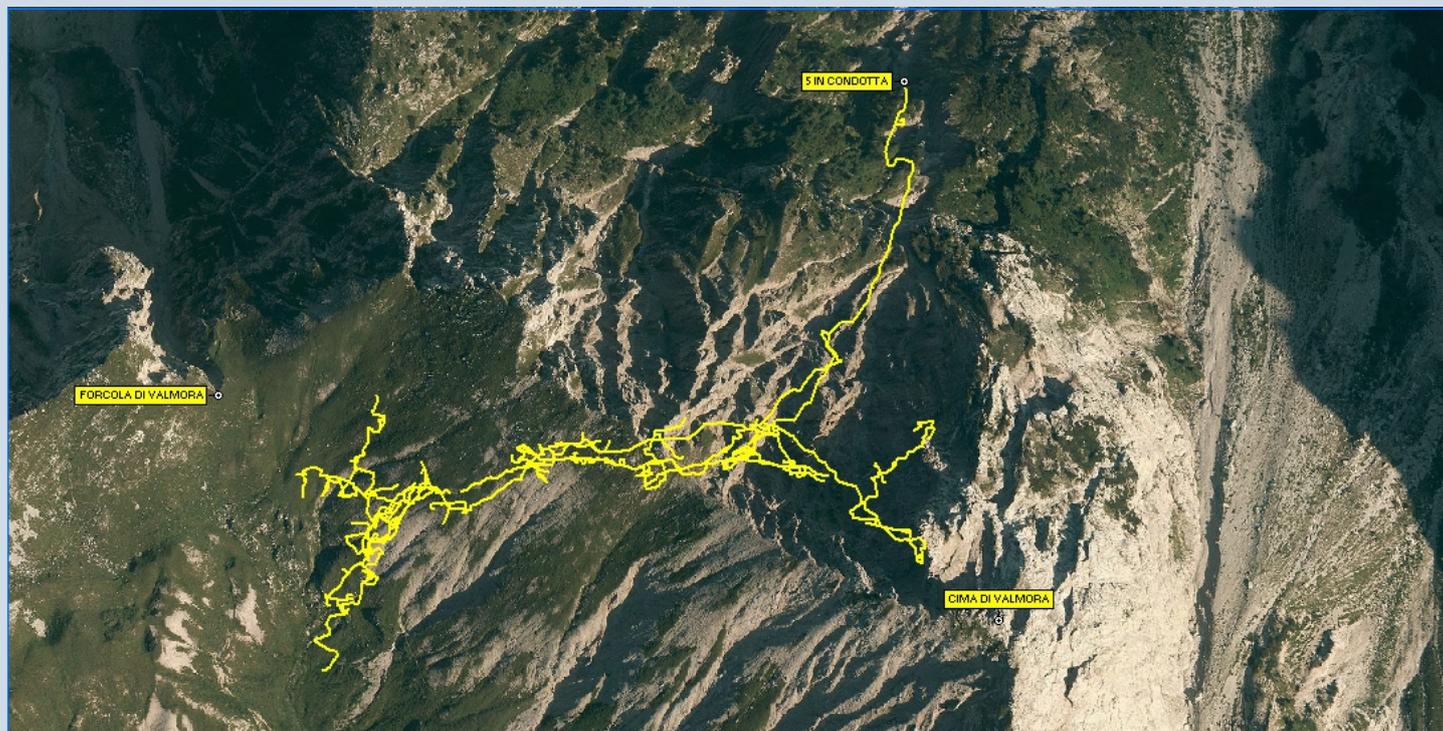


Figura 1. Planimetria della cavità sul terreno - Grafica S. Masserini

In effetti eravamo in cinque ad aver esplorato quella galleria che somigliava ad una grande condotta forzata. Un po' di ironia, un irriverente gioco di parole, ma al tempo stesso una trovata geniale, l'estrema sintesi di quello che stavamo vivendo. Quel nome venne accolto con entusiasmo!

Era strano esplorare una grotta quasi pianeggiante in una zona dove ci sono solo abissi che si sviluppano verticalmente e di solito, di dimensioni modeste. Consapevoli di aver trovato qualcosa di grande e di anomalo, ritenemmo necessario e anche piacevole condividere queste esplorazioni con tutti gli speleologi che avessero voluto far parte di questa avventura. La proposta venne accettata con piacere dal Gruppo Speleologico Bergamasco "Le nottole" e dallo Speleo Club Orobico CAI Bergamo che hanno dato e continuano a dare al Gruppo Speleologico Valseriana Talpe un fondamentale contributo ai lavori di esplorazione e raccolta dati.

### Un giro in grotta (G. Tomasi)

La grotta 5 in condotta ha un sviluppo molto complesso e articolato: tre livelli di gallerie fossili, con andamento prevalentemente orizzontale, intercettano rami attivi che scendono e salgono con ampi pozzi e camini.

La prima parte della cavità si percorre lungo ampie e bellissime gallerie che entrano nella montagna con andamento nord-sud per circa 500 m. Lungo questo percorso si intercettano alcune importanti diramazioni con andamento verticale che portano alle zone più profonde della grotta (-243 m) e al collegamento con altre gallerie, poste a una quota superiore. Altra diramazione importante è quella che conduce al grande "Pozzo Meazza": questo ramo risale fino al punto più alto della grotta (+286 m), ormai vicinissimo alla superficie esterna in Valmora.

Proviamo a percorrerla insieme.

Lungo la comoda galleria principale si incontra un breve salto verticale, superato il quale si continua tranquillamente lungo gli splendidi ambienti arrivando a "Il Bivio", una zona di crollo che immette nella diramazione che scende verso l'ampio salone de "Il Baratro". Sotto il salone prosegue un breve ramo attivo, dove l'acqua continua la sua strada seguendo un meandro che però per noi diventa troppo stretto.

Tornati a "il Bivio" si può continuare lungo la galleria principale che, anche se con dimensioni minori e alcuni passaggi più scomodi (al primo passaggio scomodo si può ascoltare il misterioso suono di una cascata), permettono facilmente di raggiungere e affacciarsi alle prime grandi verticali: è "La via dei pozzi".

Andiamo di sopra!



Foto 2. Canale di volta nella Galleria Principale - Foto M. Inglese

Fiancheggiando il primo pozzo risaliamo una serie di crolli che ci permettono, lungo una stretta fessura verticale, di incrociare "La galleria alta". Ci troviamo a un bivio: da una parte si percorre un ramo orizzontale, interrotto da brevi verticali, che ritorna verso l'ingresso della grotta ricollegandosi alla galleria principale poco lontano dall'ingresso; dall'altra parte la galleria del secondo livello ci porta a scoprire nuovi mondi!

Seguendo questa via incontriamo per primo "Il pozzo Margherita", alla base del quale parte uno stretto meandro attivo che, con fatica, ci riporta alla testa de "La via dei pozzi". Continuando oltre "Il pozzo Margherita" lungo "La galleria alta" una fessura percorsa da una forte corrente d'aria ci ha permesso di scoprire ed esplorare "Ol Deaol"; un grande pozzo dove precipita una cascata (è "l'acqua di Gio") che prosegue con verticali e meandri verso le zone più lontane della grotta. La via attiva del "Ol Deaol" strige inesorabilmente, ma una diramazione fossile scende a un salone superato il quale brevi pozzi e meandri arrivano (per ora) a una stretta fessura.

"La galleria alta" è chiusa da un enorme crollo difficile da superare, ma uno stretto arrivo d'acqua (anche qui forte corrente d'aria) ci ha portato a scoprire, dopo una serie di brevi risalite, un altro livello di gallerie. Queste gallerie affacciano sul grande "Meazza". Questa è una zona magica, con il pavimento della galleria fortemente lavorato da grandi marmitte ed il ramo attivo ("L'acqua di Gio") che incredibilmente ci ha permesso di salire alla sommità del grande "Pozzo Meazza": un enorme elisse con le pareti lisce che sprofonda nel buio. Sotto, un altro grande pozzo da 90 m la cui discesa ci conduce a collegarci con il ramo de "Ol Deaol". In cima al grande "Pozzo Meazza", con una serie di delicate risalite, siamo arrivati a "La Sala che Sale", un ampio e



Foto 3. Sezioni ragguardevoli della Galleria Principale - Foto G. Tomasi

complesso salone che si trova alla base di un pozzo la cui sommità (stiamo ancora salendo) è ormai molto vicina alla superficie esterna della Valmora. Fuori siamo oltre la cresta della Valcanale, sui pendii che scendono verso la Val Nossana.

Di questo complesso reticolo di gallerie, meandri e pozzi non resta che descrivere la via de "La Felepa" e "Il ramo Capitanio".

Torniamo nel punto della galleria principale dove vi ho detto di ascoltare la cascata. Superato uno stretto diaframma sbuchiamo su un altro grande pozzo dove dall'alto arriva l'acqua che precipita nel vuoto: è il pozzo de "La Felepa". Alla base del pozzo un meandro attivo scende con brevi salti fino ad arrivare ad una zona di crolli; qui c'è un netto cambio di roccia. Un grande salone, è "La Sala-Tino", e altri brevi verticali portano ad uno stretto meandro che si ferma di fronte ad un crollo per noi insuperabile.

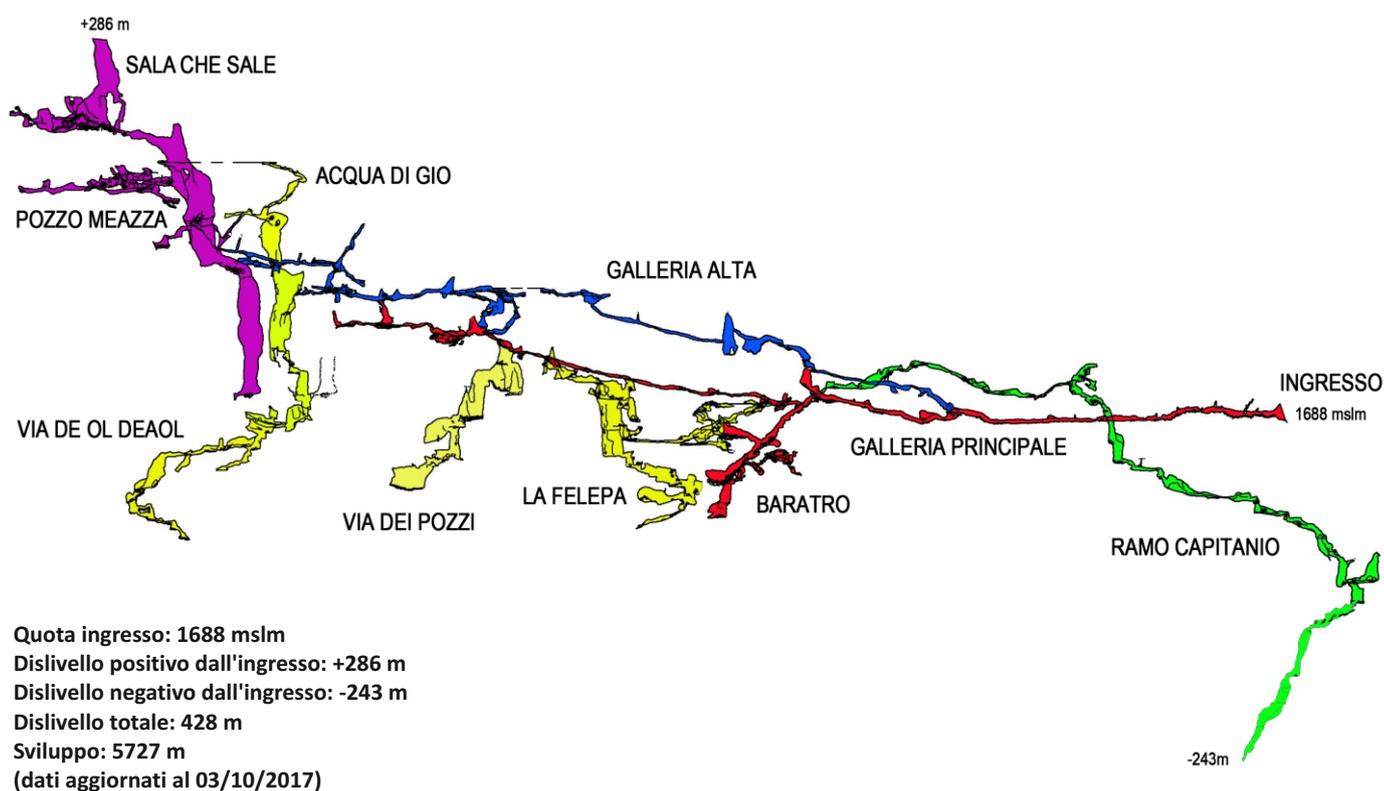


Figura 2. Sezione della cavità - Grafica: S. Masserini



Foto 4. Le pareti della Valcanale in cui si apre la grotta - Foto G. Tomasi

Con un lungo e complesso traverso si raggiunge il ramo percorso dall'acqua che salta nel grande pozzo, qui per ora le esplorazioni, dopo una risalita che immette in un ambiente ampio, sono ferme di fronte ad uno stretto meandro.

Ultima importante diramazione scoperta è "Il ramo Capitanio". Da "Il Bivio", risalendo detriti di crollo, ci infiliamo lungo una fessura verticale. Una strettoia con forte corrente d'aria ci ha convinto ad intervenire. Una galleria e altro passaggio stretto. Oltre, una serie di pozzi fossili, un meandro attivo, un salone, un arrivo d'acqua da risalire. Le ultime esplorazioni ci hanno visto scendere una serie di pozzi fino alla profondità di -243 metri. Questo ramo della grotta continua anche verso l'alto: risaliti due pozzi ci si trova di fronte ad un'alta e stretta fessura che siamo riusciti a superare e incrociare così un altro ramo percorso dall'acqua che stiamo esplorando sia verso il basso che verso l'alto.

Come si può vedere dal rilievo, la grotta presenta molte diramazioni minori, pozzetti, meandri di collegamento fra i tre livelli di gallerie: "Il pozzo brutto", "Il ramo del sotto-traverso", "Le gallerie del Meazza", il reticolo de "Il ramo della Fede" per citarne alcuni.



Foto 5. La Galleria Alta - Foto S. Masserini

Questa descrizione sembra giunta alla fine, ma i punti della grotta che fanno ben sperare in nuovi ambienti da esplorare sono ancora tanti; quindi, speriamo presto di poter ampliare questa narrazione. In fondo il percorso sotterraneo dell'acqua fino alla sorgente Nossana è lungo... molto lungo!

### Gli speleo raccontano...

#### Il Pozzo Meazza (G. Tomasi)

Lancio un sasso che scompare nel nulla per poi produrre un tonfo invisibile.

Un rumore quasi inesauribile, che in qualche modo ci aiuta a capire quanto è profondo.

La corda parte dal terrazzo e scende nel grande pozzo "Meazza", lo attraversa e sale dall'altra parte. Un pozzo non enorme, ne ho visti di molto più impressionanti, ma bello, geometrico, oserei dire perfetto. Le pareti lisce e bianche sprofondano con una forma elicoidale pressoché uniforme verso un buio che non è infinito: se guardi bene con una luce abbastanza potente, scorgi dei massi chiari su un fondo scuro, un fondo piano, quasi uniforme, a parte i massi bianchi. Tutto rende questo sguardo entusiasmante.

Alberto ne è impressionato, ma oggi vuole superare l'emozione e affrontare il pendolo che ci permette di raggiungere la finestra di fronte a noi. La finestra conduce nel meandro dove Guido e Giovanni stanno esplorando.

Io, dal "terrazzo panoramico", lo seguo con sguardo attento.

Tutto procede per il meglio e in breve tempo anche Alberto, catturato dall'esplorazione, si infila nel meandro.

Ho percorso più volte questo pozzo ed è sempre una delizia godere di questo ambiente. Il meandro porta ad un breve salto, una saletta, altro meandro, altro breve salto. Comprendiamo subito, anche senza guardare il rilievo che stiamo portando avanti io e Alberto, che il rametto appena esplorato porta ancora nel grande pozzo. Siamo a circa 15 m dal suo fondo quando sbuchiamo da un'altra finestra. Foto ricordo, questa è uscita male, un'altra, ancora una, e... andrà meglio la prossima volta!

Guardo l'orologio, è già ora di tornare. In grotta il tempo acquista un'altra dimensione, non c'è un riferimento per il tempo che è

trascorso o per il tempo che sta per arrivare, c'è lo scorrere del tempo in cui sei, sei certo solo del tempo che stai vivendo.

Nelle gallerie l'aria che si sente correre nella grotta è tornata a salire: entra dall'ingresso e sale verso l'alto. Questa mattina, appena entrati, l'aria era poca e percorreva la grotta in senso inverso, dall'alto verso l'ingresso. Che strana stagione: niente neve e temperature decisamente poco invernali.

Il cielo fuori ci accoglie con una splendida stellata. A luci spente, sdraiati nel pascolo, ci incantiamo ad ammirarle tutte, tante, troppe cercando invano di scorgere lontana la stazione spaziale che gira intorno alla terra, là dove si trova la nostra connazionale, nonché speleologa, Samanta.

### Adrenalina (G. Merisio)

Un buio e un eco da togliere il fiato è ciò che mi attende, lo percepisco mentre risalgo il fratturone, sono solo, sento il battito cardiaco accelerare per l'emozione e l'adrenalina è alle stelle. Ancora una mezza arrampicata, un passaggio tra dei massi e poi.. il buio più assoluto, un silenzio che permette di sentire anche il più piccolo "plin plin" di un lontano stillicidio; un'imponente finestra si affaccia su di un enorme pozzo dalle pareti lisce; sono avvolto da uno sciame di emozioni, con un po' di timore mi avvicino alla soglia, la parete liscia corre sotto di me e si perde nel buio, una coltre di particelle di polvere sospese nell'aria danza vorticoso verso la testa del pozzo, risucchiata dalla corrente d'aria; alzo la testa, ne intravedo la sommità, ha le sembianze di un grande canale di volta di un vecchio meandro.

Il rumore di un corso d'acqua in lontananza cattura la mia attenzione, non è la stessa acqua dello stillicidio del pozzo, è sicuramente un altro arrivo; noto un piccolo passaggio, mi ci infilo, percorro un cunicolo fossile per poi sbucare in una zona attiva, "e questa acqua da dove arriva? E soprattutto dove se ne



Foto 6. Galleria Alta - Foto S. Masserini

va, visto che non va nel pozzo?"; avvolto dalle domande e dalle emozioni, mi tornano alla mente i compagni di giornata, mi staranno aspettando! Li ho lasciati alla base del fratturone.

Tutto ebbe inizio quando, ritrovandomi alla base del pozzo con cascata, attendevo l'arrivo dei compagni, Katia, Alberto e Stefano. Guardavo dal basso verso l'alto le pareti della verticale, "L'obiettivo di oggi è risalirlo".

Mi preparo, attacco all'imbrago tutto l'occorrente, in un mix di arrampicata e risalita in artificiale conquisto un po' alla volta i metri che mi separano dalla sommità. I compagni alla base fanno domande, con un po' di affanno cerco di rispondere, la situazione non è delle migliori, chiedo corda per poter andare oltre, "Passato! Si allarga! C'è un piccolo saltino, vado in libera" le parole si perdono trasportate dall'acqua, la mia luce scompare oltre l'imbocco del pozzo, proseguo. Un altro pozzo in risalita, mando informazioni ai compagni (noncurante che arrivino..), a sinistra si apre una zona ampia con una piccola frana che riporta verso il basso ad una saletta, il tutto si ferma lì, ritorno sui miei



Foto 5. La Galleria Alta - Foto M. Inglese



Foto 7. Scendendo la Via dei Pozzi - Foto G. Tomasi

passi, mi volto e... "Woow!!! Una galleria!!!" urlo dalla gioia e dallo stupore, ma nessuna delle mie parole arriverà ai compagni, mi infilo nella galleria, "Non ci posso credere, prosegue, e c'è aria" mi ripeto nella testa. Il pavimento è particolarissimo, si alternano marmitte piccole e grandi, è una galleria fossile; proseguo, poco dopo una frattura a destra porta a un arrivo di acqua che se ne va via lungo un pozzo, a pavimento altre marmitte, di due non vedo il fondo, butto un sasso per curiosità, "Porca vacca!!!" il tonfo del sasso arriva dopo diversi secondi; marmitte sfondate sospese su di una grande verticale. L'ennesima situazione in cui i tempi e le varie fasi della speleogenesi di questa grotta si intrecciano e si accavallano, il fossile con l'attivo, il concrezionato con la roccia compromessa dai crolli, la roccia lavorata a tuttotondo dall'acqua con quella affilata come una lama di rasoio.

Riprendo il percorso principale fino a giungere a una singolare interruzione della galleria: una notevole frattura ortogonale alla stessa la interrompe bruscamente, un fratturone alto diversi metri e largo più di un metro ha inghiottito letteralmente la galleria. A un tratto, con prepotenza, un pensiero si fa vivo nella mia testa, "I compagni di oggi mi stanno aspettando!", meglio tornare indietro, armare il pozzo e farli arrivare fino a qui.

Ripercorriamo la galleria insieme, lo stupore è indescrivibile, arriviamo al fratturone, e con il naso all'insù ci domandiamo dove porterà questa frattura; tra le parole e i silenzi che giocano a rincorrersi tra di noi, si fanno strada due mie parole: "Io vado!", un "dove?" e tre facce stupite riempiono l'aria circostante. "Vado su, vado a vedere!".

Ogni tentativo da parte dei compagni di farmi cambiare idea è fine a se stesso, son determinato ad andare oltre. Perché negarsi un altro giro di sana adrenalina?

Tra le mille raccomandazioni degli amici, inizio a salire nel punto più stretto della frattura per sfruttare le pareti con una fruttuosa opposizione che con relativa semplicità e sicurezza mi porta quasi verso la cima della spaccatura, la attraverso lungo la parete

inclinata e raggiunge il lato opposto, proseguo lungo una zona in pendenza, poco a poco le voci dei compagni spariscono, coperte dal buio e dal silenzio, in lontananza un eco mi chiama, sembra quasi amplificare anche i miei pensieri e le mie emozioni... vado oltre.

### La grotta racconta...

#### ... della vita al suo interno... (G. Comotti)

La Grotta 5 in Condotta, oltre a essere collocata a una altimetria e posizione geografica importanti dal punto di vista geologico, si propone sicuramente a una allettante indagine biospeleologica. Una prima indagine non ha portato al rinvenimento di invertebrati ipogei, e neppure l'analisi dei fanghi in corrispondenza degli arrivi d'acqua ha evidenziato la presenza di molluschi stegobionti. Qualcuno dei più tenaci esploratori di questa cavità ha però notato qualche forma di vita, e vedremo se in futuro seguiranno delle catture. Un elemento che però non è sfuggito agli stessi speleo sono state le mummie di pipistrelli ancora attaccate alle pareti, presenti in alcuni punti del complesso carsico e, in particolar modo, lungo le pareti del pozzo detto "Baratro".

Non è ancora chiaro il motivo che possa aver portato questi



Foto 8. Una delle mummie di *Myotis myotis* raccolte lungo il ramo principale. Il cranio e la dentatura priva del pelo permettono una sicura attribuzione alla famiglia dei *Vespertilionidae* ed in modo specifico a *Myotis myotis* (*Vespertilio Maggiore*).

Sono stati montati su vetrino i peli del dorso per essere comparati con quelli delle altre mummie presenti nella grotta - Foto G. Comotti



Foto 9. Uno dei chiroteri mummificati ed ancora in sito nel Baratro. L'assenza di espansioni nasali e la forma delle orecchie lo avvicina ai *Vespertilionidi*. Il prelievo di pelo con la successiva analisi al microscopio potrà dare una puntuale attribuzione specifica - Foto G. Comotti

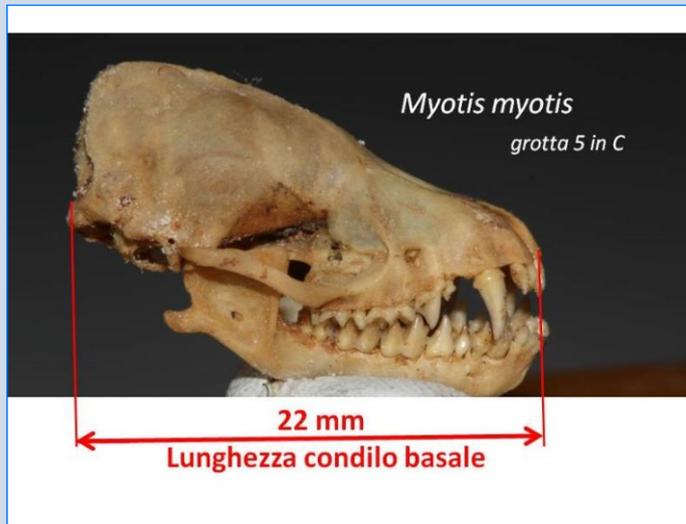


Foto 10. Oltre alle mummie, sono presenti in altri punti della grotta resti scheletrici di chiroteri non sempre completi. Bisogna usare particolare attenzione nel raccogliere questi reperti per evitare di perdere qualche piccolo dente che si stacca dall'osso. Nell'immagine il cranio montato di *Myotis myotis* (manca nella serie dentaria il primo premolare sup. dx...perso nel recupero) - Foto G. Comotti

chiroteri a continuare la latenza invernale fino al punto di morire in sito. In occasione di una visita con gli amici del GSVT, ho raccolto alcuni resti scheletrici e alcune mummie malconce a terra, non sempre complete, mentre si è convenuto con gli stessi speleo, scopritori del complesso, che quelle in buone condizioni e ancora fissate alle pareti debbano rimanere in sito.

L'esame morfologico del cranio del materiale raccolto ha evidenziato che trattasi di Vespertilionidi: la formula dentaria, la misura condilo-basale del cranio e la lunghezza dell'avambraccio permettono poi di attribuire i materiali al Vespertilio Maggiore, *Myotis myotis*, un vespertilionide di grandi dimensioni con apertura alare fino a 40 cm.

Un prossimo studio consisterà nel fare un piccolo prelievo di pelo delle mummie presenti, da esaminare poi al microscopio per una comparazione con quello delle carcasse raccolte e determinate. Va comunque detto che gli speleo che si alternano all'esplorazione della grotta hanno notato anche dei rari esemplari vivi in movimento, non determinati.

*Myotis myotis* ha un'ampia distribuzione in Italia e paesi vicini; per quanto riguarda le aree prossime a 5 in Condotta, nei miei materiali storici, raccolti 40 anni or sono, risulta presente nel Bus di Tacoi, a Gromo e alla Nala di Sciupi in valle Imagna.

### ... di rocce... (P. Tognini)

L'elemento che costituisce la singolarità più eclatante di questa grotta, e che certamente ne ha condizionato la genesi e le morfologie più antiche, è la superficie di sovrascorrimento che porta il più antico Calcarea di Camorelli (Anisico medio-sup.) sulla più giovane Formazione di Esino (Anisico sup.-Carnico inf.).

La grotta si sviluppa lungo il sovrascorrimento, tagliandolo in più punti, e il risultato è un continuo susseguirsi di cambi litologici, dalle dolomie e calcari dolomitici scuri e ben stratificati del Calcarea di Camorelli alle facies più massive e chiare della Formazione di Esino, sottolineati da zone fortemente tettonizzate. (Figura 3, Foto 4, Foto 11)

Grandi faglie, di estensione decametrica, controllano l'andamento e la geometria di molti passaggi: un bellissimo esempio è la grande faglia che dall'ingresso domina tutta la prima galleria, determinandone l'andamento pressoché rettilineo.

### ... di strati e fratture... (F. Baio)

Il controllo strutturale esercitato da stratificazione, fratture, faglie e sovrascorrimenti è come di consueto determinante nella morfologia della grotta.

In particolare, sono distinguibili tre "fasi" strutturali riconducibili a eventi cronologicamente distinti che hanno condizionato le diverse morfologie della grotta.

La ricostruzione degli eventi e il riconoscimento dei collegamenti tra tali eventi e le morfologie potrebbe dare un contributo significativo non solo alla "datazione" delle fasi speleogenetiche, ma anche contribuire a inquadrare eventi tettonici importanti che hanno portato la struttura della "montagna" a quanto ora osservabile.

Sono riconoscibili:

- una fase di fratturazione pre-speleogenetica, che controlla la geometria delle gallerie principali (le più antiche peraltro), responsabile, per esempio, della frattura-faglia generatrice della galleria principale e della galleria superiore, e di discontinuità che intersecano la stratificazione e che hanno determinato l'andamento dell'asse della galleria principale e della superiore "Galleria alta", che mostrano un andamento abbastanza regolare e rettilineo pur con alcune brusche, ma brevi variazioni di asse della direzione; (Foto 11)

- una fase di fratturazione posteriore alla genesi delle gallerie principali, con successiva formazione delle vie dei pozzi: tratti della grotta in cui l'andamento cambia in modo sostanziale, e

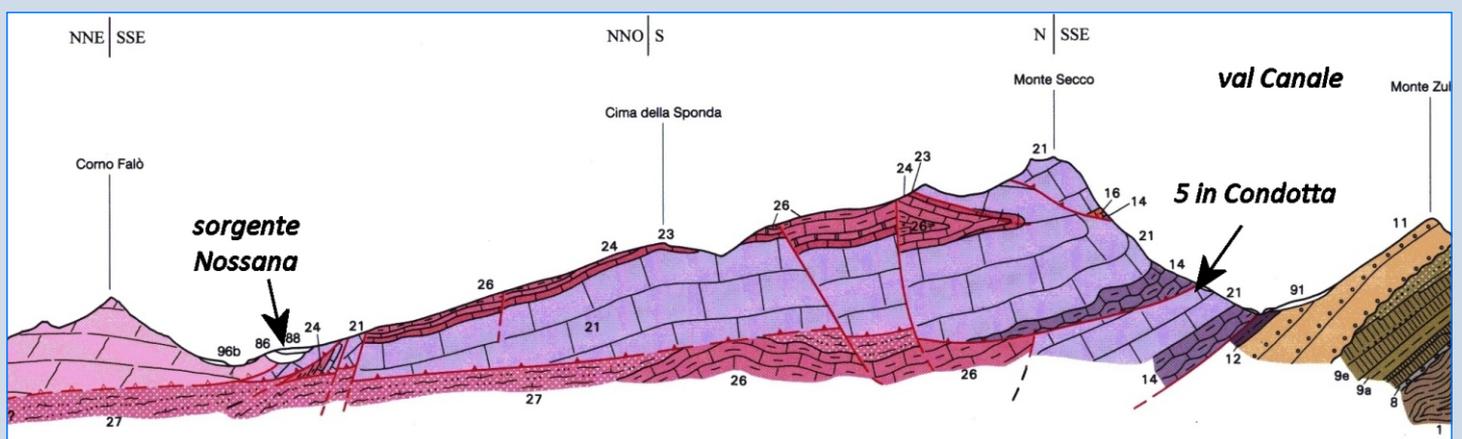
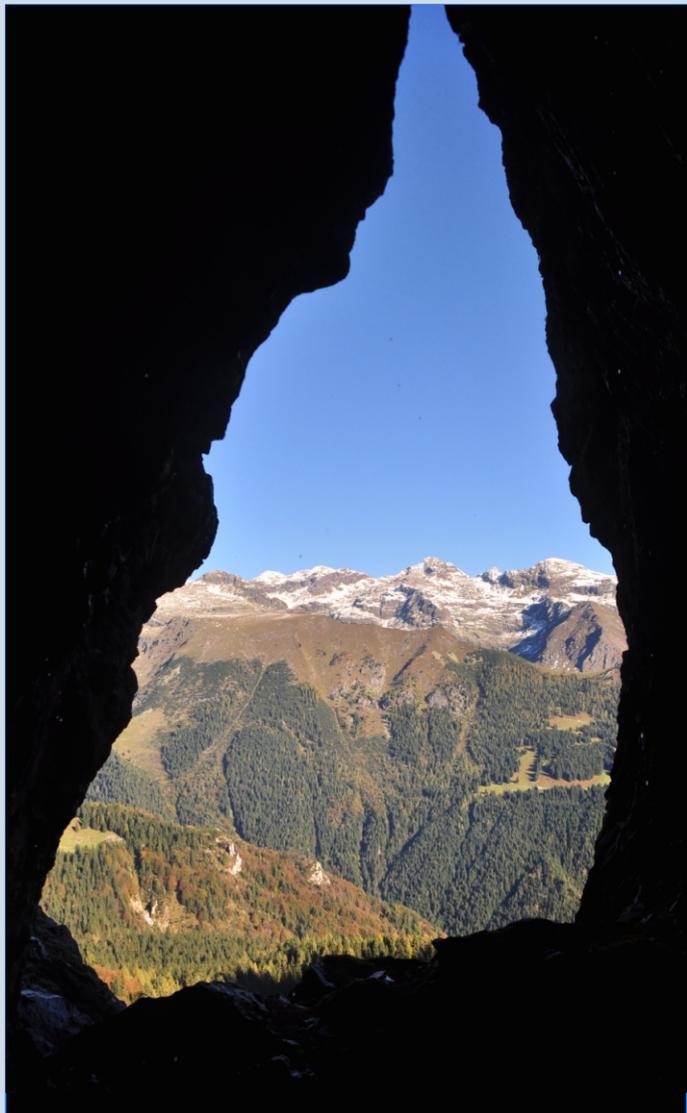


Figura 3. Sezione geologica attraverso la Val Canale, che mostra la complessa struttura della successione carbonatica triassica: in toni di viola la successione carbonatica, in verde le rocce del basamento cristallino, in nocciola la copertura vulcanoclastica e continentale: 14 - Calcarea di Camorelli; 21 - Formazione di Esino. La grotta si apre proprio in corrispondenza di una delle tre superfici di sovrascorrimento che costituiscono la struttura del M. Secco-M. Arera; la sorgente Nossana, una delle maggiori sorgenti carsiche lombarde, si trova sul versante opposto del massiccio, a diversi chilometri di distanza, ma costituisce una delle probabili sorgenti della grotta (da Carta Geologica della Provincia di Bergamo, alla scala 1:50.000, 2000)



*Foto 11. L'ingresso della grotta si affaccia sulla Val Canale, impostata lungo un'importante faglia regionale, la Linea della Valtorta-Valcanale. Tale linea separa il basamento cristallino, costituito da rocce metamorfiche e ignee, con la relativa copertura vulcanica e sedimentaria di ambiente continentale permo-carbonifera, a Nord, da una potente sequenza sedimentaria marina triassica a Sud, prevalentemente costituita da rocce ben carsificabili.*

*Le forme del paesaggio in corrispondenza del basamento sono molto più dolci e meno dirupate, mentre in corrispondenza della successione sedimentaria carbonatica il versante Nord del Massiccio dell'Arera è impervio e caratterizzato da grandi pareti, con dislivelli di oltre 500 m. L'ingresso della grotta appare sospeso sulla Val Canale, chiaramente tagliato dalla formazione della valle stessa.*

*E' evidente che la grotta è più antica della valle, e che, in passato, doveva estendersi verso Nord, dove, invece della valle attuale, doveva esistere un grande altopiano carsico - Foto M. Inglese*

diventa prevalentemente verticale (Via dei Pozzi, Via del Felepo e della Felepa, Via de Ol Deaol). Morfologicamente diverso, anche se verticale, è invece il Baratro, che appare connesso alla fase speleogenetica più antica;

- una terza fase che ha interessato gli ambienti già speleogeneticamente "formati", responsabile di dislocazioni vere e proprie, ma identificabile in zone fortemente fratturate, che dà un carattere tettonico e graviclastico ad alcuni ambienti.

*Foto 12. La grande faglia che caratterizza l'ingresso prosegue lungo la prima galleria, determinandone la direzione e l'andamento rettilineo: sicuramente in passato è stata un importante elemento per guidare il percorso delle acque che hanno formato la grotta; ora invece, insieme alle superfici di frattura e di stratificazione, guida processi di crollo, che modificano le forme originali della galleria - Foto M. Inglese*

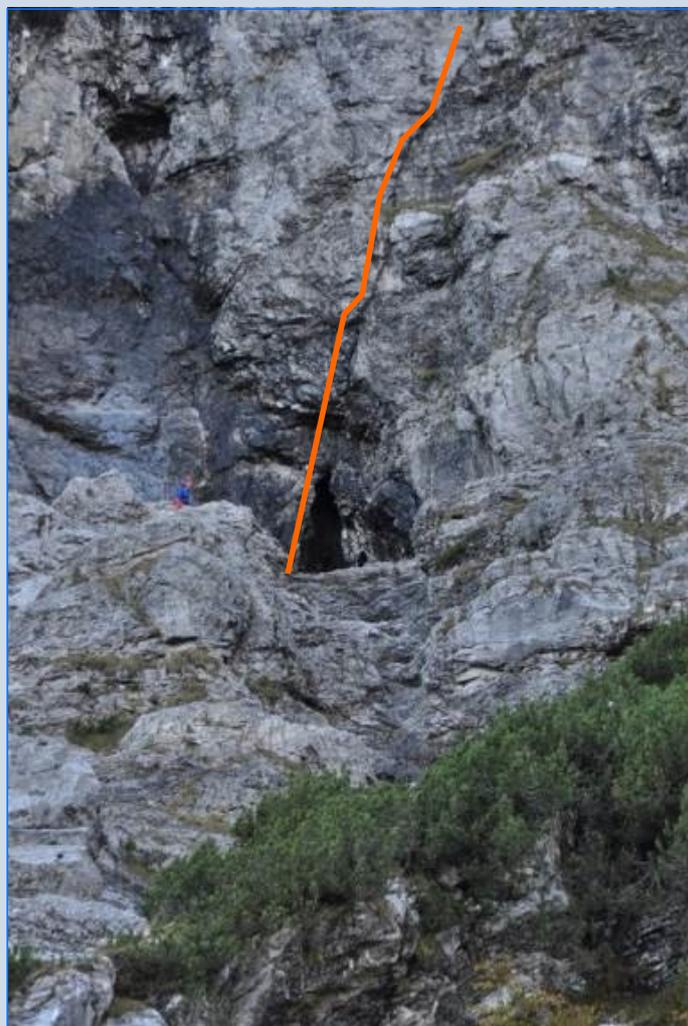
### ... di aria e di acqua... (F. Baio)

Un altro aspetto particolare della grotta 5 in Condotta è la meteorologia: una struttura sostanzialmente riconducibile a un "tubo di vento" con circolazione molto intensa e forte, che, pur con dislivelli non elevatissimi (ingresso a q. 1600 e vicinanza alla superficie con la "Sala che sale" a +286 m), caratterizza gli ambienti interni. In piena estate la temperatura media è di 4°C, con una "punta" negativa, peraltro in prossimità di presunte morfologie di tipo periglaciale di cui si dirà in seguito, con una temperatura di 2.9°C.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, le gallerie principali della grotta sono completamente fossili, così come il pozzo del Baratro, mentre hanno modesti flussi alcune zone "avanzate" della galleria principale (Acqua di Fra, Acqua di Giò) e le vie dei pozzi più profonde.

La grotta è localizzata poco oltre (verso nord-nord/est) lo spartiacque superficiale (geografico - idrografico) dell'importantissima sorgente Nossana alla base della omonima Val Nossana (sorgente caratterizzata da portate tra 3 e 16 m<sup>3</sup>/sec) che, captata per circa 500 l/s, consente la distribuzione a un numero molto importante di utenze, più di 200.000, da parte di Uniacque. La definizione del "bacino idrogeologico" della sorgente Nossana, sicuramente diverso da quello idrografico, è un quesito che ha cimentato i geologi per anni ed è tuttora vivace.

Purtroppo, la grotta ha portate molto modeste (fino ad ora l'acqua è presente solamente nelle vie dei pozzi) e questo, unitamente al fatto che la sorgente è utilizzata a fini idropotabili, determina qualche difficoltà nell'ipotesi di un eventuale test di tracciamento, tuttavia individuare collegamenti o connessioni tra grotte e sorgente sarebbe motivo di grandissimo interesse.



**... di forme e di tempo... (P. Tognini)**

Anche a una prima visita sommaria, la grotta si presenta con forme decisamente insolite, soprattutto se paragonate al resto delle grotte prealpine lombarde.

Percorrendola, si ha la sensazione di passare continuamente da ambienti completamente differenti, come se si trattasse di due grotte diverse in qualche modo "incastrate" una nell'altra.

Mostra, infatti, gallerie suborizzontali, sicuramente antiche e certamente non più attive, concrezionate e silenziose, disposte su più livelli, tagliate da una carsificazione molto più recente, prevalentemente vadosa, con pozzi e forre fortemente attivi, puliti e levigati dall'acqua, che interrompono ambienti decisamente di diversa origine. (Foto 13)

Fenomeni di crollo diffusi sono legati sia alla fratturazione, molto pervasiva, sia, in alcuni casi, anche a probabili riattivazioni di movimenti lungo faglie: in diversi punti si osservano piccole dislocazioni delle morfologie e piccoli specchi di faglia, unitamente a imponenti fenomeni di crollo. In alcune zone, come nel Baratro, i fenomeni di crollo sono molto intensi, e determinano un forte controllo strutturale della forma dei vuoti, cancellando in gran parte le morfologie precedenti.

Le morfologie originali delle parti iniziali della grotta e, in particolare, dell'androne d'ingresso, appaiono fortemente modificate anche da intensi processi di crioclastismo, che, per effetto di ripetuti cicli di gelo e disgelo, provocano una fratturazione minuta e diffusa della roccia, e conseguente produzione di frammenti spigolosi che si staccano dalle pareti e dalla volta, e si accumulano poi sul pavimento (Foto 14).

Le forme che più colpiscono in questa grotta sono però legate fenomeni di intensa corrosione chimica, che lavorano soffitti e pareti in forme bizzarre e molto scenografiche (Foto 15 e 16).



*Foto 13. Le gallerie più antiche, disposte su più livelli suborizzontali, sono chiaramente tagliate da pozzi e forre di origine molto più recente: queste sono le parti attive della grotta, percorse e lavorate dall'acqua e prive di concrezioni - Foto G. Tomasi*



*Foto 14. Morfologie di crollo, prevalentemente dovute a crioclastismo, dominano la prima parte della grotta, tuttavia si iniziano ad osservare alcune delle particolarità che caratterizzano questa cavità: la roccia delle pareti, in alcuni punti, appare fortemente alterata, coperta da patine rossastre, nerastre o biancastre, mentre in altri punti, specialmente sul soffitto, sono visibili numerose cupole, le cui forme fanno pensare a corrosione per condensazione e potrebbero essere ricondotte ipogenesi - Foto M. Inglese*



*Foto 15. Cupole, ceiling pendants, canali di volta, megascallops movimentano le forme delle gallerie orizzontali che, su più livelli, costituiscono le parti indubbiamente più antiche della grotta. Le pareti sono coperte da concrezioni, per lo più da evaporazione, spesso in stato di disfacimento, e, qua e là, si trovano resti di croste e depositi di gesso. Tutto questo sembrerebbe testimoniare intensi processi di corrosione in condizioni ipogeniche - Foto M. Inglese*

Si osservano infatti:

- numerosissime cupole, di dimensioni che vanno da pochi centimetri a metriche, che sembrerebbero legate a processi di corrosione per condensazione. Spesso le cupole sono organizzate in gruppi coalescenti, che originano duomi e camini che risalgono restringendosi verso l'alto;
- ceiling pendants: la coalescenza di cupole e altre forme di corrosione può determinare la formazione di queste particolari morfologie, sotto forma di lame, punte sporgenti, archi, piccoli trafori sul soffitto o anche di lame e diaframmi lungo le pareti;
- canali di volta: bellissimi esempi di canali di volta impostati lungo faglie o altre discontinuità fanno pensare a un'origine per corrosione in punti preferenziali di condensazione (come si osserva, per esempio, lungo la galleria iniziale): si tratta quindi di canali di volta con una genesi diversa da quelli "tradizionali", legati in genere a circolazione di acque in condizione di quasi totale riempimento sedimentario delle gallerie, oppure a crolli di setti che separano gallerie e condotte su livelli sovrapposti;
- boxwork: si tratta di vene di calcite (fratture riempite di cristalli di calcite spatica) che, essendo i grandi cristalli meno solubili dei



Foto 16. Cupole da corrosione per condensazione: è evidente come la presenza di faglie e grandi fratture abbia condizionato la geometria delle gallerie e delle morfologie - Foto M. Inglese

cristalli, più minuti, della roccia incassante, risultano più resistenti alla corrosione e, quindi, danno origine a forme in rilievo, che sporgono dalle pareti anche di parecchi centimetri, ricalcando la disposizione delle vene.

Pur essendo forme comuni in diversi contesti, in questo caso indicano una corrosione molto intensa della roccia, su uno spessore di diversi centimetri (Foto 17).

- in alcuni punti della grotta sono visibili sul pavimento vaschette e marmitte di corrosione, spesso quasi completamente ricoperte da pop corn di calcite. Sono forme singolarmente molto simili alle normali marmitte di erosione; tuttavia,



Foto 17. Boxwork che mettono in evidenza vene di calcite sono visibili in numerose parti della grotta, testimoni di fenomeni di corrosione molto intensi - Foto M. Inglese

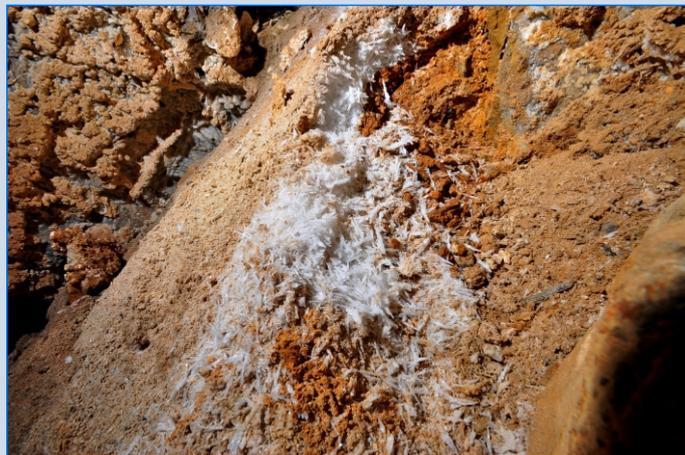


Foto 18. Accumuli di gesso in cristalli aciculari bianchi, molto brillanti, in depositi spessi anche qualche decimetro, e a tratti visibili all'interno di alcune cupole, potrebbero testimoniare l'azione di processi ipogenici legati alla risalita di acque solfate (SAS cave) in un lontano passato, forse con qualche connessione con la messa in posto dei sovraccorrimenti che caratterizzano la struttura geologica di questo massiccio - Foto M. Inglese

l'intensità e la densità del fenomeno le rendono particolari, e fanno pensare a un'intensa corrosione, forse legata a gocciolamento di acque di condensazione molto aggressive;

- la roccia delle pareti, in alcuni punti appare fortemente alterata per uno spessore di parecchi centimetri, coperta da patine di ossidazione rossastre o nerastre, e da veli biancastri. Questo è un indizio di reazioni chimiche che hanno interessato la roccia dopo, o durante, la formazione delle gallerie, reazioni che potrebbero essere dovute alla circolazione di fluidi idrotermali fortemente aggressivi. Le mineralizzazioni che interessano invece tutto l'ammasso roccioso sono precedenti, forse legate alla messa in posto delle scaglie sovraccorse che caratterizzano la struttura geologica della zona in cui si apre la grotta;

- in diversi punti della grotta sono presenti depositi gessosi, in forma per lo più microcristallina, aciculare o pulverulenta, mentre in altri punti soffitti e pareti sono coperti da resti di mineralizzazioni biancastre, verosimilmente idromagnesite.

Dai depositi di gesso più antichi si sviluppano a volte cristalli fibrosi, di aspetto satinato, di nuova formazione, con la caratteristica conformazione "a riccioli", tipica di mineralizzazioni "estruse" da un deposito di sedimenti fini o da piccole venute di acqua (Foto 18).

Tutti questi "indizi", insieme al particolare assetto geologico di questa grotta, fanno pensare, per queste forme più antiche e così particolari, a una probabile origine ipogenica, vale a dire ad opera di acque profonde che risalgono dal basso, ricche di CO<sub>2</sub> e probabilmente anche di zolfo (che, ossidandosi a contatto con acque più superficiali più ossigenate o con ossigeno atmosferico in zona vadosa, crea le cosiddette SAS –sulfuric acid speleogenesis– cave).

Ma le "stranezze" di 5 in Condotta non finiscono qui!

Sia il Calcare di Camorelli che la Formazione di Esino sono qui in gran parte dolomitizzati: ne risulta una grande abbondanza di sabbia dolomitica, residuo della dissoluzione carsica, che in alcuni punti ricopre abbondantemente il pavimento. Le forti correnti d'aria che spazzano la grotta creano, a volte, delle vere e proprie piccole "tempeste di sabbia" che, analogamente all'erosione eolica in superficie, hanno un effetto di abrasione sulla roccia, che in diversi punti appare levigata e quasi "lucidata".

La dolomitizzazione è sicuramente anche responsabile della grande abbondanza di concrezioni aragonitiche: il magnesio

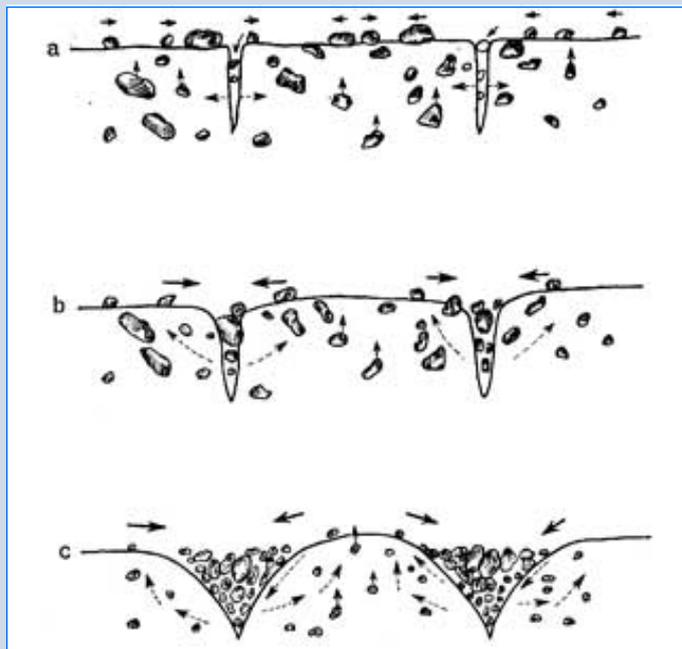


Foto 19. Piccola superficie di suolo poligonale (vedi anche disegno a fianco): l'aumento di volume dovuto alla formazione di ghiaccio all'interno di un deposito provoca un rigonfiamento che crea una fratturazione poligonale e un successivo riempimento con granuli selezionati in base alle dimensioni - Foto M. Inglese

della dolomite, infatti, favorisce la precipitazione di questo minerale a scapito della generalmente più comune calcite. Processi di forte evaporazione hanno prodotto in diversi punti grandi quantità di concrezioni "a pop corn" o coralloidi, che spesso ricoprono praticamente ogni superficie libera della grotta: l'effetto estetico è ovviamente di grande impatto!

In corrispondenza di un restringimento della galleria non lontano dall'ingresso, è stata osservata un'altra particolarità morfologica: è infatti presente una piccola superficie a poligoni, molto simile a un suolo poligonale. Questa particolare morfologia è legata alla formazione di ghiaccio all'interno di un sedimento: per verificare questa ipotesi, in questo punto della grotta è stato posto un data logger per la misura delle temperature in superficie e all'interno del sedimento durante tutto il corso dell'anno. (Foto 19).

Decisamente, questa grotta merita uno studio accurato delle



morfologie, dei sedimenti e delle mineralizzazioni che contiene. E infatti sarà oggetto di due tesi di laurea in geologia, da parte di due giovani speleologi che ne studieranno le complesse relazioni con la struttura geologica, le particolari e inusuali morfologie e le diverse mineralizzazioni, nella speranza che 5 in Condotta vorrà raccontarci la sua storia, antica sicuramente di almeno una ventina di milioni di anni!

#### Riferimenti bibliografici

Masserini S., 2014 - 5 in Condotta (Valseriana, Bg). Speleologia, 70:6;

Tomasi G., 2013 - 5 in Condotta, Annuario CAI Bergamo 2013: 118-121;

Tomasi G., Masserini S., Berra F., Baio F., 2016 - La grotta 5 in Condotta, Geologia Insubrica, Vol.12, n°1: 39-44.

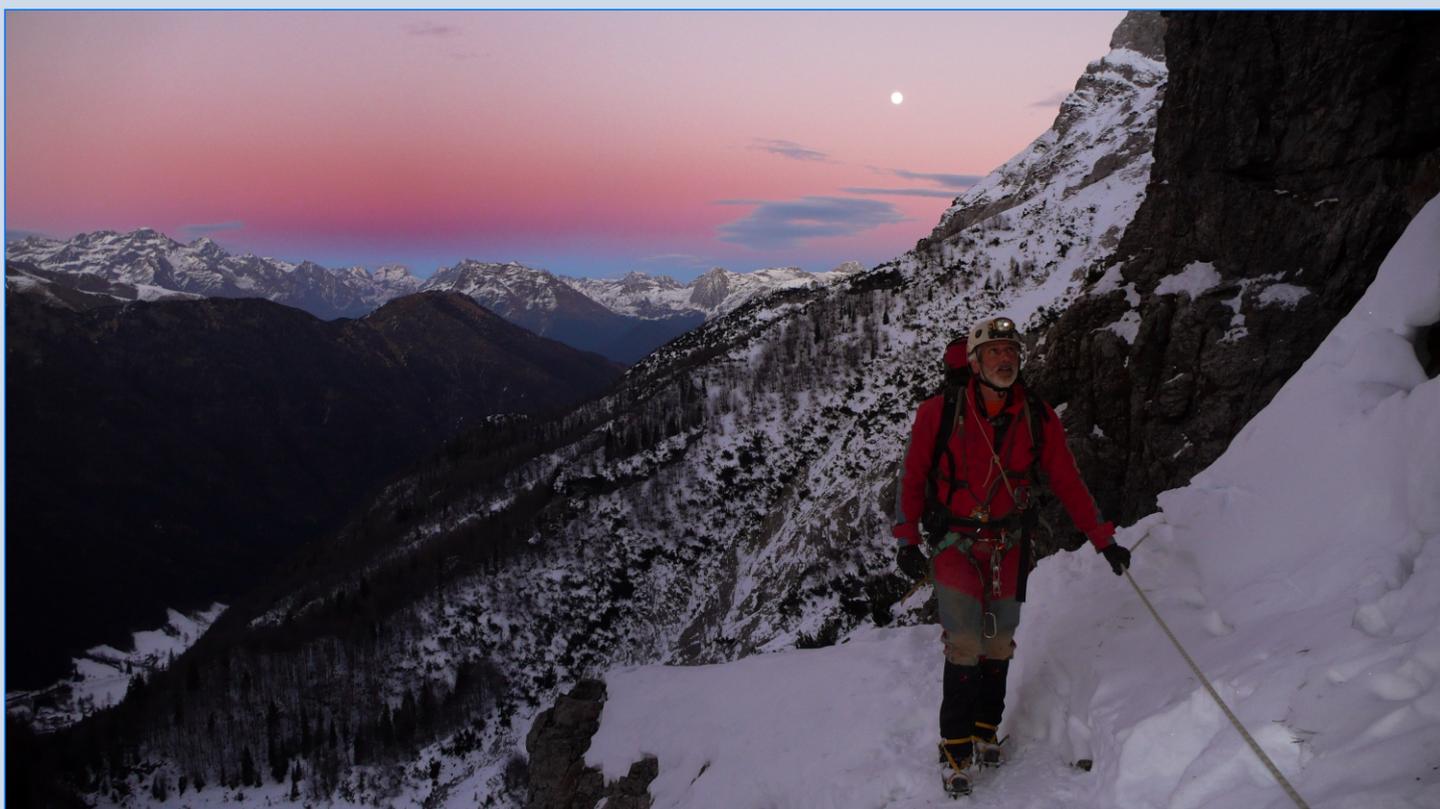


Foto 20. Tramonto dall'ingresso di 5 In Condotta - Foto G. Tomasi



Foto 7. Scendendo la Via dei Pozzi - Foto G. Tomasi

# Grigna Settentrionale

## Appunti sulla geologia del Monte Cich (Lecco - Lc)

Giordano Ghidoni, Roberto Conti (a-†), Sandro Ghidelli (a)

(a) Gruppo Grotte Busto Arsizio

2018 - 2022

34



Foto 1. Il Monte Cich visto dalla Valsassina - Foto S. Ghidelli

### Riassunto

La cima del Pizzo dei Cich è speleologicamente interessante per i peculiari fenomeni carsici che vi si trovano. Con questo approfondimento si cerca una spiegazione al comportamento anomalo di queste cavità, dal punto di vista meteorologico, esaminando la natura delle rocce che le contengono.

La ricerca ha mostrato che la Faglia di Freconera divide l'area di studio in due parti nettamente differenti in termini di comportamento carsico. La parte "calda", a sud-est della faglia, ha conservato più tracce della morfologia originaria che ha influenzato la generazione dei fenomeni carsici. Le cavità sono, in genere, più orizzontali, disposte lungo un'unica linea di frattura e presentano vani di notevoli dimensioni. Spesso i passaggi sono decorati, e talvolta chiusi, da formazioni. Nella parte alta della montagna, modellata dall'erosione fino a tempi più recenti, è possibile rilevare la presenza di residui fenomeni carsici smantellati dall'erosione (valli chiuse, pinnacoli e bogaz).

I fenomeni carsici più promettenti sono quelli della zona "fredda", a nord-ovest della faglia.

Questi si verificano dove la Faglia della Freconera incontra la rete di fratture parallele al versante della Valsassina. Le grotte, generalmente strette, si trovano spesso all'intersezione di più linee di frattura e presentano un andamento sub-verticale. Sono interessate da forti correnti d'aria stagionali e hanno una temperatura interna inferiore a quella prevista per l'altitudine del livello di ingresso. Purtroppo quel versante del Cich è stato pesantemente modificato dal passaggio dei ghiacciai durante il Quaternario. Pertanto la maggior parte degli ingressi è fortemente intasata da detriti di frane e masse di sedimenti. Finora questo fenomeno ha impedito l'accesso al sistema carsico sotterraneo (che certamente esiste come dimostrano i volumi di masse d'aria scambiate attraverso gli ingressi).

La carta geologica ottenuta da questo rilievo offre spunti per concentrare le ricerche, e comprendendo la natura delle peculiarità meteorologiche delle cavità del Pizzo dei Cich, si auspica sia possibile migliorare la ricerca anche a nuovi accessi per le profondità della Grigna Occidentale.

### Inquadramento geografico

Lungo le pendici della Grigna Settentrionale, in particolare seguendo il crinale che dal Passo del Cainallo conduce alla valle del Pioverna, attraverso una successione di cime minori (Pizzi di Parlasco), si trova un'altura che raggiunge i 1454 m di altezza, denominata Pizzo dei Cich.

L'ovale nero sulla mappa del gruppo montuoso delle Grigne indica l'area oggetto di studio.

Il Pizzo dei Cich è importante per i fenomeni carsici che sono stati rinvenuti sulle sue pendici nel corso di una fase di ricerca ed esplorazione durata circa dieci anni.

Il lavoro che segue prende in considerazione la parte della cresta che si estende tra il Passo di Mudrognò a Nord e il Passo del Cainallo a Sud; sono stati considerati anche i versanti del monte che scendono fino alla Valsassina (verso NE) e quello rivolto all'altopiano su cui è situato il comune di Esino Lario (verso SW).



Foto 2. Il Monte Cich visto dalla Val d'Esino - Foto S. Ghidelli

### Inquadramento geologico

L'area geografica oggetto di studio (Pizzo dei Cich) va inquadrata nel contesto ben più ampio dell'edificio alpino, in particolare del dominio paleogeografico, strutturale e ambientale delle Alpi Meridionali (Michetti *et alii.*, 2012).

Più specificamente, dal punto di vista strutturale, l'intero complesso delle Grigne è situato in prossimità del fronte esterno della catena Sudalpina occidentale S-vergente e della relativa avanfossa (Castellarin & Cantelli, 2000), nel settore maggiormente attivo dal punto di vista tettonico e sismico (Sileo *et alii.*, 2007; Michetti *et alii.*, 2010).

Dal punto di vista paleotettonico, invece, le Alpi Meridionali, alla cui terminazione meridionale si colloca l'area delle Grigne, costituiscono un classico esempio di margine passivo continentale coinvolto successivamente in una deformazione orogenica (Bertotti *et alii.*, 1993). Fino all'Oligocene, infatti, questo Dominio, appartenente alla Placca Adriatica, costituiva un settore di retrocatena, debolmente deformato. A partire dal Neogene la catena Sudalpina si sviluppò propagandosi verso Sud grazie alla riattivazione, in inversione tettonica, di strutture estensionali di età mesozoica (Castellarin *et alii.*, 1992).

Di seguito si illustrano brevemente i principali litotipi costituenti le Alpi Meridionali, inquadrati in una chiave evolutiva - paleogeografica con particolare riferimento a quelle che affiorano nella zona oggetto di studio.

Alla base di tutto l'edificio alpino si trova il basamento cristallino che include diverse tipologie di rocce metamorfiche appartenenti al Dominio Sudalpino, che costituiscono le litologie più antiche affioranti nelle Alpi Meridionali. Sopra queste, durante il Permiano, si registra la deposizione di facies continentali (Gruppo dei Laghi Gemelli e Verrucano Lombardo) passanti verso Est a depositi di mare poco profondo.

A partire dal Triassico, l'intero Sudalpino fu caratterizzato, nel corso di tre grandi cicli trasgressivi-regressivi, da condizioni di mare poco profondo. La dominanza di un ambiente di piattaforma carbonatica (Formazione di Esino, Dolomia di S. Salvatore, Dolomia Principale) era localmente caratterizzata da

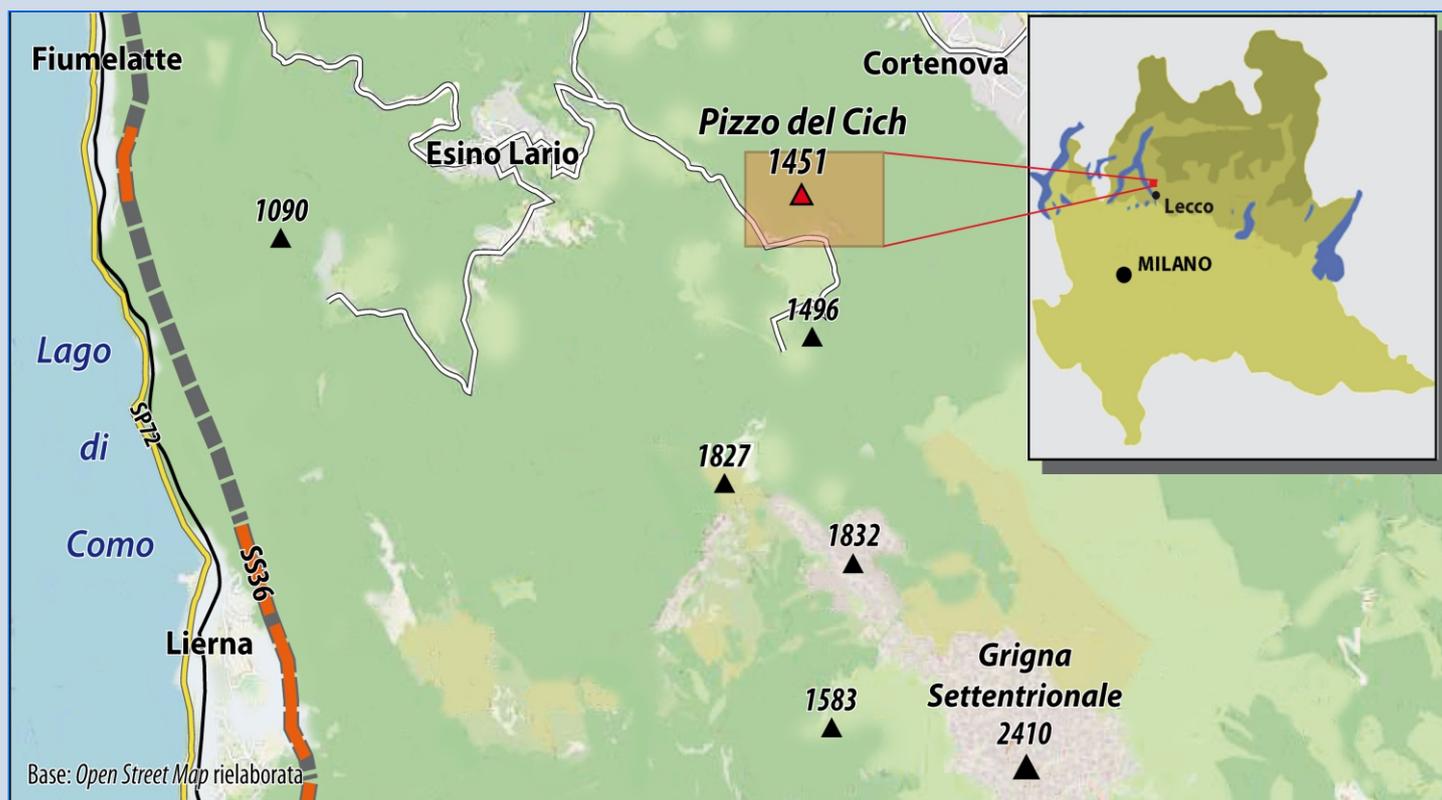


Figura 1. Monte Cich (Pizzo del Cich): inquadramento geografico - Base. Open Street Map rielaborata



in loco. Durante una delle glaciazioni, sul versante di Esino, era presente un lago glaciale o di bordo ghiacciaio, che doveva giungere all'altezza dell'ingresso della grotta F4 (1285 m slm), come testimoniato dall'argilla e dal limo lacustre rinvenuti nella dolina di ingresso. Più a Nord e poco più in alto sullo stesso versante è presente un affioramento di roccia molto alterata dagli agenti atmosferici e dal ghiaccio che la circondava.

I fenomeni carsici più importanti si trovano nella parte superiore del Pizzo dei Cich e si aprono tutti nella Formazione di Esino; per questo motivo ci occuperemo particolarmente di questo litotipo presente nella parte alta del monte tra i 1200 m slm circa della Fontana del Toff e la cima del Pizzo, che raggiunge i 1454 m slm.

La Formazione di Esino, come da letteratura, è costituita da calcari dolomitici, di colorazione dal grigio al marrone chiaro, tendenzialmente a deposizione massiva o grossolanamente stratificata, con presenza di particolari livelli in cui si trovano fossili o stromatoliti.

La Formazione di Esino, per la sua particolare natura, presenta quindi una certa disomogeneità nelle sue caratteristiche litologiche (facies, fratturazione, carsificabilità) che si accentua in particolare verso il tetto della formazione, che costituisce proprio la cima del Pizzo dei Cich.

In questa zona possiamo riscontrare tutte quelle particolarità che sono tipiche di una deposizione in bassi fondali (sia pure caratterizzata da alta subsidenza).

Nel corso del rilevamento sono state riscontrate intercalazioni marnose (presumibilmente originate a seguito di variazioni del livello marino), zone particolari con abbondante presenza di fossili (Sass di Lumach), calcari con presenza di sabbia rosata all'interno o campioni con inclusioni di selce provenienti da conoidi detritici di varia natura; abbiamo anche raccolto un campione che presenta tracce di strutture di natura organica (coralli o stromatoliti).

La sommità del Pizzo dei Cich è interessata dalla presenza di fenomeni paleocarsici, che dimostrano che l'area fu interessata

da erosione e dissoluzione durante le fasi di emersione cui fu soggetta. Alcune cavità si riempiono di abbondanti depositi concrezionali e altre di sedimenti (di natura ferrosa) come dimostrano le miniere di ferro, oggi chiuse, ma attive fino all'inizio del secolo scorso.

Per cercare di spiegare meglio le particolarità di questa montagna è stato avviato un rilievo geologico dettagliato della parte sommitale del Pizzo dei Cich, con particolare riferimento alle caratteristiche litologiche delle rocce affioranti e alle famiglie di fratture che le interessano.

Laddove possibile sono state raccolte anche le informazioni sulla giacitura degli strati e sulle linee tettoniche principali evidenti in loco. Sono state individuate una serie di unità litologiche (litofacies) omogenee per caratteristiche litologiche, struttura e carsificabilità presenti nella parte sommitale del Pizzo dei Cich.

È importante precisare che, le unità da noi identificate, non sono litofacies vere e proprie, ma soltanto unità informali, utili nella stesura di questo lavoro, ma non codificate ufficialmente.

### Litofacies rilevate

Di seguito le caratteristiche di ogni facies osservata; accanto ad ognuna il colore con cui è stata rappresentata sulla carta tematica della parte sommitale del Pizzo dei Cich:

**Unità del Mudrognò** (marrone): affiora sopra i 1400 m slm.

Colore all'alterazione in superficie: molto chiaro, a tratti bianco. Colore su frattura fresca: grigio scuro, con venature; verso la sommità presenta intercalazioni rossastre o gialline; in alcuni punti calchi di fossili (*Turritella Turris*). Forte reazione a HCL 5%.

**Unità del Sass di Lumach** (arancione): affiora sopra i 1400 m slm.

Colore all'alterazione in superficie: grigio uniforme, leggermente butterato. Colore su frattura fresca: stesso grado di grigio medio visibile in superficie, evidenti tracce di fossili calcificati in bianco; all'interno possibile ritrovamento di Gasteropodi triassici anche non di piccola taglia. Forte reazione a HCL 5%.

**Unità della Costa** (colore rosso): affiora tra 1370 e 1430 m slm.

Colore all'alterazione in superficie: grigio uniforme. Colore su frattura fresca: grigio chiaro con una trama a macchie più scure; presenza di piccole lenti di calcare cristallino a grana grossa con tessitura saccaroide e di ampie zone riempite di concrezione, a volte con evinosponge. Forte reazione a HCL 5%.

**Unità della miniera** (violetto): affiora tra 1340 e 1370 m slm.

Colore all'alterazione in superficie: grigio a volte marrone chiaro. Colore su frattura fresca: grigio chiaro con venature beige; si presenta con stratificazione sottile, solo in una zona ristretta della montagna. Scarsa reazione a HCL 5%.

**Unità intermedia** (verde): affiora tra 1350 e 1425 m slm.

Colore all'alterazione in superficie: grigio chiaro, a volte con macchie più scure. Colore su frattura fresca: grigio, a volte rosato, con inclusioni sabbiose evidenti su frattura. Discreta reazione a HCL 5% sulla trama, nulla la reazione sulla polvere.

**Unità del Cainallo** (colore blu): affiora tra 1250 e 1350 m slm.

Colore all'alterazione in superficie: da grigio chiaro a grigio medio. Colore su frattura fresca: grigio scuro con venature bianche. Buona reazione a HCL 5%.

Attorno alla cima del Pizzo dei Cich sono state rilevate delle torri di roccia isolate (segnate in giallo), che ad un esame più attento svelano di essere ciò che rimane di bio-costruzioni di natura organogena che si innalzavano di qualche metro dai bassi fondali marini. Ciò è dimostrato dalle trame dei coralli costruttori visibili all'interno. Rinvenuti anche fori lasciati da organismi marini.



Foto 3. Grotta Segnale Assente: Primo pozzo - Foto S. Ghidelli

## Considerazioni

Durante il rilievo esterno sono stati identificati i punti in cui tali litofacies affioravano sul terreno; ove possibile è stata misurata anche la giacitura degli strati. Inoltre sono state rilevate le linee principali di frattura e le tracce lasciate sul terreno dalla copertura glaciale e dalla paleo orografia. Infine, di ogni unità rilevata si è prelevato anche un campione per consentire la possibilità di effettuare approfondimenti in futuro.

I risultati del lavoro svolto sono stati riportati sulla carta tematica (figura 4), elaborata sulla base della Carta IGM al 25000 in cui sono state indicate linee strutturali, affioramenti e giaciture delle varie litofacies. Osservando la carta, la zona oggetto dello studio è divisa in due parti, nettamente distinte tra loro dalla faglia della Freconera, rilevante linea strutturale che si è attivata al momento del sovrascorrimento che ha generato il massiccio delle Grigne. La faglia, di natura compressiva e con un rigetto di almeno una ventina di metri, è evidente poco più a Sud del Passo del Mudrogn, presso la grotta F1 media e in una fascia di affioramenti poco più sotto. Anche dal punto di vista morfologico le due parti della faglia sono molto differenti tra loro.

Per semplicità di descrizione chiamiamo la parte a Sud Est zona "calda" e quella a Nord Ovest zona "fredda".

Iniziando dalla prima, lungo la cresta verso la Valsassina si trovano una serie di edifici calcarei, di natura organica, di tessitura differente dalla base su cui poggiano, in cui è possibile rinvenire anche fossili di discrete dimensioni (v. Sass di Lumach). Altri fossili di non piccole dimensioni (gasteropodi e tracce di bivalvi) sono stati ritrovati anche nella litofacies del Mudrogn. Ciò fa pensare che la parte alta della montagna fosse quella dove la profondità del mare era minore e l'attività degli organismi biocostruttori era più sviluppata.

Scendendo il pendio in direzione Sud Ovest incontriamo rocce più eterogenee, di differente carsificabilità, che a volte presentano tracce di sabbia di colore rosato (facies "intermedia"). Si tratta dei terreni ove poggiavano gli edifici corallini. La giacitura di questi affioramenti, per la massima parte ricoperti di vegetazione, è verso Sud Ovest. Questi terminano, laddove la pendenza si addolcisce, dove si incontrano gli affioramenti della facies detta Cainallo con strati che puntano invece verso la cima del monte. Dalle rilevazioni delle giaciture si può dedurre che il versante Sud Ovest del Cich costituisse un bacino a semicerchio, aperto verso la Grigna, che convogliava le acque raccolte verso l'area del Passo del Cainallo.

Nel versante Sud Est della montagna, quello alla cui base troviamo gli scavi delle miniere di ferro e manganese, ora abbandonate, è interessante notare la presenza di una sequenza di affioramenti, ricchi di concrezioni e con piccoli affioramenti di calcare cristallino a grana grossa con tessitura saccaroide (facies della costa), allineati secondo una linea che parte dalla cima e scende fino alla zona delle miniere. Nella parte alta di questo bacino si trovano le principali grotte calde, che sono localizzate nella zona di contatto tra differenti litofacies. Seguendo il percorso ove affiora la facies della costa troviamo piccoli avvallamenti che paiono resti di antiche cavità scoperciate, affioramenti di calcari cristallini e grotte particolarmente concrezionate (Grotte Pop Corn e Medusa).

A Nord Ovest della cima, la zona "calda" termina bruscamente con un ripido pendio che porta verso la Faglia della Freconera. Oltre la faglia troviamo pochi affioramenti, molto alterati e in terreno più scuro, ricco di inclusioni di calcite, ma senza fossili.

A Nord Ovest della faglia la pendenza degli strati è principalmente verso Nord e l'inclinazione è notevole. Le grotte di questa zona sono situate in avvallamenti o doline e hanno un andamento sub-verticale. Le grotte hanno una temperatura molto più bassa delle cavità della zona calda e sono interessate da forti correnti d'aria di natura stagionale.

Interessante fare il confronto tra due zone di biocostruzioni simili tra loro, situate ai due lati della faglia. Dalla differenza di altitudine (1300 m nella zona fredda e 1350 m nella zona calda) si può dedurre che la zona a Nord Ovest del monte è slittata in basso di circa 50 metri quando si è formata la faglia della Freconera. Quanto alle principali linee di frattura rilevate, possiamo segnalare le seguenti famiglie:

### a. Direzione 40 - 220° N

Questo sistema di fratture è parallelo alla Faglia della Freconera; le fratture parallele sono evidenti soprattutto negli affioramenti della zona fredda e lungo la scarpata che delimita la zona calda.

### b. Direzione 110 - 290° N

Questa famiglia di fratture è presente soprattutto nella zona delle miniere, ma si riscontra anche in alcune grotte della zona fredda.

### c. Direzione 140 - 320° N

Questa famiglia di fratture, "normali" alla Faglia della Freconera, sono evidenti soprattutto nella zona calda. Orientate come la parete verso la Valsassina, potrebbero essere associate ai cospicui distacchi di versante che vi si trovano.



Foto 4. Grotta Popcorn: l'ingresso - Foto S. Ghidelli

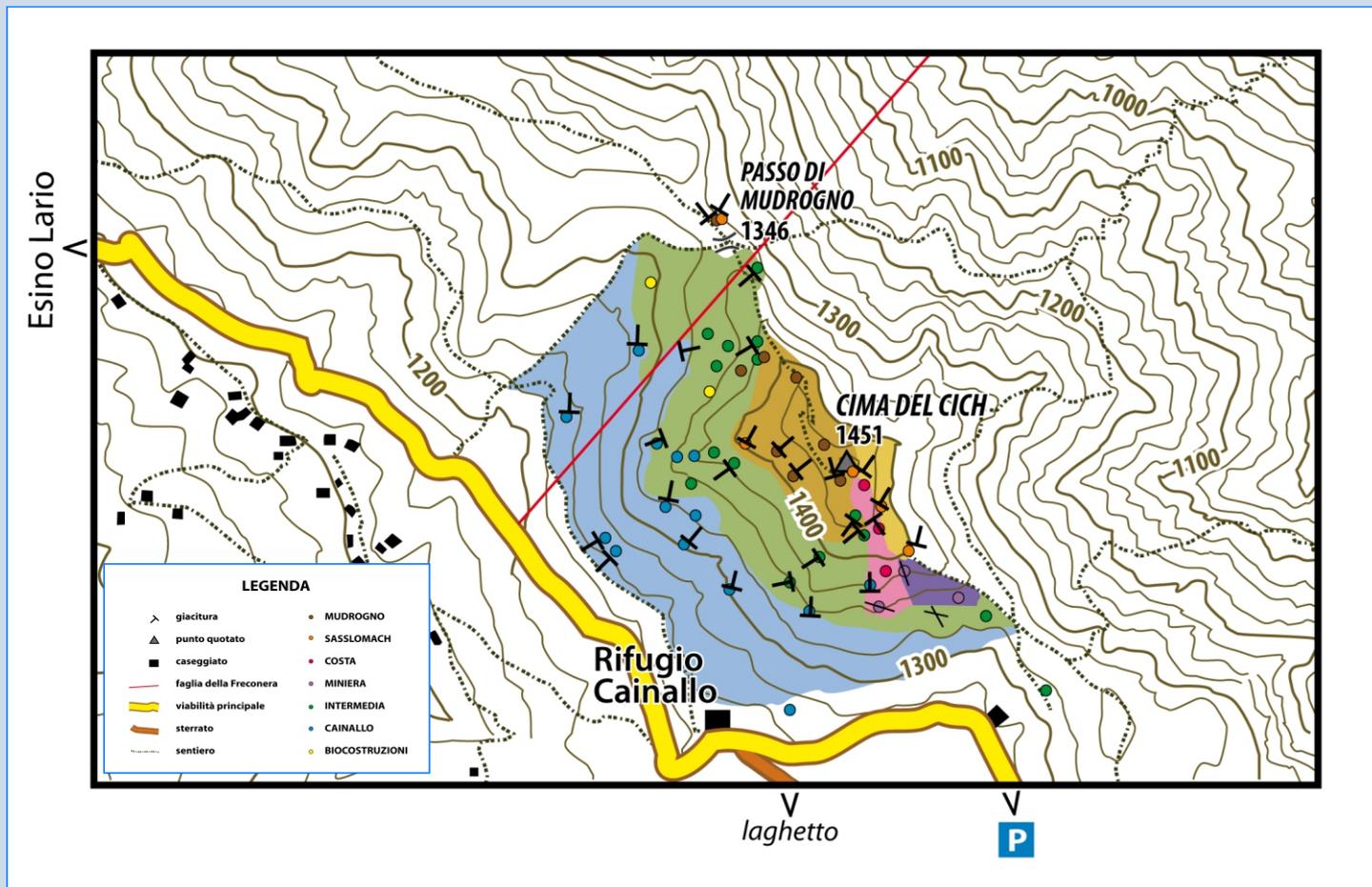


Figura 4. Carta geologico-strutturale con indicazioni geologiche e strutturali del Pizzo dei Cich

#### Carta tematica

Nelle carte tematiche che seguono sono indicate, in forma sintetica, le osservazioni effettuate e la posizione delle principali cavità esplorate. Per il significato dei simboli si veda la legenda della Carta Geologica d'Italia Foglio 76 Lecco e l'elenco delle facies indicate nel presente documento.

Per i dettagli sulle osservazioni che hanno consentito la stesura della carta geologico-strutturale che segue, si veda il documento

di campagna delle rilevazioni geologiche sul posto, eseguite tra maggio 2018 e settembre 2019, denominato «Rilevamento geologico Alta Cich», in allegato alla presente nota.

Per il limitato numero di giaciture misurate, non è possibile individuare con certezza la posizione di eventuali rilievi o avvallamenti della morfologia originale atti a ricostruire con certezza l'assetto strutturale. Tuttavia la disposizione delle giaciture nella zona calda fa pensare all'esistenza di una depressione (piega sinclinale), aperta verso valle, che potrebbe alimentare la piccola sorgente situata poco sopra al Rifugio Cainallo.

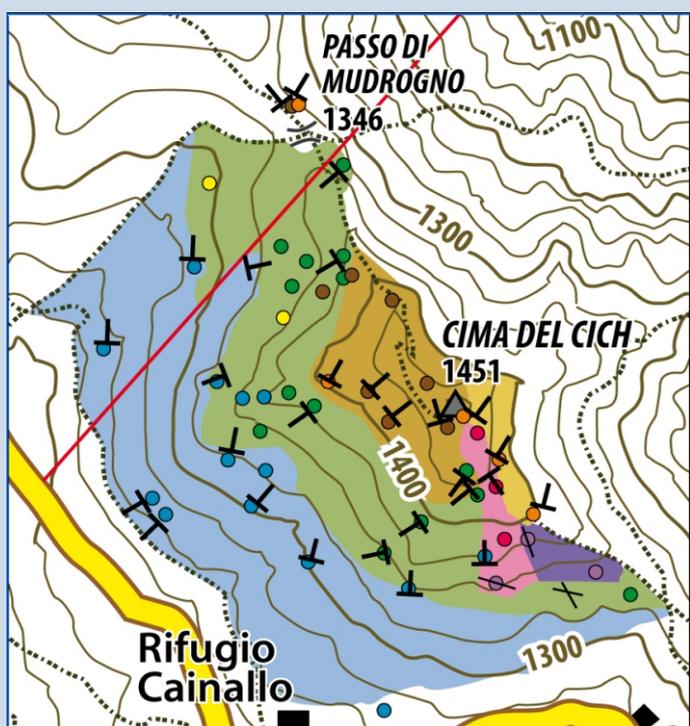


Figura 5. Carta geologico-strutturale con indicazioni geologiche e strutturali della sommità del Pizzo dei Cich (ingrandimento)



Foto 5. Grotta Popcorn: Colate tubolari - Foto S. Ghidelli



soggette a recente ringiovanimento, che spesso intercettano più antichi livelli paleocarsici.

Le cavità presenti sul versante meridionale del Pizzo dei Cich (Grotte Calde) sono caratterizzate da una temperatura media dell'aria insolitamente alta per quella quota (10-12°C). Presentano inversione termica tra estate e inverno, ma la temperatura interna, sempre insolitamente alta, fa pensare a una circolazione locale dell'aria con qualche collegamento con fratture o cavità a quota più bassa, probabilmente sul piano del Cainallo oppure nel versante verso la Valsassina.

Le cavità che si incontrano sul versante nord occidentale del Pizzo dei Cich (Grotte Fredde) sono soggette a inversione termica e presentano temperature interne di pochi gradi sopra lo zero, tipiche di quote molto superiori, paragonabili a quelle del Moncodeno. Per queste cavità si pensa a collegamenti con fessure, collegate con la Faglia della Freconera, da cui l'aria possa infiltrarsi per raggiungere zone molto profonde della montagna. La descrizione dettagliata dei fenomeni carsici rilevati nell'area oggetto di studio esula ovviamente dagli obiettivi di questo documento. Ai fini del rilievo geologico di cui stiamo trattando, indichiamo soltanto, tra le morfologie carsiche superficiali, la presenza di magnifici campi solcati soprattutto sulla costa, parallela alla Faglia della Freconera, che delimita la zona delle Grotte Calde da quella delle Fratture Fredde.

Per quanto riguarda il fenomeno carsico profondo, la cui esplorazione è spesso ostacolata dalla instabilità degli strati prossimi alla superficie, dobbiamo segnalare che le attività di ricerca e catalogazione sono ancora in corso. Al momento sono state rilevate soltanto cavità, di tipo verticale, di modesta entità, che generalmente chiudono con fratture intransitabili. Le più importanti (F1, F4, Grotta Popcorn, Sistema Vivi-Morto, Segnale



Foto 6. F4 : Ingresso - Foto S. Ghidelli

Assente) si aprono all'intersezione di linee di frattura che seguono le linee tettoniche principali dell'intera zona.

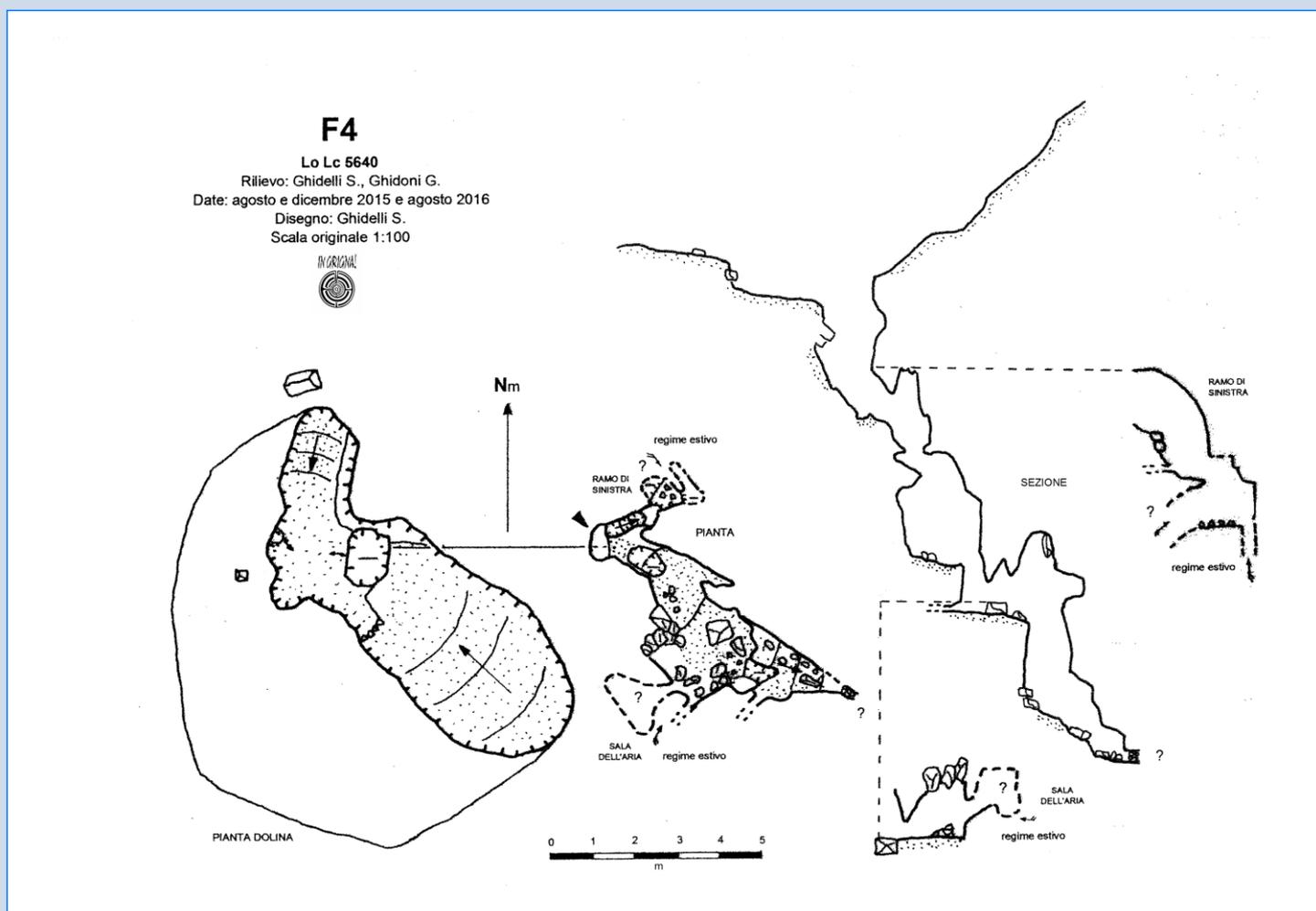
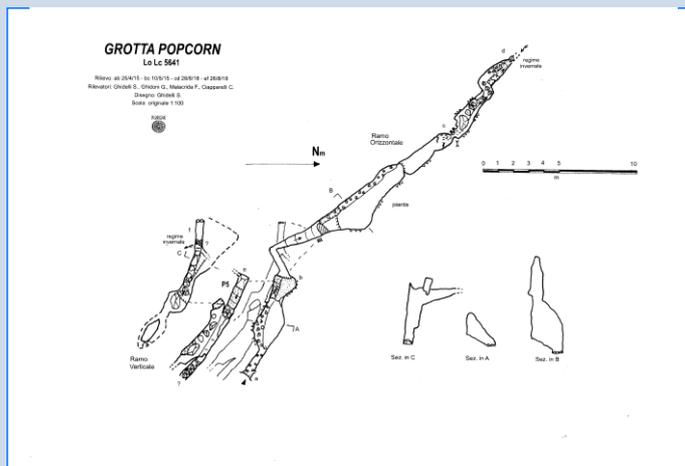


Figura 6. LoLc 5640 - F4 - Rilievo topografico

Quanto all'idrografia profonda della zona, si immagina che la Fontana del Toff, piccola sorgente perenne situata a Nord Ovest della vetta della montagna, (Q. 1200 m), possa essere una delle risorgenti delle acque assorbite dalla parte fredda, a Nord Ovest della Faglia della Freconera.

Tuttavia, data la bassa portata di tale sorgente e viste anche le caratteristiche meteorologiche delle grotte fredde, è probabile che una cospicua parte delle acque meteoriche assorbite dal terreno confluisca in sistemi carsici profondi che si collegano con le principali vie di drenaggio dei sistemi carsici della Grigna.

Invece le acque superficiali assorbite dalla parte a Sud Est della faglia, potrebbero defluire verso la Valsassina emergendo sul lato destro idrografico della valle della Freconera, poco sopra la sorgente: infatti, la quantità d'acqua che questa restituisce a valle durante i momenti di piena non trova giustificazione nel solo bacino di raccolta a monte della sorgente stessa.



42 Figura 7. LoLc 5641 - Grotta Popcorn - Pianta

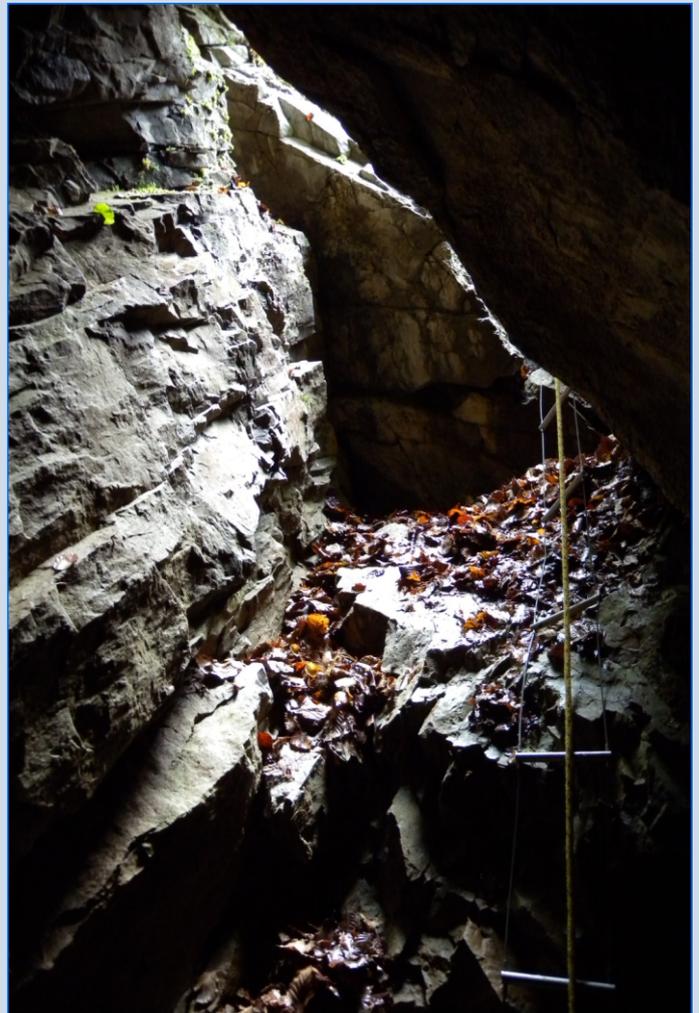


Foto 7. F1: Pozzetto d'entrata - Foto S. Ghidelli

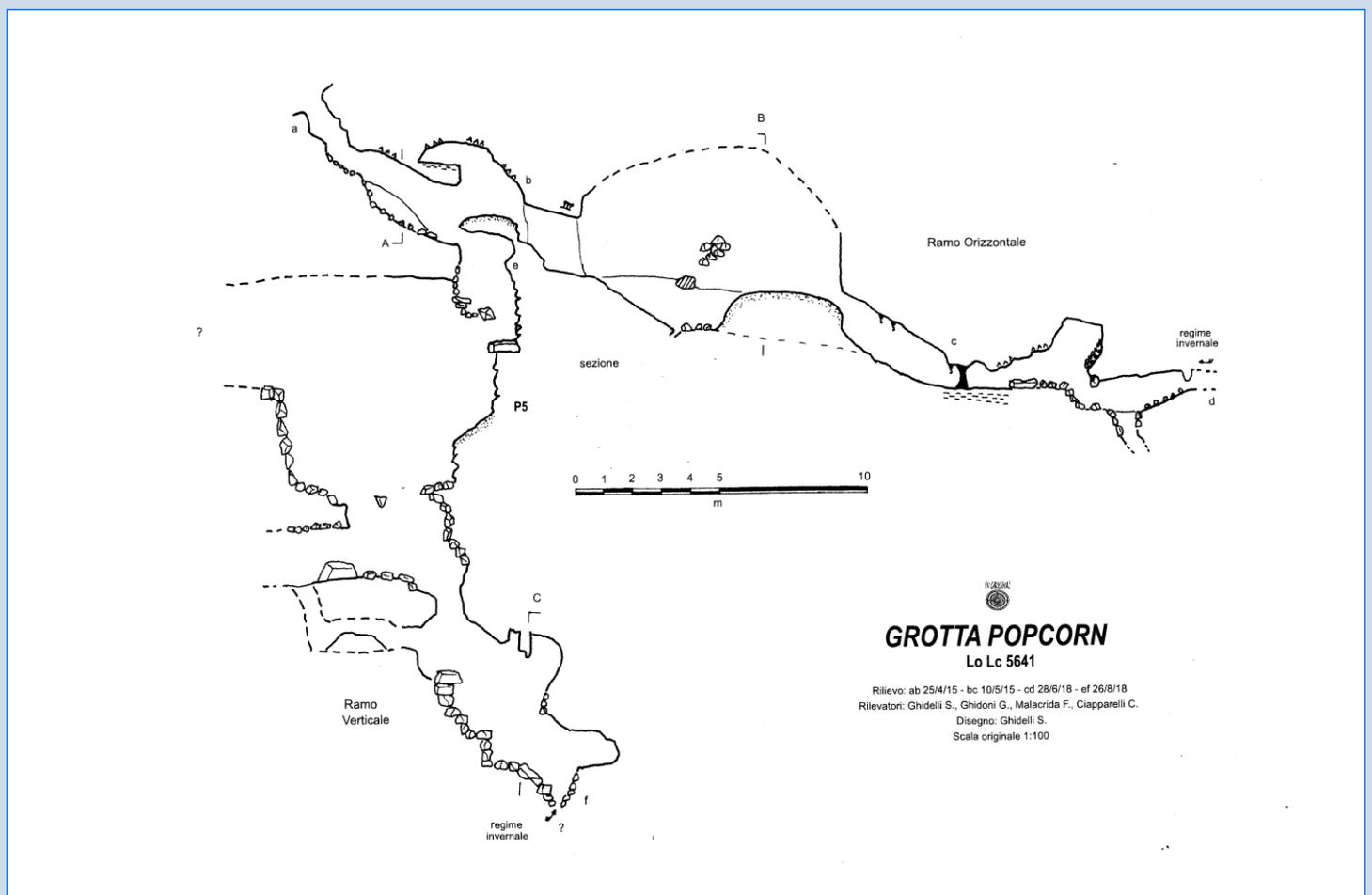


Figura 8. LoLc 5641 - Grotta Popcorn - Sezione

## Conclusioni

La parte sommitale del Pizzo dei Cich è speleologicamente interessante per i fenomeni carsici peculiari che vi si trovano.

Con questo lavoro si è cercata una spiegazione ai comportamenti anomali di tali cavità, dal punto di vista meteorologico, nella natura delle rocce ove si aprono.

Il rilievo geologico ha evidenziato l'esistenza di una situazione complessa in cui le due parti della montagna, tagliate dalla Faglia della Freconera, sembrano racchiudere due sistemi carsici differenti. La parte fredda, a Nord Ovest della faglia, presenta cavità con temperature interne molto basse e forti correnti d'aria. Queste grotte generalmente sono ad andamento subverticale, coerente con la stratificazione diretta verso Nord.

La parte calda a Sud Est della faglia ha conservato più tracce della morfologia originale che ha influenzato la genesi dei fenomeni carsici ritrovati. Le cavità sono, in generale, più orizzontali, impostate lungo una singola linea di frattura e presentano vani anche di dimensione significativa. Spesso si ritrovano passaggi in cui è presente un ricco concrezionamento.

Nella parte alta del monte, che è stata modellata dall'erosione fino a tempi più recenti, abbiamo rilevato la presenza di residui di fenomeni carsici smantellati dall'erosione (vallette chiuse, pinnacoli e bogaz).

Ma i fenomeni carsici più promettenti sono quelli della zona fredda. Questi si presentano laddove la Faglia della Freconera incontra la rete di fratture parallele al versante della Valsassina. Le grotte, generalmente strette, si aprono spesso all'incrocio di più linee di frattura e presentano un andamento sub-verticale, sono interessate da forti correnti d'aria di natura stagionale ed hanno una temperatura interna decisamente più bassa di quella prevista per la quota dell'ingresso.

Sfortunatamente il versante del Cich che guarda verso Esino in cui si aprono tali cavità è stato pesantemente modificato dal passaggio dei ghiacciai che durante il Quaternario scendevano lungo la valle occupata attualmente dal Lago di Como (o Lario). Perciò la maggior parte degli ingressi risulta pesantemente intasata da corpi di frana e masse di sedimenti. Questo

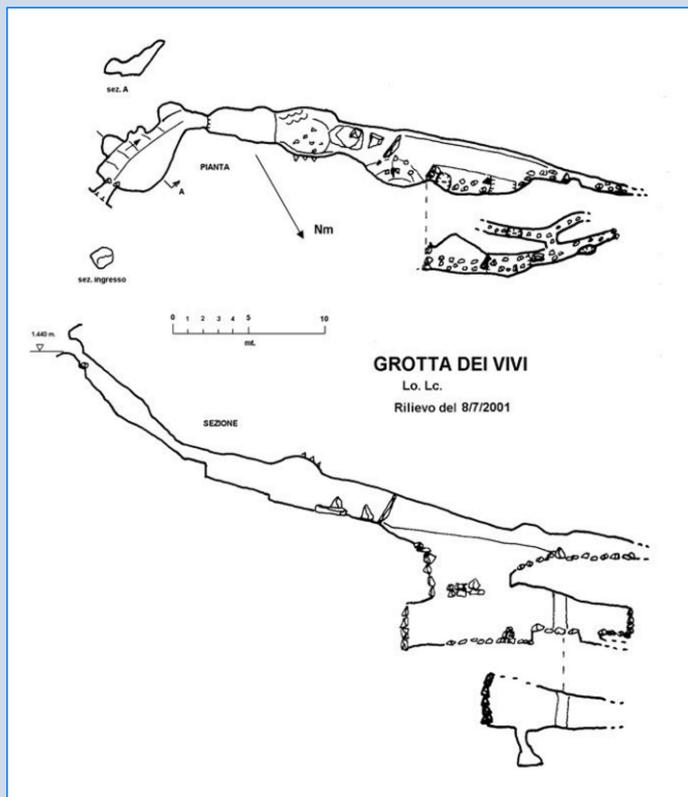


Figura 9. Grotta dei Vivi (numero catastale in assegnazione) - Rilievo

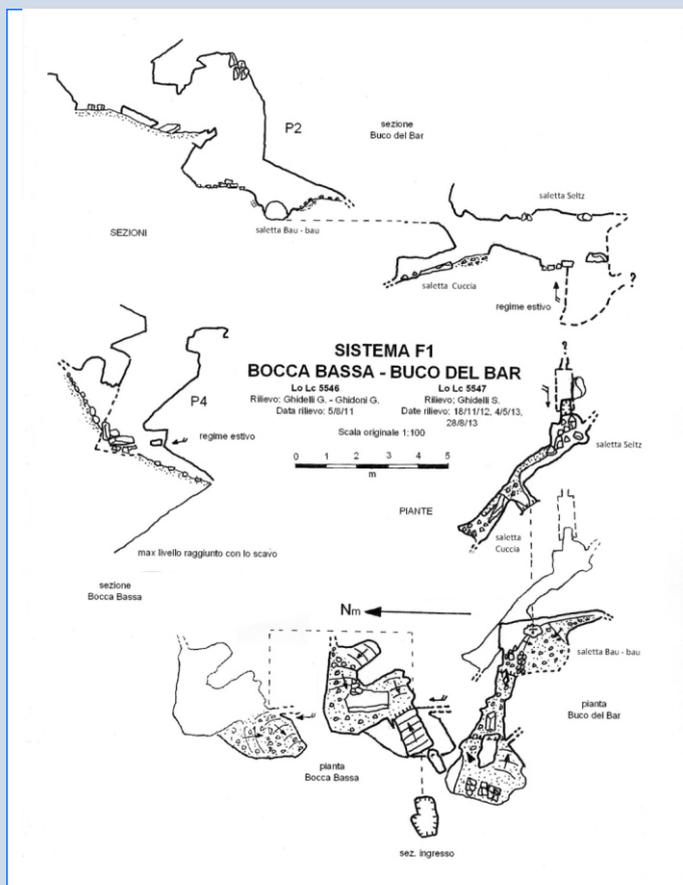


Figura 10. Sistema F1: LoLc 5546, Bocca Bassa - LoLc 5547, Buco del Bar - Rilievo topografico

fenomeno ci ha sinora impedito di accedere al sistema carsico sotterraneo (che certamente esiste visti i volumi delle masse d'aria scambiate attraverso gli ingressi). Il rilievo geologico appena portato a termine, ci ha dato una maggiore conoscenza della zona e ci ha sicuramente spronato a continuare le ricerche in aree simili che finora erano state poco battute o indagate.

Quando riusciremo a penetrare nel massiccio, avremo forse una nuova porta di accesso alle profondità della Grigna e potremo capire la natura delle particolarità meteorologiche che interessano le grotte calde e le grotte fredde del Pizzo dei Cich.

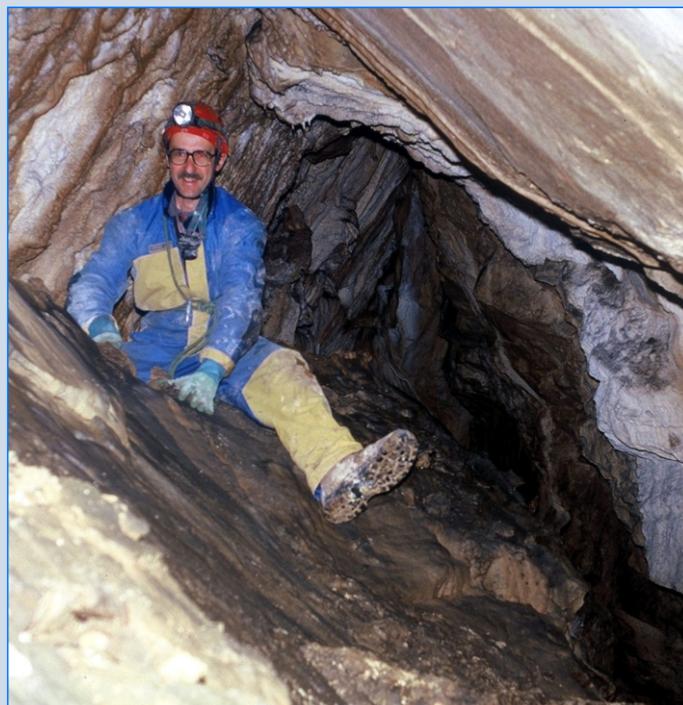


Foto 8. Grotta dei Vivi, Dorso del Dinosaurio - Foto S. Ghidelli

## GROTTA SEGNALE ASSENTE Lo Lc 5463

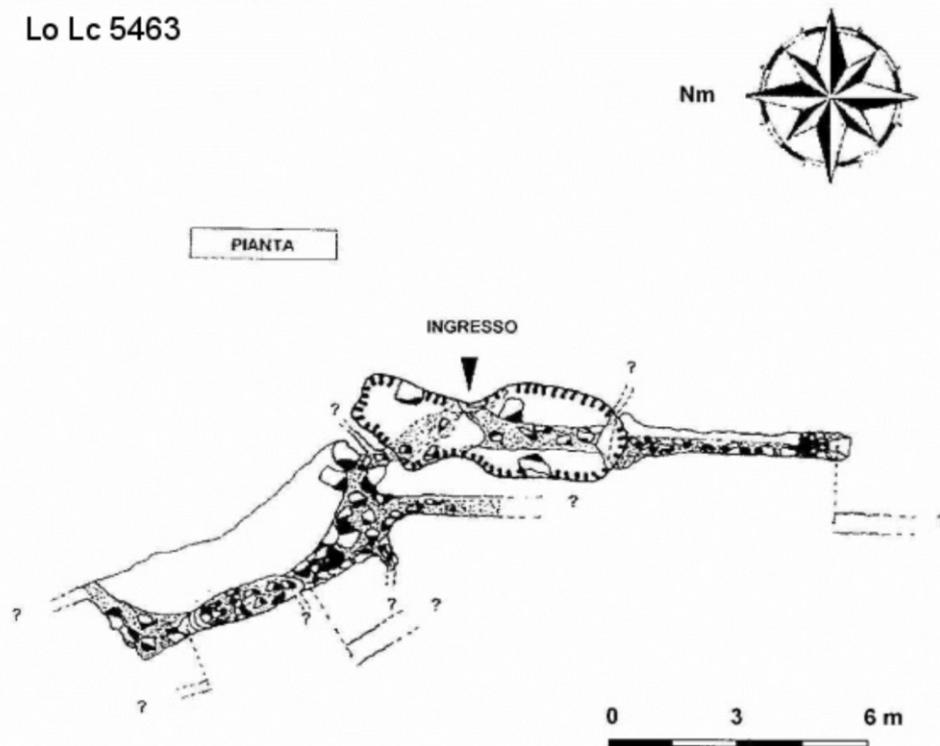


Figura 12. LoLc 5463 - Grotta Segnale Assente - Rilievo topografico

44

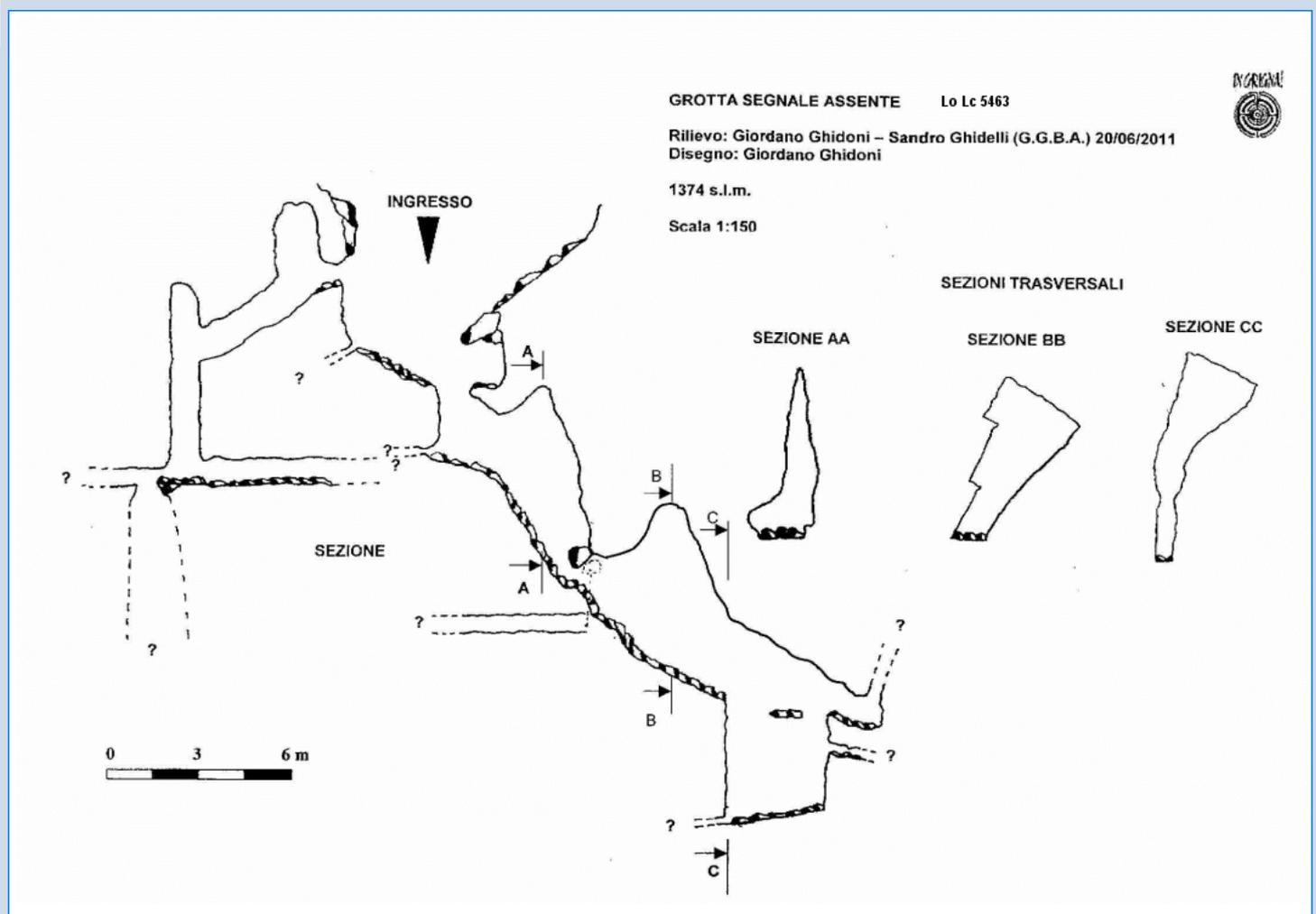


Figura 12. LoLc 5463 - Grotta Segnale Assente - Rilievo topografico

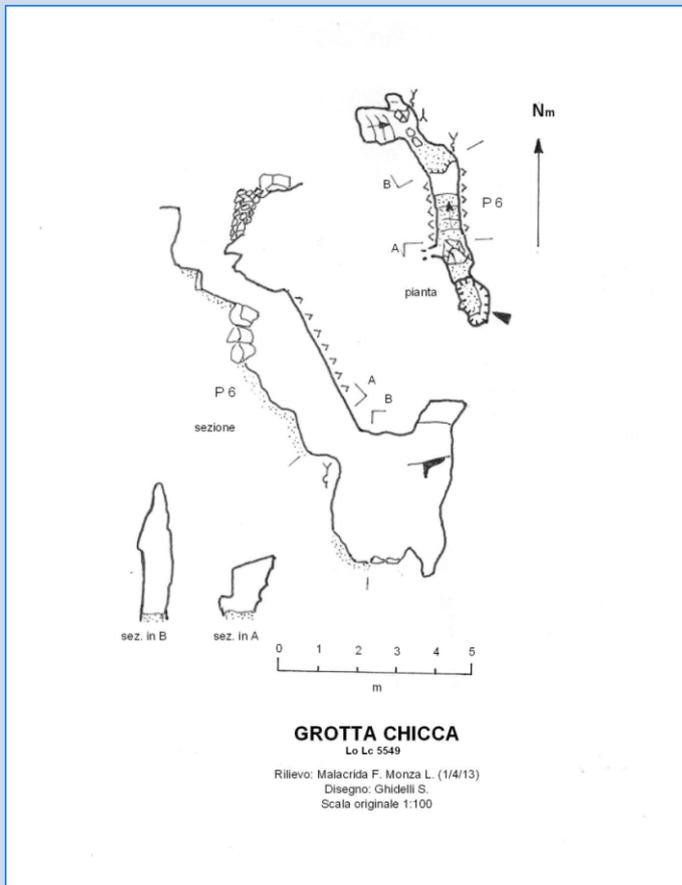


Figura 12. LoLc 5549 - Grotta Chicca - Rilievo topografico

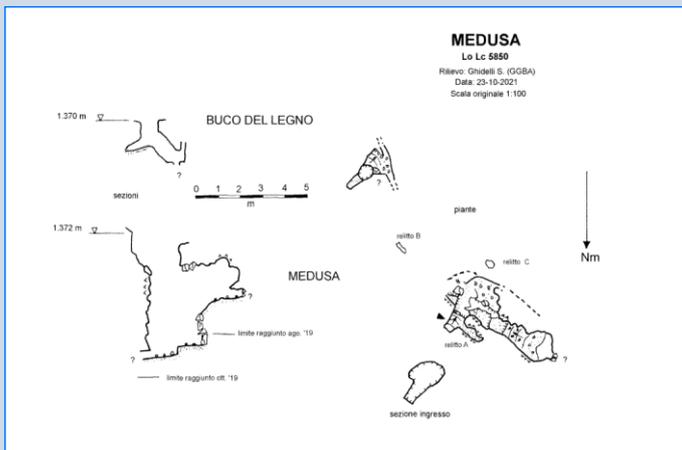
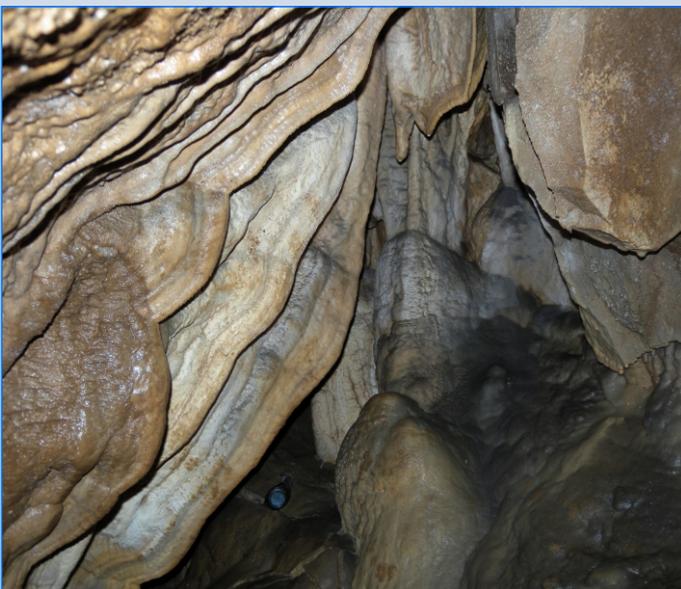


Figura 12. LoLc 5549 - Grotta Chicca - Rilievo topografico



### Riferimenti bibliografici

Bernoulli D., Winkler W. (1990), "Heavy mineral assemblages from Upper Cretaceous South and Austroalpine flysch sequences (Northern Italy and Southern Switzerland): source terranes and paleotectonic implications.", *Eclogae Geol. Helv.*, 83: 287-310;

Bertotti G., Picotti V., Bernoulli D., Castellarin A. (1993), "From rifting to drifting: tectonic evolution of the South-Alpine upper crust from the Triassic to Early Cretaceous.", *Sedimentary Geol.*, 86: 53-76;

Bini A., Pellegrini A. (1998), "Il carsismo del Moncodeno.", *Geologia Insubrica*, 3(2): 296 pp.;

Bini A., Tognini P. (2001), "Endokarst evolution related to geological, topographical and climatic evolution in the Lombard Southern Alps." *5th Workshop Alpine Geological Studies. Geol. Palaeont. Mitt. Innsbruck*, 25: 39-41;

Bini A., Tognini P., Zuccoli L. (1998), "Rapport entre karst et glaciers durant les glaciations dans les vallées préalpines du Sud des Alpes.", *Karstologia*, 32(2): 7-26;

Bini A., Zuccoli L. (2004a), "Glacial history of the southern side of the central Alps, Italy." in: J. Ehlers, P.L. Gibbard (Eds.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology*. Elsevier B.V.: 195-200;

Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J.L., Picotti V., Pini G.A., Prosser G., Selli L. (1992), "Alpine compressional tectonics in the Southern Alps; relationship with the Appennines.", *Ann. Tect.*, 1(6): 62-94;

Castellarin A., Cantelli L. (2000), "Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps.", *Journal of Geodynamics*, 30: 251-274. Il Tasso (1990), "Notizie dalla Bassa: Grotta del Morto 1782 LoCo", *Bollettino del Gruppo Grotte i Tassi*, 3: 19-20;

Jadoul F., Rossi P. M. (1982), "Evoluzione paleogeografico-strutturale e vulcanismo triassico nella Lombardia centro-occidentale." In: A. Castellarin, *Guida alla geologia del Sudalpino centro-occidentale.*, Guide Geol. Reg. S.G.I., Bologna, 143-155;

Michetti A.M., Livio F., Pasquarè F. A., Vezzoli L., Bini A., Bernoulli D., Sciunnach D. (2012), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 075 - COMO - Progetto CARG* - Ispra Servizio Geologico d'Italia;

Michetti A.M., Berlusconi A., Livio F., Sileo G. (2010), "Terremoti ed evoluzione del paesaggio in Lombardia." in Orombelli G., Cassinis G., Gaetani M. (a cura di), *Una nuova Geologia per la Lombardia*, Collana Ist. Lombardo. Acc. di scienze e lettere, LED Edizioni Universitarie, Milano, 197-212;

Gaetani M. (2010), "Evoluzione del Sudalpino Lombardo tra le orogenesi Varisca ed Alpina." in Orombelli G., Cassinis G., Gaetani M. (a cura di), *Una nuova Geologia per la Lombardia*, Collana Ist. Lombardo. Acc. di scienze e lettere, LED Edizioni Universitarie, Milano, 197-212;

Sileo G., Giardina F., Livio F., Michetti A. M., Mueller K., Vittori E. (2007), "Remarks on the Quaternary tectonics of the Insubria Region (Lombardia, NW Italy, and Ticino, SE Switzerland)", *Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.)*, 126(2): 411-425, 11 figs.;

Winterer E.L., Bosellini A. (1981), "Subsidence and sedimentation on a Jurassic passive continental margin, Southern Alps, Italy.", *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 65(3): 393-421, Tulsa.

Foto 9. Grotta Popcorn: saletta concrezionata - Foto S. Ghidelli

# Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica

Gian Domenico Cella (a), Maurizio Miragoli (b)

(a) Gruppo Grotte CAI Novara, Comitato Scientifico SO Bossea CAI; (b) Federazione Speleologica Lombarda, SO Bossea CAI

2018-2022



Foto 1. Test di lancio di CO<sub>2</sub> - Foto S. Zaccherini

## Riassunto

Sulla base dei dati di letteratura e della norma ASTM E-741, che descrive una tecnica atta a misurare volumi di ambienti chiusi, è stata ottimizzata una metodologia originale di tracciamento aereo, che permette il rilevamento quantitativo dei flussi aerei all'interno di una cavità. Essa consiste nel liberare una quantità nota di anidride carbonica nel settore ipogeo di interesse, dato facilmente quantificabile pesando la bombola del gas prima e dopo il lancio, e nel rilevarne il passaggio tramite una sonda dotata di data logger per la misura della CO<sub>2</sub>.

Per avere misure quantitative è necessario conoscere la portata dell'aria in corrispondenza della sezione ove è posta la sonda: questa è determinabile sia con un certo numero di misure spot o, meglio ancora, mediante un anemometro dotato di data logger. Ulteriori parametri da acquisire, necessari per un corretto calcolo quantitativo del tracciante transitato, sono temperatura e quota della stazione ricevente.

I vari approcci di calcolo ci permettono una corretta determinazione quantitativa: ma quella che noi consigliamo

vivamente è quella che si rifà alla classica analisi chimica dei gas per via stechiometrica, e cioè di ricondurre tutte le misure alle condizioni standard (0 °C, 1 atm). In queste condizioni 44 g di CO<sub>2</sub> occupano 22,14 litri di volume; la concentrazione della CO<sub>2</sub> rilevata in uscita, usualmente in ppm, andrà poi riportata alle condizioni standard, tenendo conto della temperatura e della quota della grotta.

Un foglio di calcolo excel che semplifica i calcoli può venire richiesto all'autore.

L'analisi della curva di risposta (Figura 1, pagina successiva) ci fornisce utili informazioni sul tratto ignoto della grotta:

- l'area del picco (A) ci fornisce la quantità del tracciante transitato;
- la forma del picco (F) ci dà informazioni sulla forma delle gallerie attraversate;
- il tempo che intercorre dal lancio all'arrivo del tracciante (ti), correlato alla velocità media dell'aria, ci fornisce una prima stima della lunghezza del tratto ignoto;

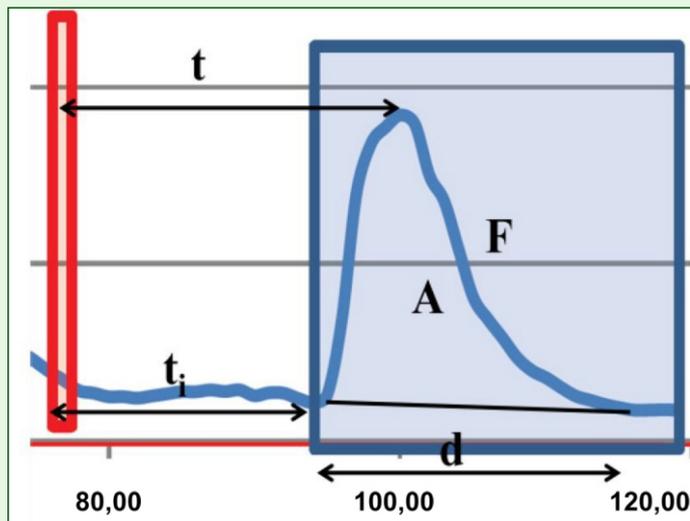


Figura 1. Picco di transito

• la durata del transito ( $d$ ) è funzione della distanza percorsa e degli ostacoli incontrati.

Le modalità operative sono dettagliatamente riportate in Cella (2019).



Figura 2. Rilevatore del tracciante con data logger

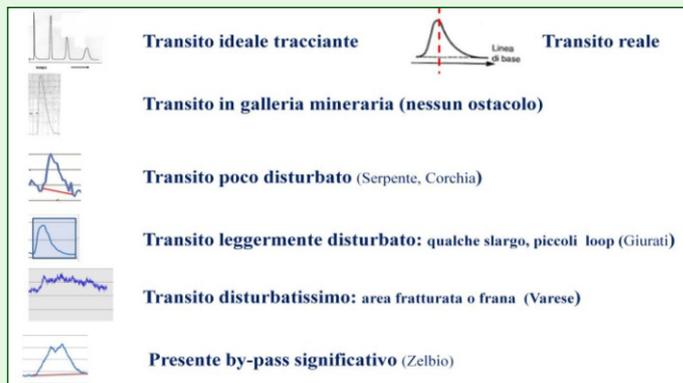


Figura 3. Tipici picchi di transito

A titolo di esempio riportiamo i risultati ottenuti da alcuni tracciamenti effettuati:

Località	Lancio	Rilevatore	Tracciante transitato (%)	Distanza (stima, m)	Distanza reale (m)
Giurati (VA)	Ingr. alto	Ingr. basso	101	168	170
Tivano (CO)	Zelbio	Bianchen	109	625	651
Corchia (LU)	Area turistica	Serpente	12	170-650	~ 150
Turbiglie (CN)	Vipere	Turbiglie	44	390	~400

L'impatto ambientale è minimo, avendo l'avvertenza di rilasciare il tracciante in modo non istantaneo ed evitando di dirigerlo contro le pareti e il pavimento della grotta: tipicamente abbiamo osservato un abbassamento della temperatura di circa  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e una diminuzione di ossigeno da 21% al 20,5% per la prima decina di metri. I punti di forza della metodologia sono: facilità esecutiva, costo contenuto, impatto ambientale trascurabile. I limiti sono rappresentati dalla presenza naturale di diossido di carbonio che, abbassando la sensibilità del metodo, richiede una preventiva acquisizione della concentrazione di base e rende problematica l'applicabilità a sistemi di grande estensione.

#### Riferimenti bibliografici

Cella GD, (2019), Tracciare le correnti d'aria con l'anidride carbonica. Modalità operative. Labirinti n. 39, pp 54-60.

Foto 2. Test di lancio di  $\text{CO}_2$  - Foto GD. Cella

# Altopiano di Cariadeghe

## Ricerca di correlazioni tra ingressi tramite monitoraggio e analisi delle temperature (Serle - Bs)

Massimo Pozzo (a), Maurizio Miragoli (b), Vincenza Franchini (c)

(a) Underland; (b) Federazione Speleologica Lombarda; (c) Gruppo Grotte Brescia

2018-2022



Figura 1. Limiti ipotetici dell'area carsica in oggetto - Grafica M. Pozzo

### Riassunto

Studio di monitoraggio e analisi delle temperature degli ingressi delle cavità e del sistema carsico profondo dell'Altopiano di Cariadeghe (Bs), che in questa sede viene maggiormente approfondito, come indicato nel riassunto originale del testo al Congresso.

Si presenta l'inquadramento geografico e geologico dell'area carsica relativa all'Altopiano di Cariadeghe (Serle - Bs), in relazione alla circolazione dei flussi d'aria sotterranei riscontrati all'interno del complesso carsico, facente capo all'Omber en banda al Bùs del Zel (LoBs 247) e agli ingressi presenti sul territorio, e le motivazioni che hanno portato alla realizzazione del progetto denominato "Ariadeghe".

Il presente lavoro analizza i risultati dei monitoraggi con tecniche matematiche innovative al fine di individuare correlazioni tra le bocche e quindi di creare raggruppamenti di grotte che saranno obiettivo di ulteriori indagini esplorative sul campo.

L'obiettivo principale del progetto, è stato accompagnato da un aggiornamento catastale di tutte le cavità dell'area con tecniche

moderne, dalla realizzazione del modello 3D generale e dalla produzione di una "Carta della circolazione dei flussi d'aria" (con mappatura interna e presso gli ingressi).

Queste metodologie si sono rivelate preziose per integrare i risultati matematici e quindi per dare un senso speleologico ad un'area estesa e ricca di grotte le cui connessioni analizzate con tecniche tradizionali avrebbero richiesto anni ed anni di lavoro sul campo, specialmente considerando il contesto territoriale sottoposto a norme di tutela da zona protetta.

I risultati estratti dai campionamenti in molte delle grotte dell'altopiano in periodo estivo ed invernale, aprono quindi nuovi scenari che verranno approfonditi con nuove tecniche già collaudate, di test odorosi e monitoraggi con apparecchiature più specifiche ed in corso di realizzazione. La strada da seguire di conseguenza sembra quella consigliata da M. Miragoli, in abbinamento a nuove campagne di ricerca mirate verso le cavità che hanno dimostrato di avere requisiti più allettanti, sia dal punto di vista speleologico che di correlazione e analisi dei dati.



### Premessa

Si presenta un inquadramento dell'area carsica relativa all'Altopiano di Cariadeghe (Serle, Bs) con approfondimento sulla circolazione dei flussi d'aria sotterranei riscontrati all'interno del complesso carsico facente capo all'Omer en banda al Bùs del Zel (LoBs 247) e alle bocche alitanti presenti sul territorio. Si espongono le motivazioni che hanno portato alla realizzazione di un progetto di monitoraggio delle temperature interne-esterne e presso le bocche alitanti, e i risultati di eventuali correlazioni tra di esse, al fine di tentare ulteriori ragionamenti e/o ipotesi per l'individuazione di nuovi orizzonti esplorativi.

### Inquadramento geografico

L'Altopiano di Cariadeghe è compreso per la maggior parte nel territorio del Comune di Serle (Bs) e si insedia nell'area di affioramento della formazione calcarea della Corna che occupa una fascia di territorio che da Brescia protende verso NE fino alla sponda bresciana del Lago di Garda con massicci che superano anche i 1500 metri (Monte Pizzocolo). Si presenta dalla pianura come una struttura montuosa unica e circondata a settentrione da valli incise, ma per interessi speleologici è da suddividere in due ulteriori settori carsici: l'Altopiano di Cariadeghe e l'Altopiano di Tesio. Questa distinzione è possibile a seguito di alcuni test di tracciamento delle acque sotterranee i cui risultati sono stati presentati in due convegni (1991, 2000), dimostrando connessioni tra:

- il sistema di cavità posto ad Ovest della struttura (Cariadeghe) e la sorgente Zugna, presso il comune di Nave;
- le cavità concentrate ad Est (Tesio), con la sorgente Rudone, presso il Comune di Paitone.

La struttura è delimitata a Nord dal tracciato del Torrente Garza, che dalla località Sant'Eusebio scende verso i comuni di Caino e poi Nave, e da quello del Torrente Vrenda, che scorre in direzione opposta verso Vallio Terme. Verso Sud e SE degrada fino a farsi circondare dalla Pianura Padana, con un paesaggio deturpato dalla presenza di cave di estrazione marmifera a cielo aperto.

Il settore di Cariadeghe è dominato dalla linea di cresta che dalla

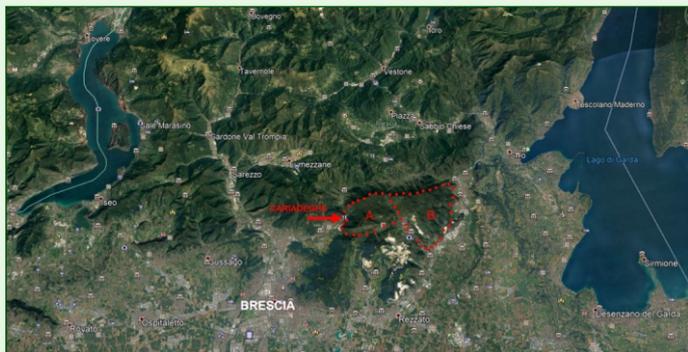


Figura 2. Inquadramento provinciale dell'area oggetto di studio

Foto 1. L'Altopiano di Cariadeghe visto da Sud (Serle) - Foto M. Pozzo

Boca del Zuf (950 m) arriva verso Ovest alla cima del Monte Ucia (1168 m) e Monte Dragone (937 m), da cui parte poi una dorsale montuosa che attraverso il Monte Dragoncello (1097 m) scende verso SSW e si collega alla cima del M. Maddalena (929 m). Il suo limite a Sud comprende le pendici del M. Dragoncello, il Monte Zucco (986 m) e il Monte Orsino (932 m, Santuario di San Bartolomeo). Verso Est, la linea di separazione ipotetica con il settore carsico di Tesio è identificabile nella struttura di scorrimento della Paleofaglia di Paitone o Linea del Casinetto, che partendo dalla sorgente Rudone (a quota 190 m), traccia una retta presente in carta geologica che arriva esattamente fino alla Boca del Zuf.

I limiti ipotetici di quest'area carsica non superano i 15 Km<sup>2</sup> di superficie, per un dislivello massimo di 920 metri circa dalla vetta del Monte Ucia alla Sorgente Zugna (Figura 1).

Il settore di Tesio, che non tratteremo, inizia dal valico della Boca del Zuf e segue la linea di cresta verso Est con le cime del Monte Fontanelle (929 m), del Monte Olivo (934 m) e del Monte Tre Cornelli (877 m), degradando fino al Comune di Gavardo (Valle Sabbia).

Il settore Sud di tutta la struttura è delimitato ad Est dai Monti Paitone (328 m) e Budellone (396 m) e a SW da una propaggine sempre formata da un nucleo carbonatico che comprende i monti Camprelle (563 m), Fieno (437 m), Regogna (411 m) e Marguzzo (455 m). All'interno di questa propaggine c'è la Valverde, una piana che la separa dal Monte Maddalena (Comune di Botticino) che è solcata dal Rio Rino e ritorna verso Nord ai piedi del Monte Fratta (698 m) e il Monte Paina (671 m). In questa zona sono presenti diverse sorgenti e risorgenze carsiche di bassa portata, localizzate tra quota 480 m e 300 m (San Vito, Ghiacciarolo), che non presentano, per comparazione parametri (temperatura, conducibilità, densità di salinità, Tab. 1), connessioni con l'acquifero di Cariadeghe.

Sorgente	07/02/2021			
	TEMP	CONDUCIBILITA'	PPT	TEMP
<b>Cariadeghe</b>				
S. Vito Fiume	8,8	521	287	8,9
S. Vito Sorgente	10	572	314	10,1
Sorgente Zugna	10,1	364	200	10,2
<b>Tesio</b>				
Sorgente Rudone	12,1	492	197	

Tabella 1. Parametri delle acque raccolti presso le principali risorgenze locali

### Inquadramento geologico

Le Prealpi bresciane rientrano nel dominio "Sudalpino", che risulta separato dall'edificio alpino dalla "Linea Insubrica", importante linea di dislocazione con andamento E-W (dal Passo del Tonale al Passo dell'Aprica in provincia di Bs). I domini paleogeografico-strutturali, sono i tasselli in cui sono state distinte le diverse masse rocciose che compongono tutta la catena alpina.

Le principali rocce carbonatiche presenti nella struttura dell'altopiano sono:

**Dolomia Principale** (circa 220 milioni di anni, Triassico Superiore, Norico): è la formazione più antica, data da dolomie e calcari dolomitici, da grigio chiari a grigio scuri, massicci o suddivisi in bancate potenti. Contengono fauna fossile tipica costituita da bivalvi, gasteropodi e alghe calcaree. È visibile perché intagliata dalla valle di Caino e di Vallio, al limite settentrionale dell'altopiano.

**Calcare di Zu** (circa 205 milioni di anni, Triassico Superiore, Retico): è composto da calcari e calcari marnosi grigio scuro, alternati a marne e argilliti. Contiene brachiopodi, lamellibranchi, gasteropodi e localmente bancate coralline massicce a tratti. È visibile sul versante settentrionale del M. Ucia e del M. Dragone, ad Est della Faglia del Casinetto (area base militare) e ad Est del Monte Olivo, dove si presenta localmente dolomitico. All'interno del sistema carsico, si riscontra nella Sala Sakem (q. 580) e in altri collassi sottostanti (Sala Allegretti, q. 500), fino a comprendere tutto il ramo del fondo.



Foto 2. Sorgente Zugna in regime di portata media - Foto M. Pozzo

**Corna** (circa 200 milioni di anni, Giurassico Inferiore, Hettangiano): caratterizza in affioramento tutta la struttura dell'altopiano di Cariadeghe descritta nell'inquadramento geografico, oltre al versante orientale del Monte Maddalena fino alla città di Brescia (S. Eufemia). In prevalenza si tratta di calcari compatti, bianco-nocciola o bianco-avorio, grigi, bruni o in grosse bancate plurimetriche (Marmo di Botticino), ma localmente può passare a calcare dolomitico o dolomia cristallina non stratificata. I calcari contengono una fauna fossile tipica di mare basso in cui si trovano alghe calcaree, spugne, coralli, echinodermi, brachiopodi, lamellibranchi, gasteropodi e foraminiferi.

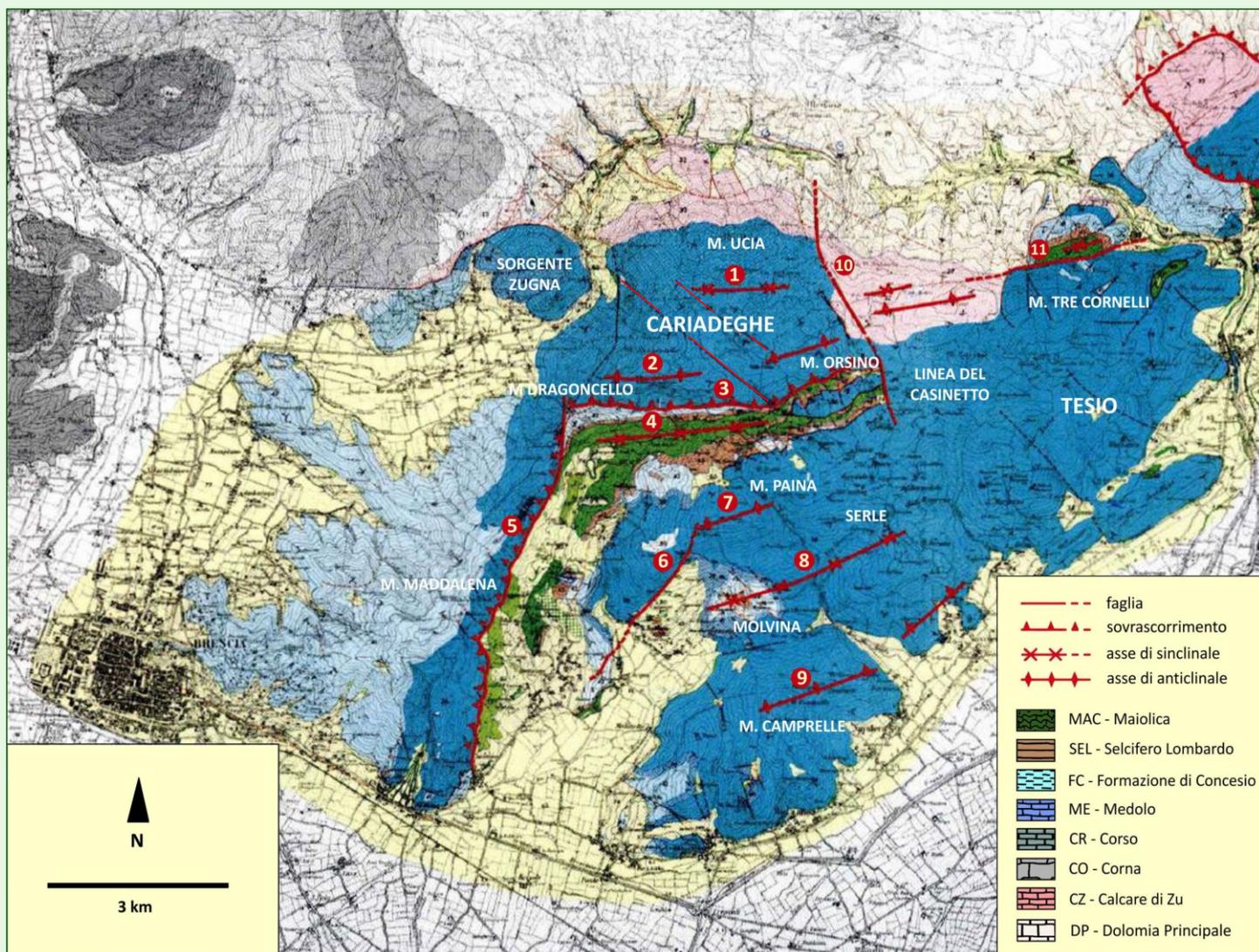


Figura 3. Indicazione dei maggiori elementi tettonici a scala locale (Schirolli, 1997, 1998). Estratto da: Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a Sud dell'Adamello, Foglio Est - Università di Pavia (1972) - Scala 1:50.000

**Corso Auctorum** (circa 190 milioni di anni, Giurassico Inferiore, Sinemuriano-Pliensbachiano): si tratta di calcari e calcari marnosi ben stratificati con presenza di selce in varietà sia chiara che rossastra. Le riscontranze di presenza di ammoniti permettono di collocarlo nel lias medio e inferiore. Compare localmente in alcuni tratti della struttura.

**Medolo** (circa 190 milioni di anni, Giurassico Inferiore): calcari a stratificazione molto evidente da cui si ricavano piccoli blocchi quadrati detti "médoli". Più o meno marnosa, di colore grigio, contiene liste e noduli di selce. La stratificazione ha strati di spessore maggiore rispetto a quelli del Corso, separati da pacchi di marna o da interstrati argillitici. Non è presente nell'area specifica dell'Altopiano di Cariadeghe, ma ricopre le pendici occidentali del M. Maddalena fino alla sorgente di Mompiano (che alimenta Brescia) e Nave.

**Gruppo di Concesio** (da 184 a 170 milioni di anni, Giurassico medio inferiore): marne di vario colore e friabili (sotto il nome di Membro di Molvina) caratterizzano la porzione inferiore di questa unità, che ricopre il Medolo o il Corso e ne segue grosso modo le aree di affioramento ad occidente del Monte Maddalena l'unità è sostituita dalla formazione di Villa Carcina. Nella parte superiore alle marne, si aggiungono strati di calcare marnoso grigio-nocciola riferibili al Giurassico Medio (Dogger).

**Selcifero Lombardo** (da 170 a 150 milioni di anni, Giurassico Medio-Superiore): sotto la Trinità di Botticino e lungo la strada che collega San Gallo e Villa (Serle) si osservano i più estesi affioramenti. La parte inferiore data da visibili strati sottili di selci policrome (Radiolariti del Selcifero Lombardo), passa superiormente a marne calcaree e calcari marnosi silicei rossastrati di maggiore spessore, contenendo ancora selce in noduli (Rosso ad Aptici).

**Maiolica** (all'incirca da 148 a 120 milioni di anni, Cretacico

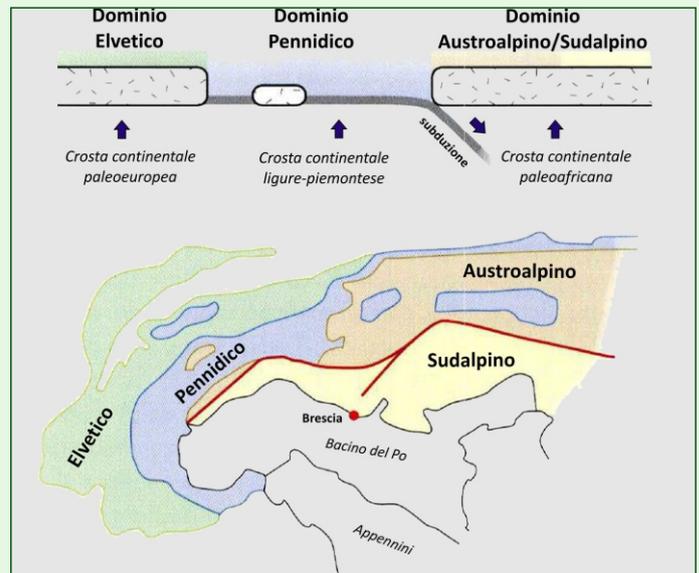


Figura 4. Distribuzione dei maggiori domini paleogeografico-strutturali nella catena alpina e schema semplificato della loro naturale posizione originaria durante il Cretaceo, all'inizio del processo di riavvicinamento delle placche paleoeuropea e paleoaficana, che porterà allo scontro tra le due masse e all'innalzamento dell'edificio alpino - Schirolli - 1997

Inferiore, Titoniano Superiore-Aptiano Inferiore): costituita da calcari pelagici molto compatti e a frattura concoide, con stiloliti (linee ocracee simili a suture craniali). Gli strati hanno spessore da centimetrico a decimetrico. Contiene calpionelle, aptici, foraminiferi e radiolari.

### Tettonica

Il quadro attuale del territorio è la conseguenza di un riassetto ancora in corso della superficie della crosta terrestre iniziato

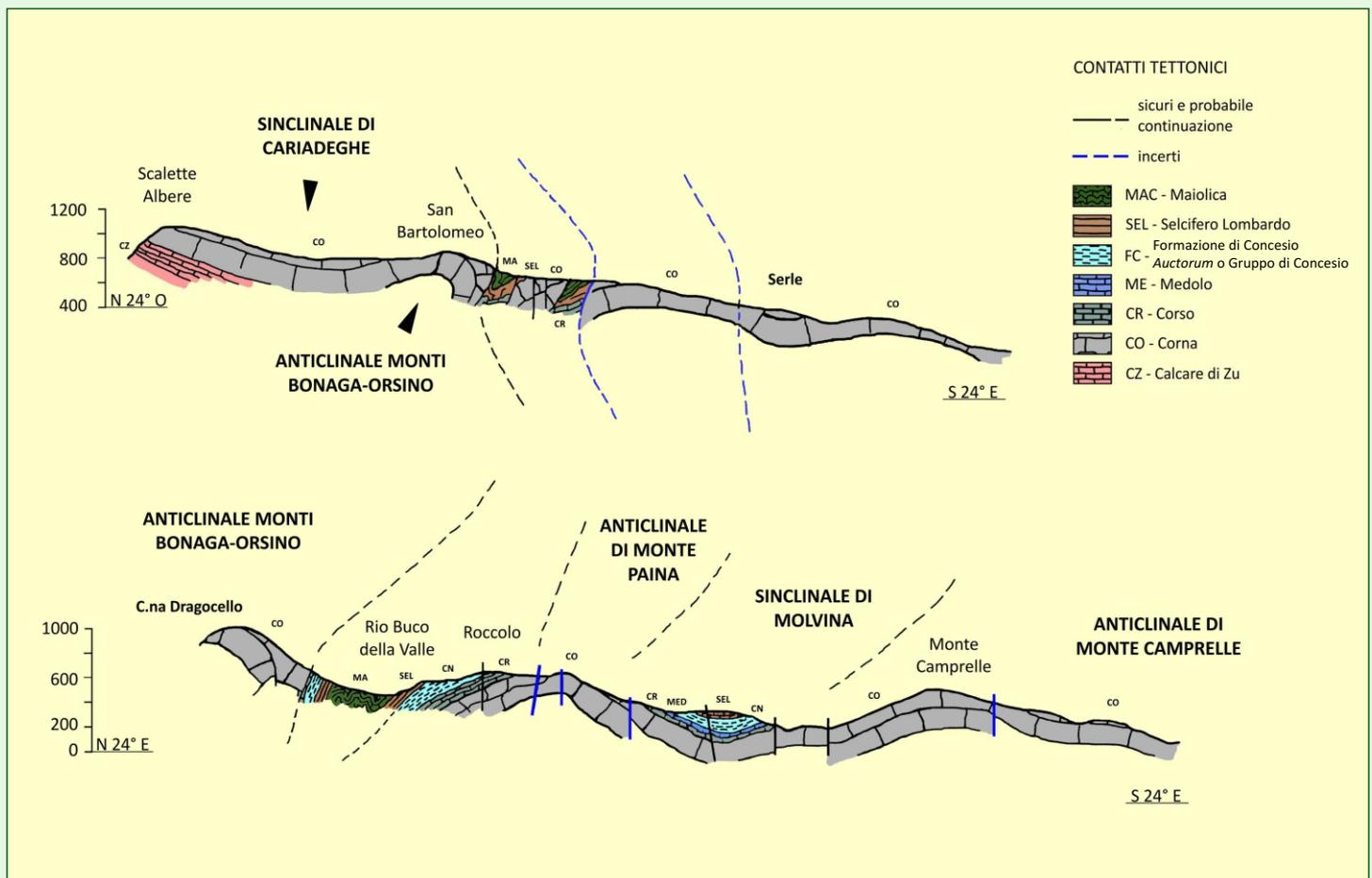


Figura 5. Sezioni geologiche che attraversano con andamento NW-SE il territorio compreso tra Botticino e Serle (da Cassinis, 1968 - Rielab. grafica: M. Pozzo)

circa 115 milioni di anni fa. Le principali strutture tettoniche relative al territorio bresciano si sarebbero generate durante il periodo del Miocene (24-6 milioni di anni fa). Facendo riferimento a faglie (dislocazione verticale e/o orizzontale tra comparti di roccia adiacente), a pieghe ed ai sovrascorrimenti (accavallamento di ampi ammassi rocciosi), da Brescia verso Est si assiste al passaggio di strutture da una direzione W-E/WSW-ENE, detta orobica, alla direzione SW-NE/SSW-NNE detta giudicariense. Questi due gruppi distinti di strutture sono allineati alle maggiori direttrici tettoniche regionali, date dalla "Linea del Tonale" e dalla "Linea delle Giudicarie", entrambi facenti parte della "Linea Insubrica".

Il blocco calcareo della Corna, e localmente anche il Calcare di Zu, delimitato dal Monte Ucia e dal Monte Olivo a nord, e dall'allineamento Monte Dragoncello, Monte Zucco e Monte Orsino a Sud, presenta una curvatura con concavità verso l'alto e bancate più recenti al nucleo, detta Sinclinale di Cariadeghe (Fig. 3). Verso Sud questa struttura termina nell'Anticlinale dei Monti Bonaga e Orsino (2), con una piega convessa verso l'alto, il cui fianco meridionale evolve in una faglia inversa, la Linea di Val Salena-locanda Badia (3), che porta la Corna a sovrapporsi al fianco settentrionale della Sinclinale di Botticino Sera-San Gallo-Villa di Serle (4) nel tratto che congiunge la località San Gallo a Serle. Questa struttura presenta andamento giudicariense (NNE-SSW) da San Gallo a Caionvico, e andamento orobico da San Gallo a Villa. Questa sinclinale racchiude nel suo nucleo un'altra successione di formazioni, che va dal Medolo alla Scaglia Lombarda, con forte prevalenza della Maiolica.

La Linea della Maddalena (5) e un'altra quasi parallela (6 - Linea di Botticino Mattina), con andamento SSW-NNE, portano la Corna a sovrascorrere sulla sinclinale tra Botticino Sera e San Gallo, con sforzi compressivi.

Un'ulteriore successione di pieghe con asse di direzione WSW-ENE (7-8-9), cioè l'Anticlinale del Monte Paina (nella Corna), la Sinclinale di Molvina (Selcifero Lombardo al nucleo) e l'Anticlinale del Monte Camprelle (nella Corna) e una serie di disturbi tettonici con orientamento NW-SE o NNW-SSE, di cui il



Foto 3. La concentrazione di doline in tutto l'areale è altissima, molto simile a quella del Carso triestino: alcune hanno diametri superiori ai 50 metri e dislivelli di decine di metri

più importante è la Faglia del Casinetto (10), che interrompe ad Est la Sinclinale di Botticino-Serle (4), provoca l'innalzamento relativo del blocco orientale.

Verso il comune di Gavardo, e nel settore dell'Altopiano di Tesio si trovano, a Nord del Monte Tre Cornelli, la Sinclinale dei Casini S. Filippo (11) ad asse WSW-ENE con successione che va dalla Dolomia Principale alla Maiolica. La Faglia dei Casini, orientata allo stesso modo, taglia il fianco meridionale della piega.

È importante, per l'approccio speleologico ed uno studio approfondito del suo sistema carsico, considerare la presenza di faglie e pieghe in una loro continuità ipogea e i relativi orientamenti che, nel caso specifico dell'altopiano di Cariadeghe, presentano evidenti correlazioni con gli allineamenti delle direttrici tettoniche regionali facenti capo alla "Linea Insubrica".

### Inquadramento speleologico

L'Altopiano di Cariadeghe è stato descritto e aggiornato nel corso di un centennio, a seguito dell'intensa attività speleologica condotta dai gruppi bresciani: in bibliografia sono presenti indicazioni su alcuni dei testi più esaurienti, tra cui il più recente

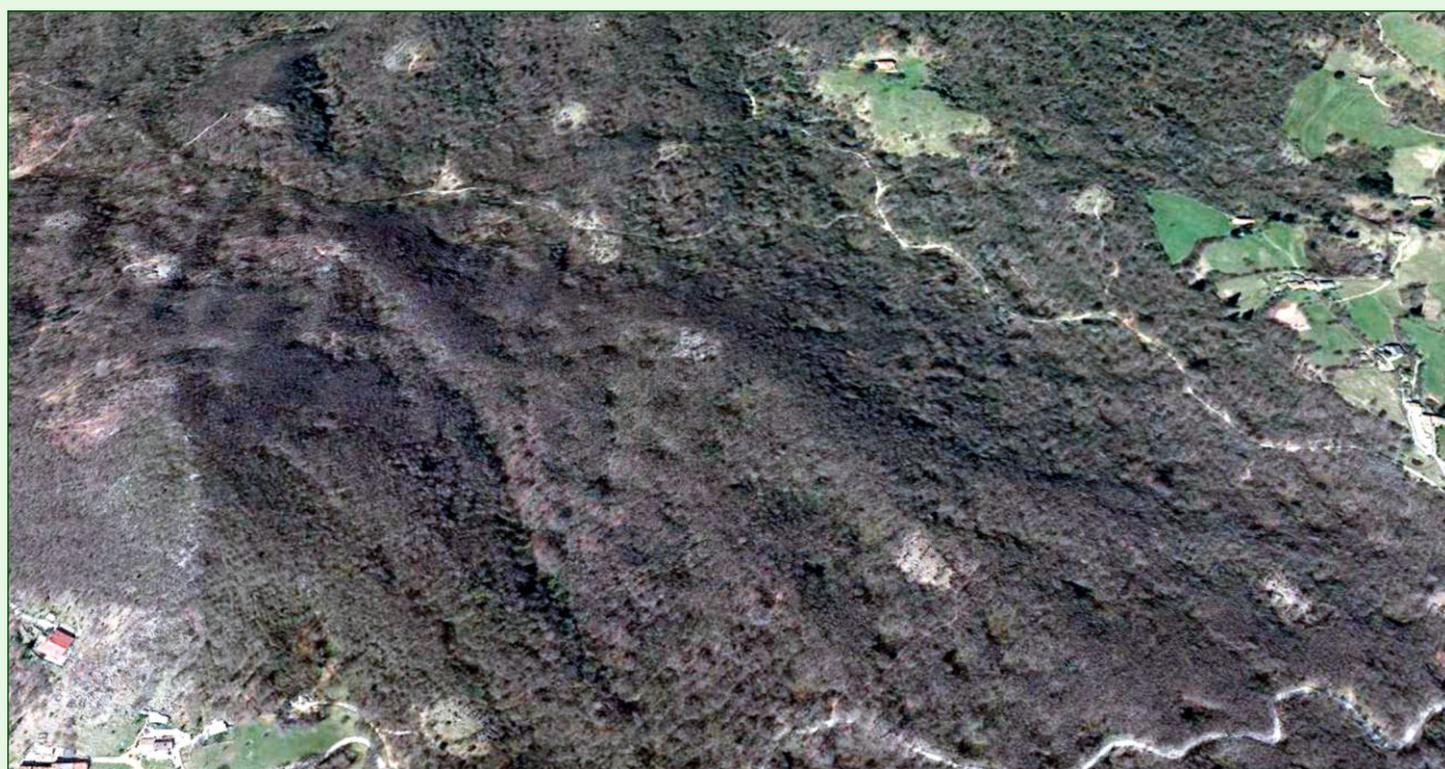


Figura 6. Stralcio da ortofoto, ripresa aerea di una porzione dell'Altopiano di Cariadeghe, in cui è visibile l'alta concentrazione di doline

(Omber en banda al Bùs del Zel" di M. Rivadossi - Speleologia N. 36 del 1997), offre il quadro più aggiornato della situazione esplorativa, compreso un inquadramento generale dell'area carsica. Mancano per forza di cose a questo contributo le giunzioni degli anni successivi, cioè il collegamento tra "l'Omber" (LoBs 247) e altri due abissi locali (LoBs 498 e Lo Bs 791), avvenute oltre un decennio dopo. Con questi collegamenti lo sviluppo totale tocca i 15 chilometri e l'Altopiano ora ha al suo interno un "complesso carsico" a tutti gli effetti.

Non si può trascurare un accenno alla morfologia esterna del luogo, caratterizzata da un territorio quasi interamente ricoperto da suolo boschivo con un'alta densità di presenza di doline (oltre 250 per kmq) di dimensioni variabili (anche 100 metri di diametro) e dislivelli interni di diverse decine di metri.

Il posizionamento georeferenziato delle doline e di diversi ingressi di cavità al loro interno, ha permesso di notare allineamenti con le principali direttrici delle linee di fratturazione descritte nel paragrafo precedente ed è un altro elemento importante per la conoscenza e l'interpretazione del fenomeno ipogeo locale.

La rete idrografica superficiale è completamente assente, ma in caso di precipitazioni, le acque vengono assorbite quasi completamente e condotte nel sottosuolo in tempi assai rapidi, con cambi repentini di portate, di circoli di flusso d'aria e allagamenti di alcuni settori in diversi livelli.

Il numero degli ingressi conosciuti tra aggiornamenti catastali e non, raggiunge le 100 unità ed è distribuito abbastanza uniformemente in tutta l'area di interesse. Fatta eccezione per il complesso dell'Omber, che si spinge a oltre 400 metri di dislivello dall'ingresso, pochissime di queste grotte superano la barriera dei 100 metri di profondità o quella di qualche centinaio di metri di sviluppo.

La maggior parte degli ingressi noti presenta un'alitazione d'aria generalmente avvertibile ed è distinguibile, in base alla stagione

di riferimento e alla direzione di flusso, come tipica da ingresso "meteobasso" o "meteoalto".

#### Brevi cenni sull'evoluzione speleogenetica del Complesso LoBs 247 - LoBs 791 - LoBs 498

Il Complesso Carsico di Cariadeghe si sviluppa principalmente nella Corna e nel Calcare di Zu. Dal punto di vista dell'interesse speleologico la prima è una formazione calcarea altamente carsificabile e ad alta trasmissività idrogeologica, in quanto presenta spessore notevole ed elevata percentuale di purezza.

Le varie deformazioni (pieghe e faglie) a cui è stata sottoposta, hanno creato in tutta l'estensione dell'altopiano (e all'interno) un'intensa frequenza di fratture spaziate anche di qualche metro e perpendicolari alla stratificazione. Questi "giunti tettonici", collegandosi a quelli della stratificazione (interstrati), danno origine ad un reticolo strutturale di vuoti di dimensioni anche decametriche, in cui le acque scorrono con preferenza.

I reticoli idrologici che si sono formati all'interno dell'altopiano, hanno avuto un'evoluzione che non è stata continua, ma è avvenuta in diverse fasi e momenti geologici in cui anche le forti variazioni climatiche di questi lunghi periodi hanno influito sulla velocità di sviluppo del sistema carsico.

La gran parte dell'evoluzione dei sistemi carsici lombardi è legata agli effetti della "Crisi di salinità del Messiniano", fase geologica del tardo Miocene in cui l'area mediterranea fu sottoposta a fasi cicliche di disseccamento ed inondazione per circa 700 mila anni. Circa 5,4 milioni di anni fa, all'inizio del Pliocene, la soglia corrispondente all'attuale Stretto di Gibilterra si aprì di nuovo in modo permanente portando al riempimento del bacino del Mediterraneo. In conseguenza al disseccamento sono rimaste testimonianze di antichi canyon, ora colmati da sedimenti, scavati ai margini della depressione dall'erosione dei fiumi, che scendevano a forti velocità e con grandi balze fino alle piane abissali asciutte.



Foto 4. LoBs 247 - Omber en banda al Bus del Zel: gallerie freatiche nel settore del fondo del complesso carsico -Foto M. Pozzo

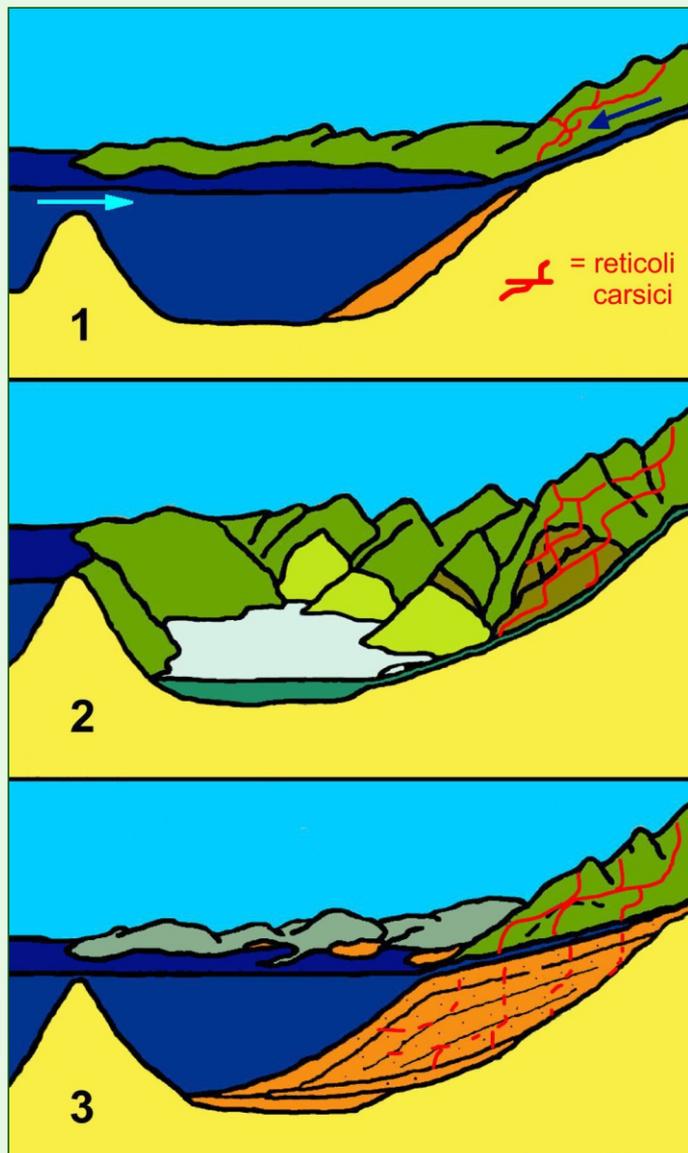


Figura 7. Schema "Crisi di salinità del Messiniano".

- 1) l'acqua atlantica che entra da Gibilterra compensa l'evaporazione del Mediterraneo, permettendo il mantenimento del suo livello;
- 2) nel Messiniano lo stretto di Gibilterra si chiude e il Mediterraneo si prosciuga: i fiumi incidono le valli sino a profondità maggiori di quelle attuali; i sistemi carsici si approfondiscono;
- 3) nel Pliocene la riapertura di Gibilterra inonda il Mediterraneo ristabilendone il livello: i fiumi riempiono di sedimenti le valli e costruiscono la Pianura Padana - (da "Geositi delle province di Bergamo e Brescia" - Regione Lombardia 2012 - Rielab. grafica: M. Pozzo)

Le prospezioni sismiche eseguite sui fondali dei grandi laghi lombardi (Lago Maggiore, Lago di Como, Lago d'Isèo e Lago di Garda), hanno permesso infatti di evidenziare la presenza di questi canyon sepolti, con tipici profili a V di origine fluviale, molto al di sotto dell'attuale livello del mare.

I medesimi processi sono avvenuti allo stesso modo anche nei reticoli carsici e sostanzialmente la sequenza ipogea, dovrebbe essere:

- 1) sollevamento del massiccio; 2) stasi; 3) ringiovanimento; 4) situazione attuale.

A seguito degli inquadramenti descritti e dopo osservazioni sul campo, si può affermare che la situazione strutturale eserciti un ruolo principale sul drenaggio delle acque e conseguentemente sullo sviluppo tridimensionale delle vie di scorrimento: questo è ben visibile osservando la topografia generale del rilevato, dove le grandi condotte a drenaggio freatico seguono le principali linee di asse sinclinale o anticlinale (WSW-ENE), mentre gli approfondimenti vadosi (meandri, pozzi) seguono verticalmente e in continuo ringiovanimento le maggiori direttrici di fratturazione (WSW-ENE e NNW-SSE).

La topografia restituisce attualmente un sistema suddiviso in diversi livelli dove effettivamente le condotte freatiche presentano una debole inclinazione e in sintonia con i piani di strato. Lungo la linea dell'asse dove la piega sinclinale (e/o pieghe minori) diventa quasi orizzontale, le acque generano ampi tratti allagati in larghe sezioni permettendo di delineare un'ipotetica linea spartiacque interna che divide gli apporti provenienti dal fianco sinistro della piega (Monte Orsino, Monte Zucco) e quelli provenienti dal fianco destro (Monte Ucia, Monte Dragone) (Figura 15 - pag. 57).

I vari livelli si approfondiscono nei punti dove intersecano con le fratture (pozzi) e alcune di queste presentano dimensioni veramente ragguardevoli (Sala -230, Salone dei Laghi, Sala Sakem, Sala Emmenthal, Salone Watanka, Sala Allegretti, P50, Sala Bianca, Specchio delle Brame).

Gli apporti idrici conosciuti attualmente si riuniscono in un unico collettore, che si perde nel pavimento di Sala Allegretti, attorno ai -350 m dall'ingresso (Q. 500 m), prima della lunga galleria del ramo che conduce poi al fondo e che si sposta silenzioso per 1350 metri in linea d'aria verso Est.

Rimane complicato distinguere nel dettaglio ogni singolo livello formatosi a regime freatico presente nel complesso, ma si è tentato di identificare i principali suddivisi per quote (Tabella 2).

Tabella 2. Suddivisione dei principali livelli freatici in riferimento a quota e dislivello dell'ingresso della LoBs 247

QUOTA	REGIME	MORFOLOGIA	RAMO	DISL DA INGR	ALTEZZA LIVELLO
790-780	FREATICO	CUNICOLO	ZONA CANCELLO	65	1
735-720	FREATICO	CONDOTTA	SPRINT	130	15
700-720	FREATICO	CONDOTTA	MARMITTE	115-130	15
680-670	FREATICO	CONDOTTA	GRAND CANYON	163-173	10
600-615	FREATICO	CONDOTTE	JARNOSAURO-SIFONE FANGO-NIGA SALONE LAGHI-EGIZIO-SAND CREEK GALL PIATTA-OLTRETOMBA-COLORADO-PASQUA CHIUSETTA-GEMELLA-SALA PASQUA-ERBAROSSA	230-240	10
500-430	FREATICO	CONDOTTE	FINE ALLEGRETTI-DUNE-FONDO	340-420	70

## L'idea del monitoraggio delle temperature e dei flussi d'aria interni

Negli ultimi anni tutti i gruppi associati alla Federazione Speleologica Lombarda (FSLo), hanno preso parte all'aggiornamento informato informatico del Catasto Regionale Lombardo tramite il Progetto Tu.Pa.Ca.: un necessario lavoro di riordino generale di tutti i dati storici, geografici e topografici relativi alle grotte distribuite nelle aree carsiche lombarde. Nel caso dell'Altopiano di Cariadeghe, oltre al posizionamento a nuovo di tutte le cavità con GPS, è in fase di completamento anche la rivisita e la topografia interna di tutte le cavità compresa quella del chilometrico complesso, con lo scopo di realizzarne un modello 3D.

Durante il riposizionamento di ingressi noti, sono stati scoperti accessi ancora inviolati (circa 50) e raccolte tutte le informazioni relative alle alitazioni d'aria, ovvero:

a) distinzione tra "ingressi alti" e "ingressi bassi" di sistema (meteoalti e meteobassi); b) misurazione della temperatura dell'aria in uscita e interna con strumenti di misurazione al decimo di grado di precisione.

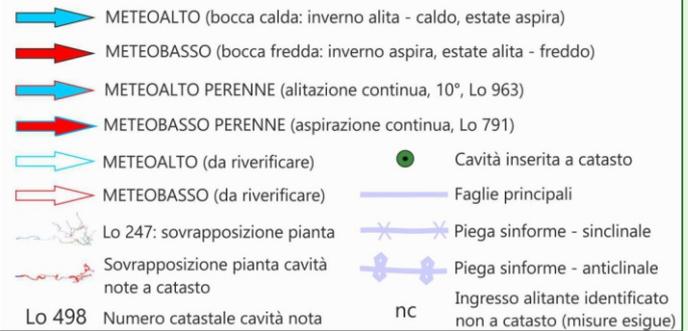
Questa attività ha permesso, con i dovuti tempi, di visualizzare un quadro d'insieme più chiaro e preciso di quello conosciuto e, tramite la realizzazione di una "Carta della circolazione dei flussi d'aria" contenente il maggior numero di informazioni sul fenomeno delle alitazioni degli ingressi delle cavità, di tentare nuovi ragionamenti e/o ipotesi per l'individuazione di nuovi orizzonti esplorativi tenendo conto di importanti dati certi.

Il primo approccio di approfondimento per ottenere una base uniforme di dati su cui elaborare correlazioni tra ingressi noti e diramazioni interne del complesso, è realizzabile attraverso la pianificazione di un progetto di monitoraggio semestrale delle misure relative alla temperatura interna (cavità) ed esterna dell'area, che prevede utilizzo di registratori (data logger) per un periodo di tempo specifico comprendente estate e inverno.

## ALTOPIANO DI CARIADEGHE (SERLE BS)

### CARTA DELLA CIRCOLAZIONE DEI FLUSSI D'ARIA INGRESSI DI CAVITÀ A REGIME INVERNALE

M. Pozzo (Underland), V. Franchini (Gruppo Grotte Brescia «Corrado Allegretti»)  
2018 - 2020



#### INGRESSI METEOALTI ACCERTATI inseriti a catasto

Lo 793 - Q. 1110 - Omber Fo Col Mul  
Lo 982 - Q. 1128 - Pozzetto su M. Ucia (Confix)  
Lo 987 - Q. 1124 - 2° Pozzetto su M. Ucia (Fixatoasbo)  
Lo 228 - Q. 943 - Bus de la ma de la  
Lo 973 - Q. 932 - Zuffolo  
Lo 767 - Q. 925 - Bus del Rospo  
Lo 4013 - Q. 916 - Bus Bap  
Lo 766 - Q. 910 - Bus del Temporal  
Lo 970 - Q. 906 - Aspirino  
Lo 224 - Q. 902 - Bus de Vai Surde a Matina  
Lo 226 - Q. 877 - Omber de la Casa del Comù  
Lo 4065 - Q. 874 - Frattura pr la Lo 441  
Lo 798 - Q. 860 - Pozzo sopra il Bus del Caali  
Lo 233 - Q. 855 - Bus Caali  
Lo 909 - Q. 855 - Gr. sud Prat Casina  
Lo 247 - Q. 847 - Omber en Banda al Bus del Zel  
Lo 816 - Q. 845 - Pz. sotto bivio q. 851  
Lo 495 - Q. 825 - Pozzetto presso il Bus del Zel  
Lo 507 - Q. 806 - Gr. c/o monumento Alpini

#### INGRESSI METEOALTI PERENNI inseriti a catasto

Lo 963 - Q. 847 - Bus del Foc

#### INGRESSI METEOALTI ACCERTATI non inseriti (nc)

Aspirante  
N.5 ingressi presso Lo 987 e Lo 793 (Vari Can)  
Aspir  
Vortizel  
Vedonnedo - New 1 e 2  
Figo - Bollato 2 - Sopra Cuel  
Haria - Vieni  
Viola - Lo Zar  
Secondo Almetro - Valido  
Scalderello  
Velapuck  
Linea 3  
Stranuw  
Crestillo

#### INGRESSI METEOBASSI ACCERTATI inseriti a catasto

Lo 975 - Q. 1081 - Improvviso  
Lo 981 - Q. 1068 - Amaro Luciano  
Lo 984 - Q. 1024 - Palindroma  
Lo 983 - Q. 1020 - Antro dei Venti  
Lo 988 - Q. 1109 - Niente Niente Punta  
Lo 259 - Q. 970 - B. Posete Venturu  
Lo 223 - Q. 910 - Bus tra le Taere de lo Vai Surde  
Lo 969 - Q. 895 - Neroperaco  
Lo 818 - Q. 890 - Grotta de Funi de Cornalet  
Lo 965 - Q. 882 - Buco del Sedie  
Lo 972 - Q. 882 - Chejira  
Lo 192 - Q. 880 - Bus Mandria  
Lo 659 - Q. 869 - Grotta sulla strada per Valpiana  
Lo 783 - Q. 860 - 2o Pozzo sopra Rio Ora  
Lo 971 - Q. 852 - Franarie  
Lo 926 - Q. 847 - Abisso Dos Fra - Makita  
Lo 967 - Q. 838 - Bus de la Sonia  
Lo 498 - Q. 820 - 2a Grotta presso Poccia Laacoi  
Lo 234 - Q. 820 - Bus de la Poccia dei Laacoi  
Lo 452 - Q. 804 - Grotta della Carbonella  
Lo 019 - Q. 802 - Bus del Lat di Casa Ceri  
Lo 794 - Q. 801 - Buco sotto Monte Zucco  
Lo 803 - Q. 800 - Pozzo presso la Grotta della Carbonella

#### INGRESSI METEOBASSI PERENNI inseriti a catasto

Lo 791 - Q. 817 - 3a Grotta presso Poccia Laacoi

#### INGRESSI METEOBASSI ACCERTATI non inseriti (nc)

N.2 ingressi presso Prati della Carlina  
Ariello  
N.4 ingressi presso park Monumento Alpini (intermedi)  
Bipedo Oro  
Rummanico  
Belgros  
Altrobussu

Figura 8-9. Altopiano di Cariadeghe (Serle - Bs): Legenda (sopra) e Carta della circolazione dei flussi d'aria (M. Pozzo, V. Franchini, 2020)

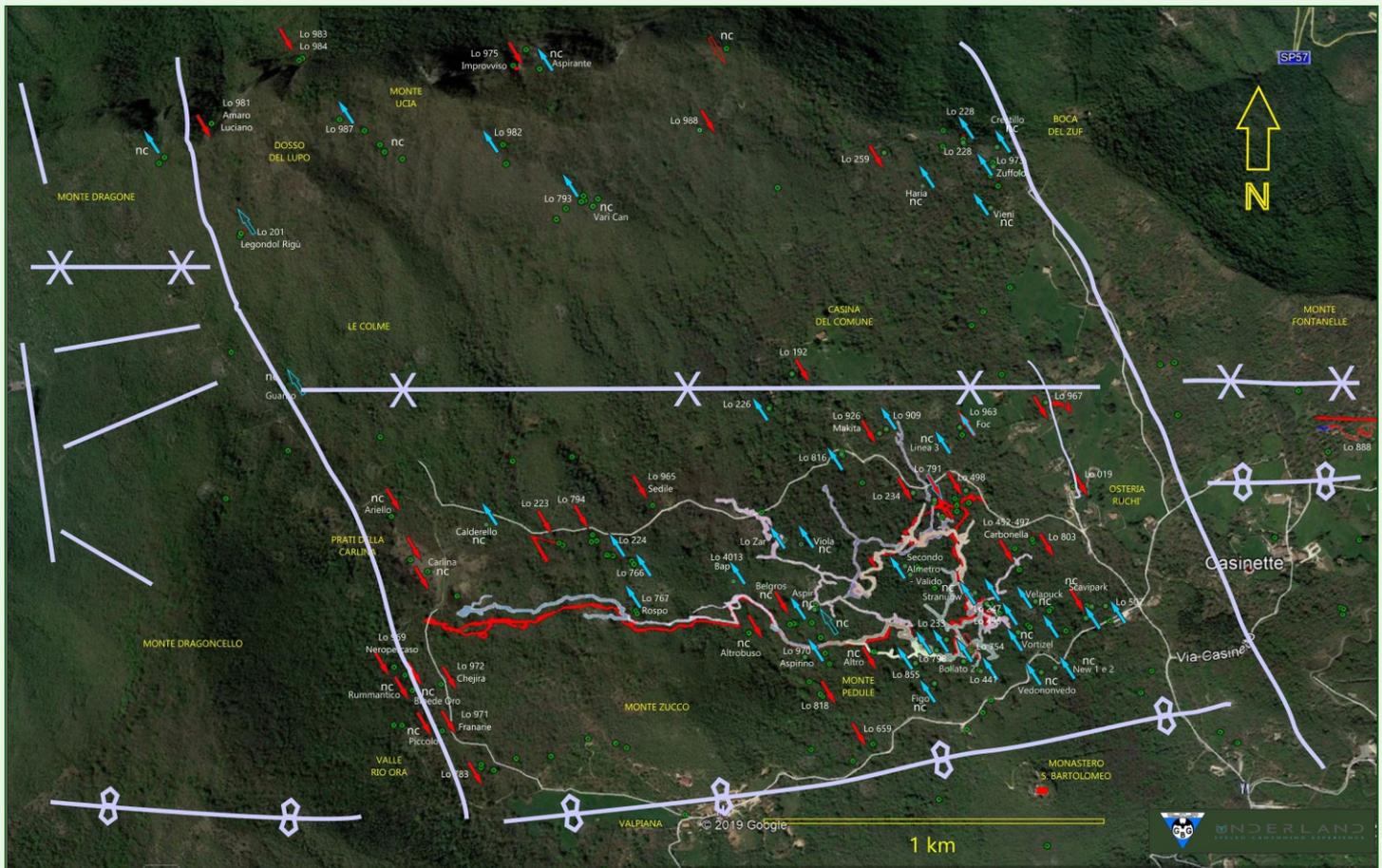




Figura 10. Settori di suddivisione dell'altopiano, sovrapposizione in pianta del complesso carsico e delle cavità di maggiore sviluppo

### Osservazioni preliminari

1. Il complesso carsico locale, nonostante la conoscenza del collegamento idrologico con la Sorgente Zugna (circa 3,7 km in linea d'aria), presenta una serie di dubbi irrisolti, primo tra tutti quello dell'effettivo percorso delle acque profonde che, apparentemente appartenenti ad un unico collettore, si perdono a 350 metri di profondità, ma in pianta ancora sotto l'ingresso della LoBs 247 e ad una distanza di circa 3 chilometri dalla sorgente. Le diramazioni più basse, in cui scorre il collettore che in linea percorre ancora la maggior parte dell'Altopiano, sono ancora sconosciute con potenzialità di sviluppo ed esplorative matematicamente plausibili.

2. La ricostruzione parziale del modello 3D, indica ampie porzioni di livelli profondi dell'area ancora non raggiunte per la maggior parte delle cavità considerato solamente l'areale dell'Altopiano (da quota 800 m a quota 950 m). A questo va sommato tutto il settore interno relativo al massiccio del Monte Ucia e del Monte Dragone, praticamente inesplorato e che si eleva per ulteriori 200 metri circa di dislivello positivo.

3. La sovrapposizione delle piante delle varie cavità rende visibile anche in foto satellitare che il sottosuolo conosciuto dell'altopiano rispetto al potenziale areale è circa 1/5 (Fig. 10).

4. Il quadro relativo alle alitazioni presenta una distribuzione quasi equivalente di ingressi sia meteobassi che meteobassi posizionati a quote simili e con temperature interne nettamente diverse tra gruppi di esse. Questo potrebbe indicare una non appartenenza ad un complesso carsico unico ma a

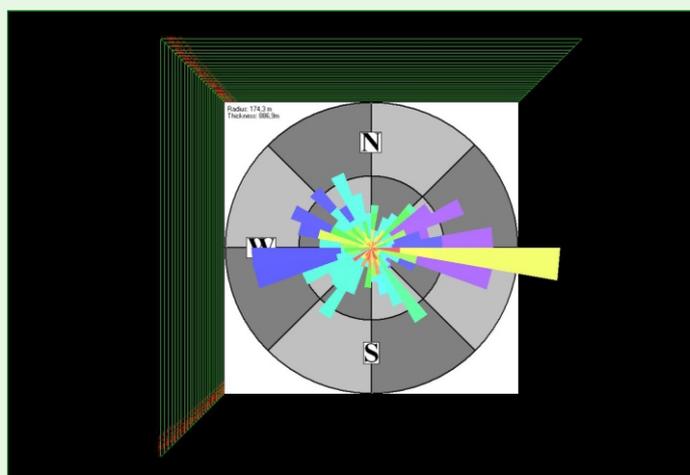


Figura 11. Diagramma a «rosa 3D» riportante le direzioni delle poligonali topografate a nuovo in tutto l'altopiano, in correlazione alle direzioni ed ai dislivelli, confrontabili con le linee di asse delle pieghe e della fratturazione presente (pianta)

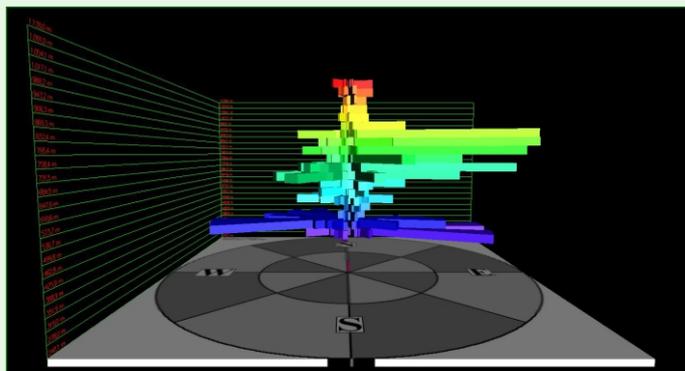


Figura 12. Diagramma a «rosa 3D» riportante le direzioni delle poligonali topografate a nuovo in tutto l'altopiano, in correlazione alle direzioni ed ai dislivelli, confrontabili con le linee di asse delle pieghe e della fratturazione presente (sezione)



Figura 13. Ipotesi schematica di suddivisione a compartimenti dovuta alla fratturazione e alla presenza di tratti allagati e con sifoni lungo l'asse della piega sinclinale

systemi diversi, inferiori o di maggior dislivello. Il loro posizionamento e lo sviluppo ipogeo, dà anche adito a correlazioni con le doline in superficie ed il sistema di fratture e di faglie presenti (Figura 11-12).

5. Facendo riferimento al quadro della distribuzione delle alitazioni e alle differenze nette di temperatura tra gruppi di ingressi, alla direzione delle principali linee di fratturazione, all'impostazione dell'asse della sinclinale, si può ipotizzare la presenza di diversi blocchi calcarei che fungano da "compartimenti" separati tra loro nel percorso aereo dalla presenza di tratti sifonanti, probabilmente nella parte centrale e più orizzontale della piega. Questa possibilità può giustificare la presenza di diversi circuiti di flusso d'aria provenienti da maggiori profondità (perché posizionati più a valle rispetto la LoBs 247) seppure idrologicamente il sistema carsico si identifichi come unico.

6. La ricostruzione delle circolazioni di flusso d'aria interne al complesso, conferma che per effetto della piega sinclinale e della direzione dell'asse principale non vi sia omogeneità tra i due fianchi, cioè quello di destra con quello di sinistra, che si presentano indipendenti e con circuiti diversi pur facendo capo ad un sistema "collegato". Nel paragrafo successivo, si osserverà che le diramazioni a più livelli poste a destra dell'asse di sinclinale, presentano una direzione di flusso da ingresso meteobasso, (in entrata sia dalla LoBs 498 che dalla LoBs 791). L'ingresso della LoBs 247 si comporta viceversa da ingresso meteobasso e il flusso d'aria relativo ai rami del fondo pure.

7. Pur non essendo a conoscenza delle effettive portate idriche medie e di piena alla Sorgente Zugna (recapito accertato), è stato possibile accertare visivamente a distanza di 12 ore e senza

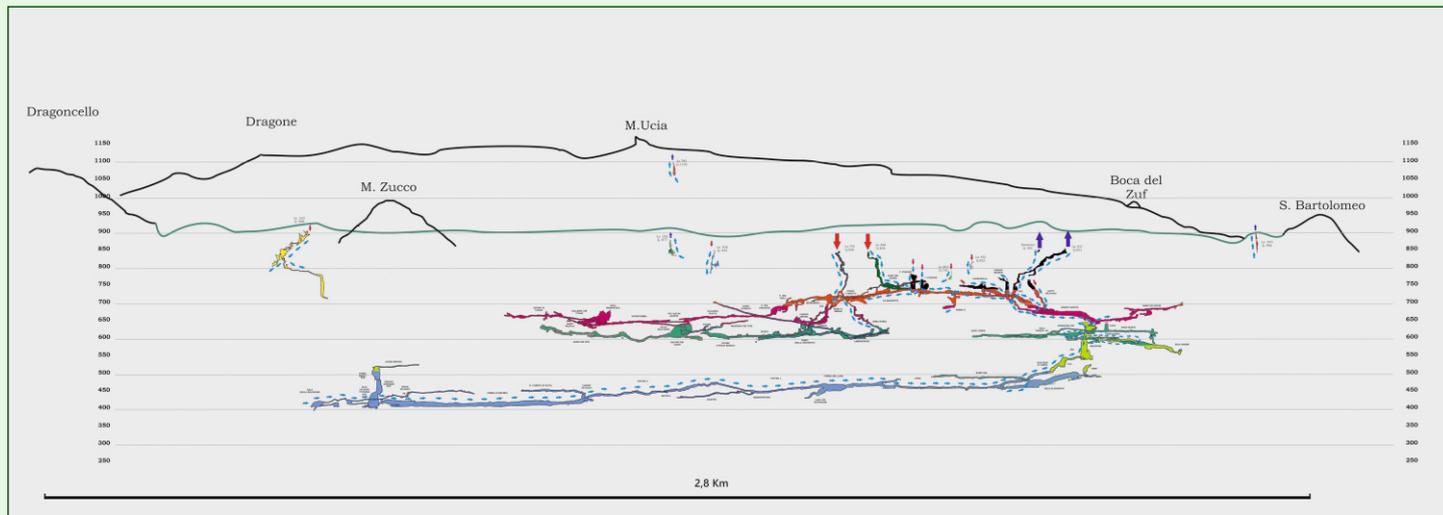


Figura 14. Ricostruzione parziale in sezione della circolazione dei flussi d'aria all'interno del Complesso carsico di Cariadeghe (LoBs 247 - LoBs 498 - LoBs 791) e cavità limitrofe in regime invernale - M. Pozzo, V. Franchini, 2021

precipitazioni piovose in tale intervallo, che il corso d'acqua all'interno della LoBs 247 identificato come collettore attuale, presenti portate nettamente inferiori rispetto a quelle della risorgenza. Si presume quindi che a valle del reticolo conosciuto, ci siano altri affluenti sotterranei provenienti da drenaggi legati a tutto il settore ad Ovest dell'altopiano.

#### Ricostruzione delle direzioni di flusso interne nel Complesso LoBs 247 - LoBs 791 - LoBs 498

Parallelamente alla realizzazione della "Carta della circolazione dei flussi d'aria" è iniziata l'analisi delle varie direzioni di flusso all'interno del complesso, mediante utilizzo di anemometro, termometro e candelette, con misurazione in ogni diramazione percorsa e presso eventuali bivii. Tale operazione è ancora incompleta e manca di copertura di importanti "regioni" relative al settore di apporto destro della struttura a sinclinale.

Precisamente sono da accertare i flussi nelle parti profonde della LoBs 791, i rami dello Stargay, la Chiusetta, il Salone dei Laghi, il settore dell'Oltretomba e dell'Egizio. Nel settore sinistro, sono ancora da verificare: il Ramo dei Sogni, il Ramo dei Pozzi Morti, il Passaggio a NW e i camini di Watanka. Nonostante ciò, è stato possibile procedere con la ricostruzione di una mappa interna a regime invernale, che ha già permesso di annotare interessanti osservazioni (Figure 14-15-16), che saranno elaborate e analizzate più avanti, al termine dei capitoli relativi all'analisi dei dati di monitoraggio, invernale ed estivo. A grandi linee, si può affermare che il Settore Sinistro comprende nel suo circuito di flusso principale l'ingresso, che si comporta da meteoalto assieme a Stranuov (LoBs 4047, accertato collegamento odoroso al sistema attraverso la zona del P. Orso). L'aria in uscita dall'ingresso proviene in parte da una perdita del Ramo della Carbonella attraverso il Laminatoio che è però meteo-bassa, e

57

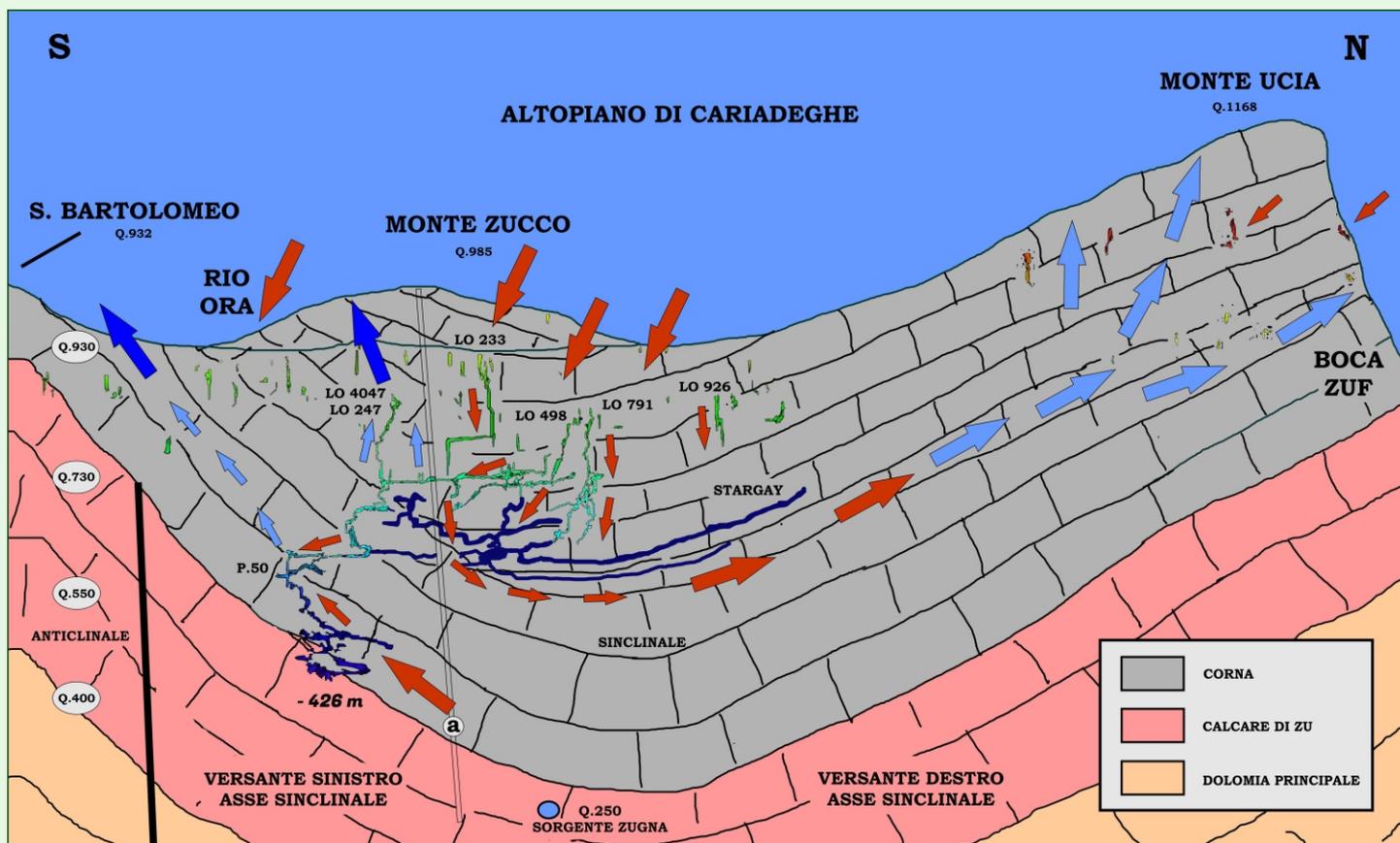


Figura 15. Altopiano di Cariadeghe. Visione schematica della linea ipotetica di divisione tra i due grandi settori del reticolo carsico locale: il settore del fianco sinistro rispetto all'asse della piega sinclinale e il settore destro. Schema della circolazione dei flussi d'aria accertato - Dis. M. Pozzo

scende principalmente lungo il Grand Canyon. Anche il Camino Grande risucchia aria verso l'alto proveniente dal Laminatoio, e non si è accertato se questa rientra poi nel settore dell'ingresso. E' accertato però che non entri nel settore dello Sprint. Manca quindi un apporto che giustifichi la quantità di aria meteoalta all'ingresso, in quanto il circolo Carbonella-Ingresso (quasi certo al 100%) sembra incoerente per temperatura e percorso troppo breve. L'aria in discesa dal Grand Canyon si unisce ad un deciso flusso meteoalto che sale dal P.17 (sopra Sala a -230) e si dirige verso il Ramo dei Sogni. Non è ancora chiara la provenienza di questo flusso d'aria da Sala a -230, in quanto da sotto il Bypass, l'aria in inverno scende fino alla Confluenza, poi percorre la Niga per poi risalire alla sommità del P.50 e in piccola parte verso un camino risalito sopra il Cunicolo dei Roditori. La verifica dei flussi che riguardano il Ramo dei Pozzi Morti e del Passaggio a NW dovrebbe chiarire la provenienza dei flussi da Sala a -230 al Ramo dei Sogni. Tutto il flusso d'aria proveniente dal Ramo del Fondo, sale il P.50 e unendosi al flusso in arrivo dalla Niga, si perde alla sua sommità.

Manca la verifica dei flussi nella parte a monte di Sala Allegretti. Una visita nel settore di Sala Sakem non ha dato adito a rilevamenti di flussi d'aria provenienti dal basso.

Diventano interessanti per il progetto di monitoraggio, gli ingressi ad alitazione meteoalta posti in esterno nelle vicinanze in pianta al P.50 e al Ramo dei Sogni (Settore SE).

Le cavità posizionate lungo il Rio Ora e in pianta molto vicine al ramo del fondo del complesso, risultano fortemente aspiranti (meteobasse), ma presentano quote di ingresso più alte di quella della LoBs 247 (meteoalto) e presumibilmente non dovrebbero essere quelle che lo alimentano.

Il Settore Destro del complesso, è stato così identificato comprendendo la Galleria dello Sprint.

Questo settore si comporta inversamente a quello dell'ingresso, in quanto in inverno riceve aria esterna sia dalla LoBs 791 (fenomeno di aspirazione in tutte le stagioni) che dalla LoBs 498 (meteobasso), e invia flussi di aria più fredda verso il basso attraverso il Ramo delle Marmitte, il Ramo della Merda (1°

giunzione LoBs 247-LoBs 791) ed il Pozzo ad X. È stato osservato infatti che il flusso in arrivo dalla LoBs 498 si divide nella zona dei Fusoidi: una parte prosegue lungo la Galleria delle Marmitte, l'altra, sommata ad altra in arrivo sempre dai Fusoidi, prosegue lungo lo Sprint venendo convogliata in gran parte nel Pozzo X (che drena come ringiovanimento tutte le acque dei Fusoidi) nuovamente verso il basso. L'aria in rimanenza che prosegue allo Sprint si perde nel soffitto della sala dove solitamente si sosta.

Altri flussi d'aria presenti nei camini attivi successivi alla sala, vengono convogliati in alto dal Camino Grande non mescolandosi al settore che porta all'ingresso (LoBs 247).

La carenza di ulteriori osservazioni nei rami mancanti, permette di formulare solamente ipotesi sulle destinazioni di questi flussi d'aria in entrata verso ingressi meteoalti. Gli ingressi dovrebbero trovarsi lungo le dorsali o le pareti del M. Ucia e il M. Dragone o anche nel Settore NE, dove si trova il passo della Boca del Zuf. Fatta esclusione per il flusso in entrata al complesso proveniente dalla Grotta della Carbonella (LoBs 452), avvertibile alla deviazione in cui si innesta il ramo omonimo (Ramo Carbonella-Gatti Selvaggi-Cascade), che non dovrebbe scendere oltre la sommità del P.50, si può affermare che il settore sinistro del complesso (Fondo-Ingresso) abbia preponderanza interna a circolazione meteoalta, mentre quello di destra (Jarnosauro - Laghi - LoBs791 e LoBs 498), per le conoscenze attuali, meteobassa.



Foto 5. LoBs 247: Ramo Stargay (o Stargate) - Foto M. Pozzo

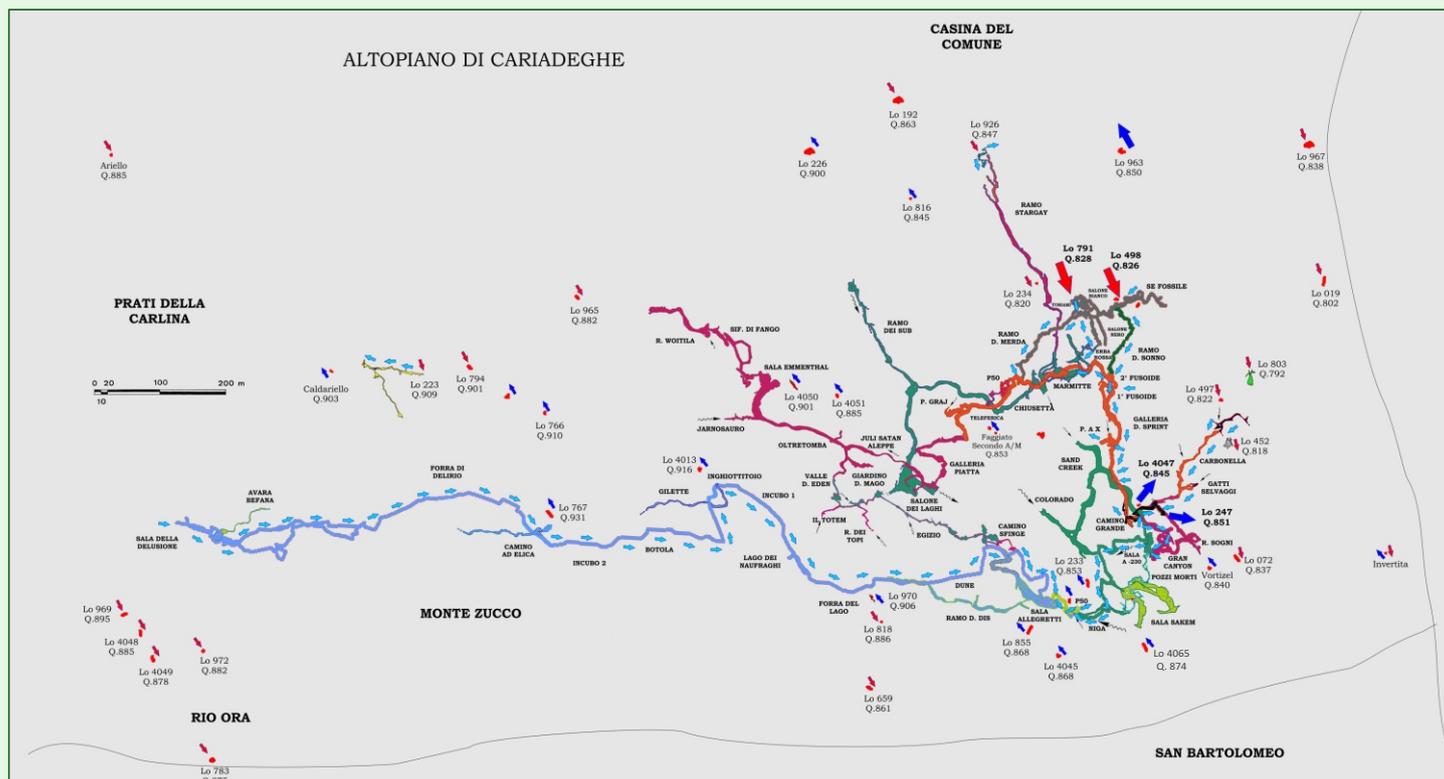


Figura 16. Ricostruzione parziale in pianta della circolazione dei flussi d'aria all'interno del Complesso carsico di Cariadeghe (LoBs 247 - LoBs 498 - LoBs 791), e cavità limitrofe in regime invernale - M. Pozzo, V. Franchini, 2021

### Cavità scelte per il monitoraggio prolungato con logger

A seguito delle varie osservazioni sul campo, ricostruzioni su carte e raccolta dati preliminari, è nata una lista di circa una quarantina di ingressi da monitorare suddivisi tra meteoalti e meteo bassi e comprendente sia cavità censite che ingressi di nuovo ritrovamento.

Il periodo totale del monitoraggio ha coperto un lasso di tempo di sei mesi suddiviso in queste tempistiche:

- per i primi due mesi (fine febbraio - fine aprile) sono state monitorate le alitazioni degli ingressi identificati come «a regime meteoalto»;

- per gli altri due mesi successivi (inizio maggio - metà agosto), sono state monitorate le alitazioni degli ingressi identificati come «a regime meteo basso» e alcuni ingressi meteoalti ripescati dal monitoraggio invernale per verificare eventuali correlazioni analizzando momenti di inversione stagionale;

- per sei mesi sono stati posizionati n. 4 data logger in altrettanti settori dell'altopiano (punto più elevato, punto maggior escursione termica, n. 2 punti mediani);

- per sei mesi sono stati posizionati n. 6 data logger all'interno della LoBs 247 distribuiti nei vari livelli di profondità del sistema cercando di coprire i settori destro e sinistro e quello del fondo.

Nota: durante il monitoraggio estivo, sono stati aggiunti altri 6 logger abilitati alla registrazione del dato dell'umidità (RC 51 H), con l'intento di carpire eventuali inversioni e correlazioni tramite questo valore in mancanza di anemometri fissi, ma dopo circa 3 giorni di attività i logger hanno raggiunto la saturazione al 100% risultando quindi, per questo parametro, inaffidabili in grotta.

#### DL Ingressi periodo invernale (2 mesi)

LoBs 226 - Omber de la Casa del Comü;

LoBs 233 - Bùs del Caali;

LoBs 247 - Omber en banda al Bùs del Zel;;

LoBs 767 - Bùs del Rospo;

LoBs 793 - Omber del fò del Col del Mü;

LoBs 816 - Pozzetto sotto il bivio di quota 851;

LoBs 909 - Grotta a Sud del Prat de la Casina;

LoBs 963 - Bùs del Foc;

LoBs 970 - Aspirino;

LoBs 973 - Zuffolo;

LoBs 982 - Pozzetto su Monte Ucia;

LoBs 987 - 2° Pozzetto su Monte Ucia;

LoBs 4045 - Scordato;

LoBs 4050 - Abisso Lo Zar;

LoBs 4065 - Frattura presso la LoBs 441;

Caldariello;

Faggiato;

Haria;

Invertita;

Velapuck;

Vortizel.

#### DL ingressi periodo estivo (2 mesi)

LoBs 019 - Bùs del lat di Casa Ceri;

LoBs 192 - Bùs Mandria;

LoBs 223 - Bùs tra le Taere de le Vai Surde;

LoBs 234 - Bùs de la Pòcia dei Làacoi;

LoBs 247 - Omber en banda al Bùs del Zel;

LoBs 452 - Grotta della Carbonella;

LoBs 498 - 2a Grotta presso la Pòcia Làacoi;

LoBs 659 - Grotta sulla strada di Valpiana;

LoBs 783 - 2° Pozzo sopra Rio dell'Ora;

LoBs 791 - Terza Grotta presso Pòcia Làacoi;

LoBs 803 - Pozzo vicino alla Grotta della Carbonella;



Foto 6. I numerosi data logger, pronti per essere inseriti all'imbocco degli ingressi, negli appositi contenitori di protezione - Foto V. Franchini

LoBs 909 - Grotta a S del Prat de la Casina;

LoBs 926 - Abisso sotto il Dos dei Fra (Makita);

LoBs 963 - Bùs del Föc;

LoBs 965 - Bùs del Sedile;

LoBs 967 - Bùs de la Sonia;

LoBs 972 - Chejira;

LoBs 975 - Improvviso;

LoBs 982 - Pozzetto su Monte Ucia;

LoBs 988 - Niente Niente Punta;

LoBs 4065 - Frattura presso la LoBs 441;

Ariello;

Belgross;

Dolina Carlina;

Faggiato;

Haria.

#### DL interni LoBs 247 (6 mesi)

Laminatoio (sett. sx);

P17 sopra Sala a -230 (sett. sx);

Ramo della Niga/testa P50 (sett. sx);

Galleria base P50 (sett. fondo);

Ramo Pozzo a X (sett. dx);

Ramo Marmitte/Fusoidi (sett. dx).

#### Esterno Altopiano (6 mesi)

Prati della Carlina (maggiore escursione termica giorno/notte, limite Ovest);

Monte Ucia (punto quota più elevato);

Passo Boca del Zuf (limite Est);

Zona ingresso LoBs 247 (centro altopiano).



Foto 7. Inserimento del data logger all'interno del barattolo di plastica creato lateralmente e nella parte inferiore - Foto V. Franchini



Foto 8. L'ingresso di Improvviso (LoBs 975) in piena parete Nord del Monte Ucia - Foto N. Belotti

### Metodologia utilizzata sul campo

Sono stati utilizzati per il monitoraggio delle temperature, indistintamente se interno o esterno, dei mini registratori portatili a batteria «Elitech RC 5» con le seguenti caratteristiche:

Tipo di sensore: resistenza termica NTC interna;

Gamma di misurazione della temperatura:  $-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ;

Risoluzione:  $0,1^{\circ}\text{C}$ ;

Precisione della temperatura:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ ); Altri,  $+1^{\circ}\text{C}$ ;

Unità di temperatura:  $^{\circ}\text{C}$  o  $^{\circ}\text{F}$  Opzionale;

Interfaccia di comunicazione: Porta USB;

Capacità record: 32000 punti (MAX);

Alimentazione elettrica: batteria Cr2032;

Durata della batteria: a temperatura normale, se l'intervallo di registrazione è impostato su 15 minuti, potrebbe essere utilizzato oltre un anno;

Dimensioni: circa 80 (L) x 34 (P) x 14 (A) mm;

Intervallo di registrazione: 10s ~ 24 ore regolabile;

Peso: 60g.

Il miglior ambiente di archiviazione va da  $15^{\circ}\text{C}$  a  $23^{\circ}\text{C}$ /da 45%rH a 75%rH.

Sono stati inoltre utilizzati n.6 mini registratori portatili a batteria «Elitech RC 51H» abilitati alla misurazione dell'umidità con le seguenti specifiche:

Intervallo di umidità: 10 ~ 95%RH;

Risoluzione umidità: 0.1%RH;

Precisione umidità:  $\pm 3\%$  RH ( $25^{\circ}\text{C}$ , 20% RH-90% RH), altri  $\pm 5\%$  UR;

Precisione della temperatura:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ );  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (altra gamma);

Risoluzione di temperatura:  $0,1^{\circ}\text{C}$ ;

Intervallo di temperatura:  $-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ;

Log Interval: 10 secondi - 24 ore;

Memoria: 32.000 punti di temperatura, 32.000 punti di umidità;

Dimensioni: 15.5 x 5.5 x 3 cm;

Peso: 40 grammi;

Alimentazione elettrica: batteria Cr14250;

Durata della batteria: a temperatura normale, se l'intervallo di registrazione è impostato su 15 minuti, potrebbe essere utilizzato oltre un anno.

Ogni singolo logger è stato protetto inserendolo in un barattolo di plastica, areato lateralmente e senza fondo. Il barattolo poi è stato appeso a mezz'aria nel punto di maggior portata di flusso avvertibile o misurato con anemometro portatile.

In esterno, i barattoli sono stati appesi ad alberi, ad almeno 2 metri di altezza da terra e coperti da esposizione diretta ai raggi solari.

Numero	Gradi Celsius	Numero	Gradi Celsius
2	24.9	20	24.7
3	24.9	21	24.9
4	25.3	22	25.0
5	24.7	23	24.7
6	24.7	24	24.7
7	24.6	25	25.0
8	25.2	26	24.5
9	25.3	27	24.7
10	25.2	28	24.7
11	24.9	29	24.8
12	25.0	30	24.9
13	25.1	31	25.3
14	24.5	32	25.4
15	24.7	II	24.5
16	25.2	III	24.8
17	25.0	IV	24.7
18	24.7	V	24.8
19	24.5	VI	24.8
		I	guasto

Tabella 3. Le misure evidenziate in giallo si discostano più di  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Conclusioni: si nota come la maggioranza degli strumenti misurino il dato inferiore a quello di riferimento.



Foto 9. Il sistema di fissaggio dei data logger all'interno di un barattolo di plastica areato - Foto M. Pozzo



*Il primo giorno di fisica fu la morte.*

*Un uomo basso con una voce acuta balbettante, il signor Manzi, si presentò di fronte alla classe in un vestito blu e tenendo in mano una piccola palla di legno.*

*Mise la palla su un ripiano scanalato che pendeva, lasciandola rotolare in basso. Quindi iniziò a chiamare "a" l'accelerazione e "t" il tempo; poi improvvisamente si mise a scrivere lettere e numeri e segni uguale su tutta la lavagna. La mia mente si chiuse come se fossi morta.*

*Sylvia Plath "The bell Jar"*

*Regine Landry, da Lismonde 2002, modificato da M. Pozzo*

## Analisi delle temperature. Altopiano di Cariadeghe - Inverno

Di seguito una proposta dettagliata di come affrontare l'analisi dei collegamenti tra le grotte di una zona carsica sfruttando unicamente le informazioni che derivano da una serie di termometri di precisione, posizionati per circa un anno in una serie di grotte dell'altopiano di Cariadeghe (Bs). Questo tentativo di analisi vuole partire dalla considerazione che gli ingressi delle grotte che si aprono in una zona carsica omogenea, possono avere degli elementi comuni dovuti alla contiguità del carsismo tra le varie grotte, in particolare ci aspettiamo i seguenti eventi:

- termometri posizionati in grotte di piccola dimensione, definite a suo tempo da G. Badino come "cantine", dovrebbero fedelmente seguire l'andamento delle temperature esterne;
- al contrario, grotte di grandi dimensioni, o meglio complessi carsici, non dovrebbero mostrare significative variazioni di temperatura al variare delle condizioni esterne;
- grotte in connessione tra loro dovrebbero mostrare oscillazioni di temperatura sincrone, al più ritardate rispetto alle variazioni esterne di temperatura;
- grotte con temperature sensibilmente differenti da quelle esterne, ma omogenee tra loro, dovrebbero mostrare degli andamenti oscillatori comuni.

Per poter valutare i dati rilevati, dobbiamo considerare di raccogliere sia le temperature delle grotte, che quelle esterne. Dobbiamo inoltre aver cura di fare misurazioni con costanza di flussi d'aria e di monitorare evitando condizioni che causino inversione di temperatura.

Causando inversioni di flusso di corrente d'aria infatti, si creerebbero fenomeni che potrebbero compromettere le analisi dei dati. Ci muoveremo seguendo le seguenti linee guida:

- Verifica dei parametri meteorologici esterni e loro consistenza tra i vari sistemi di misura.
- Posizionamento su carta dei vari valori di temperatura risultanti:
  - raggruppandoli secondo omologia di temperatura;
  - raggruppandoli generando un grafico tridimensionale delle posizioni delle bocche fredde e calde;
  - raggruppandoli in pianta e sezione;
  - analisi di prossimità con l'esterno.
- Analisi di Correlazione tra le temperature misurate:
  - esterno/interno per verificare eventuali "cantine";
  - interno/Interno per verificare eventuali collegamenti;
  - analisi di correlazione ritardata per verificare eventuali shift di comportamento nel tempo.
- Analisi in frequenza delle variazioni di temperatura per verificare i seguenti eventi:
  - analogia tra le variazioni esterne/interne delle variazioni di temperatura;
  - analogia tra le varie variazioni di temperatura tra le grotte;
  - verifica di eventuali *shift* di variazione tra le grotte, con

computo tentativo della relazione tra lunghezza della grotta e *shift* temporale.

- Analisi in frequenza filtrata dalle influenze esterne.
- Analisi dei modelli filtrativo e diffusivo, per verificare la "profondità" del carsismo correlato.
- Calcolo della portata degli ingressi dedotta dalle misure in temperatura.
- Calcolo dei tempi di diffusione dell'onda termica nei vari modelli.

Quasi tutte queste metodologie sono figlie di nuovi approcci all'analisi dei dati rilevati, e devono tutto il notevole lavoro teorico di sviluppo al mai abbastanza compianto G. Badino negli articoli in Bibliografia.

### Verifica dei parametri meteorologici esterni e loro consistenza tra i vari sistemi di misura

Sono stati piazzati in esterno vari termometri per avere un'idea precisa di come le temperature fossero correlabili e soprattutto per avere la legge di variazione della temperatura con la quota.

Dal grafico sotto (Figura 17) rifacendosi alla formula:

$$T = -Gq + T_0$$

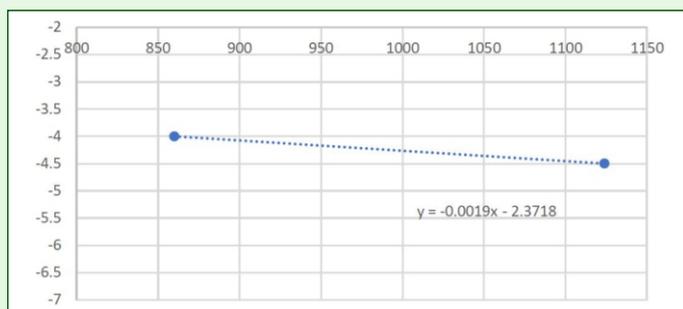


Figura 17. Grafico della variazione della Temperatura esterna (asse Y) con la quota (asse x). La curva serve per calcolare il tasso di variazione di temperatura con la quota

con  $T$ =temperatura all'ingresso della grotta,  $G$ =gradiente di temperatura (in questo caso  $1,9^\circ/\text{Km}$ ),  $q$ =quota sul livello del mare,  $T_0$ =temperatura a quota 0. Il  $G$  è estrapolato dalla misura fatta comparando due termometri posti a quote differenti.

Per poter validare tutte le misure è necessario procedere con una correlazione tra i termometri piazzati in esterno in varie zone dell'altopiano.

In Figura 18 (pagina successiva) troviamo sull'asse delle X i tempi, e quello delle Y le temperature registrate con la precisione del decimo di grado. Nel titolo sono indicate le posizioni dove sono state registrate le temperature medie del periodo in esame, dal 20/3/2021 al 1/05/2021, seguite dalla temperatura media del periodo di osservazione. Sulla base di queste evidenze si decide di usare come riferimento principale per tutti i calcoli la postazione esterna Carlina = E Carlina.

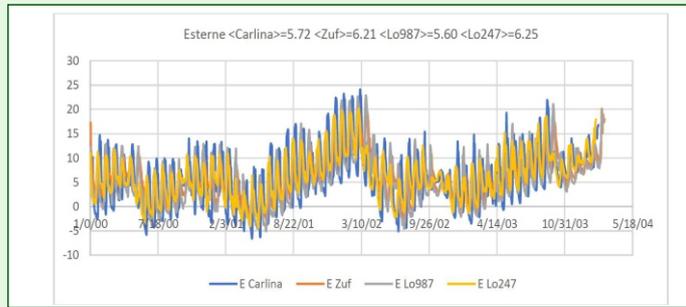


Figura 18. Grafico della variazione della Temperatura esterna (asse Y) con la quota (asse X)

Il calcolo del coefficiente angolare della retta indicato con G ci dà come informazione che nessuna delle grotte analizzate mostra di avere un comportamento da «cantina». La procedura per prendere questa decisione la vedremo in dettaglio nel paragrafo successivo.

I flussi d'aria qualitativi di tutte le grotte considerate, ottenuti nel momento della posa dei sistemi, sono riassunti nella Tabella 4, dove sono stati evidenziati in grigio le bocche soffianti in inverno (bocche calde).

In seguito, segneremo con un *marker* di dimensioni decisamente maggiori i punti soffianti in inverno e aspiranti in estate.

Dalla Tabella 4 si può notare che due grotte sono segnalate come sempre soffianti o aspiranti. Questo evento che può sembrare abbastanza anomalo, merita una riflessione: le due situazioni sono indice di comportamenti interessanti ed opposti, che proviamo soltanto a riassumere qualitativamente senza

Tabella 4. Tabella dei flussi d'aria qualitativi

Grotta	Status
Lo 019 Bus del Lat di Casa Ceri	Aspira
Lo 192 Bus Mandria	Aspira
Lo 223 Bus Taere Vai Surde	Aspira
Lo 234 Gr. Pocia Laacoi	Aspira
Lo 247 Omber en banda a BdZ	Soffia
Lo 4046 La Sacca	Soffia
Lo 4048 Fuori Orario	Aspira
Lo 4050 Abisso Lo Zar	Soffia
Lo 4065 Frattura pr la Lo 441	Soffia
Lo 452 Grotta della Carbonella	Aspira
Lo 497 Pz co Carbonella	Aspira
Lo 498 2a Gr co Pocia Laacoi	Aspira
Lo 659 Gr su Strada Valpiana	Aspira
Lo 783 2 Pz sopra Rio Ora	Aspira
Lo 791 3a Gr co Pocia Laacoi	Aspira Sempre
Lo 803 Pz vicino a Carbonella	Aspira
Lo 818 Funi Cornalet	Aspira
Lo 909 Gr a S prati Casina	Soffia
Lo 926 Ab Dos Fra (Makita)	Aspira
Lo 963 Bus del Foc	Soffia Sempre
Lo 965 Buco del Sedile	Aspira
Lo 967 Bus de la Sonia	Aspira
Lo 972 Chejira	Aspira
Lo 973 Zuffolo	Soffia
Lo 975 Improvviso	Aspira
Lo 982 Pozzetto su Monte Ucia	Soffia
Lo 988 Niente Niente Punta	Aspira
Lo 4045 Scordato	Soffia
nc Ariello	Aspira
nc Belgross3	Aspira
nc Dolina Carlina	Aspira
nc Faggiato	Soffia
nc Haria	Soffia

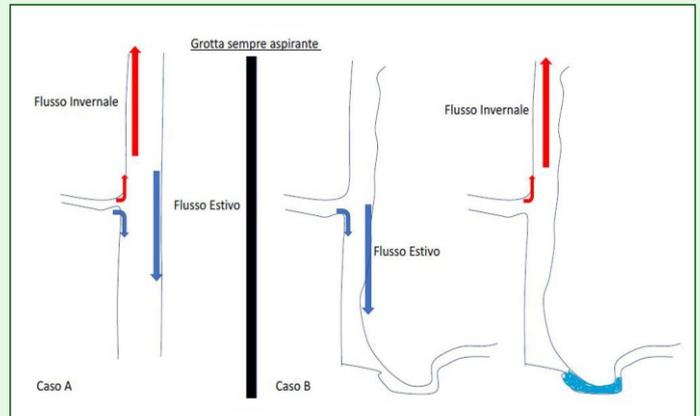


Figura 19. Esempio di ipotesi schematiche di «grotta sempre aspirante»

elaborare calcoli complessi. I futuri calcoli relativi a tali fenomeni, saranno materia di un successivo lavoro specifico, quando saranno disponibili dati più mirati delle due grotte.

Anche nel libro di G. Badino (1995), l'approccio matematico al problema viene impostato nella maniera ottimale e il lavoro successivo con un approccio matematicamente più specifico.

Un paio di grafici riassumono la situazione della grotta sempre aspirante. Nel caso A abbiamo un problema di geometrie dei condotti. La sezione del condotto più stretto non è in grado di comandare i flussi d'aria principali, per cui si trova sempre in modalità aspirante. Nel caso B si inserisce un sifone che modifica la circolazione totale delle arie, al variare del suo stato.

Ora si analizza quella sempre soffiante. Come precedentemente indicato abbiamo ancora 2 casi. Nel caso A abbiamo il solito problema di geometrie dei condotti. La sezione del condotto più ampio comanda i flussi d'aria principali, per cui drena sempre i maggiori flussi d'aria.

Nel caso B, invero abbastanza eccezionale, si inserisce il caso di un sifone in estate che modifica la circolazione totale delle arie e di un tappo di neve in inverno.

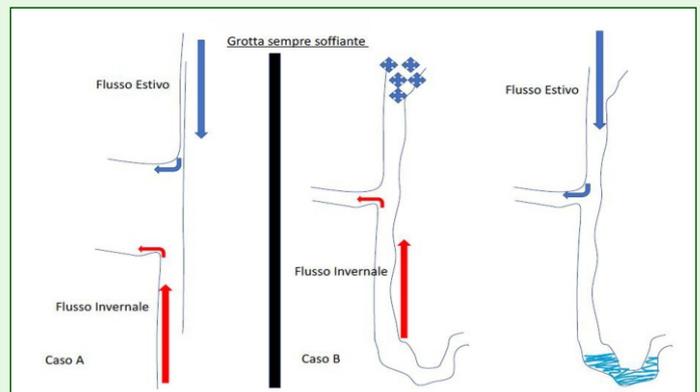


Figura 20. Esempio di ipotesi schematiche di «grotta sempre soffiante»

### Posizionamento su carta dei vari valori di temperatura risultanti

- Raggruppandoli secondo omologia di temperatura;
- raggruppandoli generando un grafico tridimensionale delle posizioni delle bocche fredde e calde;
- raggruppandoli in pianta e sezione;
- analisi di prossimità con l'esterno;

Per comodità di analisi si distinguono le misurazioni ottenute in modalità estiva (ovvero con temperature esterne decisamente molto più alte della temperatura media delle grotte della zona e quindi con una chiara stabilità dei flussi d'aria alto/basso), e invernale (ovvero con temperature esterne decisamente molto più basse della temperatura media delle grotte della zona e quindi con una chiara stabilità dei flussi d'aria basso/alto).

Scordato	Lo 4065	Lo 970 aspir	Lo 233 caali	Vortizel	Lo 767	Invertita	Lo 247 Omb	Velapuck	Faggiato - Vi	Lo Zar	Caldariello	Lo 816	Lo 909	Lo 963	Lo 226 Casin	Lo 793 FO C	Haria	Lo 982	Lo 973 Zuffo	Lo 987	Lo4050	Lo4045	E Omb	E Carina	E Bica Zuff	E 987	E Uda
0,00	7,13	8,24	6,06	7,31	5,63	3,52	8,55	1,76	8,37	0,07	5,73	1,96	8,54	9,55	6,32	2,31	8,37	7,12	9,79	6,81	8,73	7,10	3,99	6,68	2,94	4,99	0,44
7,13	1,11	1,07	0,18	1,50	3,61	1,42	5,37	1,34	7,06	1,80	5,17	1,41	2,42	0,81	4,83	1,23	0,01	0,01	2,60	0,32	1,59	0,03	11,07	13,77	10,03	12,07	7,52
8,24	1,11	2,18	0,93	2,61	4,72	0,31	6,48	0,13	8,17	2,51	6,28	0,29	1,30	1,92	5,94	0,12	1,12	1,48	1,44	0,48	1,14	12,01	14,71	10,96	13,01	8,46	
6,06	1,07	2,18	1,25	0,43	2,54	2,49	4,30	2,31	5,98	0,83	4,10	2,48	3,49	0,46	3,75	2,31	1,06	3,67	0,75	2,87	1,04	10,11	12,81	9,06	11,11	4,56	
7,31	0,18	0,93	1,25	0,06	1,68	3,79	1,24	5,55	1,06	7,24	1,58	5,35	1,22	2,24	0,99	5,01	1,05	0,19	2,41	0,51	1,41	0,21	11,44	14,13	10,39	12,44	7,89
5,63	1,50	2,61	0,43	1,68	0,90	2,11	2,92	3,87	2,74	5,56	0,10	3,67	2,91	3,92	0,69	3,32	2,74	1,49	4,30	1,18	3,10	1,47	9,27	11,96	8,22	10,27	5,72
3,52	3,61	4,72	2,54	3,79	2,11	0,00	5,03	1,76	4,85	3,45	2,21	1,56	5,02	6,03	2,80	1,22	4,84	3,60	6,21	3,28	5,20	3,58	7,79	10,48	6,74	8,79	4,24
8,55	1,42	0,31	2,49	1,24	2,92	5,03	6,79	0,18	8,48	2,82	6,59	0,01	1,00	2,23	6,25	0,19	1,43	1,18	1,74	0,17	1,45	12,62	15,31	11,57	13,62	9,07	
1,76	5,37	6,48	4,30	5,55	3,87	1,76	6,79	0,08	6,61	1,69	3,97	0,20	6,78	7,79	4,56	0,55	6,63	5,36	7,97	5,05	6,97	5,34	5,97	8,66	4,92	6,97	2,42
8,37	1,24	0,83	2,31	1,06	2,74	4,85	8,18	6,61	8,29	2,63	6,41	8,17	1,18	2,05	6,06	0,00	1,25	1,36	1,56	0,96	1,27	12,41	15,10	11,36	13,41	8,46	
0,07	7,06	8,17	5,98	7,24	5,56	3,45	8,48	1,69	8,29	5,66	5,66	1,88	8,46	9,47	6,25	2,23	8,29	7,05	9,65	6,73	8,65	7,03	3,95	6,64	2,90	4,95	0,40
5,73	1,40	2,51	0,33	1,58	0,10	2,21	2,82	3,97	2,63	5,66	5,00	3,77	2,80	3,81	0,59	3,43	2,63	1,39	3,99	1,07	2,99	1,37	9,52	12,21	8,47	10,52	5,97
1,96	5,17	6,28	4,10	5,35	3,67	1,56	6,59	0,20	6,41	1,88	3,77	0,00	6,58	7,59	4,36	0,35	6,41	5,16	7,77	4,85	6,77	5,14	6,01	8,71	4,96	7,01	2,46
8,54	1,41	0,29	2,48	1,22	2,91	5,02	0,01	6,78	0,17	8,46	2,80	6,58	0,01	1,01	2,21	6,23	0,17	1,42	1,19	1,73	0,19	1,44	12,62	15,32	11,58	13,62	9,08
9,55	2,42	3,30	3,49	2,24	3,92	6,03	1,00	7,79	1,18	9,47	3,81	7,59	1,01	3,23	7,24	1,18	2,43	0,18	2,74	0,82	2,45	13,62	16,31	12,57	14,62	10,07	
6,32	0,81	1,92	0,26	0,99	0,69	2,80	2,23	4,56	2,05	6,25	0,59	4,36	2,21	3,23	3,02	4,02	2,04	0,80	3,40	0,48	0,40	0,78	10,12	12,82	9,08	11,12	6,57
2,31	4,83	5,94	3,75	5,01	3,32	1,22	6,25	0,55	6,06	2,23	3,43	0,35	6,23	7,24	4,02	5,00	6,06	4,82	7,42	4,50	4,40	4,79	5,05	7,75	4,01	6,05	1,51
8,37	1,33	0,12	2,31	1,05	2,74	4,84	0,19	6,61	0,00	8,29	2,83	6,41	0,17	1,18	2,04	6,06	0,00	1,24	1,36	1,56	0,36	1,27	11,95	14,64	10,90	12,95	8,40
7,12	0,01	1,32	1,06	0,19	1,49	3,60	1,43	5,36	1,25	7,05	1,39	5,16	1,42	2,43	0,80	4,82	1,24	0,18	2,61	0,31	1,61	0,02	9,69	12,39	8,64	10,69	6,14
9,73	2,60	1,48	3,67	2,41	4,10	6,21	1,18	7,97	1,36	9,65	3,99	7,77	1,19	0,18	3,40	7,42	1,36	2,61	0,80	2,92	1,00	2,63	13,37	16,06	12,32	14,37	9,82
6,81	0,82	1,44	0,75	0,51	1,18	3,28	1,74	5,05	1,56	6,73	1,07	4,85	1,73	2,74	0,46	4,50	1,55	0,41	2,82	0,09	1,92	0,29	9,40	12,09	8,35	10,40	5,85
8,73	1,59	0,48	3,67	1,41	3,10	5,20	0,17	6,97	0,36	8,65	2,99	6,77	0,19	0,82	2,40	6,42	0,36	1,61	1,00	1,90	0,90	1,63	12,52	15,21	11,47	13,52	8,97
7,10	0,03	1,24	1,04	0,21	1,47	3,58	1,45	5,34	1,27	7,03	1,37	5,14	1,44	2,45	0,78	4,79	1,27	0,02	2,60	0,29	1,63	1,09	11,09	13,78	10,04	12,09	7,54
4,02	11,15	12,26	10,08	11,33	9,65	7,54	12,57	5,78	12,39	4,09	9,75	5,88	12,55	13,57	10,34	6,32	12,38	11,14	13,74	10,82	12,74	11,12	0,00	2,69	1,05	1,00	3,55
6,45	13,58	14,69	12,50	13,76	12,08	9,97	15,00	8,21	14,81	6,52	12,18	8,40	14,98	15,99	12,77	7,75	14,81	13,57	16,17	13,25	15,17	13,55	2,69	0,00	3,74	1,69	6,24
2,54	9,67	10,78	8,60	9,85	8,17	6,06	11,09	4,30	10,91	2,61	8,27	4,50	11,07	12,09	8,86	4,84	10,90	9,66	12,26	9,34	11,26	9,64	1,05	3,74	0,00	2,05	2,50
3,59	10,72	11,84	9,65	10,91	9,22	7,12	12,14	5,35	11,96	3,67	9,33	5,55	12,13	13,14	9,92	5,80	11,96	10,71	13,32	10,40	12,32	10,69	1,00	1,69	2,05	0,00	4,55
0,82	6,32	7,43	5,24	6,50	4,81	2,71	7,74	0,94	7,55	0,74	4,92	1,14	7,72	8,73	5,51	1,49	7,55	6,31	8,91	5,99	7,91	6,38	3,55	6,24	2,50	4,55	0,30

Tabella 5. Tabella del calcolo delle temperature omologhe

Per la scelta della modalità si è optato per lo stratagemma di confrontare le misure del giorno più freddo, del set di dati disponibile, e di quello più caldo.

La Tabella 5 mostra i risultati dell'analisi di correlazione dove i valori al di sopra della linea verde sono speculari a quelli al di sotto.

Nel primo grafico (Figura 21) vengono quindi rappresentate le temperature che sono riconducibili ad una stessa logica.

La visione comune ai grafici successivi, è quella di rappresentare le grotte posizionate sul reticolato chilometrico con latitudine sull'asse delle X, e con differenti colorazioni a seconda del raggruppamento logico. Questo è ottenuto procedendo nella seguente maniera: si considerano le misurazioni esterne per tracciare una retta con coefficiente angolare noto e si calcolano le distanze di ogni punto dalla retta. Nel caso del coefficiente invernale (che risulta essere 1,9 C°/Km), si nota che non ci sono punti a temperatura prossima (ovvero inferiore a 0,5°) dalla retta teorica (prima colonna della Tabella 5). Da questo fatto si deduce che non ci sono «cantine», ma che le grotte devono essere correlate in qualche modo.

Si ripete la procedura (dalla seconda colonna in poi) indicando però per ogni grotta il coefficiente angolare teorico di 3,5 °C/Km relativo all'andamento medio delle temperature ipogee. Con questo stratagemma si dovrebbe riuscire a vedere se ci sono grotte che ad una quota prestabilita mostrano similarità con le temperature attese. La tabella risultante permette di ricostruire degli insiemi di punti con questo criterio.

Il grafico indica la presenza di almeno 4 raggruppamenti (rosso, verde, viola, nero), e di un paio di giocatori singoli (in blu), ovvero non collegabili con nessun raggruppamento (Invertita, Lo Zar - (LoBs 4050)). Curiosamente questo fatto non si presenta in maniera analoga per la modalità estiva. Al contrario, praticamente tutte le grotte sembrano far parte di un unico complesso con vari collegamenti, non banali, tra i vari ingressi.

Il fatto che la differente circolazione delle arie in estate ed in inverno si riflette sull'attivazione di differenti connessioni tra i sistemi, è una delle evidenze che emerge sempre di più dalle analisi della meteorologia ipogea.

Riassumendo, non è detto che il massimo flusso d'aria si registri tra due bocche facenti parte dello stesso complesso, sia in estate che in inverno. Le cause scatenanti sembrano essere molto complesse e non sempre riconducibili alle banali dimensioni

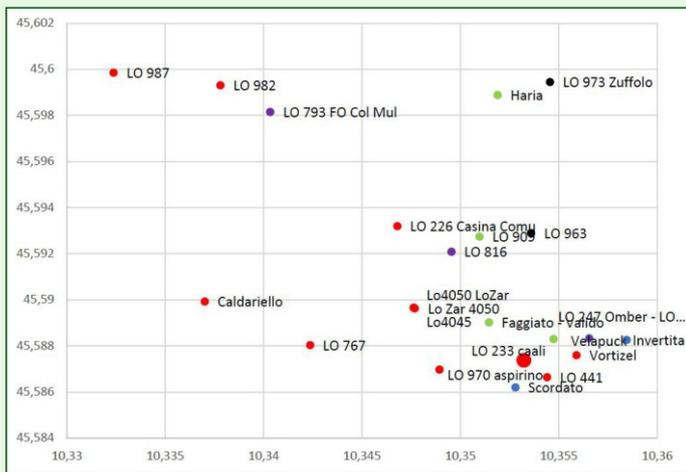


Figura 21. Pianta temperature omologhe invernali

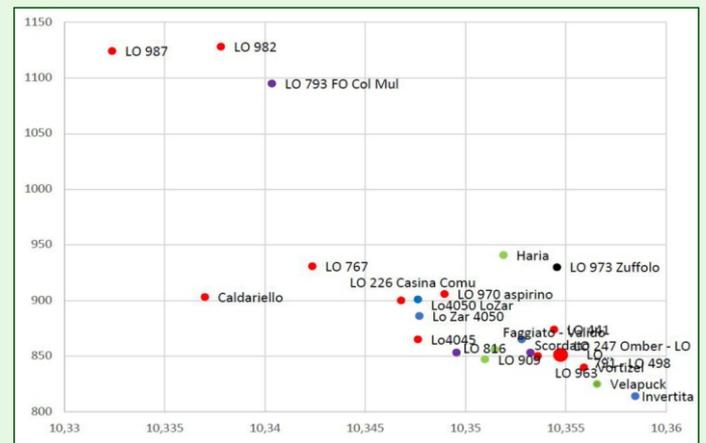


Figura 23. Sezione temperature omologhe invernali

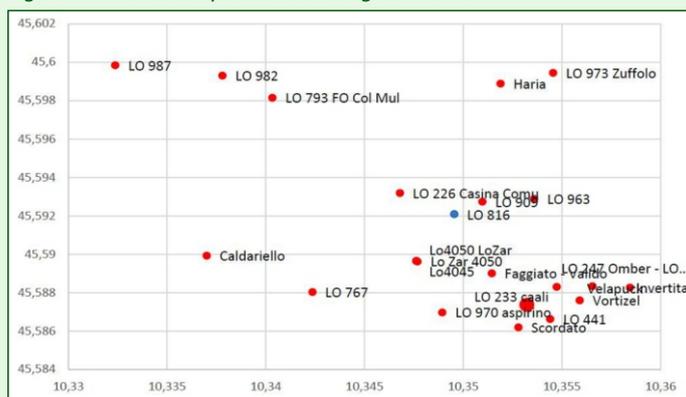


Figura 22. Pianta temperature omologhe estive

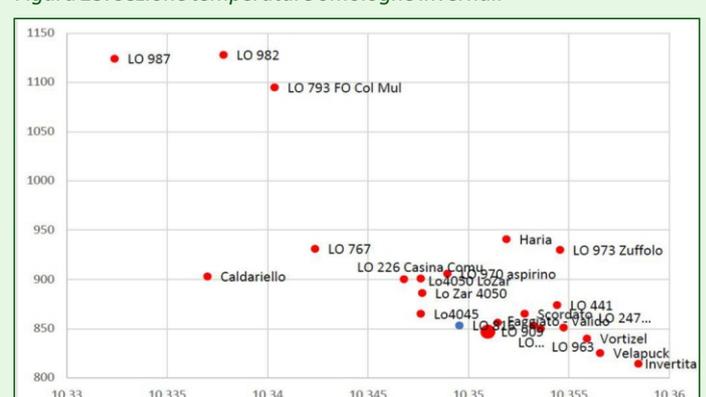


Figura 24. Sezione temperature omologhe estive

delle gallerie percorse dalle arie. In questa visione, Invertita e Lo Zar (LoBs 4050), sembrano essere le uniche due grotte non connesse al sistema.

L'analisi dello stesso grafico, seguendo i rami di maggior analogia delle temperature, può dare l'informazione di come le grotte potrebbero essere collegate. Nel grafico sotto (Figura 25) si può notare che le grotte non sono tutte collegate in parallelo, ma in realtà i collegamenti avvengono per vie preferenziali: Vortizel per esempio è collegata direttamente unicamente a LoBs 4065, LoBs 4045 e LoBs 982.

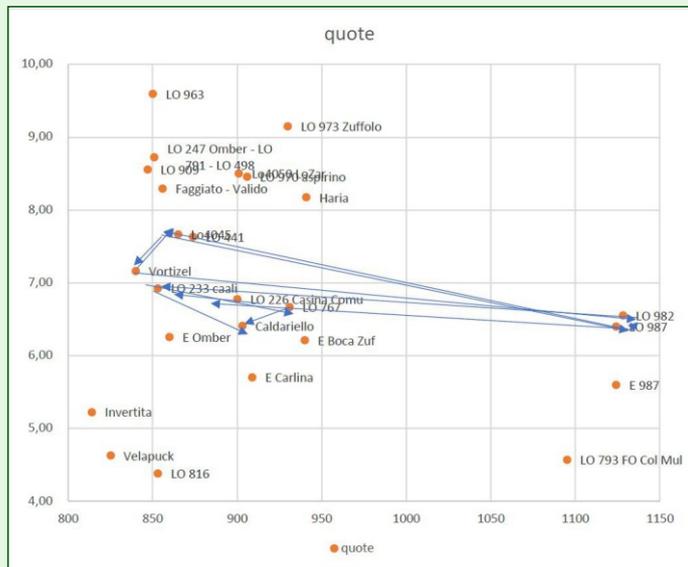


Figura 25. Grafico di controllo dei collegamenti in parallelo

Utilizzando questa metodologia, sarebbe quindi ipotizzabile una rete di collegamenti tra le grotte.

**Analisi di Correlazione tra le temperature misurate**

- Esterno/interno per verificare eventuali "cantine";
- interno/interno per verificare eventuali collegamenti;
- analisi di correlazione ritardata per verificare eventuali shift di comportamento nel tempo.

Un approccio complementare potrebbe essere quello di analizzare le correlazioni tra le temperature registrate tra le grotte, prendendo come presupposto che quelle in collegamento profondo tra loro dovrebbero soffiare aria alla stessa temperatura.

Quindi si parte dalla lista delle temperature registrate durante un periodo in esterno e si correla il dato con quelle registrate internamente, per fare una prima selezione di grotte con comportamento omologo: in seguito si procede a fare una correlazione tra le temperature interne delle varie grotte.

La correlazione esterno/interno dovrebbe segnalare le eventuali «cantine», mentre la seconda correlazione dovrebbe dare la

Tabella 6. Tabella delle correlazioni usata come riferimento

	E Carlina	Lo247	Lo793	Lo973	Lo987	Lo909	Lo226	Haria	Lo982	Velapuck	Lo4065	Caldariello	Vortizel	Faggiato	Lo233	Invertita	Lo767	Lo4045	Lo963	Lo4050	Lo816	
E Carlina	1																					
Lo247	0,4829072	1																				
Lo793	0,71576764	0,5895916	1																			
Lo973	-0,4678773	-0,501032	-0,7661409	1																		
Lo987	0,43937904	0,57778141	0,7875039	-0,6391045	1																	
Lo909	-0,3599269	-0,3408431	-0,5661139	0,49580316	-0,7197706	1																
Lo226	0,53944261	0,67553176	0,8597637	-0,6672276	0,8809093	-0,5777545	1															
Haria	-0,4780022	-0,2520844	-0,4536767	0,53244988	-0,0429339	0,09377871	-0,2919964	1														
Lo982	0,5278236	0,57682436	0,76045732	-0,5019722	0,86418669	-0,6430493	0,8347293	-0,0048307	1													
Velapuck	0,73478218	0,64826606	0,91409255	-0,6755917	0,82712784	-0,6284711	0,90538644	-0,3824194	0,81800844	1												
Lo4065	0,48623592	0,55811214	0,73138713	-0,5717621	0,85774329	-0,6925817	0,81187185	-0,1123109	0,7857003	0,85361559	1											
Caldariello	0,2347806	0,42209302	0,54269461	-0,4360026	0,81818428	-0,7350027	0,70003109	0,09748548	0,68977778	0,67771455	0,85993173	1										
Vortizel	0,21336843	0,4171042	0,13716264	-0,0797259	0,14226357	-0,0082909	0,33303644	-0,2049181	0,19249465	0,25019083	0,19622331	0,11425766	1									
Faggiato	-0,091409	0,21205282	-0,2489601	0,28745174	-0,1806754	0,27416418	-0,0734865	0,08216634	-0,1491339	-0,1620584	-0,1341051	-0,0931529	0,67462746	1								
Lo233	0,66039995	0,6651052	0,91760227	-0,673835	0,85073138	-0,5675066	0,8545059	-0,2005651	0,85375153	0,93448877	0,8473927	0,6679704	0,15230888	-0,1900411	0,90559145	0,83531167	1					
Invertita	0,64439862	0,51161143	0,90080352	-0,74378	0,81864506	-0,6567975	0,81327685	-0,3384757	0,74403901	0,86496736	0,77510351	0,64036009	0,08621802	-0,2692142	0,84976516	1						
Lo767	0,7033178	0,59780446	0,86759462	-0,5531328	0,83197792	-0,6331136	0,8535469	-0,3342449	0,82858319	0,93460248	0,79235342	0,62606114	0,25015713	-0,1403933	1							
Lo4045	0,31951704	0,25954221	0,38885676	-0,2484898	0,36545071	-0,2522793	0,39164748	-0,1142827	0,37597205	0,41423948	0,35792715	0,2744537	0,08824372	-0,0739087	0,40838464	0,37731255	0,4122774	1				
Lo963	-0,1239048	-0,1520872	-0,2443073	0,16607521	-0,5857867	0,52393692	-0,4035969	-0,2329278	-0,4836221	-0,4026305	-0,5347827	-0,6102334	0,02827582	-0,19870273	-0,3387715	-0,3822878	-0,4295219	-0,1649484	1			
Lo4050	-0,3801856	0,09349126	-0,447174	0,46170419	-0,3444479	0,38619135	-0,3157149	0,34035044	-0,2456433	-0,4248722	-0,3555508	-0,2968093	0,33293735	0,61577144	-0,3637926	-0,4649622	-0,3977432	-0,1581243	0,23834223	1		
Lo816	0,64484662	0,62681683	0,8881053	-0,6408394	0,90906793	-0,7103078	0,91222984	-0,2087374	0,89229827	0,94732259	0,90237886	0,75424206	0,18259446	-0,2059031	0,92848879	0,87204428	0,95037145	0,41604337	-0,4907558	-0,3969154	1	
Lo970	0,55580434	0,53306629	0,75249087	-0,3696074	0,67640684	-0,3945658	0,78584676	-0,1768449	0,72759197	0,79286409	0,67645641	0,52719887	0,1854388	-0,0498398	0,810031	0,63826134	0,80508936	0,33013492	-0,2770893	-0,2243543	0,7845969	1



Foto 10. Misurazione velocità del flusso presso l'imbocco di una cavità che inverte l'alitazione a intervalli regolari (Invertita). Viene utilizzato anemometro portatile «a filo caldo», termometro a mercurio tarato a decimo di grado e videocamera per la registrazione viva con candelette delle inversioni - Foto: V. Franchini

relazione tra le variazioni delle temperature di una grotta in relazione con le altre eventualmente collegate. L'ipotesi è che se una variazione di temperatura di una grotta si riflette in maniera praticamente identica con quella di un'altra grotta, le due grotte dovrebbero essere in comunicazione. Si cercano quindi di individuare gli eventuali insiemi omologhi di grotte segnalandoli in cartina con colori differenti come fatto precedentemente.

Ricordiamo che l'indice di correlazione che oscilla tra -1\_1 indica nel suo valore maggiore una perfetta correlazione, nello 0 la mancanza di correlazione e in -1 la correlazione opposta o negativa (ad un massimo corrisponde un minimo).

La Tabella 6, è da interpretare in questo modo: nella prima riga abbiamo i nomi di tutte le grotte, come nella prima colonna.

Ogni colonna rappresenta l'indice di correlazione con le rispettive righe, per esempio la correlazione tra le temperature

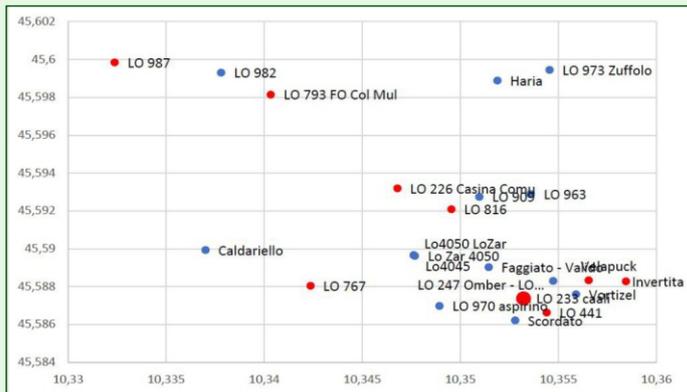


Figura 26. Pianta correlazioni

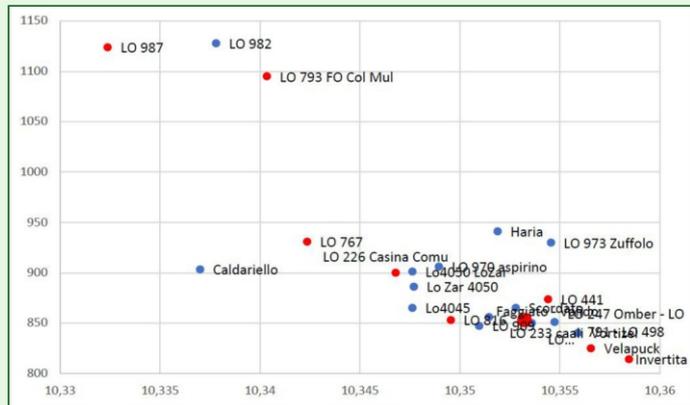


Figura 27. Sezione correlazioni

esterne di colonna 1, supera il valore 0,7 solo in 3 casi: LoBs 793, Velapuck, LoBs 767.

Queste sono le uniche grotte che potrebbero essere considerate delle cantine, ovvero sia le loro variazioni sono concordi al 70% con le variazioni della temperatura esterna. Normalmente i valori di correlazione al di sotto del 90% non sono ritenuti particolarmente significativi, per cui per ora ci atterremo a questa regola, conservando in ogni caso l'informazione emersa. In rosa si sono evidenziate le relazioni al di sopra del 90% tra le grotte, e in giallo quelle intorno al 70%.

Dall'analisi della tabella superiore, si evince l'esistenza di un gruppo di grotte fortemente correlate. Tutte le altre grotte non risultano essere relazionabili con questo metodo di indagine.

Sono state riprodotte due differenti rappresentazioni: quella in pianta, utilizzando le coordinate geografiche, e quella in sezione, dove si è sostituita la latitudine con la quota. A questo punto sarebbe interessante fare delle analisi di cross-correlation per verificare se la mancata correlazione tra gli ingressi possa

Tabella 7. Tabella di cross-correlation

Cross correlatio n table (ore)	EC	LoBs 247	LoBs 793	LoBs 973	LoBs 987	LoBs 909	LoBs 226	Ha	LoBs 982	Ve	LoBs 4065	Cal	Vo	Fa	LoBs 233	In	LoBs 767	LoBs 4045	LoBs 963	LoBs 4050	LoBs 816	LoBs 970
E Carlina			0							0							0					
LoBs 247		-																				
LoBs 793			-		0		0		0	0	0				0	0	0				0	0
LoBs 973				-																		
LoBs 987					-		0	250	0	0	0	50			0	0	0	50			0	
LoBs 909						-																
LoBs 226							-	250	0	0	0	50			0	0	0				0	0
Haria								-														
LoBs 982									-	0	0				0	0	0				0	0
Velapuck										-	0	50			0	0	0	50			0	0
LoBs 4065											-	50			0	0	0				0	
Caldariello												-										0
Vortizel													-									
Faggiato														-								
LoBs 233															-	0	0				0	0
Invertita																-	0				0	
LoBs 767																	-				0	0
LoBs 4045																		-				
LoBs 963																			-			
LoBs 4050																				-		
LoBs 816																					-	0
LoBs 970																						-

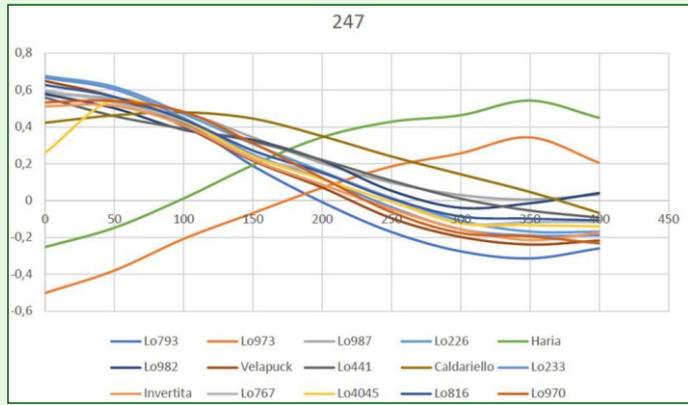


Figura 28. Grafico di confronto con ritardo progressivo delle temperature in relazione alla LoBs 247

raggiungere delle corrispondenze maggiori, considerando un confronto tra le curve che tiene conto di un ritardo temporale. Ulteriori calcoli, poi concretizzati in alcuni grafici riassuntivi per verificare se le variazioni di temperatura trovano delle correlazioni tra di loro, confrontati in maniera progressivamente ritardata da 0 a 400 a passi di 50 ore (è stata inserita in appendice B la procedura Excel utilizzata).

Come si vede per esempio in questo grafico delle temperature della LoBs 247 confrontate con il ritardo progressivo prima definito, si può notare che la maggior parte delle grotte si comportano come la LoBs 247, mentre Haria e LoBs 973 hanno un comportamento analogo alla LoBs 247 con 350 ore di ritardo (da non sottovalutare il valore che si legge sull'asse delle Y, ovvero la correlazione, che nel caso di Haria risulta intorno al 60%, un valore comunque non alto, ma nel caso della LoBs 973 è troppo basso per essere considerato significativo). Da notare anche il picco di LoBs 4045 con 50 ore di ritardo. In giallo sono evidenziate le grotte che non hanno alcuna relazione con le altre,

distanze calcolate su colorati	EC	LoBs 247	LoBs 793	LoBs 973	LoBs 987	LoBs 909	LoBs 226	Har	LoBs 982	Vel	LoBs 4065	Cal	Vor	Fag	LoBs 233	Inv	LoBs 767	LoBs 4045	LoBs 963	LoBs 4050	LoBs 816	LoBs 970
E Carlina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LoBs 247	-	-	244	79	273	4	49	90	277	26	23	52	11	5	2	37	80	14	1	-	-	845
LoBs 793	-	-	-	165	29	248	195	116	33	270	221	78	15	31	242	281	164	40	25	-	242	189
LoBs 973	-	-	-	-	268	9	44	85	272	31	18	47	16	-	3	42	75	9	6	-	-	-
LoBs 987	-	-	-	-	-	39	224	183	4	299	250	221	46	30	271	310	193	259	36	-	271	-
LoBs 909	-	-	-	-	-	-	3	38	225	78	29	-	63	47	50	89	28	38	3	-	-	-
LoBs 226	-	-	-	-	-	-	-	41	228	75	26	3	13	3	47	86	31	12	3	-	47	6
Haria	-	-	-	-	-	-	-	-	281	22	27	56	7	9	6	33	84	18	3	-	-	-
LoBs 982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	825	254	225	10	6	275	314	197	15	-	-	275	222
Velapuck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	78	60	44	28	11	106	40	50	-	28	81
LoBs 4065	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	255	239	21	60	57	230	245	-	21	-
Caldariello	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	101	85	50	89	28	76	91	-	50	-
Vortizel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	275	314	197	263	278	-	-	-
Faggiato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77	116	1	65	80	-	-	-
LoBs 233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	78	259	274	-	0	53
Invertita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117	36	51	-	39	-
LoBs 767	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	78	25
LoBs 4045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-
LoBs 963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LoBs 4050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LoBs 816	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53
LoBs 970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 8. Tabella di cross-correlation ingressi selezionati

mentre nelle celle è possibile leggere i valori in ore di ritardo tra le altre.

Nel caso di cella bianca, la variazione è istantanea. Si è provato a verificare se la distanza tra gli ingressi delle grotte in qualche modo fosse relazionata ai valori di ritardo, ma come si vede dalla in Tabella 8, non si legge alcuna relazione evidente.

Come osservazione finale, trovando all'interno di questa popolazione di grotte sia ingressi soffianti che uno aspirante, si potrebbe considerare questo insieme come: «di grotte afferenti arie in un punto noto».

Risulta necessaria un'analisi anemometrica, o meglio con un tracciante, per verificare quanta aria entrante esce, e in che proporzione viene distribuita tra le grotte afferenti.

### Analisi in frequenza delle variazioni di temperatura per verificare i seguenti eventi

- Analogia tra le variazioni esterne/interne delle variazioni di temperatura;
- analogia tra le varie variazioni di temperatura tra le grotte;
- verifica di eventuali *shift* di variazione tra le grotte, con tentativo di computo della relazione tra lunghezza della grotta e *shift* temporale.

Si anticipa che le osservazioni a valle di questa analisi non possono prescindere da un errore intrinseco che potrebbe invalidare tutto il ragionamento, in quanto si presume che le grotte siano per la maggior parte del tempo di osservazione nella modalità, nel nostro caso, «invernale». Questa verifica non è stata condotta per mancanza di sistemi di misurazione anemometrici attivi.

L'analisi in frequenza, tentata per la prima volta in questa occasione, dovrebbe permettere di evidenziare le eventuali frequenze di ripetitività dei fenomeni naturali, nel nostro caso della temperatura.

La prima analisi che viene svolta per verificare la consistenza del metodo, è quella dell'analisi delle temperature esterne. Per procedere a questa analisi, chiamata anche analisi FFT, servono delle conoscenze matematiche sul trattamento dei segnali con l'analisi di Fourier.

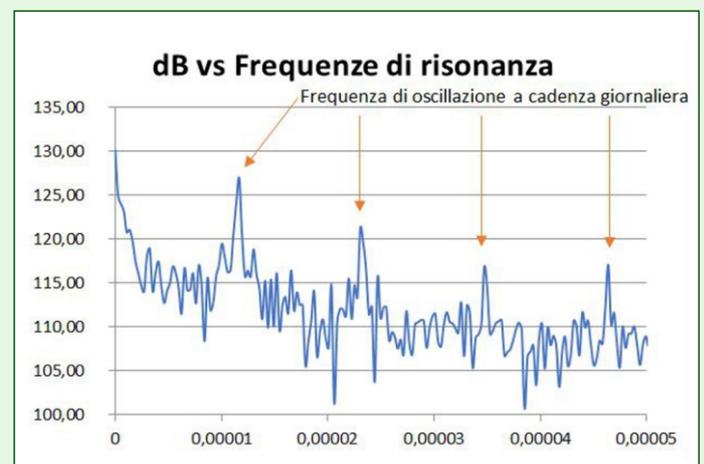


Figura 29. Grafico dell'analisi in frequenza di risonanza

Le frequenze evidenziate risultano essere tutte in relazione tra di loro con la prima frequenza in evidenza, secondo la tabella, dove si sono evidenziate le frequenze osservabili, considerando una ripetitività dei dati giornaliera e le frequenze osservate.

Tabella 9. Corrispondenza delle frequenze osservabili

$\frac{v}{\text{armoniche}}$	1	2	3	4
teoria	1,13E-05	2,26E-05	3,39E-05	4,52E-05
dato	1,13E-05	2,33E-05	3,49E-05	4,63E-05

La corrispondenza fa quasi impressione e dimostra che l'assunzione di una ripetitività di ciclo su base 24 ore sia più che

giustificata, più precisamente la ripetitività risulta la seguente:

$$\tau = \frac{1}{3600\nu} = 24,5 \text{ ore}$$

come del resto si può osservare dagli andamenti del grafico delle variazioni di temperatura nel tempo.

Suggeriamo di notare come nel diagramma delle frequenze esterne non ci sia alcuna frequenza spuria oltre a quelle orarie e alle loro armoniche.

Confortati da questo primo risultato procediamo con l'usuale analisi di correlazione tra le frequenze esterne ed interne per vedere l'esistenza di grotte con frequenze di risonanza analoghe a quelle esterne: questo tenderebbe a classificare le grotte come «cantine», reagendo alle variazioni di temperatura in sincronia con quelle esterne e quindi come se fossero in diretto unico contatto con l'esterno.

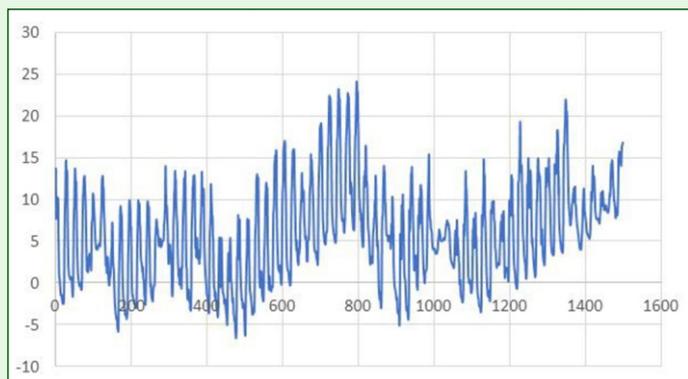


Figura 30. Grafico della variazione di temperature in °C Carlina Esterne nel tempo

Tabella 10. Tabella di correlazione significativa

E Carlina	1	Caldariello	0,2347806
LoBs 247	0,48290972	Vortizel	0,21336843
LoBs 793	0,71576764	Faggiato	-0,091409
LoBs 973	-0,4678773	LoBs 233	0,66039995
LoBs 987	0,43937904	Invertita	0,64339806
LoBs 909	-0,3599269	LoBs 767	0,7033178
LoBs 226	0,53944261	LoBs 4045	0,31951704
Haria	-0,4780022	LoBs 963	-0,1239048
LoBs 982	0,5278236	LoBs 4050	-0,3801856
Velapuck	0,73478218	LoBs 816	0,64484662
LoBs 4065	0,48623592	LoBs 970	0,56580434

Tabella 11. Sincronia tra le variazioni di temperature registrate in uscita alle cavità

	E Carlina	Lo247	Lo793	Lo973	Lo987	Lo909	Lo226	Haria	Lo982	Velapuck	Lo4065	Caldariello	Vortizel	Faggiato	Lo233	Invertita	Lo767	Lo4045	Lo963	Lo4050	Lo816	Lo970	
E Carlina	1,00																						
Lo247	0,48	1,00																					
Lo793	0,72	0,59	1,00																				
Lo973	-0,47	-0,50	-0,77	1,00																			
Lo987	0,44	0,58	0,79	-0,64	1,00																		
Lo909	-0,36	-0,34	-0,57	0,50	-0,72	1,00																	
Lo226	0,54	0,68	0,86	-0,67	0,88	-0,58	1,00																
Haria	-0,48	-0,25	-0,45	0,53	-0,04	0,09	-0,29	1,00															
Lo982	0,53	0,58	0,76	-0,50	0,86	-0,64	0,83	-0,00	1,00														
Velapuck	0,73	0,65	0,91	-0,68	0,83	-0,63	0,91	-0,38	0,82	1,00													
Lo4065	0,49	0,56	0,73	-0,57	0,86	-0,69	0,81	-0,11	0,79	0,85	1,00												
Caldariello	0,23	0,42	0,54	-0,44	0,82	-0,74	0,70	0,10	0,69	0,68	0,86	1,00											
Vortizel	0,21	0,42	0,14	-0,08	0,14	-0,01	0,33	-0,20	0,19	0,25	0,20	0,11	1,00										
Faggiato	-0,09	0,21	-0,25	0,29	-0,18	0,27	-0,07	0,08	-0,15	-0,16	-0,13	-0,09	0,67	1,00									
Lo233	0,66	0,67	0,92	-0,67	0,85	-0,57	0,95	-0,33	0,83	0,93	0,79	0,63	0,25	-0,14	1,00								
Invertita	0,64	0,51	0,90	-0,74	0,82	-0,66	0,81	-0,34	0,74	0,86	0,78	0,64	0,09	-0,27	0,85	1,00							
Lo767	0,70	0,60	0,87	-0,55	0,83	-0,63	0,85	-0,20	0,85	0,93	0,85	0,67	0,15	-0,19	0,91	0,84	1,00						
Lo4045	0,32	0,26	0,39	-0,25	0,37	-0,25	0,39	-0,11	0,38	0,41	0,36	0,27	0,09	-0,07	0,41	0,38	0,41	1,00					
Lo963	-0,12	-0,15	-0,24	0,17	-0,59	0,52	-0,40	-0,23	-0,48	-0,40	-0,53	-0,61	0,03	0,20	-0,34	-0,38	-0,43	-0,16	1,00				
Lo4050	-0,38	0,09	-0,45	0,46	-0,34	0,39	-0,32	0,34	-0,25	-0,42	-0,36	-0,30	0,33	0,62	-0,36	-0,46	-0,40	-0,25	-0,16	1,00			
Lo816	0,64	0,63	0,89	-0,64	0,91	-0,71	0,91	-0,21	0,89	0,95	0,90	0,75	0,18	-0,21	0,93	0,87	0,95	0,42	-0,49	-0,40	1,00		
Lo970	0,57	0,53	0,75	-0,37	0,68	-0,39	0,76	-0,18	0,73	0,79	0,68	0,53	0,19	-0,05	0,81	0,64	0,81	0,33	-0,28	-0,22	0,78	1,00	

Come evidenziato dai numeri in rosso (Tabella 10) solo 3 grotte mostrano un livello di correlazione debolmente significativo (0,7) e sono: Velapuck, LoBs 767 e LoBs 793.

Da ulteriori analisi cercheremo di capire quanto questa informazione vada considerata. Si ricorda che la correlazione potrebbe essere figlia di numerose inversioni di temperatura a

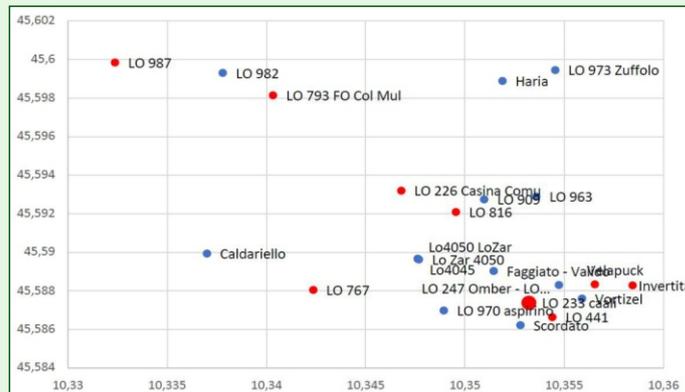


Figura 31. Pianta correlazioni tra frequenze di risonanza

cui possono essere sottoposte queste grotte, questo farebbe comparire le stesse frequenze esterne sommate ad eventuali altri comportamenti.

Si procede a questo punto ad analizzare le correlazioni tra gli interni delle grotte. Queste correlazioni, ovvero sia la sincronia tra le variazioni delle temperature registrate in uscita tra le varie grotte e le frequenze relative di risonanza potrebbero darci informazioni sulle stesse grotte.

Come si può notare immediatamente, le grotte che presentano

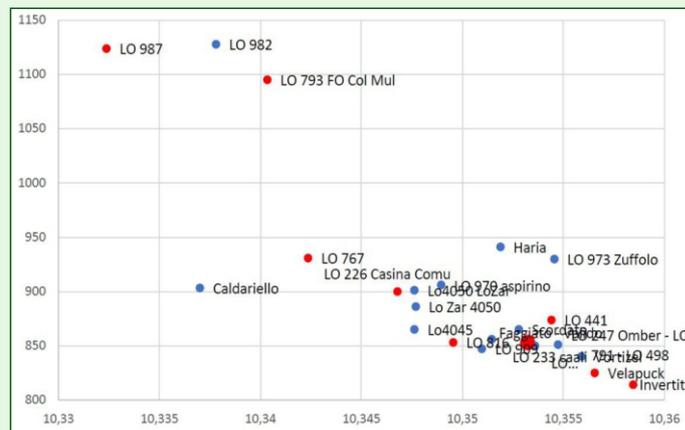


Figura 32. Sezione correlazioni tra frequenze di risonanza

dei fenomeni comuni sono un numero non particolarmente esteso: proviamo a vederle con i soliti grafici a punti utilizzati precedentemente.

In rosso le grotte che presentano correlazione diretta e relativa, in blu le grotte che non sono in alcun modo correlate alle altre.

Le 3 grotte precedentemente evidenziate come dubbie, sembrano rientrare all'interno di un insieme più ampio anche se l'osservazione puntuale delle variazioni di temperatura grotta con quella esterna, non sembra evidenziare dei fenomeni di inversione.

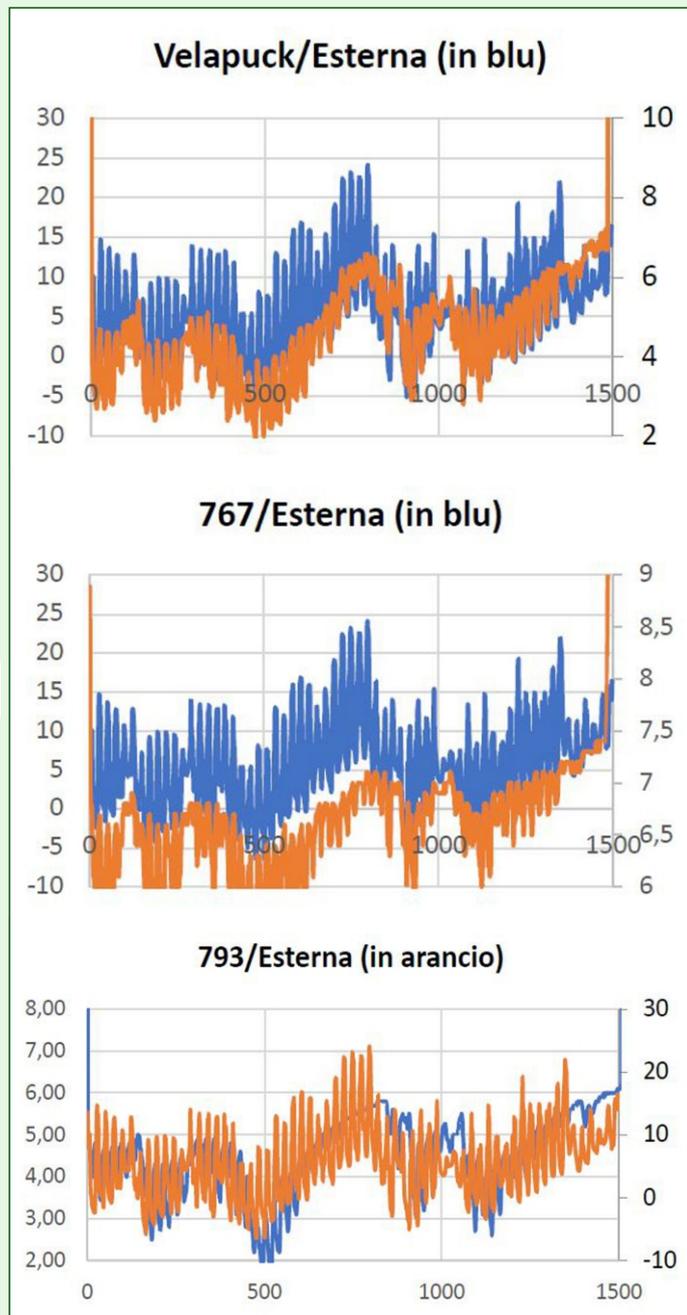


Figura 33. Esempio di confronto tra le frequenze di alcune singole cavità (Velapuck, LoBs 767 e LoBs 793, per e quelle esterne)

Questo fatto, è una delle barriere dell'analisi limitata alle temperature, con un anemometro si sarebbe raggiunta una migliore verifica di un fatto che è ristretto ad un'osservazione punto a punto.

Dall'analisi delle frequenze, risalta che le frequenze di risonanza di ogni singola grotta sembrano risultare profondamente differenti dalle frequenze di risonanza delle temperature esterne. Di seguito si riporta un esempio di confronto tra le frequenze di LoBs 233 in rosso e quelle esterne in blu (Figura 34): le esterne sono quelle evidenziate precedentemente, mentre

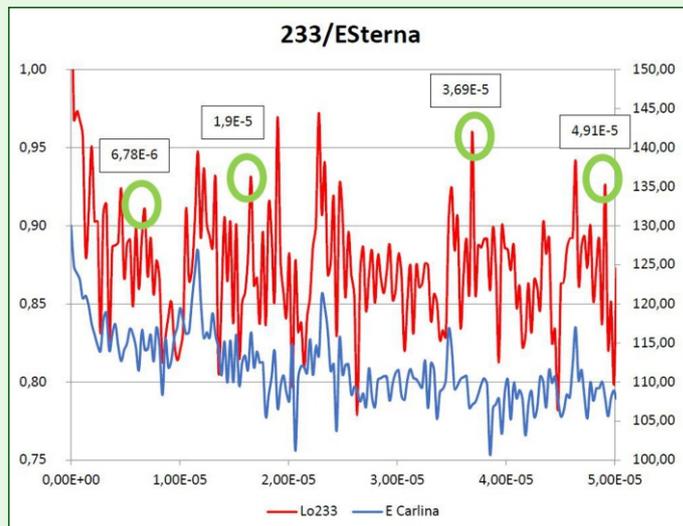


Figura 34. Esempio di confronto tra le frequenze della LoBs 233 e quelle esterne

Tabella 12. Corrispondenze dei valori relativa al grafico di Figura 34

$f_0$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
6,78E-06	1,90E-05	3,69E-05	4,91E-05
$t_0$ (ore)	$t_1$ (ore)	$t_2$ (ore)	$t_3$ (ore)
40,97	14,62	7,53	5,66

sono segnalate con cerchi verdi le frequenze spurie di LoBs 233. Frequenze che corrispondono ai valori della Tabella 12.

Dare un significato a questi dati potrebbe non esser banale. Viene da pensare che le frequenze in più, in effetti in qualche maniera multiple l'una dell'altra a partire dalla prima 6,8E-06, siano dovute ad un effetto ben noto in acustica, cioè che la lunghezza di un tubo sia proporzionale alla frequenza emessa (il flauto è notoriamente molto più piccolo di un trombone); il problema non banale è non si sta per nulla parlando di frequenze di risonanza di strumenti bensì di azioni dovute alle variazioni di temperatura che si propagherebbero in grotta ad una velocità sconosciuta, o meglio calcolabile una volta misurata su un sistema conosciuto. Ecco perché varrebbe la pena di effettuare dei test su grotte i cui collegamenti sono ben noti e misurati. Un approfondimento riconducibile a questo calcolo è stato fatto da G. Badino, per tutt'altri motivi, dato che ha considerato il modello elettrico di una grotta, utilizzando le usuali approssimazioni elettro/grotticole:

$$L = \frac{\rho l}{S}$$

$$R = \frac{\Delta P}{Sv}$$

$$C = \frac{V}{kP}$$

Considerando che l'Induttanza (L) è uguale al rapporto tra la Densità dell'aria, la Lunghezza della grotta (l) e la Sezione media (S), mentre la Resistenza (R) è uguale al rapporto tra la variazione di Pressione agli ingressi e il prodotto Sezione media e velocità dell'aria, ed infine la Capacità (C) al prodotto tra il Volume della grotta e il prodotto tra un coefficiente (1,4) e la Pressione misurata, il coefficiente adiabatico, trattandosi di fenomeni che avvengono in maniera isoterma, sarebbe da considerare in questo caso  $k=1$ .

Grazie a questo modello e considerando una grotta come un insieme di resistenze, condensatori e induttanze, è riuscito, utilizzando il relativo approccio matematico, a giungere ad

un'equazione molto interessante:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{f}{2\sqrt{S}} v^2 + \frac{l}{T^2} = 0$$

Questa equazione contiene tutti i parametri di nostro interesse ovvero la Velocità dell'aria (V), la Sezione media (S), la Lunghezza della grotta (l) ed il periodo di oscillazione indotto dalle variazioni di Temperatura (T).

Questa equazione è quella di un moto oscillatorio smorzato che dà come periodo di oscillazione (dalla soluzione del risuonatore di Helmholtz) per moti laminari:

$$\omega = v_T \sqrt{\frac{1}{L_{eq}} - \frac{1}{L_{smorz}}}$$

Con:

$$L_{eq} = \frac{IV}{S}, L_{smorz} = 10^6 S$$

cioè: la lunghezza equivalente (Leq) risulta uguale al rapporto tra il prodotto della Lunghezza reale media (IV) e il Volume reale e la Sezione media (S), mentre la Lunghezza di smorzamento (Lsmorz), è uguale a un milione di volte la sezione media.

Ritroviamo ancora una velocità che andrebbe calcolata sperimentalmente, ovvero quella della trasmissione del segnale di temperatura in grotta. Tale velocità, dovrebbe dipendere da almeno 2 parametri importanti: la densità dell'aria e la velocità di eventuali correnti d'aria. I numeri estrapolati da queste misure danno informazioni ancora troppo grezze perché possano essere utilizzate significativamente, ma la strada è certamente questa. Facendo queste considerazioni ci possiamo spingere ulteriormente a confrontare le curve di frequenza delle grotte, depurate dalle frequenze di risonanza esterne, con la solita tabella delle correlazioni, che è stata estrapolata dal confronto tra le frequenze di vibrazione ricavate dalle variazioni di temperatura di ogni cavità normalizzate, ovvero togliendo il

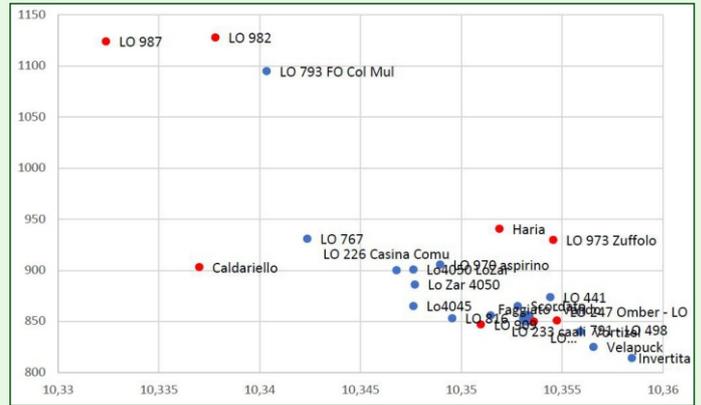


Figura 36. Sezione differential dB

contributo delle frequenze esterne, in modo da poter confrontare solo le frequenze tipiche di ogni grotta. Utilizzando gli ormai familiari grafici a punti si nota che tutte le grotte segnate da un punto rosso, possono essere considerate aventi lo stesso andamento in frequenza, le altre grotte in blu non presentano alcuna relazione evidente tra loro con questa modalità di analisi.

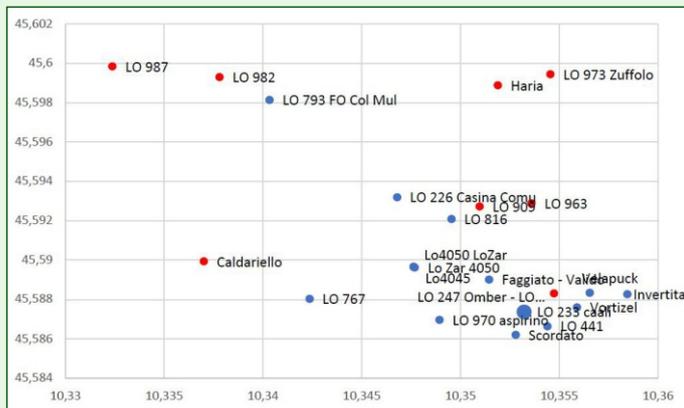


Figura 35. Pianta differential dB

Tabella 13. Confronto tra frequenze di vibrazione

differential dB	247	793	973	987	909	226	Haria	982	Velapuck	441	Caldariello	Vortizel	Faggiato	233	Invertita	767	4045	963	4050	816	970	
247	1																					
793	0,81574999	1																				
973	0,87100785	0,83827438	1																			
987	0,90752183	0,86387633	0,95481778	1																		
909	0,83665127	0,79730659	0,87400487	0,91144892	1																	
226	0,76041452	0,69364588	0,81911525	0,85767007	0,76161735	1																
Haria	0,89120159	0,83382273	0,94197869	0,97297129	0,89383321	0,84274909	1															
982	0,88989414	0,85122354	0,93366515	0,97840142	0,88490177	0,83982891	0,95820357	1														
Velapuck	0,64524471	0,73090649	0,64006725	0,66134242	0,6380103	0,50478049	0,63248537	0,65103699	1													
441	0,64415729	0,68060646	0,65707859	0,66717116	0,62945587	0,51314055	0,6514532	0,6604022	0,62706415	1												
Caldariello	0,86766148	0,87529198	0,89987675	0,9206161	0,85664219	0,73566918	0,89822483	0,90007598	0,71286241	0,70213472	1											
Vortizel	0,67590648	0,68136229	0,65368659	0,67092651	0,63686127	0,53115899	0,64639518	0,65132832	0,58124256	0,58144611	0,69480934	1										
Faggiato	0,6074332	0,66418885	0,60013095	0,62184682	0,597254	0,46411948	0,60264974	0,6012362	0,5790105	0,54210486	0,67556	0,58375472	1									
233	0,62283305	0,67721294	0,62322305	0,64369442	0,57792006	0,47942922	0,61762868	0,63691098	0,61884656	0,55805741	0,68254463	0,53449158	0,54325718	1								
Invertita	0,72833209	0,77766404	0,7426238	0,7602726	0,70618854	0,60544523	0,74091002	0,73991472	0,65506166	0,61876343	0,79649834	0,6395469	0,6145486	0,58191372	1							
767	0,5326309	0,62997151	0,54578741	0,55305218	0,54351153	0,38878939	0,53016252	0,54744152	0,57630239	0,50599788	0,61372848	0,55154153	0,50839281	0,51436102	0,60829056	1						
4045	0,74768498	0,68374039	0,78250049	0,81628411	0,77286806	0,69296812	0,80475336	0,80414105	0,58838121	0,56368371	0,75362851	0,58996259	0,60081332	0,52514669	0,64590606	0,50302818	1					
963	0,89411653	0,82555483	0,93575111	0,9734329	0,89412514	0,85069278	0,95662056	0,95330801	0,62703195	0,64069333	0,88160233	0,65182463	0,6076897	0,60783557	0,72484566	0,51712485	0,81510982	1				
4050	0,52375625	0,56667382	0,53411957	0,54853652	0,52951529	0,39061277	0,52500839	0,522375	0,49861713	0,48921734	0,60101961	0,58042793	0,57353051	0,47099867	0,55737645	0,45742337	0,52744244	0,52615394	1			
816	0,62551549	0,75451369	0,63029606	0,63956599	0,60866976	0,46446531	0,60752849	0,63295026	0,64551245	0,60081921	0,71899526	0,62635912	0,57389281	0,60192093	0,67361073	0,60093924	0,54623782	0,602665	0,54874555	1		
970	0,50813097	0,55010448	0,50577945	0,53690607	0,52001984	0,38040253	0,51557359	0,53286853	0,52294708	0,48259516	0,58254307	0,4708689	0,48902171	0,44841364	0,54713375	0,47972704	0,50191209	0,51992293	0,43542859	0,50400325	1	

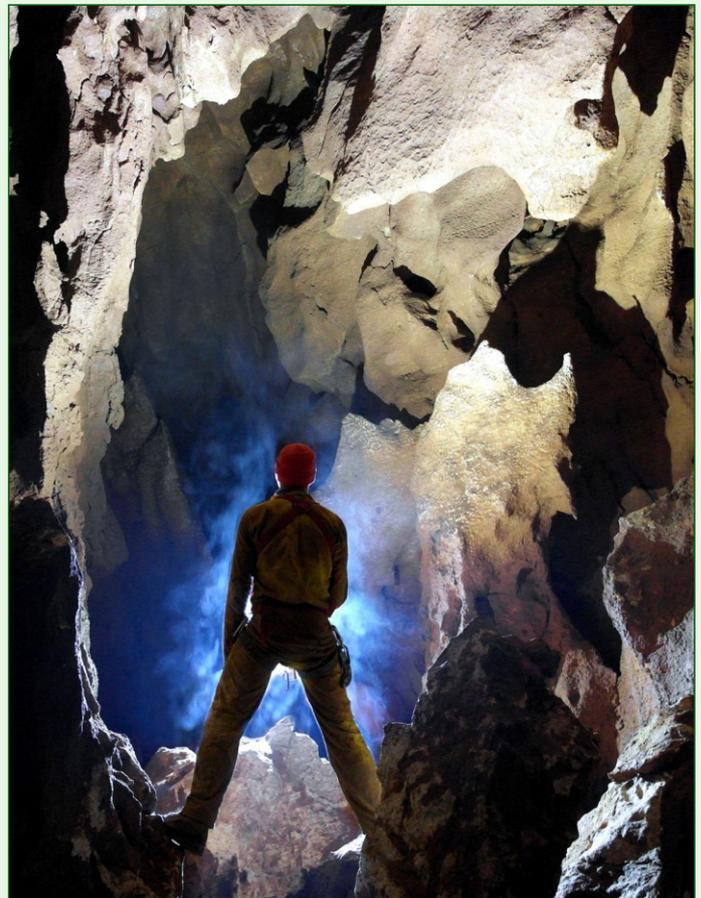


Foto 11. LoBs 247: Galleria dello Sprint - Foto M. Pozzo

### Analisi in frequenza filtrata dalle influenze esterne

Passiamo ora ad un'ulteriore analisi effettuata in frequenza depurando le frequenze di risonanza esterne, e analizzando con il tool di *smoothing* esponenziale. Con questo accorgimento, ovvero di eliminare le frequenze di risonanza esterne e la tecnica di *smoothing*, dovrebbero rimanere unicamente i segnali tipici di ogni grotta. Ne emerge una divisione in due gruppi distinti di frequenze, associabili a due differenti tipologie di risonanza tra di loro combinate, che potrebbe essere associato a due differenti sistemi ipogei indicati nel titolo di ogni grafico.

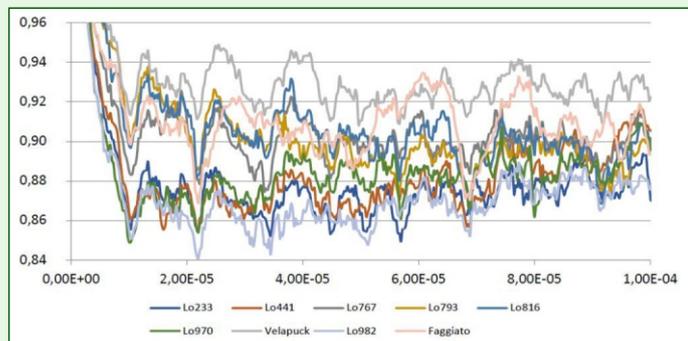


Figura 37. Grafico di Smoothed Differential dB (LoBs 226, LoBs 233, LoBs 4065, LoBs 793, LoBs 816, LoBs 982, Faggiato, Velapuck)

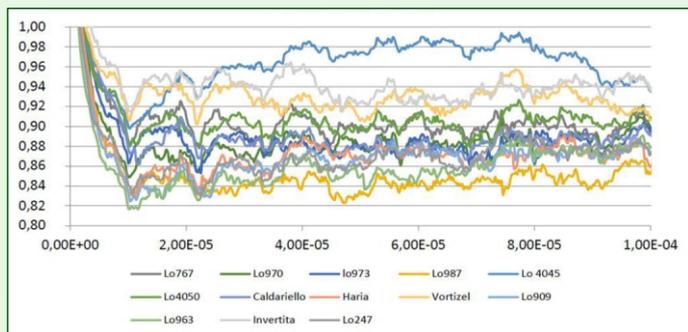


Figura 38. Grafico di Smoothed Differential dB (LoBs 247, LoBs 767, LoBs 963, LoBs 973, LoBs 987, LoBs 4045, LoBs 4050, Caldariello, Haria, Invertita, Vortizel)

Anche in questo caso si è provato ad operare un confronto di *cross-correlation* facendo i confronti con i dati ritardati temporalmente.

Questo grafico è molto simile a tutti gli altri, al punto che la tavola riassuntiva non conduce a nessuna informazione significativa,

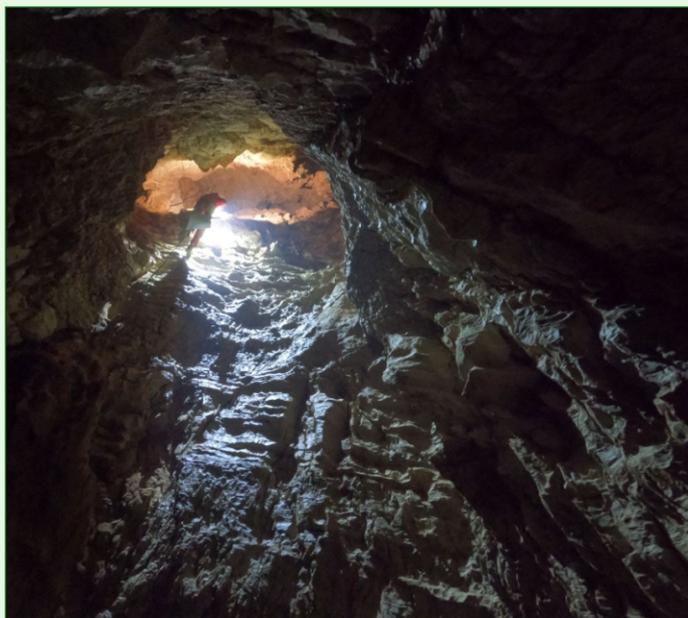


Foto 12. Grotta Haria: il P15, Jakkador. La grotta è di recente scoperta a seguito delle indagini relative al Progetto Ariadeghe - Foto V. Franchini

Tabella 14. Frequenze di risonanza da cui sono stati estratti i due grafici di Figura 37 e Figura 38): in giallo le frequenze fondamentali, le altre sono da considerare spurie

Differential dB							
Lo 226	7,87E-06		1,98E-05		3,89E-05		4,86E-05
Lo 233		1,33E-05	1,98E-05	2,44E-05	2,98E-05	3,89E-05	4,10E-05
Lo 441		1,33E-05	1,98E-05	2,44E-05	2,98E-05	3,89E-05	
Lo 767			1,98E-05	2,44E-05		3,89E-05	
Lo 793		1,33E-05		2,44E-05		3,89E-05	4,10E-05
Lo 816		1,33E-05		2,44E-05		3,89E-05	
Lo 909			1,98E-05		2,98E-05		4,10E-05
Lo 963			1,98E-05		2,98E-05		4,10E-05
Lo 973			1,98E-05		2,69E-05		4,10E-05
Lo 982		1,33E-05		2,44E-05			4,45E-05
Lo 987			1,40E-05				4,10E-05
Lo 4045			1,98E-05		2,69E-05		4,10E-05
Lo 4050			1,98E-05		2,69E-05		4,10E-05
Caldariello			1,98E-05				4,10E-05
Faggiato		1,33E-05		2,44E-05			
Haria			1,98E-05		2,69E-05		4,10E-05
Invertita			1,98E-05		2,69E-05		4,10E-05
Velapuck		1,33E-05		2,44E-05		3,89E-05	
Vortizel			1,40E-05		2,69E-05		4,10E-05

intendendo che le frequenze di risonanza di ciascuna grotta, se applicato un ritardo di decine di ore, non mostra significative relazioni al di là di quelle a ore 0 (ovvero alla stessa ora).

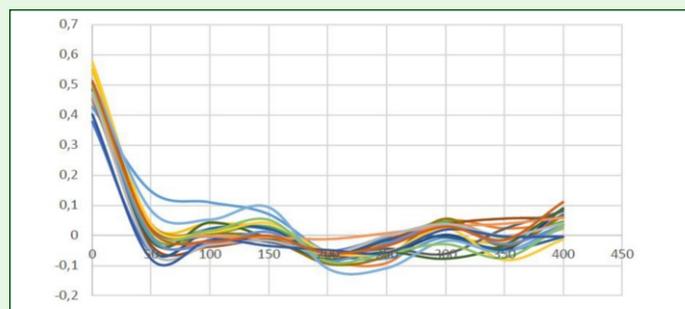


Figura 39. Grafico di Smoothed Differential dB della LoBs 247 confrontata con tutte le altre

### Analisi dei modelli filtrativo e diffusivo, per verificare la "profondità" del carsismo correlato

Per il calcolo dei tempi di diffusione ci sono essenzialmente 2 modelli applicabili.

Il modello Filtrativo che si associa normalmente ad una propagazione in un sistema che risente delle variazioni di temperatura giornaliera, cioè grotte che si sviluppano prevalentemente non troppo in profondità, e il modello Diffusivo che risente dell'influenza della capacità termica della grotta intesa come la montagna che la circonda.

Entrambe i modelli partono dallo stesso schema ambientale, ovvero tengono conto della variazione di temperatura periodica, su scala giornaliera o a tempi più lunghi come stagionale, annuale o secolare. Si assume perciò una variazione di questo tipo per le temperature esterne, riferendoci al modello che abbiamo verificato con i nostri termometri:

$$T_{ext} = T_A \sin \omega t$$

È di questo tipo per quelle interne, ove  $T_A$  è l'ampiezza associata alla particolare pulsazione  $\omega$  oggetto di studio (giornaliera, ecc.,  $\omega = 7.3 \times 10^{-5}$  rad s<sup>-1</sup>), cioè la differenza tra la  $T_{max}$  e  $T_{min}$  esterna:

$$T_{int} = \Delta T \sin (\omega t + \alpha)$$

Dove  $\Delta T$  è l'equivalente  $T_A$  in sotterraneo con uno sfasamento  $\alpha$ , che esprime il ritardo con cui il picco di alta temperatura (diurno o stagionale) arriva sottoterra.

#### Modello Diffusivo

Su una parete conduttiva con diffusività termica  $\alpha$ , applichiamo un riscaldamento che varia in modo ciclico.

L'energia termica va diffondendosi all'interno come descritto dall'equazione di Fourier in una dimensione.

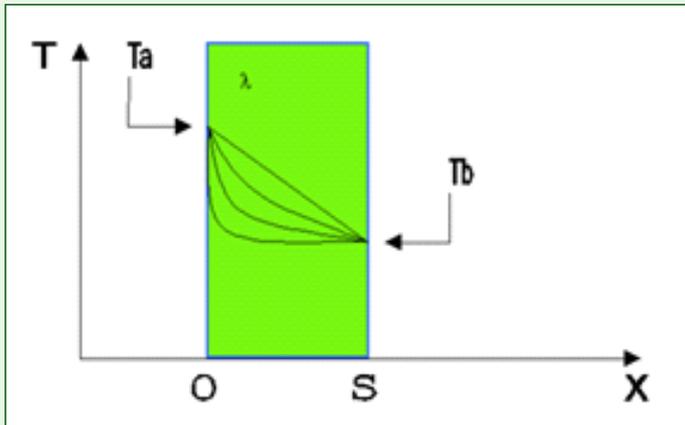


Figura 40. Diffusività. Equazione di Fourier in una dimensione

Scopriamo che alla profondità  $X$  al tempo  $t$ , la temperatura  $T$  risulta quindi:

$$T_{int} = T_A e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \sin(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}})$$

Con ritardo di fase:

$$\alpha(ore) = \ln\left(\frac{T_A}{\Delta T}\right) \frac{24}{2\pi} = x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}$$

e notando che, mentre all'esterno l'ampiezza di variazione è  $T_A$ , l'ampiezza dell'oscillazione all'interno va riducendosi con la profondità secondo la legge rappresentata nel grafico in verde.

Si tratta di una "diffusività" generalizzata, che non è quella legata alla conducibilità termica della roccia, ma piuttosto a quella della montagna nel suo insieme. In essa intervengono come parametri la permeabilità dovute a gallerie e fratture.

Questa diffusività non è dunque quella della conduzione termica in roccia, ma quella legata alle linee di diffusione dei fluidi, cioè alle grotte:

$$\Delta T = T_A e^{-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}}$$

Con un tempo di diffusione:

$$t_d = \frac{x^2}{4a}$$

#### Modello Filtrativo

Si parte dalla considerazione che:

dato un flusso  $F$  (definito come  $F = \phi(T_1)C$ ) di energia dovuta ai flussi di materia (prevalentemente acqua e aria), entrante a capacità termica  $C$  e temperatura  $T$ , si provoca un aumento di temperatura  $dT$  del sistema.

In formule al variare del tempo:

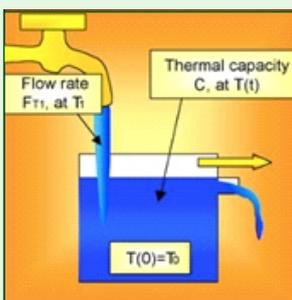


Figura 41. Modello filtrativo

$$T(t) = T_1 - (T_1 - T_0)e^{-\frac{F}{C}t}$$

Avendo inteso:

$$\Delta t_{eq} = \frac{C}{F} \rightarrow \phi = \frac{1}{\Delta t_{eq}}$$

La soluzione a questa equazione si trova imponendo come prima che  $T = \Delta T \sin(\omega t + \alpha)$ .

E risulta essere la seguente:

$$T = \frac{T_A}{\sqrt{1+Q^2}} \sin(\omega t + \text{atan } Q)$$

Con  $T_A$  ampiezza delle oscillazioni giornaliere di temperatura e gli altri parametri definiti come sopra e inoltre  $Q$  come:

$$Q = \frac{C\omega}{F} = \Delta t_{eq}\omega = \sqrt{\left(\frac{T_A}{\Delta T}\right)^2 - 1}$$

Da ciò, ricordando che  $\Delta t_{eq}$  = tempo di equilibratura delle temperature entranti per variare la temperatura del sistema o inerzia termica del sistema, si ricava lo sfasamento:

$$\alpha(ore) = \text{atan}(\sqrt{R^2 - 1}) \frac{24}{2\pi} = \text{atan } Q \frac{24}{2\pi}$$

Questo significa che per alti valori di  $Q$  c'è una relazione diretta e semplice tra le temperature esterne e interne e le due funzioni sinusoidali sono sfasate di  $90^\circ$  (6 ore su variazioni sinusoidali giornaliere).

Da osservare che al crescere di  $Q$ , cioè del rapporto tra l'inerzia termica del sistema e l'oscillazione entrante (il parametro  $Q$  tanto è maggiore tanto la grotta è a contatto con la superficie), si ha che:

$$\alpha \approx \frac{\pi}{2} e \Delta T \approx \frac{T_A}{Q}$$

Con tempo di filtratura:

$$t_f = \frac{\pi}{a} x^2$$

Tabella 15. Corrispondenza tra modello teorico filtrativo e modello reale

	TA	$\Delta T$	Q	$\alpha_r$ daily (ore)	$\alpha_s$ (ore)
LoBs 226	13,14	0,23	58,28	5,93	17,07
LoBs 233	13,14	0,45	29,33	5,87	17,00
LoBs 247	13,14	0,28	47,27	5,91	19,60
LoBs 4065	13,14	0,38	34,75	5,88	19,23
LoBs 767	13,14	0,77	17,00	5,78	14,85
LoBs 793	13,14	1,08	12,15	5,67	10,51
LoBs 816	13,14	0,87	15,10	5,74	13,82
LoBs 909	13,14	0,10	128,66	5,97	27,48
LoBs 963	13,14	0,26	49,75	5,92	27,65
LoBs 970	13,14	0,37	35,96	5,89	17,72
LoBs 973	13,14	0,42	31,20	5,88	19,50
LoBs 982	13,14	0,28	46,99	5,92	20,12
LoBs 987	13,14	0,20	66,58	5,95	26,86
LoBs 4045	13,14	0,62	21,26	5,83	15,17
LoBs 4050	13,14	0,44	29,84	5,87	21,79
Caldariello	13,14	0,37	35,95	5,89	21,97
Faggiato	13,14	0,49	26,93	5,86	19,27
Haria	13,14	0,25	52,65	5,94	22,69
Invertita	13,14	1,52	8,61	5,58	12,69
Velapuck	13,14	1,60	8,16	5,54	11,78
Vortizel	13,14	0,99	13,27	5,73	14,90

Questi calcoli sono basati sull'ipotesi che i flussi entranti subiscano un istantaneo rimescolamento con quelli presenti in grotta.

Dalla Tabella 15, rappresentata con  $tf$  filtrativo e  $td$  diffusivo, si nota che la corrispondenza tra il modello teorico filtrativo e quello reale è relativamente buona con delle discrepanze limitate, ma il modello teorico risente pesantemente delle approssimazioni fatte sulla conducibilità dell'aria in grotta. Il parametro  $Q$ , che cresce con la profondità della grotta rispetto alla superficie, segnala LoBs 909, Haria e LoBs 987, come le cavità più soggette alle variazioni di temperatura superficiali.

Un test della validità del modello applicato potrebbe svilupparsi dalla correlazione con i dati esterni, verificando che ci sia un ritardo di trasferimento compatibile con il ritardo calcolato. Dai grafici seguenti si nota che praticamente tutte le grotte hanno tempi di reazione istantanei (entro 1-2 ore), alle variazioni di temperatura esterne, mentre per il modello filtrativo i tempi sono di circa 5 ore. Non c'è una corrispondenza perfetta, ma si deve tener conto anche delle approssimazioni e che le misure sono misure medie, contenendo quindi molte possibili inversioni.

### Calcolo della portata degli ingressi sulla base delle misure in temperatura

(vedi appendice A per la procedura di calcolo)

I calcoli fatti, ci permettono ulteriormente di estrapolare il valore della portata d'aria nei vari periodi e nelle grotte, in regime estivo e invernale, partendo dalla considerazione che  $\varphi$  = *flusso di aria*:

$$\varphi = \frac{1}{\rho_a C_a} \left( \frac{\rho_r C_r H \omega}{Q} - I C_w \right)$$

Dove

$r_{gc}$  = tasso di variazione della temperatura nel tempo =  $3 \cdot 10^{-10} \text{ }^\circ\text{K/s}$

$\rho_r, \rho_a$  = densità roccia e aria

$C_r, C_w, C_a$  = Capacità termica roccia, acqua, aria

$H$  = altezza della montagna al di sopra dell'acquifero

$dT_{ie}$  = differenza temperature medie esterno interno

$I$  = Infiltrazione =  $3 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/s/Km}^2$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{T_A}{\Delta T}\right)^2 - 1}$$

I flussi d'aria medi indicati dalla Tabella 16 (seconda colonna a sx), sono comparabili a quelli registrati a sensazione, mostrando che ci sono probabilmente alcune porte principali di flusso distribuite nell'altopiano. In particolare ci sono alcune grotte, come la LoBs 233, LoBs 247, LoBs 767, LoBs 816, LoBs 970 e Velapuck che sembrano avere dei flussi decisamente fuori scala. D'altra parte questa osservazione è frutto di una serie di calcoli teorici ricchi di approssimazioni che meriterebbero ulteriori approfondimenti.

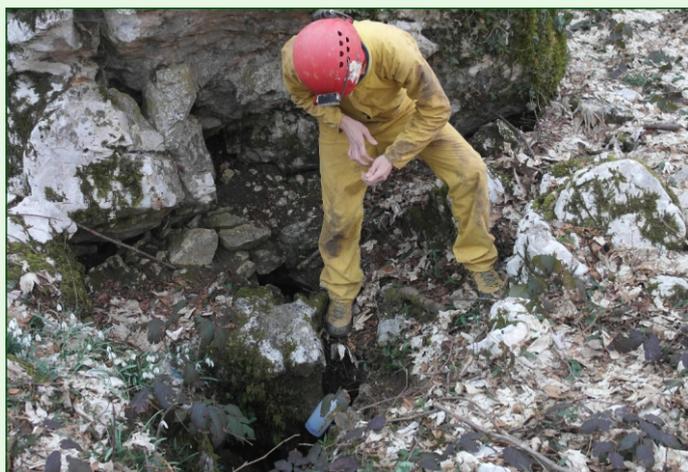


Foto 14. LoBs 4065: posa del data logger (invernale) - Foto M. Pozzo



Foto 13. LoBs 233: l'ingresso dopo grandinata invernale - Foto M. Pozzo

### Calcolo dei tempi di diffusione dell'onda termica nei vari modelli

Dalle informazioni di flusso, possiamo ricavare con un banale calcolo le velocità di trasferimento termico e quindi, considerando i tempi di ritardo medi di circa 2 ore delle onde termiche in uscita, possiamo avere un'idea a grandissime linee delle dimensioni dei complessi all'interno della montagna.

Ovviamente sono dimensioni teoriche che considerano le grotte come dei tubi a sezione omogenea, non tenendo conto delle differenti dimensioni che sono normali in una cavità sotterranea. In tabella si riassumono i risultati che non commentiamo in quanto, da considerare come macro indicazioni: in particolare l'informazione su Invertita contiene necessariamente degli errori che al momento non siamo in grado di computare.

Tabella 16. Corrispondenza tra modello teorico filtrativo e modello reale

Grotte	$\varphi$ (m³/s)		Portata= m³/s	velocità m/s	lunghezza m
LoBs 226	3,12	LoBs 226	3,12	2,0	14.040
LoBs 233	19,56	LoBs 233	19,56	3,3	23.475
LoBs 247	7,64	LoBs 247	7,64	4,9	35.253
LoBs 4065	1,13	LoBs 4065	1,13	2,3	16.205
LoBs 767	7,92	LoBs 767	7,92	6,6	47.522
LoBs 793	3,43	LoBs 793	3,43	11,4	82.403
LoBs 816	5,80	LoBs 816	5,80	9,7	69.566
LoBs 909	0,15	LoBs 909	0,15	0,7	5.258
LoBs 963	0,63	LoBs 963	0,63	0,7	5.125
LoBs 970	5,08	LoBs 970	5,08	2,8	20.318
LoBs 973	2,30	LoBs 973	2,30	3,1	22.661
LoBs 982	0,50	LoBs 982	0,50	2,0	14.423
LoBs 987	0,43	LoBs 987	0,43	0,7	4.843
LoBs 4045	1,81	LoBs 4045	1,81	2,8	20.307
LoBs 4050	2,15	LoBs 4050	2,15	3,6	25.831
Caldariello	0,83	Caldariello	0,83	1,4	9.902
Faggiato	0,59	Faggiato	0,59	3,9	28.152
Haria	0,45	Haria	0,45	1,3	9.217
Invertita	0,85	Invertita	0,85	14,2	101.963
Velapuck	8,00	Velapuck	8,00	16,0	115.187
Vortizel	5,80	Vortizel	5,80	9,1	65.289

## Il problema delle ampiezze

Un dato evidente dal confronto delle varie curve di variazione della differenza di temperatura per ogni grotta nel tempo, a parità di variazione di temperatura media in esterno, è che le curve mostrano una decisa differenza di ampiezza di oscillazione, come si nota nel grafico di Figura 42.

È facile pensare che le ampiezze interne sono tanto maggiori quanto le grotte risultano essere maggiormente influenzate dalle variazioni esterne, quindi quanto siano più superficiali, e quindi giungere alla conclusione che Velapuck, Invertita, Vortizel, LoBs 793, LoBs 816 e LoBs 767, potrebbero essere dei sistemi minori. Però un'altra interpretazione più interessante potrebbe essere che la differenza di ampiezza è funzione della distanza percorsa nella montagna, per cui ci sia una relazione non solo sulla frequenza ma anche sull'ampiezza in funzione della lunghezza del percorso sotterraneo, ritornando quindi alle considerazioni fatte nel paragrafo dell'analisi delle frequenze.

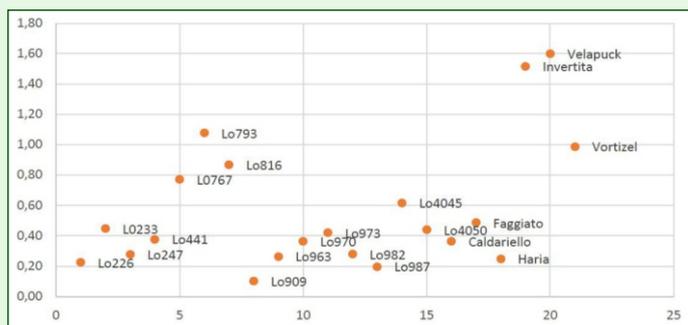


Figura 42. Grafico relativo alle ampiezze delle oscillazioni di temperatura interna (asse y)

## Conclusioni e considerazioni personali (M. Miragoli)

Mettendo a sistema tutti i risultati delle varie analisi otteniamo la tabella di fondo pagina.

Si è cercato di indicare gli insiemi formati da grotte con caratteristiche analoghe usando lo stesso colore sia in verticale che in orizzontale.

Nel caso della prima e seconda colonna, in effetti sembra ci siano degli insiemi riconducibili ad una serie di andamenti analoghi. Il motivo sarebbe da ricercare nel fatto che le misure sono state effettuate in Inverno per cui le correlazioni si riferiscono per lo più a situazioni riconducibili a quella evidenziata nel risultato ottenuto utilizzando le temperature minime. I dati di colonna 3, collezionati utilizzando gli andamenti di un giorno a temperature esterne massime, quindi simulando le condizioni estive, sono ovviamente diversi da quelli delle colonne precedenti.

Il punto è che in generale tutto l'andamento è diverso, evidenziando che in realtà il sistema è tutto collegato.

Il dato in colonna 4, è invece il più difficile da interpretare, perché segnala una omogeneità di comportamento tra le grotte indicate, indipendentemente dagli eventi esterni.

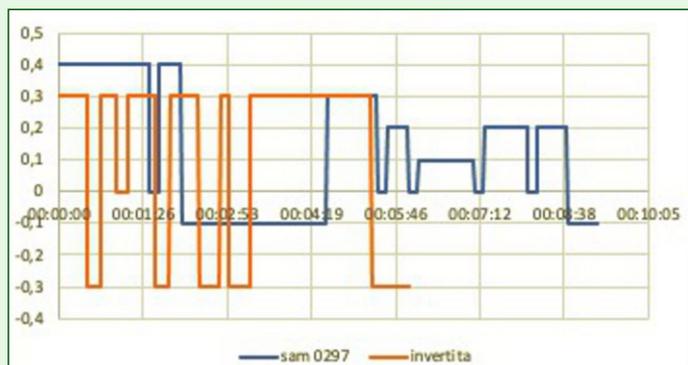


Figura 43. Grafico con esempio evidente di grotta «in respirazione»

Questo dato considerato singolarmente è certamente in relazione sul movimento medio delle arie nel complesso, ma è il dato che più potrebbe darci informazioni sui reali sviluppi dei percorsi fatti dalle arie in profondità.

Infine l'ultima colonna, sempre difficilmente correlabile con le precedenti, rivela che in sostanza esistono due sistemi carsici non comunicanti, ma è un fatto ancora da appurare a seguito dell'analisi dei risultati del monitoraggio in fase estiva.

## Note Operative

Strategia sulle analisi di *cross-correlation*:

1) si è fissata una data comune relativamente alle misure di temperatura, e si sono confrontate a partire da quella data tutte le temperature misurate. Si è considerato un *range* di variazione di 400 ore a passi di 50 ore: dopo aver provato vari *range*, e questo è sembrato il migliore (le misure sono prese a passi di 1 ora), si è ulteriormente deciso di focalizzare su correlazioni superiori ad un valore di 0,7. Successivamente si è convenuto che fosse possibile una lettura della tabella delle *cross-correlation* mettendola in relazione con le distanze tra gli ingressi.

Ma non c'è alcun senso in ciò che ne risulta.

- Un'osservazione curiosa che non ci spieghiamo è che ci sono omogeneità verticali. Per esempio la grotta Haria è sistematicamente sfasata di 250 ore, dove presenta correlazioni, e così anche in altri casi.
- La grotta LoBs 247 è un complesso decisamente importante, con uno sviluppo di vari chilometri, e sembra avere un comportamento assolutamente indifferente ai cambi di temperatura, come facilmente immaginabile.

E' particolare il comportamento analogo anche di grotte di dimensioni decisamente inferiori (tutte attorno ai 50 metri di sviluppo o di dislivello);

2) il secondo approccio tentato è stato quello di "pulire" i dati di temperatura delle grotte rispetto alle variazioni esterne.

Tabella 17. Messa «a sistema» di tutti i risultati delle varie analisi

	Correlat	Cross correlation	Tmin	Tmax	Diff dB	Smoothing
Caldariello		X	X	X	X	X
Faggiato			X	X		X
Haria		X	X	X	X	X
Invertita	X	X		X		X
LoBs 226	X	X	X	X		X
LoBs 233	X	X	X	X		X
LoBs 247			X	X	X	X
LoBs 4045		X	X	X		X
LoBs 4050			X	X		X
LoBs 4065	X	X	X	X		X
LoBs 767	X	X	X	X		
LoBs 793	X	X		X		X
LoBs 816	X	X				X
LoBs 909			X	X	X	X
LoBs 963			X	X	X	X
LoBs 970		X	X	X		
LoBs 973			X	X	X	X
LoBs 982		X	X	X	X	X
LoBs 987	X	X	X	X	X	X
Velapuck	X	X		X		X
Vortizel			X	X		X



### Suggerimenti per i prossimi passi

1. È fondamentale continuare il monitoraggio temperature fino alla fine dell'anno spostando i data logger sugli ingressi soffianti, come fatto nella stagione invernale.
2. Sarebbe auspicabile pianificare a fine lavoro un monitoraggio delle velocità delle arie negli ingressi più significativi, spesso indicati nelle varie analisi.
3. Sarebbe utile, a partire dal prossimo anno, effettuare una serie di monitoraggi con aperture/chiusure ripetute su alcuni ingressi selezionati.
4. Anche una serie di lanci di CO<sub>2</sub>, con relativo monitoraggio esterno, diventa uno *step* fondamentale, sulla scorta delle informazioni che si ricaveranno a fine anno.
5. È molto importante prendere nota degli orari di attivazione dei sistemi e di quelli di spegnimento, infatti sembra emergere una mancata sincronizzazione tra i vari orologi interni dei dispositivi: sincronizzazione che deve essere aggiustata utilizzando un tempo uguale per tutti raccolto tramite un orologio esterno. L'orologio esterno è bene che sia sincronizzato al giorno, ora e minuto con una stazione radio affidabile: sincronizzazione che deve avvenire almeno nelle 12 ore precedenti alla misura.

### APPENDICE A

Si parte dalla considerazione che il flusso d'aria a temperatura  $T_a$ , densità  $a$  e capacità termica  $C_a$  che entra in una grotta di capacità termica  $C$  e temperatura  $T_g$  lo esprimiamo come flusso energetico e quindi come:  $\Phi \rho_a C_a (J/s/^\circ K)$ .

Scriviamo quindi, esprimendo l'equazione della variazione della temperatura della grotta nel tempo, la seguente equazione:

$$CdT = \Phi \rho_a C_a ((T_0 + r_{gc}t) - T_g) dt$$

Equazione che ha come soluzione:

$$T(t) = (T_0 + r_{gc}t) - ((T_0 + r_{gc}t) - T_g) e^{-\frac{\Phi \rho_a C_a}{C} t}$$

Che si può scrivere anche in questo modo:

$$T(t) - (T_0 + r_{gc}t) = r_{gc} dt_{eq} \left( e^{-\frac{t}{dt_{eq}}} - 1 \right) = \Delta T_{ie}$$

Che assume il significato di differenza tra la temperatura interna media e quella esterna attuale.

Questo termine è funzione sia dell'altezza della montagna che del tempo. L'equazione si può leggere in questa maniera, ovvero che la temperatura dell'aria entrante viene attenuata esponenzialmente nel tempo. L'esponente viene definito come il tempo di equilibratura del sistema, ovvero il tempo necessario affinché tutti i fluidi entranti in grotta alle loro specifiche temperature di riferimento, pesati sui flussi energetici totali, raggiungano una situazione di stabilità.

Viene riassunto nella seguente maniera:

$$dt_{eq} = \frac{C}{\Phi \rho_a C_a} = \frac{\rho_r C_r H}{IC_w + \Phi \rho_a C_a}$$

Il coefficiente che precede l'esponentiale è il termine di disequilibrio e descrive la differenza di temperatura tra l'atmosfera e l'interno della montagna dopo un tempo di equilibratura. Per infiltrazione  $I$  si intende la quantità d'acqua caduta a cui viene sottratta la parte evaporata. Si misura in Kg d'acqua caduti per metro quadro al secondo e varia ovviamente con la quota e con la piovosità del luogo.

Assumendo una piovosità tipicamente italiana di 1000mm/anno si calcola il dato riportato in Tabella 18.

Piovosità mm/a	Infiltrazione Kg/s/m <sup>2</sup>
300	1 10 <sup>-5</sup>
1000	3 10 <sup>-5</sup>
3000	1 10 <sup>-4</sup>

Tabella 18. Dato ottenuto assumendo una piovosità tipica italiana

È interessante notare il comportamento a tempi lunghi:

$$(t \gg dt_{eq}) \text{ di } \Delta T_{ie} \approx -r_{gc} dt_{eq}$$

indicando che il monte segue lo spostamento di temperatura causato dal cambiamento climatico con una caduta di temperatura dovuto ad un ritardo  $dt_{eq}$ , dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno.

$r_{gc}$  si ricava attraverso l'analisi dei dati storici e si ricava dalla pendenza dell'interpolazione dei dati di temperatura registrati.

### APPENDICE B

Si utilizzano due vettori colonna da confrontare, come si evince di seguito, osservando la Tabella 19 ed il grafico di Figura 44:

4,5	15,8
4,8	18,2
5,1	19,8
5,9	22,6
6,8	24
8	25,9
6,1	31,6
5,8	37,4
6,8	36,9
3,7	31,5
4,3	30,9
5,1	37,5
7,9	20,7
8,1	23,8
8	26,3
9,1	37,9
10,2	41,5
11,3	41,8

Tabella 19. Grazie ad un insieme di operazioni, che vengono subito sotto riportate, si individua il risultato della tabella. L'operazione successiva è quella dei confronti si effettuano utilizzando il seguente insieme di comandi Excel:

```
=CORREL(OFFSET("prima colonna";
0;0;COUNT("prima colonna")
-"ritardo temporale progressivo";1);
OFFSET("seconda colonna"; "ritardo
temporale progressivo";0;
COUNT("seconda colonna")
-"ritardo temporale progressivo";1))
```

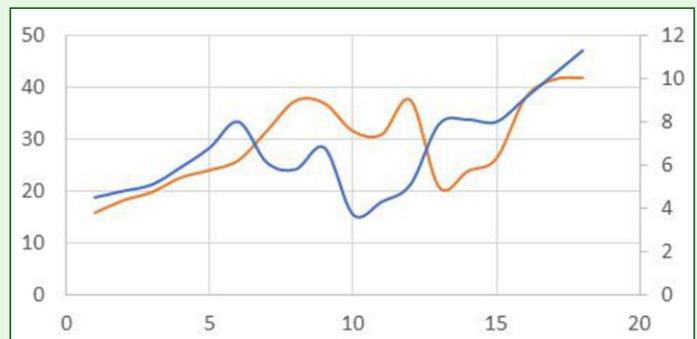


Figura 44. Grafico dei vettori senza ritardo

Attraverso i confronti ottenuti con i comandi Excel (Tabella 18), si individua la successiva Tabella 20 e il grafico di Figura 45.

ritardo progressivo	correlazione
0	0,45
1	0,49
2	0,65
3	0,97
4	0,57

Tabella 20. La tabella permette di notare che, con un ritardo di 3 unità, si raggiunge una correlazione massima del 97%, come il grafico ottenuto con lo shifting di 3 unità può evidenziare.

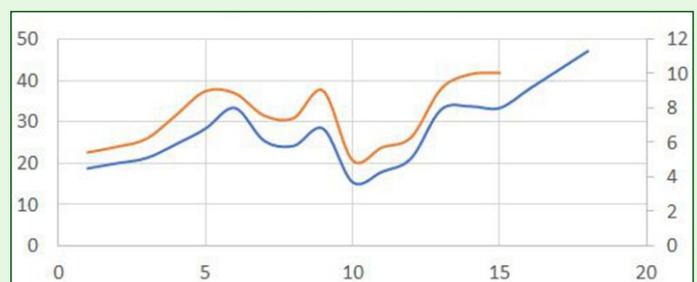


Figura 45. Grafico dei vettori con ritardo di 3 unità



Luogo è là giù da Belzebù remoto  
tanto quanto la tomba si distende,  
che non per vista, ma per suono è noto  
d'un ruscelletto che quivi discende  
per la buca d'un sasso, ch'elli ha roso,  
col corso ch'elli avvolge, e poco pende.  
Lo duca e io per quel cammino ascoso  
intrammo a ritornar nel chiaro mondo;  
e senza cura aver d'alcun riposo,

salimmo sù, el primo e io secondo, tanto  
ch'ì vidi de le cose belle che porta 'l ciel,  
per un pertugio tondo.

Dante Alighieri - Inferno - canto XXXIV

Regine Landry, da Lismonde 2002, modificato da M. Pozzo

## Analisi delle temperature. Altopiano di Cariadeghe - Estate

Seconda puntata e riassunto finale. Questa volta con le stesse metodologie e le stesse premesse, analizziamo la stessa zona carsica in regime estivo.

### Verifica dei parametri meteorologici esterni e loro consistenza tra i vari sistemi di misura

Sono stati posizionati in esterno vari termometri per avere un'idea precisa di come le temperature fossero correlabili e, soprattutto, per ricavare la legge di variazione della temperatura con la quota.

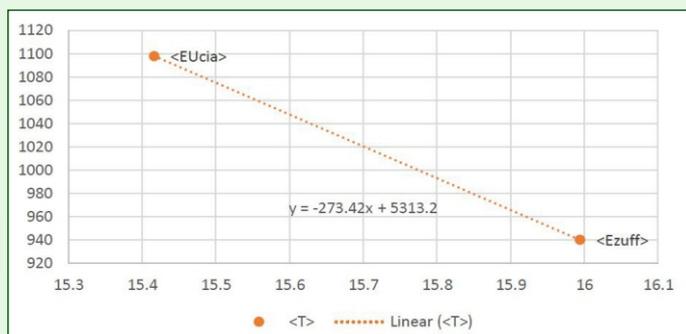


Figura 46. Grafico (estivo) della variazione di temperatura esterna (asse y) con la quota (asse X).  $G = 3,7^\circ \text{Km}^3$

Dal grafico sopra riportato, rifacendosi alla formula:

$$T = -Gq + T_0$$

con T=temperatura all'ingresso della grotta, G=gradiente di temperatura (in questo caso  $3,7^\circ/\text{Km}$ ), q=quota sul livello del mare,  $T_0$ =temperatura a quota 0.

Il G è estrapolato dalla misura fatta comparando due termometri posti a quote differenti.

Per poter validare tutte le misure è necessario procedere con una correlazione tra i termometri piazzati in esterno in varie zone dell'altopiano. In figura inferiore troviamo sull'asse delle X i tempi, e quello delle Y le temperature registrate con la precisione del decimo di grado. Nel titolo del grafico troviamo le posizioni dove le temperature medie del periodo in esame, dal 2/5/2021 al 14/08/2021, sono state registrate, seguite dalla temperatura media del periodo di osservazione.

Sulla base di queste evidenze si decide di usare come riferimento principale per tutti i calcoli, come già precedentemente fatto, la

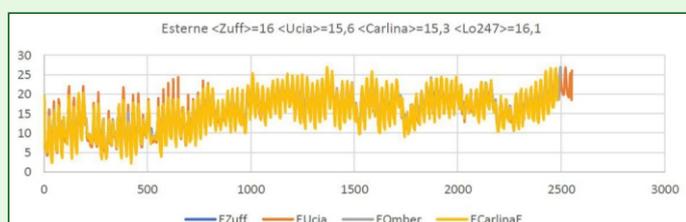


Figura 47. Correlazione tra termometri esterni e temperatura media del periodo

postazione esterna Carlina = E Carlina.

I flussi d'aria qualitativi di tutte le grotte considerate sono riassunti nella Tabella 21 ottenuti nel momento della posa dei sistemi (in rosso le registrazioni estive in blu quelle invernali per confronto). Nella tabella, sono stati evidenziati in verde scuro le bocche aspiranti in estate (bocche calde), ed in verde chiaro quelle con andamento incerto. Sono indicate con il punto esclamativo le grotte con andamento particolare delle arie.

Tabella 21. Riconoscimento cavità con andamento particolare

Catasto	Nome	direzione	direzione	commenti
LoBs 019	Bus del Lat di Casa Ceri	soffia	Aspira	ok
LoBs 192	Bus Mandria	soffia	Aspira	ok
LoBs 223	Bus Taere Vai Surde	incerto	Aspira	ok
LoBs 234	Gr. Pocia Laacoi	soffia	Aspira	ok
LoBs 247	Omber en banda a BdZ	aspira	Soffia	ok
LoBs 4046	La Sacca		Soffia	?
LoBs 4048	Fuori Orario	soffia	Aspira	ok
LoBs 4050	Abisso Lo Zar	aspira	Soffia	ok
LoBs 4065	Frattura pr Lo 441	soffia	Soffia	!!
LoBs 452	Grotta della Carbonella	soffia	Aspira	ok
LoBs 497	Pz co Carbonella	soffia	Aspira	?
LoBs 498	2a Gr co PociLaacoi	soffia	Aspira	ok
LoBs 659	Gr su Strada Valpiana	soffia	Aspira	ok
LoBs 783	2 Pz sopra Rio Ora	aspira	Aspira	!!
LoBs 791	3a Gr co Pocia Laacoi	aspira	Aspira	!!
LoBs 803	Pz vicino a Carbonella	soffia	Aspira	ok
LoBs 818	Funi Cornalet		Aspira	?
LoBs 909	Gr a S prati Casina	aspira	Soffia	ok
LoBs 926	Ab Dos Fra (Makita)	aspira	Aspira	!!
LoBs 963	Bus del Foc	soffia	Soffia	!!
LoBs 965	Buco del Sedile	soffia	Aspira	ok
LoBs 967	Bus de la Sonia	soffia	Aspira	ok
LoBs 972	Chejira	soffia	Aspira	ok
LoBs 973	Zuffolo		Soffia	?
LoBs 975	Improvviso	soffia	Aspira	ok
LoBs 982	Pozzetto su Monte Ucia	ferma	Soffia	ok
LoBs 988	Niente Niente Punta	soffia	Aspira	ok
LoBs 4045	Scordato		Soffia	?
Ariello	Ariello	soffia	Aspira	ok
Belgross3	Belgross3	soffia	Aspira	ok
Dolina Carlina	Dolina Carlina	soffia	Aspira	ok
Faggiato	Faggiato	aspira	Soffia	ok
Haria	Haria	ferma	Soffia	ok
nc	Siiii		tbd	?

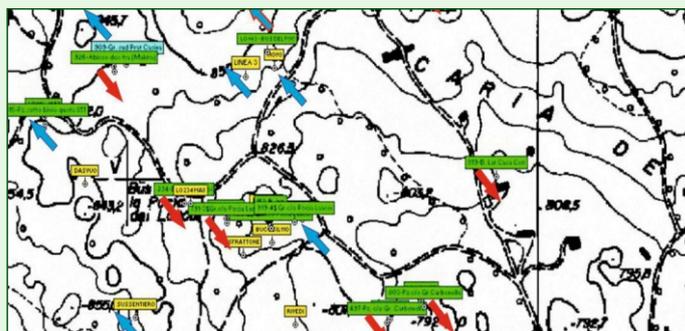


Figura 48. Stralcio di CTR e dettaglio delle alitazioni agli ingressi

LoBs 019	LoBs 192	LoBs 223	LoBs 234	LoBs 247	LoBs 4048	LoBs 4050	LoBs 4065	LoBs 452	LoBs 498	LoBs 659	LoBs 783	LoBs 791	LoBs 803	LoBs 909	LoBs 926	LoBs 963	LoBs 965
-	0,2	2,5	0,4	1,5	0,2	4,6	3,0	0,6	1,0	0,3	1,3	1,4	0,6	1,5	1,1	2,0	1,0
0,2	-	2,7	0,2	1,7	0,1	4,8	3,1	0,7	0,8	0,5	1,4	1,5	0,5	1,6	1,3	2,2	0,8
2,5	2,7	-	2,9	1,0	2,8	2,1	0,4	2,0	3,5	2,2	1,3	1,2	3,2	1,1	1,4	0,5	3,5
0,4	0,2	2,9	-	1,9	0,1	5,0	3,3	0,9	0,6	0,7	1,6	1,7	0,3	1,8	1,5	2,4	0,6
1,5	1,7	1,0	1,9	-	1,8	3,1	1,4	1,0	2,5	1,2	0,3	0,2	2,2	0,1	0,4	0,5	2,5
0,2	0,1	2,8	0,1	1,8	-	4,9	3,2	0,8	0,7	0,6	1,5	1,6	0,4	1,7	1,4	2,3	0,7
4,6	4,8	2,1	5,0	3,1	4,9	-	1,7	4,1	5,6	4,3	3,4	3,3	5,3	3,1	3,5	2,6	5,6
3,0	3,1	0,4	3,3	1,4	3,2	1,7	-	2,4	3,9	2,6	1,7	1,6	3,6	1,5	1,8	0,9	3,9

Tabella 22. Reticolato di calcolo delle temperature omologhe

### Posizionamento su carta dei vari valori di temperatura risultanti

La Tabella 22, che è uno stralcio della tabella principale, mostra i risultati dell'analisi di correlazione tra le grotte in funzione dell'altitudine.

Si considera la temperatura che dovrebbe avere la grotta se si aprisse all'altitudine delle altre e se la differenza tra la temperatura teorica e quella delle grotte confrontate è minore di 0,1°C: a quel punto ci potrebbe essere un collegamento.

E' stata usata per il calcolo la seguente formula di definizione della temperatura omologa:

$$dT-Gdq$$

Ovvero la differenza tra le temperature della grotta di riferimento e della grotta da comparare a cui viene sottratto il prodotto tra il coefficiente interno della temperatura della grotta moltiplicato per la differenza di quota tra le grotte.

Nella colonna a fianco, la Tabella 23 riporta i risultati invernali ed estivi di questo tipo di correlazione. In lettere troviamo le associazioni più probabili, ovvero le grotte che risultano avere le temperature comparabili e che quindi: o fanno parte di sistemi paralleli e non comunicanti (abbastanza improbabile), o di grotte che mostrano di avere la stessa temperatura. Interessante notare come tutto il gruppo di data logger installati in Omber a varie quote, sia interconnesso al sistema esterno (sono le ultime 6 righe).

I dati raccolgono tutte le misurazioni fatte sia in inverno che in estate.

### Analisi di Correlazione tra le temperature misurate

- Analisi di correlazione ritardata esterno/interno;
  - analisi di correlazione ritardata interno/interno;
- per verificare eventuali *shift* di comportamento nel tempo.

Un approccio complementare potrebbe essere quello di analizzare le correlazioni tra le temperature registrate tra le grotte e tra le grotte e l'esterno, prendendo come presupposto che grotte in collegamento profondo tra di loro dovrebbero soffiare aria alla stessa temperatura.

Quindi si utilizza prima di tutto la lista delle temperature registrate durante un periodo in esterno e si correla il dato con quelle registrate internamente per fare una prima selezione di grotte con comportamento omologo; in seguito si procede a fare una correlazione tra le temperature interne delle varie grotte.

La correlazione esterno/interno dovrebbe segnalare le eventuali «cantine», mentre la seconda correlazione dovrebbe dare la relazione tra le variazioni delle temperature di una grotta in relazione con le altre eventualmente collegate.

L'idea è di ricercare se la variazione di temperatura di una grotta

Tabella 23. Tabella di calcolo delle temperature omologhe: le lettere mettono in relazione le grotte

Catasto	Nome	connessioni
LoBs019	Bus del Lat di Casa Ceri	
LoBs 192	Bus Mandria	a
LoBs 223	Bus Taere Vai Surde	a
LoBs 226	Casina Comu	g
LoBs 233	Caali	g
LoBs 234	Gr. Pocia Laacoi	a
LoBs 247	Omber en banda a BdZ	b
LoBs 4045	Scordato	
LoBs 4046	La Sacca	
LoBs 4048	Fuori Orario	a
LoBs 4050	Abisso Lo Zar	a
LoBs 441	Diaclasi a N S Bartolomeo	
LoBs 452	Grotta della Carbonella	
LoBs 497	Pz co Carbonella	
LoBs498	2a Gr co Pocia Laacoi	c
LoBs659	Grsu Strada Valpiana	
LoBs783	2 Pz sopra Rio Ora	b
LoBs791	3a Gr co Pocia Laacoi	b
LoBs803	Pz vicino a Carbonella	
LoBs816	Pz pr bivio di Q. 851	h
LoBs818	Funi Cornalet	
LoBs909	Gr a S prati Casina	b
LoBs926	Ab Dos Fra (Makita)	b
LoBs963	Bus del Foc	l
LoBs965	Buco del Sedile	c
LoBs967	Bus de la Sonia	e
LoBs972	Chejira	a
LoBs973	Zuffolo	
LoBs975	Improvviso	b
LoBs982	Pozzetto su Monte Ucia	b
LoBs988	Niente Niente Punta	c
nn	Ariello	b
nn	Belgross3	e
nn	Dolina Carlina	
nn	Faggiato	a
nn	Haria	
nn	Velapuck	h
nn	Siiii	
nn	ONiga	l
nn	OBase50	
nn	OFusoidi	a
nn	Opozzα	b
nn	OP17	
nn	OLaminatoio	b

ore	LoBs 659	LoBs 972	LoBs 965	LoBs 498	LoBs 4048	Ariello	LoBs 803	Belgross 3	LoBs 982	LoBs 452	LoBs 234	LoBs 019	Haria	LoBs 192	ONiga	OP17	LoBs 441	ECarlina
LoBs 659		150	50		0	50		0	50		0		50	100		400	50	
LoBs 972	150		0		50	0		0	0		0		0	0			0	
LoBs 965	50	0			50	50		50	0		150		0	50			0	
LoBs 498							0			0								
LoBs 4048	0	50	50			0		50	150		100		100	100			150	
Ariello	50	0	50		0			0	0		0		100	0			0	
LoBs 803				0						0								
Belgross3	0	0	50		50	0			50		0		50	0			0	
LoBs 982	50	0	0		150	0		50			150		0	50			0	0
LoBs 452				0			0											
LoBs 234	0	0	150		100	0		0	150				50	0			50	
LoBs 019													200	150	1		200	
Haria	50	0	0		100	100		50	0		50	200		50			0	
LoBs 192	100	0	50		100	0		0	50		0	150	50				0	
OP17	400																	
LoBs 4065	50	0	0		150	0		0	0		50	200	0	0				

Tabella 24. Correlazione tra le temperature misurate (estivo). In questa tabella, alle correlazioni superiori al 70% è stato associato il tempo di ritardo in ore, ovvero il tempo in cui i segnali risultavano correlabili al 70%

si riflette in maniera praticamente identica con quella di un'altra; a quel punto le due grotte dovrebbero essere in comunicazione. Si cercano quindi di individuare gli eventuali insiemi omologhi di grotte, segnalandoli in cartina con colori differenti come fatto precedentemente.

Ricordiamo che l'indice di correlazione che oscilla tra - 1 e 1 indica nel suo valore maggiore una perfetta correlazione, nello 0 la mancanza di correlazione e in -1 la correlazione opposta o negativa (ad un massimo corrisponde un minimo). Si riportano nella pagina le due tabelle relative a questo tipo di analisi sia per il periodo estivo che per quello invernale.

Nella tabella delle correlazioni estiva (Tabella 24), vengono eliminate le grotte aspiranti. In questa tabella, alle correlazioni superiori al 70% è stato associato il tempo di ritardo in ore, ovvero il tempo in cui i segnali risultavano correlabili al 70%. Le tabelle si leggono in questo modo: nella prima riga sono elencati i nomi di tutte le grotte, come nella prima colonna, e ogni colonna rappresenta l'ora di ritardo di correlazione con le rispettive righe. Per esempio: la correlazione tra le temperature di grotta LoBs 659 in colonna 1 estate, supera il valore 0,7 in 11 casi: 3 casi con sfasamento a 0 ore, 5 casi con sfasamento a 50 ore, un caso con sfasamento a 100 ore, 1 caso con sfasamento a 400 ore.

Gli sfasamenti a 0 ore indicherebbero le grotte che potrebbero essere considerate parte dello stesso sistema, ovvero che le loro variazioni sono concordi al 70% con quelle della temperatura della grotta correlata, mentre il ritardo di correlazione potrebbe

essere imputabile a collegamenti difficili o molto lunghi. Normalmente i valori di correlazione al di sotto del 90% non sono ritenuti particolarmente significativi, per cui per ora ci atterremo a questa regola, conservando in ogni caso l'informazione emersa. Dall'analisi quindi delle tabelle si evince l'esistenza di un gruppo di grotte fortemente correlate.

Tutte le altre grotte non risultano essere correlabili con questo metodo di indagine.

Per un opportuno approfondimento, e come precedentemente osservato, si dovrebbe effettuare un'analisi anemometrica in abbinamento a test con traccianti, per verificare quanta aria entrante esce e in che proporzione viene distribuita tra le grotte afferenti.



Foto 15. Ingresso della LoBs 224 in situazione invernale - Foto M. Pozzo

Tabella 25. Correlazione tra le temperature misurate (invernale). In questa tabella, alle correlazioni superiori al 70% è stato associato il tempo di ritardo in ore, ovvero il tempo in cui i segnali risultavano correlabili al 70%

ore	LoBs 793	LoBs 987	LoBs 226	Haria	LoBs 982	Velapuck	LoBs 4065	Caldariello	LoBs 233	Invertita	LoBs 767	LoBs 4045	LoBs 816	LoBs 970
E Carlina	0					0					0			
LoBs 793	-	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LoBs 987		-	0	250	0	0	0	50	0	0	0	50	0	
LoBs 226			-	250	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
LoBs 982					-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velapuck						-	0	50	0	0	0	50	0	0
LoBs 4065							-	50	0	0	0	0	0	
Caldariello								-					0	
LoBs 233									-	0	0	0	0	0
Invertita										-	0	0	0	0
LoBs 767											-	0	0	0
LoBs 816													-	0

## Analisi in frequenza delle variazioni di temperatura per verificare i seguenti eventi

*Analogia tra le variazioni esterne/interne delle variazioni di temperatura*

Le analisi in frequenza risultano difficili da leggere in formato tabellare, ma se raggruppate in maniera differente, cioè per gruppi reciproci e cercando di mettere in relazione le grotte che aspirano con quelle che soffiano, emergono interessanti correlazioni.

Nel caso invernale (Figura 49), si nota che le grotte aspiranti, in grigio e al centro, sono facilmente collegabili con alcune grotte di riferimento a loro volta collegate con altri gruppi di grotte.

In rosso sono evidenziate le relazioni tra le grotte con ritardi indicati in ore, per cui probabilmente la relazione non è diretta

Tabella 26. Analisi in frequenza delle variazioni di temperatura per gruppi reciproci di grotte

	LoBs 659	LoBs 972	LoBs 965	LoBs 498	LoBs 4048	Ariello	LoBs 803	Belgross3	LoBs 982	LoBs 452	LoBs 234	LoBs 019	Haria	LoBs 967	LoBs 975	LoBs 988	LoBs 192
LoBs 659			0,94	0,93	0,94	0,92		0,94	0,93		0,95	0,93	0,94			0,91	0,93
LoBs 972																0,92	
LoBs 965	0,94				0,91							0,94	0,92	0,92	0,91	0,94	
LoBs 498	0,93				0,95	0,94	0,91	0,96	0,94	0,90	0,96		0,94				0,96
LoBs 4048	0,95		0,91	0,95		0,96		0,96	0,97	0,93	0,96	0,94	0,96				0,96
Ariello	0,92			0,94	0,96			0,97	0,97	0,92	0,96	0,92	0,95				0,98
LoBs 803				0,91				0,92	0,91	0,92							0,90
Belgross 3	0,94			0,96	0,96	0,97	0,92		0,98	0,93	0,96	0,92	0,96				0,99
LoBs 982	0,93			0,94	0,97	0,97	0,91	0,98		0,94	0,95	0,94	0,96				0,98
LoBs 452				0,90	0,93	0,92	0,92	0,93	0,94			0,92	0,92				0,92
LoBs 234	0,95			0,96	0,96	0,96		0,96	0,95			0,92	0,94				0,96
LoBs 019	0,93		0,94		0,94	0,92		0,92	0,94	0,92	0,92		0,94				0,93
Haria	0,94		0,92	0,94	0,96	0,95		0,96	0,96	0,92	0,94	0,94					0,97
LoBs 967			0,92													0,93	
LoBs 975			0,91														
LoBs 988	0,91	0,92	0,94											0,93			
LoBs 192	0,93			0,96	0,96	0,98	0,90	0,99	0,98	0,92	0,96	0,93	0,97				

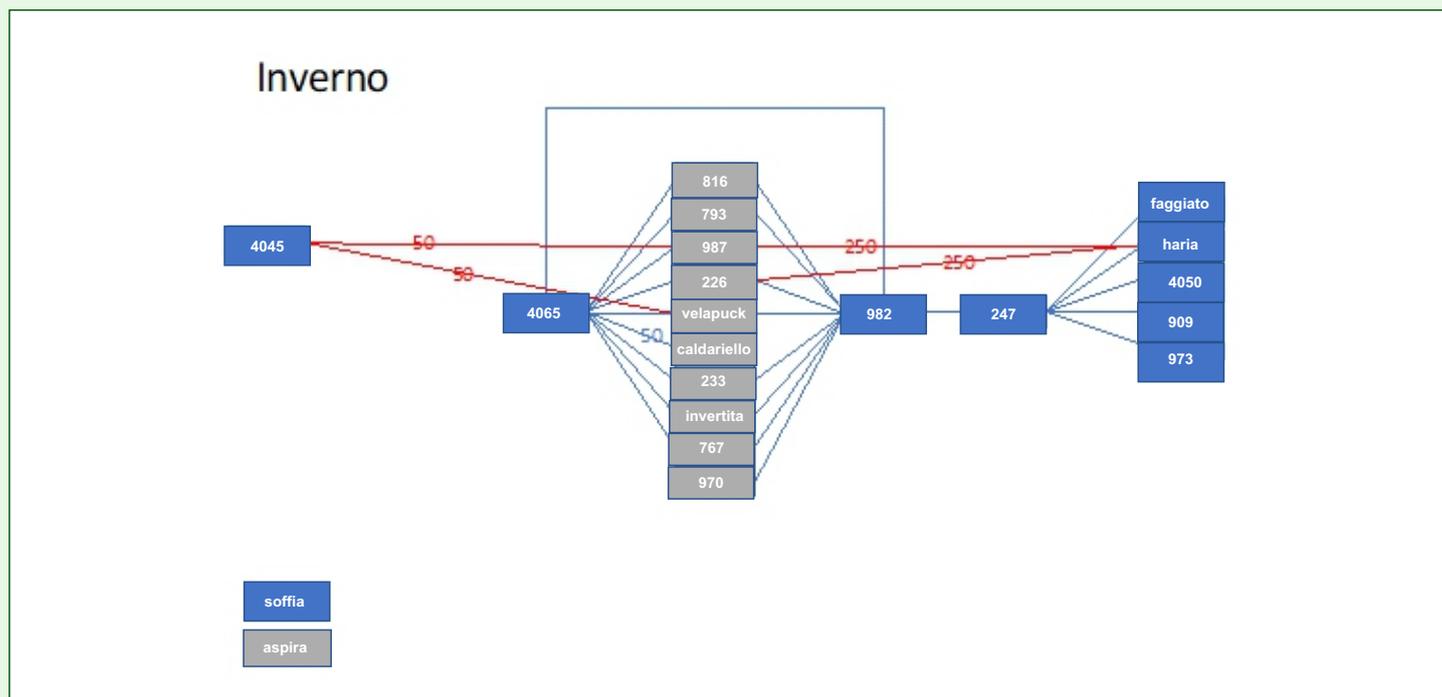


Figura 49. Inverno: analisi in frequenza delle variazioni di temperatura e correlazioni con grotte di riferimento correlate con altri gruppi di grotte

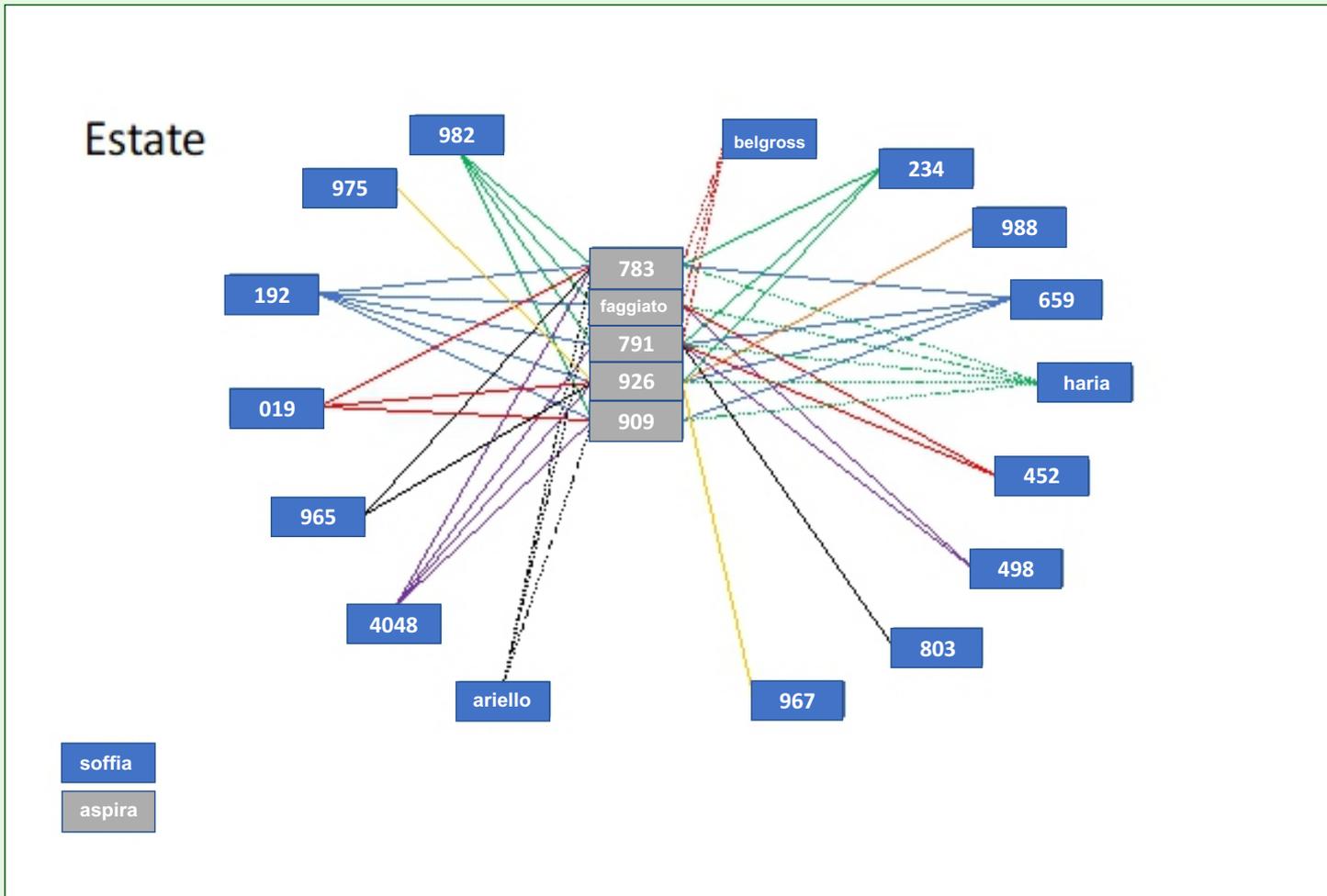


Figura 50. Estate: analisi in frequenza delle variazioni di temperatura e correlazioni con grotte di riferimento correlate con altri gruppi di grotte

80

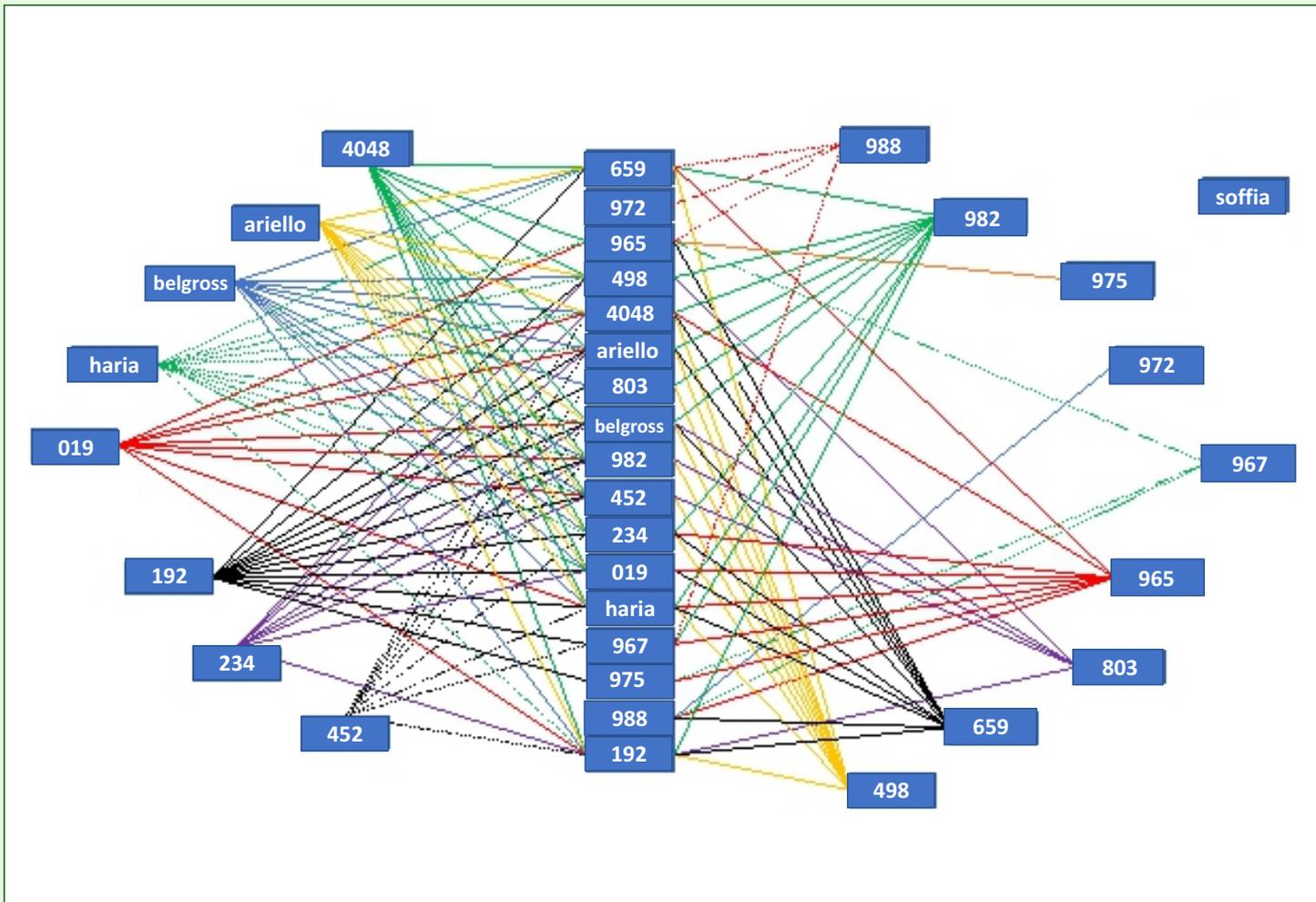


Figura 51. Analisi congiunta in frequenza delle variazioni di temperatura e correlazioni con grotte di riferimento correlate con altri gruppi di grotte

### Analisi dei modelli filtrativo e diffusivo, per verificare la "profondità" del carsismo correlato

Riferendoci a quanto presentato dettagliatamente nell'analisi del periodo invernale, ci limitiamo a produrre i dati relativi al modello estivo.

Dalla Tabella 27, rappresentata con  $f$  filtrativo e  $d$  diffusivo, notiamo che la corrispondenza tra il modello teorico filtrativo e quello reale è relativamente buona, con delle discrepanze limitate, ma il modello teorico risente pesantemente delle approssimazioni fatte sulla conducibilità dell'aria in grotta.

Il parametro  $Q$  che cresce con la profondità della grotta rispetto alla superficie, segnala: LoBs 223, LoBs 4050, LoBs 452, LoBs 803, Dolina Carlina e Faggiato, come le cavità più soggette alle variazioni di temperatura superficiali.

Un test della validità del modello applicato potrebbe essere la correlazione con i dati esterni, andando quindi a verificare che ci sia un ritardo di trasferimento compatibile con il ritardo

Tabella 27. Analisi dei modelli filtrativo e diffusivo e loro corrispondenze

Catasto	TA	$\Delta T$	$Q = ((T_A/\Delta T)^2 - 1)^{1/2}$	media $\alpha_r$ daily (ore)	media $\alpha_d$ daily (ore)
LoBs 019	10,46	0,05	208,89	5,88	34,33
LoBs 192	10,46	0,03	323,65	5,87	36,39
LoBs 223	10,46	1,66	6,22	5,21	6,36
LoBs 234	10,46	0,03	340,67	5,98	36,27
LoBs 247	10,19	0,56	18,14	5,65	13,41
LoBs 4048	10,46	0,02	538,12	5,99	37,99
LoBs 4050	11,18	1,28	8,70	5,50	10,20
LoBs 4065	10,46	0,36	28,93	5,80	20,33
LoBs 452	10,46	1,10	9,47	5,43	8,02
LoBs 659	10,41	0,10	105,75	5,91	26,63
LoBs 783	10,46	0,56	18,50	5,64	10,62
LoBs 791	10,46	0,84	12,49	5,53	8,97
LoBs 803	10,46	1,46	7,08	5,29	7,04
LoBs 909	10,46	0,19	54,97	5,79	21,48
LoBs 926	10,46	0,19	56,41	5,79	15,27
LoBs 963	10,33	0,57	18,01	5,60	16,64
LoBs 965	10,34	0,56	18,53	5,70	28,06
LoBs 967	10,46	0,07	154,37	5,92	28,22
LoBs 972	10,22	0,47	21,67	5,68	16,80
LoBs 975	10,41	0,46	22,63	5,69	15,79
LoBs 982	10,41	0,16	63,89	5,80	18,53
LoBs 988	10,41	0,05	201,41	5,84	34,77
Ariello	10,46	0,09	120,02	5,82	26,33
Belgross 3	10,41	0,05	230,22	5,85	31,05
Dolina Carlina	10,46	1,35	7,68	5,34	9,68
Faggiato	10,46	1,62	6,38	5,26	6,56
Haria	10,46	0,30	35,06	5,74	13,97
ONiga	10,41	0,00	$\infty$	5,98	42,85
OBase50	10,41	0,02	642,06	5,97	38,66
OFusoidi	10,41	0,00	$\infty$	5,98	42,87
OpozzoX	10,41	0,01	801,33	5,98	39,52
OP17	10,41	0,01	801,33	5,98	39,50
OLaminatoio	10,41	0,05	230,21	5,94	31,45



Foto 16. Il ritiro durante la stagione estiva del data logger presso l'ingresso della LoBs 767 (Bus del Rospo) - Foto M. Pozzo

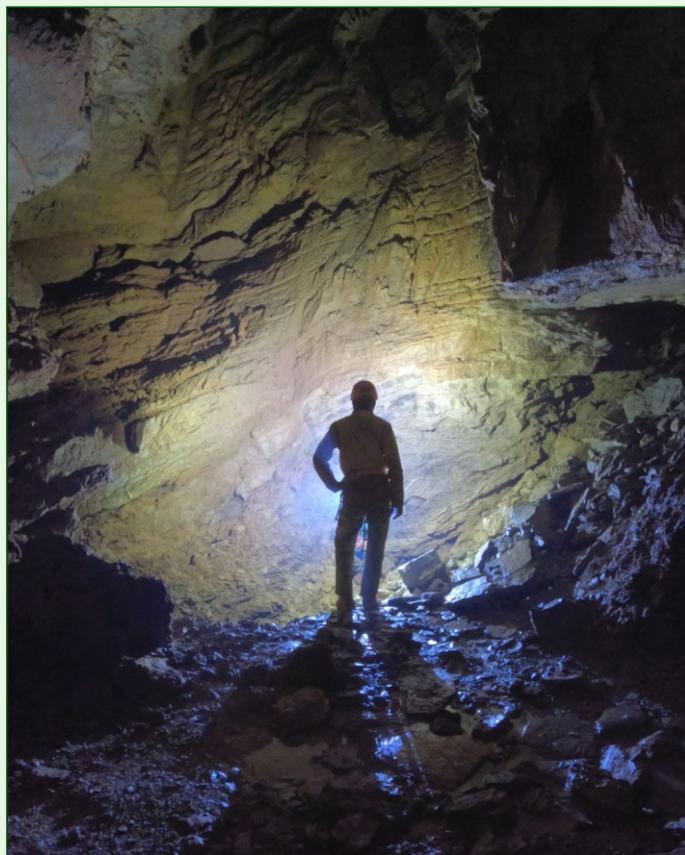


Foto 17. LoBs 973 (Zuffolo): la Salafaglia, a circa -50 m di dislivello, si apre in un ambiente di notevoli dimensioni impostato su un'importante linea di faglia e incrocio di fratture.

Il ritrovamento di questa cavità è avvenuto grazie alle prime prospezioni di ricerca del Progetto Ariadeghe - Foto M. Pozzo

calcolato. Dai grafici seguenti si nota che praticamente tutte le grotte hanno tempi di reazione istantanei (entro 1\_2 ore) dalle variazioni di temperatura esterne, mentre per il modello filtrativo di circa 5 ore.

Non c'è una corrispondenza perfetta, ma si deve tener conto anche delle approssimazioni e del fatto che le misure sono medie e che quindi contengono molte possibili inversioni.

### Calcolo della portata degli ingressi sulla base delle misure in temperatura

I calcoli fatti fin ora ci permettono ulteriormente di estrapolare il valore della portata d'aria nei vari periodi e nelle due grotte in regime estivo e invernale dalla considerazione che:

$\varphi$  = flusso di aria

$$\varphi = \frac{1}{\rho_a C_a} \left( \frac{\rho_r C_r H \omega}{Q} - I C_w \right)$$

Dove:

$r_{gc}$  = tasso di variazione della temperatura nel tempo =  $3 \cdot 10^{-10}$  °K/s

$\rho_r, \rho_a$  = densità roccia e aria

$C_r, C_w, C_a$  = Capacità termica roccia, acqua, aria

$H$  = altezza della montagna al di sopra dell'acquifero

$dT_{ie}$  = differenza temperature medie esterno interno

$I$  = Infiltrazione =  $3 \cdot 10^{-5}$  Kg/s/Km<sup>2</sup>

$l$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{T_A}{\Delta T}\right)^2 - 1}$$

I flussi d'aria medi indicati dalla tabella, sono comparabili a quelli registrati a sensazione, mostrando che ci sono probabilmente alcune porte principali di flusso distribuite nell'altopiano.

Tabella 28. Calcolo della portata degli ingressi, sulla base delle misure in temperatura

Catasto	$\varphi$ (m <sup>3</sup> /s)	$\varphi$ (m <sup>3</sup> /s)
LoBs 019	0,23	
LoBs 192	0,05	
LoBs 223	53,69	
LoBs 226		3,34
LoBs 233		20,80
LoBs 234	0,27	
LoBs 247	14,15	8,17
LoBs 4045		1,93
LoBs 4048	0,13	
LoBs 4050	11,57	2,32
LoBs 4065	2,87	1,20
LoBs 452	43,98	
LoBs 659	1,49	
LoBs 783	2,23	
LoBs 767		8,50
LoBs 791	15,78	
LoBs 793		3,74
LoBs 803	33,01	
LoBs 816		6,11
LoBs 909	0,60	0,16
LoBs 926	4,37	
LoBs 963	8,06	0,67
LoBs 965	13,26	
LoBs 967	0,32	
LoBs 970		5,47
LoBs 972	4,55	
LoBs 973		2,49
LoBs 975	37,68	
LoBs 982	0,67	0,55
LoBs 987		0,47
LoBs 988	1,01	
Ariello	0,06	
Belgross 3	0,22	
Caldariello		0,88
Dolina Carlina	0,64	
Faggiato	3,96	0,63
Haria	1,68	0,48
Invertita		0,89
Velapuck		8,40
Vortizel		6,17
ONiga	0,04	
OBase50	0,99	
OFusoidi	0,00	
OpozzoX	0,10	
OP17	0,60	
OLaminatoio	0,63	

In particolare ci sono alcune grotte, come la LoBs 223, LoBs 233, LoBs 247 (conferma con le rilevazioni invernali), LoBs 4050, LoBs 452, LoBs 791, LoBs 963, LoBs 965 e LoBs 975 che sembrano avere dei flussi decisamente fuori scala. Un'osservazione interessante è che i flussi estivi sono mediamente 3 volte più alti di quelli invernali, nelle grotte monitorate in continuità. D'altra parte queste osservazioni sono frutto di una serie di calcoli teorici ricchi di approssimazioni che meriterebbero ulteriori approfondimenti.

### Calcolo dei tempi di diffusione dell'onda termica nei vari modelli

Dalle informazioni di flusso, possiamo ricavare con un banale calcolo le velocità di trasferimento termico e quindi, considerando i tempi di ritardo medi di circa 2 ore delle onde termiche in uscita, possiamo avere un'idea a grandissime linee delle dimensioni dei complessi all'interno della montagna. Ovviamente sono dimensioni teoriche che considerano le grotte come dei tubi a sezione omogenea e non considerano le

Tabella 29. Calcolo dei tempi di diffusione dell'onda termica nei vari modelli

Catasto	velocità m/s	lunghezza m	velocità m/s	lunghezza m
LoBs 019	0,78	5.602		
LoBs 192	0,51	3.650		
LoBs 223	26,85	193.288		
LoBs 226			2,09	15.014
LoBs 233			3,47	24.963
LoBs 234	0,48	3.449		
LoBs 247	9,07	65.322	5,24	37.717
LoBs 4045			3,01	21.685
LoBs 4048	0,31	2.198		
LoBs 4050	19,28	138.791	3,86	27.798
LoBs 4065	5,74	41.299	2,41	17.323
LoBs 452	17,25	124.181		
LoBs 659	1,55	11.170		
LoBs 783	8,92	64.249		
LoBs 767			7,08	51.009
LoBs 791	13,15	94.659		
LoBs 793			12,46	89.747
LoBs 803	22,92	165.044		
LoBs 816			10,18	73.300
LoBs 909	3,00	21.565	0,78	5.619
LoBs 926	2,91	20.963		
LoBs 963	9,15	65.911	0,76	5.499
LoBs 965	8,84	63.665		
LoBs 967	1,06	7.642		
LoBs 970			3,04	21.876
LoBs 972	7,58	54.575		
LoBs 973			3,41	24.537
LoBs 975	7,54	54.266		
LoBs 982	2,68	19.298	2,21	15.891
LoBs 987			0,74	5.331
LoBs 988	0,84	6.054		
Ariello	1,38	9.931		
Belgross 3	0,72	5.160		
Caldariello			1,47	10.579
Dolina Carlina	21,20	152.654		
Faggiato	26,39	190.004	4,18	30.093
Haria	4,79	34.520	1,38	9.960
Invertita			14,89	107.212
Velapuck			16,81	121.032
Vortizel			9,63	69.364
ONiga	0,00	10		
OBase50	0,25	1.777		
OFusoidi	0,00	10		
OpozzoX	0,20	1.445		
OP17	0,20	1.435		
OLaminatoio	0,70	5.026		



### Considerazioni finali relative ai risultati del test e sulle prospettive esplorative (V. Franchini, M. Pozzo)

Questo studio, che a primo impatto potrebbe sembrare fin troppo corposo, è un sunto di quanto raccolto nel dettaglio sul campo e delle relative analisi. Non contiene i dati relativi alle singole cavità monitorate e l'elenco delle schede catastali delle cavità presenti nell'area.

Il testo è anche una piccola parte da sommare a quanto documentato in un centennio da speleologi bresciani e non.

In generale è la raccolta di una buona quantità di informazioni da aggiungere al bagaglio informativo e storico del carsismo locale, con l'augurio che possano essere di aiuto per la prosecuzione delle ricerche.

L'occasione del riordino catastale ha permesso infatti di aggiornare il quadro panoramico sulla distribuzione degli ingressi e anche di incrementarne il numero con circa una cinquantina di cavità nuove: alcune tra queste risulterebbero di importanza strategica se considerate per la loro posizione geografica rispetto al reticolo ipogeo conosciuto.

La realizzazione della «Carta della circolazione dei flussi d'aria» degli ingressi conosciuti, è la prima informazione utile per l'approccio esplorativo dal punto di vista di queste conoscenze, cioè della circolazione dei flussi d'aria sotterranei profondi del complesso carsico esistente, in relazione a quella delle bocche alitanti, suddivise secondo le loro preponderanze stagionali rispetto alla direzione e alle loro temperature registrate all'imbocco. La Carta permette di analizzare visivamente la situazione generale dell'Altopiano di Cariatoghe rispetto alle alitazioni degli ingressi.

Il tentativo di ricostruire anche la mappatura interna dei flussi nel «Complesso dell'Omber», ha permesso di formulare ipotesi circa eventuali legami con le cavità posizionate nei pressi o sopra diramazioni importanti del sistema e di stabilirne uno con semplice utilizzo di candele profumate (Ingresso Stranuow, LoBs 4047) proprio per l'immediata vicinanza alla superficie.

Chiaramente, la raccolta dei dati legati alle temperature non in simultanea di un'intera area carsica, che richiede molta disponibilità di tempo e di persone, arriva rapidamente al suo limite quando si ha la necessità di metterli a confronto per cercare elementi accomunanti che possano in primo luogo indicare su quale cavità indirizzare energie.

Il carsismo locale regala agli speleologi la possibilità di trovare un elevato numero di accessi che attualmente sono circa un centinaio, ma pochissimi tra questi superano la soglia dei -50/100 metri e solo 4 sono collegati con certezza al reticolo profondo. Le cause sono le ristrettezze dei varchi iniziali e dei percorsi che collegano l'esterno al livello dei primi grandi spazi, posti a quota 750 m circa (galleria dello Sprint).

Questi varchi di accesso sono enormi *karren* colmi di sedimento terroso, o fratture sepolte nel fondo di doline o ai loro lati.

Le doline presenti sono qualche centinaio e la loro disposizione ha evidenti legami con le principali direttrici di fratturazione.

L'attività esplorativa è quindi lenta e faticosa e, soprattutto nella fase iniziale, le fatiche sono poco ripagate: di conseguenza l'indizio principale seguito dagli speleologi a caccia di ignoto, se le dimensioni non sono subito generose, è «l'aria», con la sua temperatura rispetto alla stagione e la sua velocità in uscita o entrata all'imbocco. I flussi d'aria contengono informazioni interessanti e i risultati esplorativi degli ultimi 30/40 anni lo confermano.

Le informazioni raccolte si prestano alla possibilità di essere correlate seguendo principi, non solo di «sensibilità speleologica», ma anche fisici e matematici.

La lettura della Carta della circolazione dei flussi, offre purtroppo un quadro decisamente caotico dal punto di vista logico, sia per le direzioni di flusso che per le quote di posizionamento degli ingressi, e pur cercando di considerare tutte le conoscenze geologiche e tettoniche dell'acquifero carsico e del blocco calcareo che ne costituisce l'involucro, rimane di difficile interpretazione per formulare strategie di ricerca esplorativa prioritarie.

Il progetto di monitoraggio delle temperature in simultanea di un gran numero di cavità mediante *data logger*, dei principali settori interni del complesso profondo divisi per dislivello e delle escursioni termiche per circa un anno, è un buon primo passo per un approfondimento del fenomeno. Al di là dei risultati derivanti dalle correlazioni di calcolo, ha confermato le principali percezioni degli autori derivate dalla raccolta preventiva, durata oltre due anni, delle informazioni necessarie per realizzare la Carta. I risultati di analisi scaturiti dalle elaborazioni dei dati di monitoraggio estivo ed invernale, aprono a tavolino nuovi scenari che, attraverso test odorosi o monitoraggi successivi selezionati con apparecchiature più dedicate, dovranno essere confermati sul campo.

La strada da seguire di conseguenza sembrerebbe quella consigliata da M. Miragoli, in abbinamento a nuove campagne di ricerca mirate verso le cavità che hanno dimostrato di avere requisiti più allettanti, sia dal punto di vista speleologico che di correlazione e analisi dei dati.

### Ringraziamenti

Si ringraziano i soci di **Underland Ody**, in particolare **Nicolò Falgari**, i soci del **G.G. Brescia** e altri speleologi che hanno collaborato a posa e raccolta dei *data logger*, all'interno e agli ingressi delle cavità.

Si ringrazia il Dott. **Paolo Schirolli** per l'aiuto indispensabile alla stesura del paragrafo sull'*Inquadramento Geologico e la Tettonica*.

Un ringraziamento particolare e doveroso è rivolto a **Maurizio Miragoli** che ha avuto la pazienza di ascoltarci e di analizzare una gran mole di dati in tempi molto brevi.

Si ringrazia la **Federazione Speleologica Lombarda (FSL)** per il patrocinio al progetto e per la concessione all'utilizzo di strumentazioni idonee alle misurazioni.

Si ringrazia l'**Amministrazione Comunale di Serle (Bs)**, per la condivisione al progetto e l'appoggio logistico attraverso permessi e strutture durante l'attuazione delle operazioni di posa e raccolta.



Foto 20. Gallerie freatiche in una cavità in esplorazione - Foto M. Pozzo

**Riferimenti bibliografici - Prima Parte**

Vailati D. (1982), L'Altopiano di Cariadeghe sopra Serle (Brescia, Prealpi Lombarde), Speleologia N. 7, pp.19-21;  
 Forti P., Marchesi G. (1991), Studi speleologici nelle prealpi bresciane con particolare riguardo alla evoluzione del carsismo e dell'idrogeologia dell'Altopiano di Cariadeghe (Serle, Brescia) - Atti del convegno: Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose, Volume secondo, Quaderni di sintesi N.43, ASM Brescia, Stampato nel 1993, pp. 149-183;  
 Rivadossi M. (1997), Omber en banda al Bus del Zel, Speleologia n.36, pp61-76;  
 Forti P. (2000), L'evoluzione degli studi idrogeologici nella parte meridionale delle Prealpi Bresciane con particolare riguardo alle sorgenti Fontanone di Paitone e Pedimonte di Botticino - Atti del convegno: Dalle sorgenti ai pozzi e dai pozzi alle sorgenti, UniBs, maggio 2000; Quaderni di sintesi N.58, ASM Brescia, pp. 23-34;  
 Picotti V. (2000), Evoluzione geologica e strutturale dell'area fra Botticino e Gavardo e relazioni con l'evoluzione idrogeologica - Atti del convegno: Dalle sorgenti ai pozzi e dai pozzi alle sorgenti, UniBs, maggio 2000; Quaderni di sintesi N.58, ASM Brescia, pp. 35-44;  
 Schirolli P. (1997), Il passato geologico della Terra dei Marmi - L'evoluzione del paesaggio e l'assetto strutturale; Progetto: La via del marmo, pp. 13-44; Schirolli P. (1998) - Dietro il paesaggio. La vicenda geologica della Terra dei marmi - Progetto: La via del marmo, pp.7-21;  
 Carta geologica delle Prealpi Bresciane a Sud dell'Adamello - Foglio Ovest, Scala 1:50.000 - Ist. Geol. Università di Pavia, Gennaio 1972;  
 Carta idrogeologica della parte meridionale delle Prealpi Bresciane, Scala 1:50.000, ASM-SSi 1991.



Foto 21. Ricerca di nuovi ingressi- Foto V. Franchini

**Riferimenti bibliografici - Seconda e Terza Parte**

Badino G. (1995), Fisica del clima sotterraneo;  
 Badino G. (2014), Cave temperature and global climatic changes;  
 Badino G. (2014), Clouds in caves;  
 Badino G. (2016), Dall'infrasuono direi che continua;  
 Badino G. (2020), L'influenza del clima esterno sulle terre della notte;  
 Badino G. (2020), La fisica dei flussi d'aria convettivi in sotterraneo;  
 Mercalli L. (1997), Effetto serra e riscaldamento globale. Nimbus 17-18, pp.17;  
 Miragoli M. (2020), La funzione di trasferimento e l'esplorazione delle cavità naturali;  
 Miragoli M. (2020), Alcune osservazioni sui dati di Lambda e Romina (M. Mongioie).

Foto 22. Ampie gallerie freatiche di fresca scoperta a quota 800 m - Foto M. Pozzo



# Sebino Occidentale

Il sistema carsico del Sebino Occidentale: il risultato dell'interazione tra speleologia di ricerca ed enti locali, per la conoscenza profonda di un importante acquifero lombardo

Massimo Pozzo (a)

(a) Underland

2018-2022

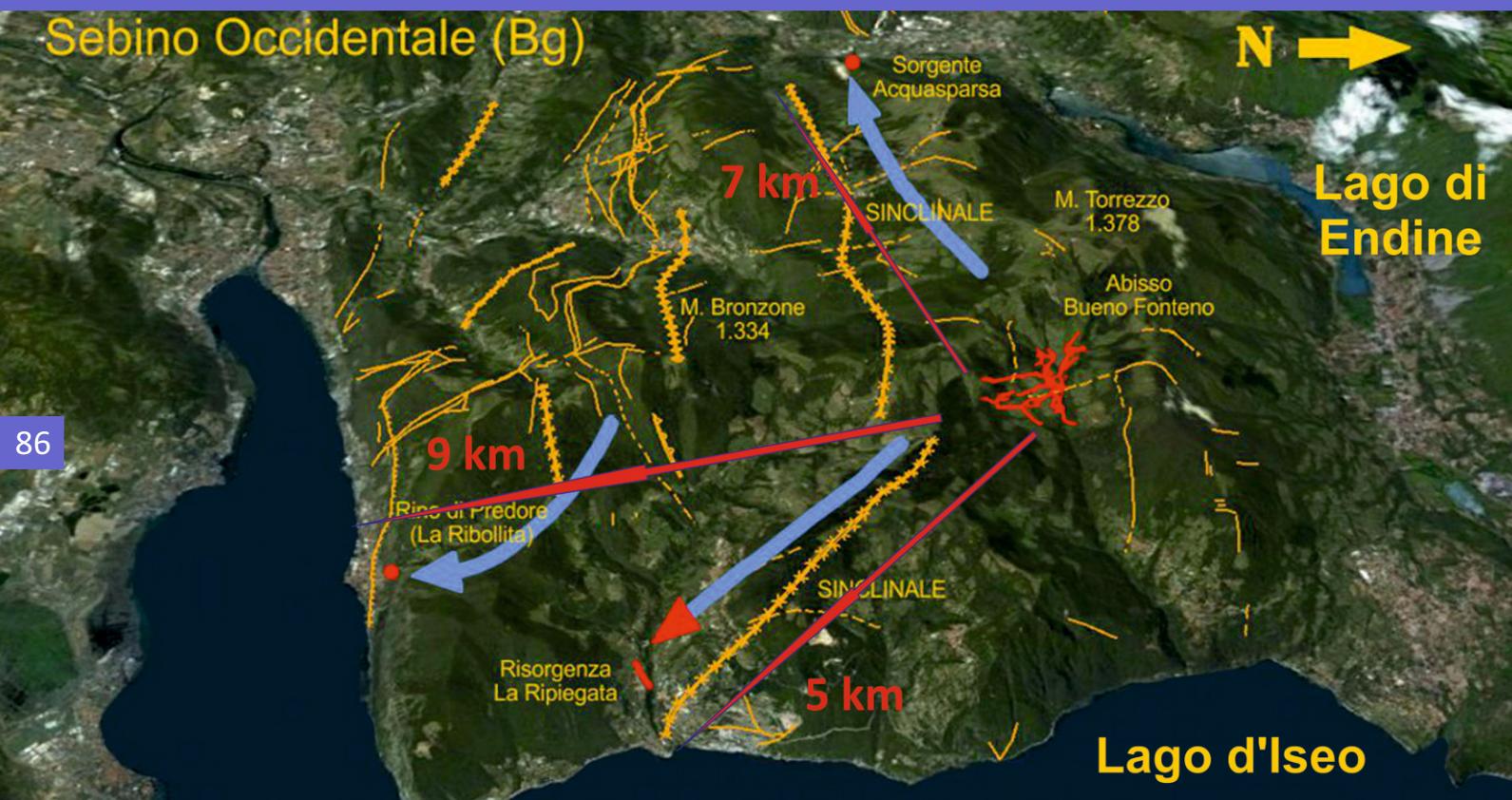


Figura 1. Ubicazione recapiti ipotizzati e certi nell'area - Grafica M. Pozzo

## Riassunto

La scoperta dell'Abisso Bueno Fonteno nel maggio del 2006, stravolse la speleologia bergamasca del momento: mai fino ad allora poteva annoverare una grotta che avesse sviluppi superiori ai cinque chilometri.

Il contributo ripercorre, con inquadramento speleologico dell'area, le tappe principali del percorso esplorativo che ha portato alla scoperta e sviluppo di questo grande e nuovo sistema di grotte e abissi.

Il complesso carsico del Sebino Occidentale è un universo sotterraneo ancora da svelare, nonostante le ricerche abbiano raggiunto risultati inaspettati in breve tempo e in termini di sviluppo topografico.

Dal 2006 ad oggi, la giunzione tra i due abissi principali dell'area, Bueno Fonteno (LoBg 7150) e Nueva Vida (LoBg 7151), ha dato vita ad un sistema che misura oltre 35 km, comprese le altre cavità dell'area.

Le dimensioni del carsismo interno sono fuori dell'ordinario rispetto a quanto presente nel territorio provinciale, ma anche

regionale, perché presenta numeri elevati di percorsi sotterranei che drenano grosse quantità di acqua verso sorgenti dislocate ai limiti di un'area carsica stimata 100 km quadrati.

Il dislivello potenziale supera i 1100 metri, ma può aumentare considerata la presenza di fuoriuscite sub lacuali. Un corposo approfondimento del seguente contributo è scaricabile al link: <https://underlandweb.files.wordpress.com/2021/07/sottomondo-n.1-carte-di-scorrimento-delle-acque-nel-complesso-carsico-del-sebino-occidentale-3.pdf>

Nel caso presentato, l'interazione tra la speleologia di ricerca e gli enti locali ha raggiunto livelli molto positivi, dando impulsi e possibilità alle ricerche speleologiche altrimenti irrealizzabili e contribuendo in maniera indiscussa alla divulgazione della Speleologia.

**Prologo**

L'idea di dare inizio ad una ricerca sistematica nel Sebino Occidentale venne agli inizi degli anni 2000 a due soci del GS Valle Imagna, Massimo Pozzo e Maurizio Aresi, in cerca di un'area geograficamente non lontana dalle proprie residenze, con quote che permettessero di svolgere attività in qualsiasi stagione e possibilmente con la presenza di importanti risorgenze carsiche. Indubbiamente una bella pretesa...

Alcune segnalazioni pervenute da conoscenti e locali facevano ben sperare, ma il piccolo gruppo dovette aspettare ancora qualche anno, in quanto già impegnato in altre aree lombarde (Presolana, Dossena, Grigna, Tivano).

Nel 2006, dopo un anno di intensa ricerca sia a tavolino che esterna e diversi ritrovamenti non importanti, Massimo Pozzo valutò la necessità di allargare il progetto ad altri gruppi soprattutto locali, vista la vastità del territorio coinvolto, creando Progetto Sebino, a cui aderirono due gruppi bergamaschi, lo S. C. Lovere e il G. S. Valle Imagna, e i due bresciani, lo S. C. Valtrompia e il G. S. Montorfano, che poi ne uscirono dopo qualche anno: i rimasti si costituirono in un gruppo riconosciuto con il nome stesso del progetto e tutt'ora in esistenza.

Durante il primo decennio di questa gestione l'exploit esplorativo ebbe una crescita vertiginosa sia per la generosità del fenomeno carsico locale, straordinario per il territorio bergamasco, che per la caparbità, la dedizione e le intuizioni dei suoi esploratori più costanti, supportati da una attiva collaborazione e sostegno di enti locali.

Il periodo 2006-2017, di grande fulgore esplorativo, si chiude con una scissione drastica all'interno del gruppo speleologico e sempre su idea dello scrivente nasce Underland, con gli obiettivi di ricerca originari dell'autore, ovvero l'individuazione del sistema carsico che alimenta la cospicua risorgenza locale: l'Acqua Sparsa di Grone (Bg).

**Un universo nuovo**

Furono tre soci loveresi a individuare nella valle principale nel comune di Fonteno (Bg) l'ingresso soffiante aria gelida (5 m/s) nel maggio 2006 (M. Finazzi, A. Poletti, F. Vezzoli), ma fu un altro il quartetto che ebbe la fortuna storica di violarlo: M. Pozzo, M. Aresi, C. Forcella e D. Magri. Da quel momento tutto cambiò per il Sebino, e si aprirono le porte di una nuova dimensione speleologica per la bergamasca (Pozzo M., 2006, 2012).

Il nuovo Abisso Bueno Fonteno in pochi mesi raggiunse l'incredibile sviluppo di 8 chilometri (record provinciale), con diramazioni aperte in ogni direzione, decine di corsi d'acqua interni e una profondità di 451 metri ferma sul limite di un tenebroso sifone: lo Smeraldo. Durante il primo tragitto si scoprirono saloni dalle dimensioni spropositate superiori ai 100 metri, veri e propri canyon sotterranei attivi alti anche 50 metri e nei livelli più bassi, grandi gallerie freatiche con diametri



Foto 1. Il fortunato Campo Lions, dimora dei più «assidui» di molti fine settimana esplorativi - Foto M. Pozzo

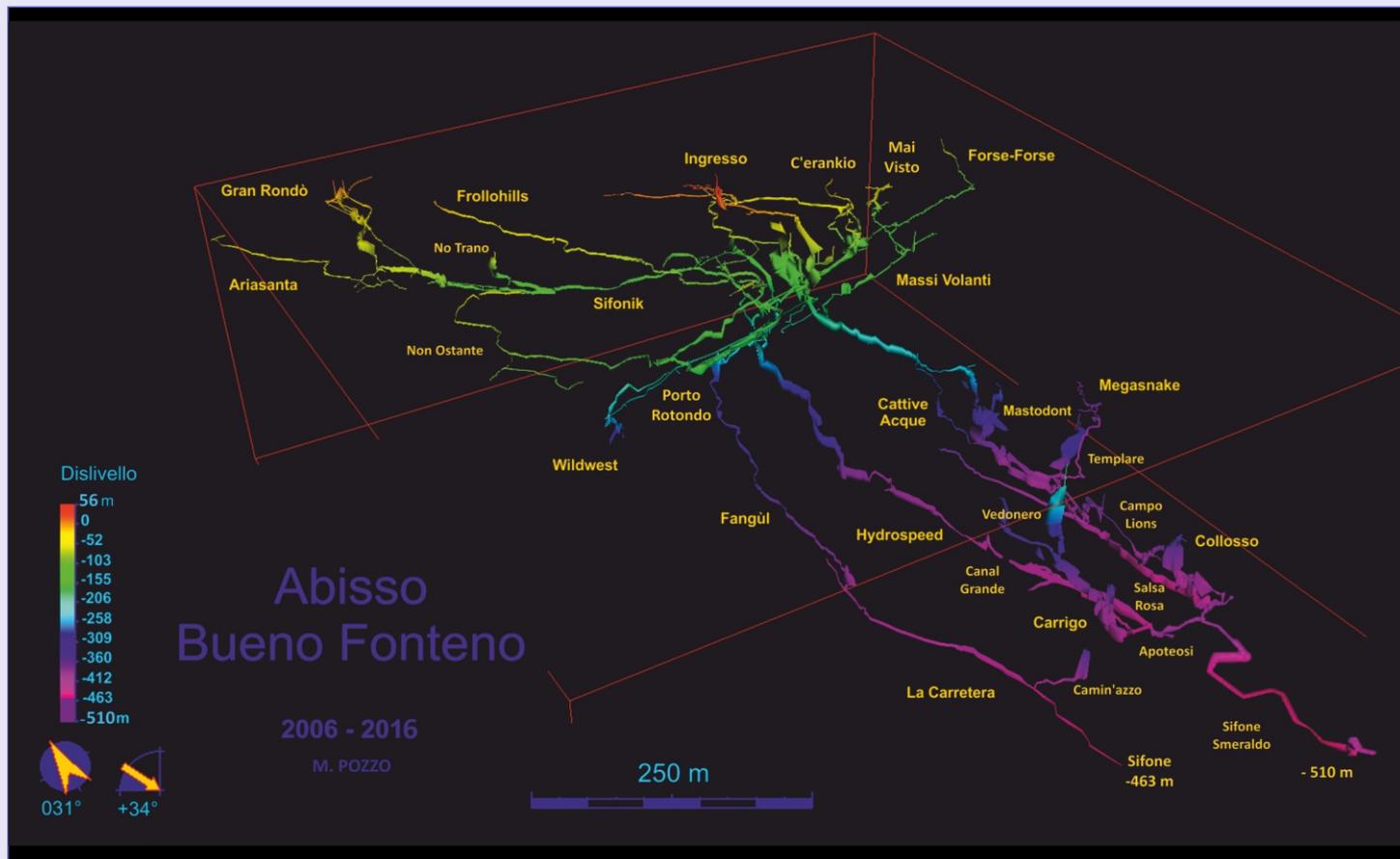


Figura 2. Abisso Bueno Fonteno (LoBg 7150) - Grafica M. Pozzo

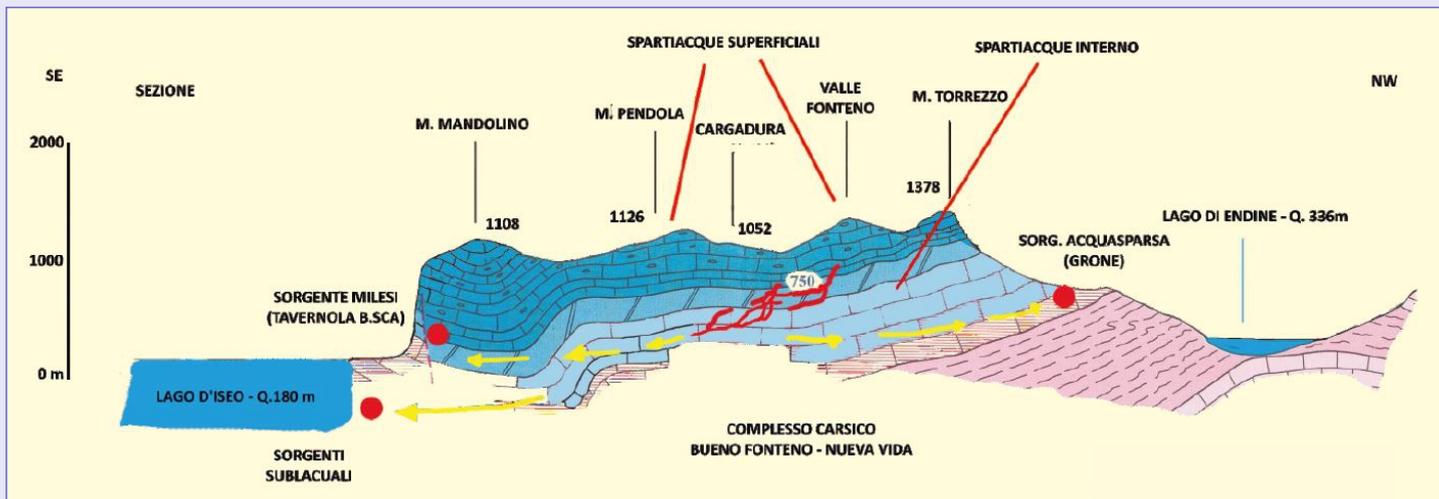


Figura 3. Sezione schematica dello spartiacque superficiale e di quello interno ipotizzato tra i due laghi, Iseo ed Endine - Grafica M. Pozzo

superiori anche ai 5 metri. La notizia si diffuse rapidamente su media e quotidiani locali e, di fronte alla necessità di ben organizzare le ricerche in un territorio che comprende molti Comuni, l'associazione si propose di riuscire a coinvolgerli attivamente in concerto con altri enti locali.

L'obiettivo era lo "Studio idrogeologico e speleologico del sistema carsico", con particolare riguardo all'individuazione delle disponibilità idriche ipogee per un eventuale utilizzo, la valutazione dell'impatto antropico sul sistema idrico e la tutela e salvaguardia dell'area carsica in esame, che fu ufficializzato con atti burocratici. Si scoprono numerose cavità, anche in valli adiacenti a quella di Fonteno, con revisione e aggiornamento catastale di tutte quelle presenti nell'area, con nuova topografia interna e posizionamento tramite Gps.

In collaborazione con il compianto Prof. A. Bini (Dip. Scienze della Terra, UniMi), si diede inizio alla raccolta e campionamento dei

calcarei presenti lungo tutto il dislivello ricoperto da Bueno Fonteno con il fine di ricostruire una sorta di carta geologica interna, mentre nell'intento di effettuare un tracciamento delle acque, iniziarono prospezioni subacquee nel Lago d'Iseo alla ricerca di possibili sorgenti sublacuali.

La presentazione continua del progetto, con di serate divulgative al pubblico, richiamò l'attenzione della popolazione e quindi anche degli enti locali, accrescendone la credibilità e l'utilità sociale sugli scopi dello stesso, a cui viene riconosciuto un piano di bilancio spese sostenute e patrocinate dalla Provincia, le Comunità Montane locali e diversi Comuni vicini a Fonteno.

Bueno Fonteno ebbe una crescita vertiginosa sviluppandosi tridimensionalmente in una porzione cubica di territorio che non supera il chilometro e mezzo e con una media di circa 3,5 km nuovi annuali, raggiunte tre fondi distinti e uno sviluppo di circa 20 chilometri.

Tabella 1. Reticolo con dati di raccolta dei campioni. Foto a destra: la stratificazione del Calcarea di Moltrasio (Abisso Nueva Vida) - Foto M. Pozzo

Punto prelievo	Dislivello	Quota	Note
1	-8	768	Partenza pozzetti iniziali
2	-20	756	Base pozzetti iniziali
3	-33	743	Mezza forra
4	-50	726	Testa P15
5	-62	714	Base p15
6	-80	696	Inizio P50
7	-105	671	Mezzo P50
8	-121	655	mutanda
9	-130	646	Base P50
10	-142	634	Base saltini dopo Beach
11	-160	616	Testa P25
12	-175	601	Metà P25
13	-185	591	Base P25
14	-195	581	Risalita ciclopico
15	-215	561	Dopo Ciclopico, Pozzo Facciale
16	-230	546	Pozzette 50 mt a Fossile
17	-243	533	Metà Fossile
18	-256	520	Testa 1 pozzo dopo Fossile
19	-276	500	Base 1 pozzo dopo Fossile
20	-298	478	Base 2° pozzo dopo Fossile
21	-310	466	Ragno
22	-333	443	Inizio armo Mastodont
23	-326	450	Fanghi alla base del Pozzo del Ragno
24	-368	408	Salone Mastodont, base diramaz. Portale
25	-387	389	Saltino sotto salone Mastodont
26	-400	376	Metà P.20 sotto Mastodont
27	-409	367	Fanghi prima della forra tratto stretto
28	-417	359	Base forra, zona concrezionata
29	-424	352	Zona di giunzione con ramo Megasnake
30	-432	344	Straforra, tra Megasnake e Cattive Acque
31	-440	336	Saltino dopo Cattive Acque
32	-449	327	Condotta a monte dopo sifone Smeraldo
33	-447	329	Sifone di sabbia
34	-357	419	Ramo Carrigo sotto P40 attivo
35	-338	438	Ramo Carrigo zona con plastici di fango



La raccolta dei campioni di calcarea circa ogni 20 m di dislivello, ha permesso di verificare la presenza di una piega alla base dei primi pozzi dopo il Ramo Fossile (Calcarea di Sedrina). Più in basso ritorna il Calcarea di Moltrasio (Salone Mastodont). Il Calcarea di Sedrina riaffiora lungo la diramazione di Carrigo.

Nel 2010, il tracciamento pilota effettuato nell'ambito del Progetto Integrato e denominato «Osservatorio delle aree carsiche lombarde», richiesto da Regione Lombardia alla Federazione Speleologica Lombarda, accertò per il Sebino il collegamento idrologico tra l'Abisso Bueno Fonteno e la risorgenza Milesi (La Ripiegata), presso Tavernola Bergamasca e posta a circa 5 km in linea d'aria dai sifoni di fondo, ma rimasero dubbi legati allo sviluppo generale e a collegamenti con altre risorgenze, tipo l'Acqua Sparsa di Grone, non monitorata a sufficienza per limiti tecnici legati al progetto pilota e distante il linea d'aria oltre 7 km.

Attorno all'area del Sebino Occidentale infatti, sono presenti tre grosse risorgenze (Rino a Predore, Milesi a Tavernola B. e Acqua Sparsa a Grone), molto distanti tra loro e con ostacoli geologici che fanno supporre la presenza di tre complessi carsici molto articolati, con linee drenanti ben definite, legati a spartiacque geografici non collimanti con quelli sotterranei (Figura 1).

In un carsismo così sviluppato non è da escludersi un collegamento sia idrologico che aereo tra i vari sistemi, per cui diventò prioritario nell'ambito di tale vastità, cercare di delimitarne i confini ricavandone dati certi al fine di ragionare e muoversi al suo interno con maggiore cognizione e con la minor dispersione di tempo, risorse ed energie.

La speleologia attuale rivolta allo studio di grandi aree carsiche ottiene risultati certi attraverso il metodo dei tracciamenti delle acque, per avere un'idea del percorso delle stesse dalle zone di assorbimento a quelle di restituzione e lo studio dei flussi delle correnti d'aria sotterranee, che negli ultimi anni ha aperto orizzonti esplorativi immensi, per l'individuazione di canali primari da seguire in presenza di tanti ingressi alitanti (e non).

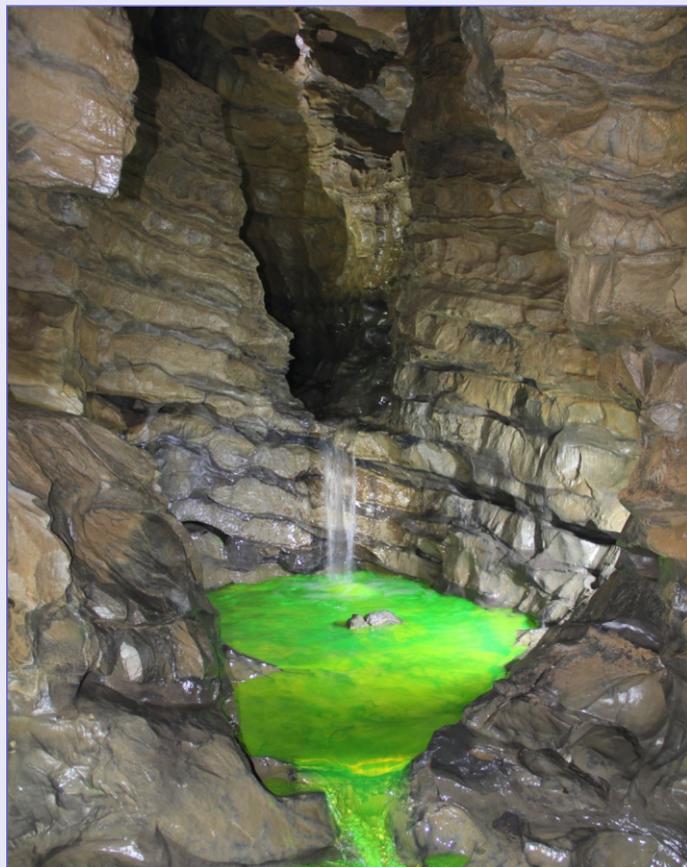


Foto 2. Test di tracciamento «visivo» interno delle acque - Foto M. Pozzo

I tracciamenti di acqua e aria sono fondamentali nella lettura del quadro generale ma anche per decifrare singoli reticoli, vie di

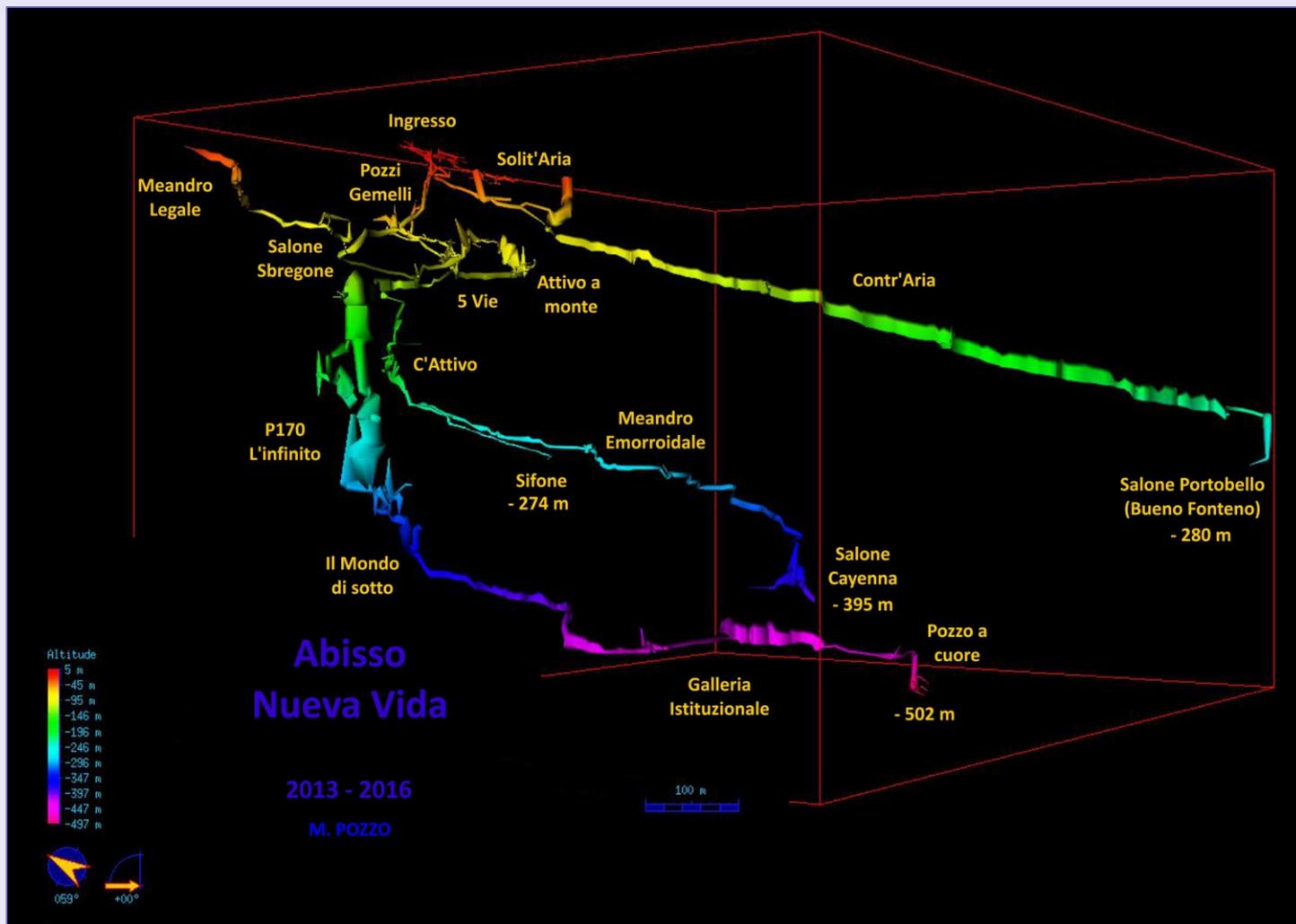


Figura 4. Abisso Nueva Vida (LoBg 7151) - Grafica M. Pozzo

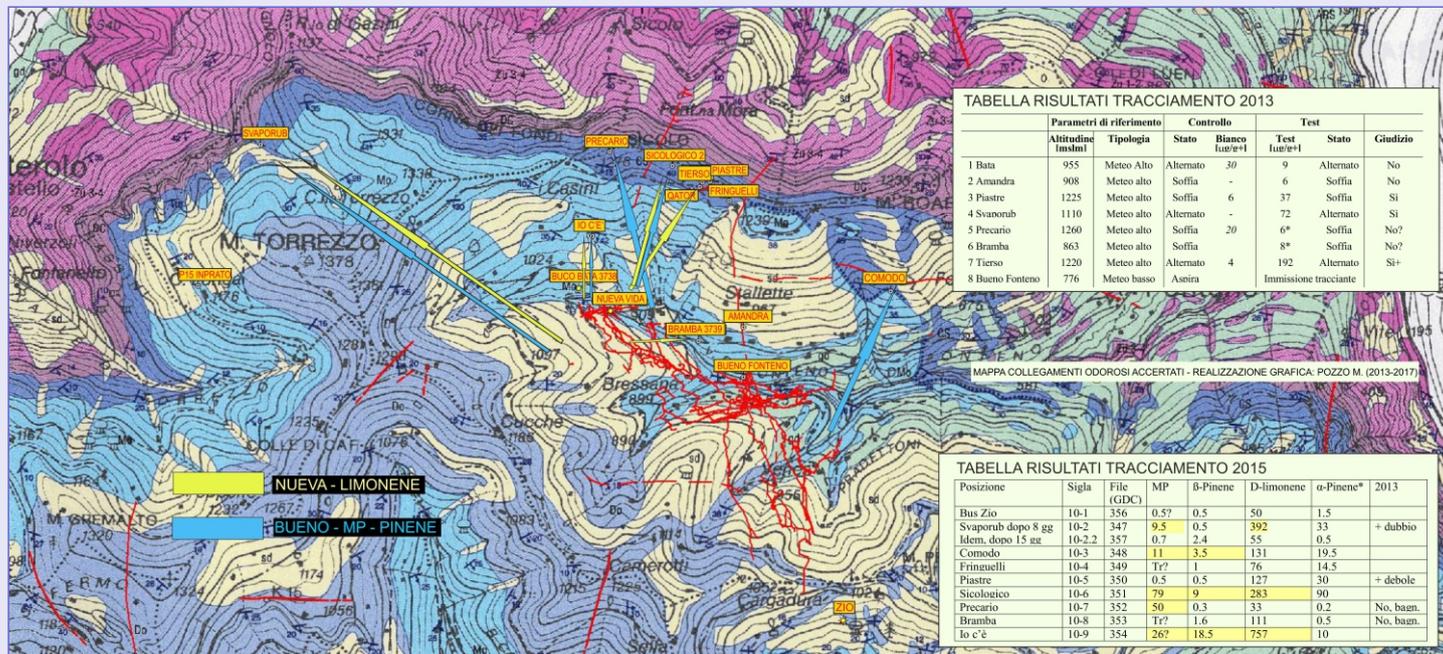


Figura 5. Percorsi interni dei traccianti odorosi e recapiti accertati durante lo svolgimento di Metehypo 1 e 2 - Grafica M. Pozzo

collegamento tra regioni interne, soprattutto se molto sviluppate come nel sistema di Fonteno. Fondamentale è l'aiuto delle nuove tecnologie topografiche, che permettono di riprodurre in 3D territorio e sviluppi interni restituendo visioni d'insieme effettive e non più solo mentali.

Nel 2012 un'immersione dello speleo sub L. Pedrali nel Sifone Smeraldo (Figura 6), confermò che per almeno mezzo chilometro a valle i livelli freatici di Buono Fonteno sono tutti sommersi, quindi le ricerche a favore dello spostamento in pianta o per bypassare il sifone, furono rivolte a settori più a monte dell'abisso. Queste campagne di ricerca interne necessitavano comunque di lunghe esplorazioni e, nell'intento di trovare nuovi accessi proprio per i settori a monte, si scoprì l'Abisso Nueva Vida (Pozzo M., 2013) rivalutando una piccola cavità lasciata nel dimenticatoio che ebbe poi una sorte ancora più fortunata nell'exploit topografico. Infatti, in brevissimo tempo raggiunse i 10 km di sviluppo per una profondità di 501 metri, aprendosi poco più alto in quota rispetto a Buono Fonteno. La Valle di Fonteno in particolare, presenta una media di circa 15 km di gallerie per ogni Km<sup>3</sup>, e la presenza di queste due enormi cavità con sviluppi simili e molto ravvicinate tra loro, ampliò decisamente le possibilità di espansione in tutta l'area del bacino idrografico della valle stessa. Il medesimo discorso valeva anche per i limiti dello spartiacque idrogeologico, che insisteva ad ampliarsi in più direzioni, perchè si continuavano a



Figura 7. Il ramo della «giunzione» esplorato nel 2013 - Grafica M. Pozzo

trovare bocche alitanti meteo alte a distanze sempre maggiori. Per facilitare ancora di più la comprensione e l'eventuale estensione del sistema, nell'inverno del 2013 e in quello del 2015, si organizzarono assieme alla Federazione Speleologica Lombarda, due workshop che trattavano una materia molto singolare e ancora poco conosciuta: la meteorologia ipogea per la ricerca speleologica (Meteo Hypo 1 e Meteo Hypo 2). Mentre si affrontavano le tematiche con illustri specialisti, tra cui il Prof. G. Badino, si effettuarono due test di tracciamento odoroso proprio nel sistema del Sebino Occidentale: il tracciante venne immesso nei due grandi abissi (meteo bassi), e furono monitorati in contemporanea diversi ingressi meteo alti posizionati lungo le creste attorno alla Valle di Fonteno, alcuni oltre il limite geografico del bacino. I risultati diedero risposte attese, ma anche informazioni solo follemente ipotizzate (Figura 5). Determinando infatti collegamenti anche con il Monte Torrezzo (maggior vetta dell'area) e ponendo quest'ultimo massiccio in una posizione di ipotetico spartiacque sotterraneo tra la risorgenza di Tavernola Bergamasca e quella di Grone, (Pozzo M., et al., 2015), i confini dell'area di assorbimento si ampliarono quantomeno al raddoppio. Attraverso una metodica e maniacale mappatura delle direzioni di flusso d'aria di tutte le diramazioni dei due abissi, per opera dello scrivente, si individuò Contr'Aria, una stretta deviazione a flusso invertito (Pozzo M., 2013) che dopo un chilometro di lunga forra li unì in un unico sistema di quasi 30 chilometri (Figura 7). Nel 2016, F. Dal Corso e M. Casaletti percorsero a nuoto una diramazione allagata stabilendo il collegamento tra due dei tre fondi di Buono Fonteno (Hydrospeed con Salsa Rosa tramite Canal Grande).

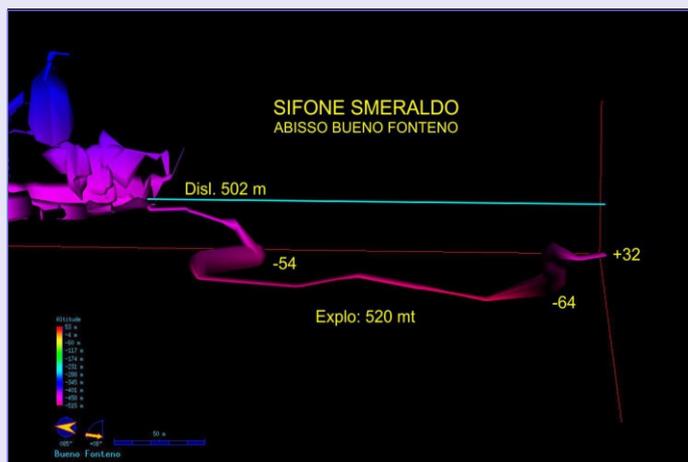


Figura 6. Il tratto sifonante esplorato nel 2012 - Grafica M. Pozzo

Nel 2017 lunghe esplorazioni a monte di Nueva Vida permisero di superare finalmente la soglia dei 30 km (Sala del Trentino - M. Pozzo, N. Belotti, M. Casaletti) e attraverso le risalite nel Ramo Eziokhane, si toccò il massimo dislivello del sistema con la misura di 672 metri (Pozzo M., 2016)(Figura 8).

La creazione di Underland nello stesso anno, avvenne proprio durante un secondo grande tracciamento delle acque, finanziato da Uniacqua Spa, con il sostegno economico di vari enti e quello scientifico dell'Università di Parma.

Con questa operazione si ottenne la conferma al risultato del precedente test e si accertò anche il collegamento tra l'Abisso Bueno Fonteno e la Sorgente Acquasparsa di Grone, rivelando



Figura 8. Abisso Nueva Vida: le varie diramazioni a monte che hanno portato il complesso al dislivello totale di 672 metri - Grafica M. Pozzo



Foto 4. Manepool Ragah, la grotta dei cristalli - Foto M. Inglese



Foto 3. Bueno Fonteno: Cattive Acque a valle - Foto N. Belotti

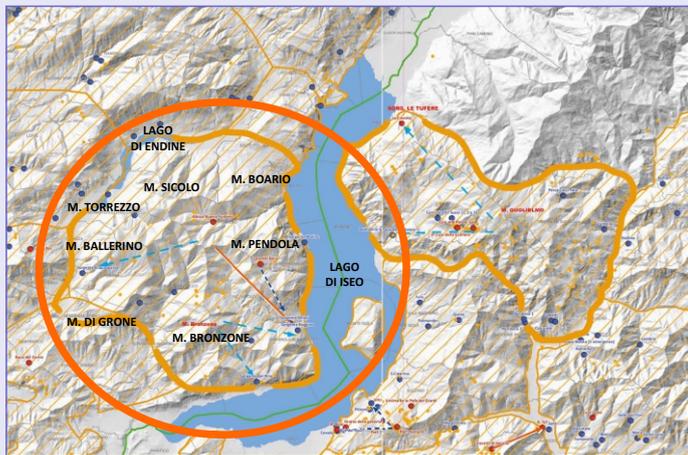


Figura 9. Inquadramento geografico dell'area (da Osservatorio delle Aree Carsiche Lombarde) - Grafica D. Montrasio

quindi la presenza di un importante spartiacque sotterraneo tra i due versanti dell'area, confermando quanto fu ipotizzato dall'autore sin dalla data della creazione del progetto di ricerca (Pozzo M., 2011, 2012).

Underland prosegue attualmente l'idea originaria dei primi ricercatori, concentrando soprattutto le attenzioni sul settore di Grone, alla ricerca del grande complesso parallelo collegato all'Acquasparsa ancora ignoto. Al nuovo progetto, denominato "Disperse Acquae" partecipa il Gruppo Grotte I Tassi e il Gruppo Grotte Alto Garda Bresciano. Nell'ultimo triennio ha collaborato anche il Gruppo Grotte Brescia. Da segnalare inoltre l'importante ritrovamento della cavità Maanepool Ragah (LoBg 7396; 500 mt

sviluppo): posizionata nel territorio di Tavernola Bergamasca è situata proprio di fronte alla risorgenza attuale del sistema (probabilmente fu un primo sbocco dell'acquifero, separato poi dall'azione erosiva delle ultime glaciazioni e attualmente troncone fossile), nella parete opposta alla risorgenza attuale.

**Inquadramento geografico**

Il Sebino è un bacino lacustre dell'Italia settentrionale, situato in Lombardia: ha una superficie di 65,3 Km<sup>2</sup> e una profondità massima di 251 metri e il fiume Oglio è rispettivamente il suo immissario ed emissario. È situato a 180 m di quota nelle prealpi e, posto in fondo alla Val Camonica, si incunea tra le province di Bergamo e di Brescia ed ospita la più grande isola lacustre dell'Europa centro-meridionale: Monte Isola, coronata a Nord e a Sud da due isolotti Loreto e San Paolo.

In un catino allungato di circa 33,7 Km<sup>2</sup> è invece adagiato il Lago di Endine, interrotto ad Est dalla pianura di Piangaiano e ad Ovest dal primo tratto del fiume Cherio. La profondità non supera i 10 metri e si origina da sorgenti sotterranee sconosciute, poste sotto il livello dell'acqua.

**Inquadramento Geologico-Speleologico**

Da un punto di vista di interesse speleologico, il sistema carsico del Sebino Occidentale si sviluppa all'interno dei rilievi montuosi più elevati, che sono: Monte Bronzone (1.334 m), Monte Torrezzo (1.378 m), Monte Pendola (1.126m), Monte Boario (1.239 m), Monte Siculo (1.320 m) e Monte Ballerino (1.275 m). Un territorio di circa 100 Km<sup>2</sup> che si sviluppa all'interno dei

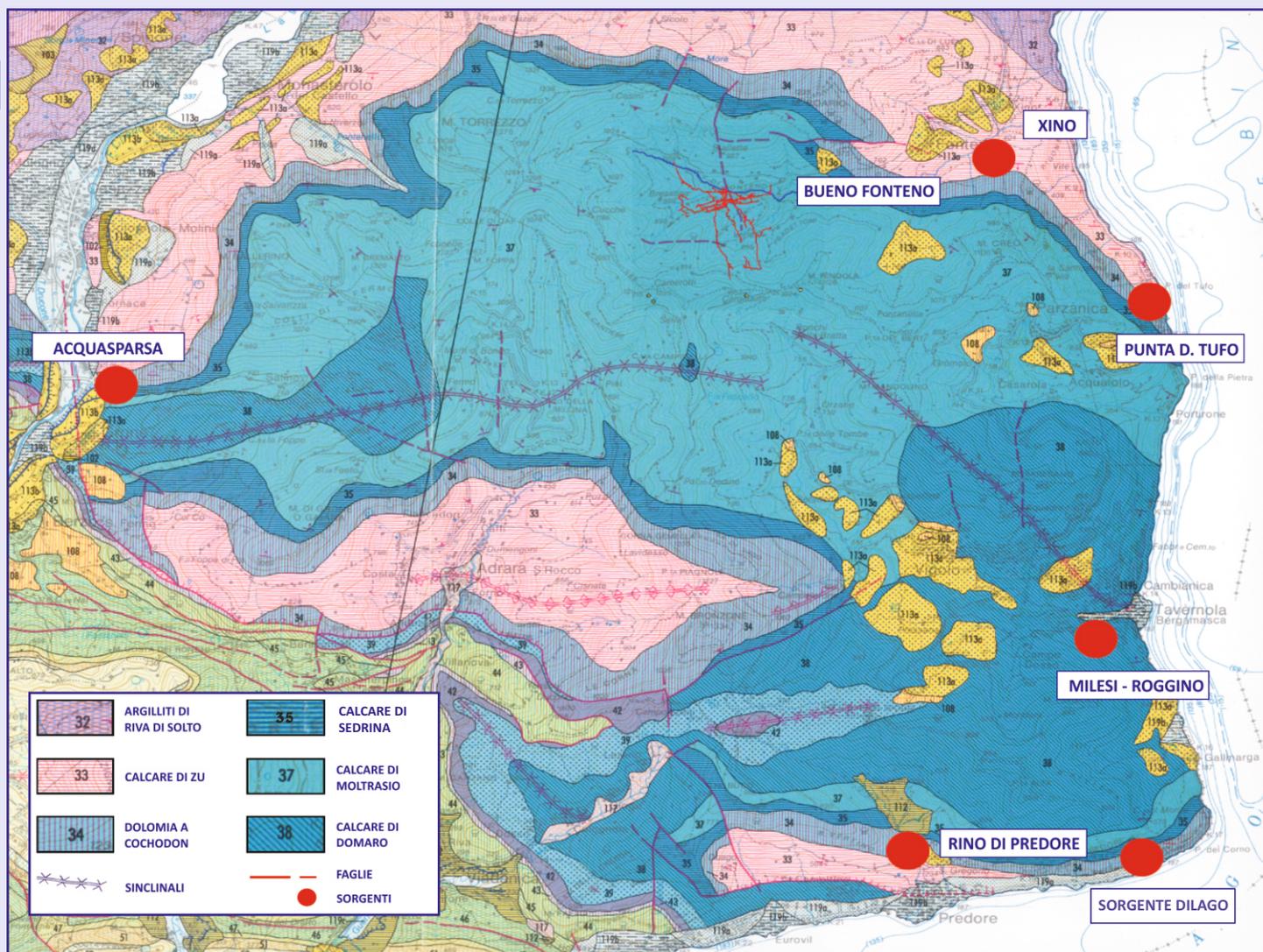


Figura 10. Carta geologica con ubicazione sorgenti principali dell'area (da Carta geologica della Provincia di bergamo - scala 1:50000) - Grafica M. Pozzo

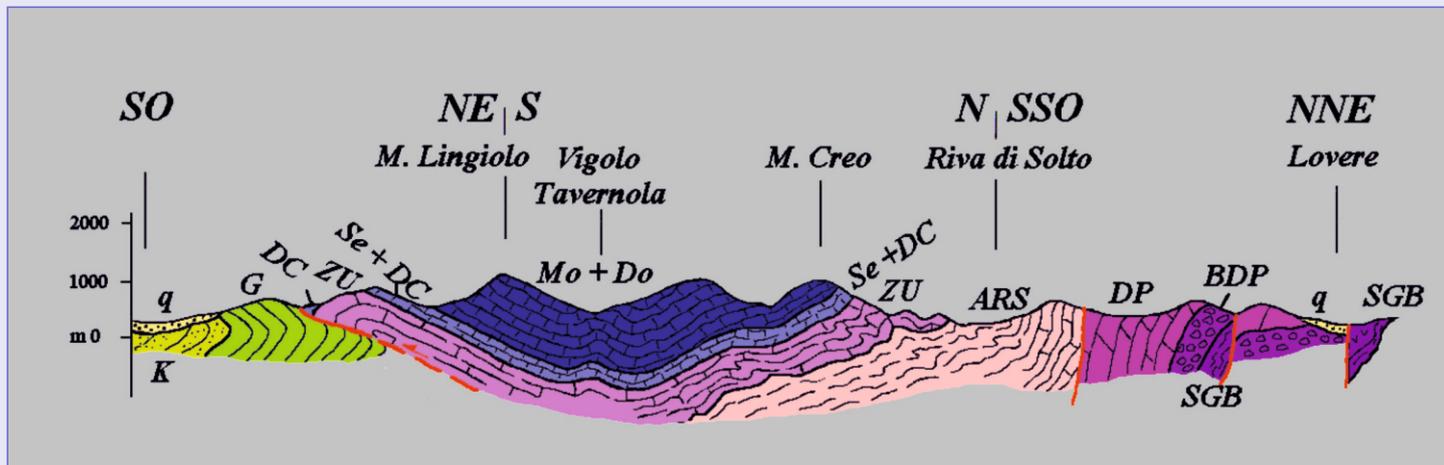


Figura 11. Sezione geologica della parte più orientale della struttura, che evidenzia il sovrascorrimento che fa da base all'idrostruttura, a Sud, la base impermeabile e non carsificabile costituita dalle Argilliti di Riva di Solto a Nord, e la struttura sinclinale, complicata da pieghe minori (ridisegnato da Paola Tognini, tratto da Guide Geologiche Regionali, Vol. 1, 1990)



Figura 12. Ricostruzione fotografica riferita alla Figura 11 - A. Avogadri

comuni di: Fonteno, Parzanica, Vigolo, Tavernola, Riva di Solto, Predore, Viadanica, Adrara San Rocco, Adrara San Martino, Grone, San Fermo, Monasterolo, Casazza ed Endine Gaiano.

Ne risultano comunque interessati anche i comuni di Sarnico, Villongo, Foresto Sparso ed Entratico.

L'area in esame comprende una sequenza di calcari

estremamente carsificabili, spesso riscontrabile anche in altre importanti aree carsiche regionali.

La serie litostratigrafica comprende, dalla formazione più antica alla più giovane:

**Argilliti di Riva di Solto** (Norico superiore): formazione poco carsificabile; rappresenta il livello basale impermeabile della struttura;

**Calccare di Zu** (Norico superiore): poco carsificabile;

**Formazione dell'Albenza** (Dolomia a Conchodon Auct.) (Giurassico inferiore: Hettangiano inferiore): molto carsificabile;

**Calccare di Sedrina** (Giurassico inferiore: Hettangiano): localmente molto carsificabile;

**Calccare di Moltrasio** (Giurassico inferiore: Hettangiano - Sinemuriano): molto carsificabile (una delle formazioni più carsificabili della Lombardia);



Foto 5. Bueno Fonteno: la faglia del Ramo Binario - Foto N. Belotti

**Calcere di Domaro** (Giurassico inferiore: Carixiano - Toarciano basale): ben carsificabile (Pozzo M., *et al.*, 2012).

Dal punto di vista strutturale, il bacino è caratterizzato da un assetto strutturale sinclinale a grande scala. In particolare, si delineano due importanti pieghe sinclinali a scala chilometrica, il cui ruolo è fondamentale per la circolazione idrica sotterranea: una, con asse NW-SE, che dirige le acque verso Est, in corrispondenza del nucleo della sinclinale principale a Tavernola Bergamasca (unico dato certo sulla direzione di drenaggio delle acque della Valle di Fonteno e del sistema carsico di Bueno Fonteno), l'altra, con asse grossomodo E-W, che convoglia le acque sotterranee verso Ovest, verso la Sorgente Acquasparsa (Grone - Valcavallina).

**Inquadramento idrogeologico**

Il bacino idrogeologico dell'area è delimitato:

- **a Sud** dal sovrascorrimento del M. Bronzone, che appartiene ad una serie di pieghe anticlinali, sovente rovesciate, e pieghe-faglie, che costituiscono il limite inferiore dell'idrostruttura del Sebino Occidentale;

- **a Nord**, dall'affioramento delle Argilliti di Riva di Solto, che costituiscono il livello basale impermeabile dell'idrostruttura. Tra questi due limiti l'area è caratterizzata dalla potente sequenza di calcari estremamente carsificabili (Calcere di Domaro, Calcere di Moltrasio, Calcere di Sedrina, Formazione dell'Albenza) che si estendono dal Lago d'Iseo a quello di Endine.

Le linee di drenaggio principale e i relativi complessi carsici sono tre, collocati in corrispondenza delle sinclinali più evidenti:

1. Settore M.Torrezzo-M.Ballerino-M.di Grone, verso la sorgente Acquasparsa;



Foto 6. Bueno Fonteno: ramo Cattive Acque a valle - Foto N. Belotti

2. Settore M. Torrezzo-Fonteno-M.Boario-M.Creò, verso la sinclinale di Tavernola Bergamasca;

3. Settore M. Bronzone-Punta Alta, verso Rino di Predore o Bianca e Punta del Corno.

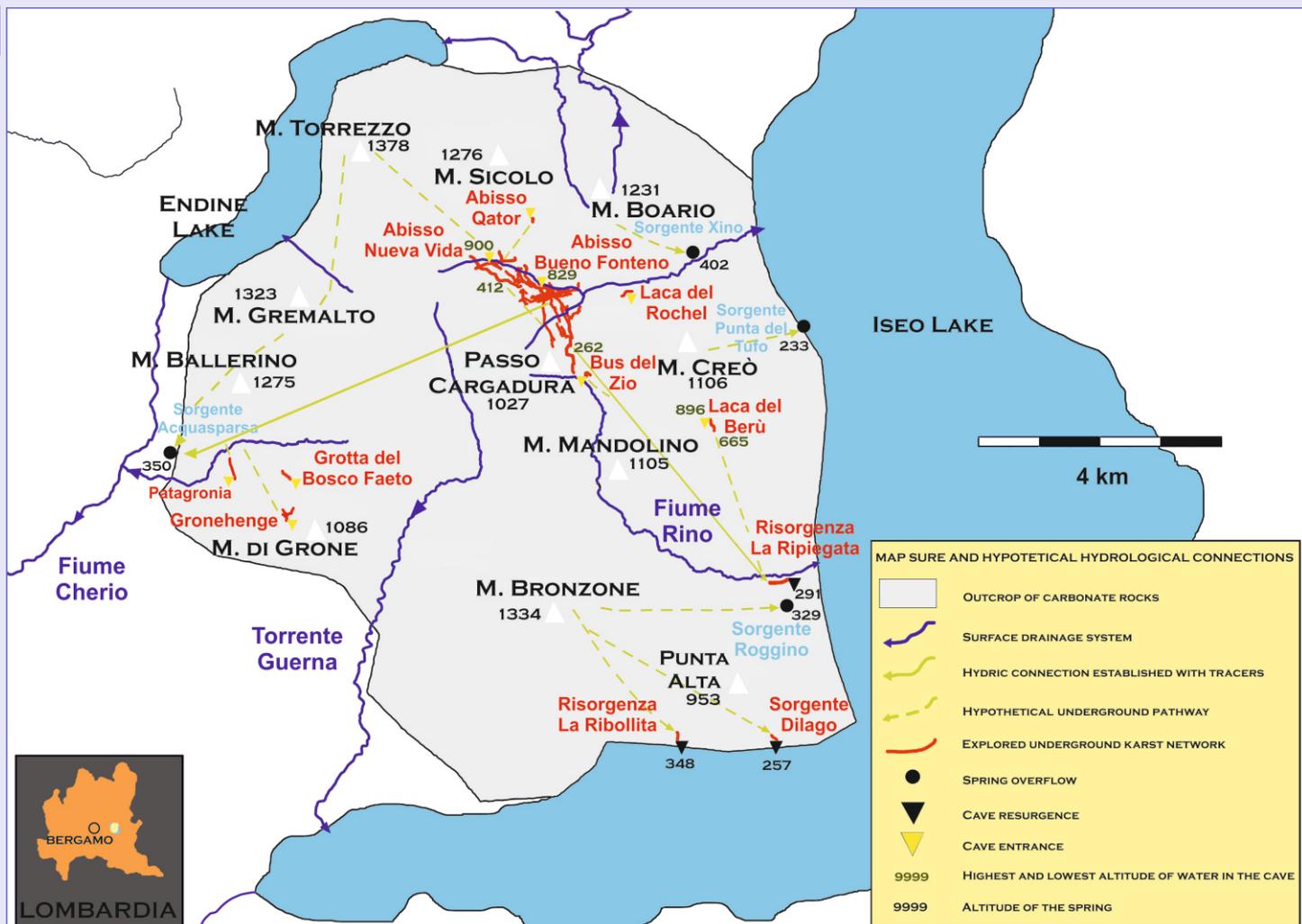


Figura 13. Carta delle connessioni idriche certe e presunte del Sebino Occidentale (Pozzo M., Gatti F., 2013)

**Scorrimento interno delle acque Abisso Bueno Fonteno - Abisso Nueva Vida**

Possiamo distinguere all'interno dei due abissi citati i seguenti settori di scorrimento interno (Figura 14 e Figura 15):

1. Il versante NE dell'abisso: dall'ingresso al Sifone Smeraldo (giallo).
2. L'estremo Ovest, il settore di Fangul e Wildewest (grigio e verde).
3. Il settore centrale, Hydrospeed, ramo attivo di maggiore portata che collega al Sifone Smeraldo (blu) tramite Canal Grande con perdita verso il settore dell'Acqua Sparsa di Grone.
4. Gli apporti al Sifone Smeraldo dalle zone del fondo: Carrigo e Vedonero (rosa).
5. Nueva Vida: estremo amonte, il Ramo Attivo principale e Cayenna (verde chiaro).
6. Nueva Vida: il P.170 e la Galleria Costituzionale sul fondo a -502 m (viola).
7. Ariasanta: un tassello ancora da risolvere (arancione).

**Situazione attuale e conclusioni**

Le ricerche relative al settore di Predore e la sua risorgenza del Rino sono ferme alle prime indagini del 2011, quindi ancora da approfondire e svelare (Pozzo M., 2017)

In relazione alla Valle di Fonteno e allo stato attuale delle conoscenze, possiamo sintetizzare concludendo che le vie drenanti del sistema sono diverse e non tutte convergono verso un collettore unico.

La gran parte dei corsi d'acqua si divide in settori ben definiti (Figura 14 e Figura 15 - percorso giallo - unione di giallo e blu) che alimentano il Sifone Smeraldo nelle zone di fondo, che riceve apporti cospicui anche dal settore di Carrigo (percorso rosa).

Tutto il resto ha scorrimenti indipendenti e ancora non ben delineati: il ramo di Fangul, ad esempio, è alimentato dal Ramo degli Orsetti, riversa le acque nella Carretera (un'enorme galleria che termina in sifone) e, verso il fondo, un imponente camino (Camin'azzo) fa da affluente con un apporto, ma non se ne conosce la provenienza.

La Carretera termina a monte con un sifone: il corso d'acqua è importante e potrebbe provenire da Nueva Vida, ma questo ancora non è stato accertato, così come non è dato sapere se le acque della Carretera possono avere collegamenti con quelle del Sifone Smeraldo, seppur coinvolte nel test pilota del 2010.

I fondi attivi di Nueva Vida sono fermi su prosecuzioni ignote (Pozzo M., 2013). La distanza in linea d'aria con il sifone a monte di Fangul supera i 600 metri ed è probabile che nasconda altre diramazioni laterali.

Se Nueva Vida dovesse collegare con il sifone di Fangul, il circuito interno a valle del sistema conosciuto sarebbe pressoché risolto sotto il profilo delle principali vie drenanti, soprattutto verso Tavernola Bergamasca. In caso contrario, se i fondi di Nueva avessero sviluppi indipendenti, diventerebbero nuove vie per superare l'ostacolo del Sifone Smeraldo, fondo attualmente conosciuto e accessibile solo tramite lunghe immersioni.

I risultati del tracciamento 2017 confermano che esiste una perdita di portata importante delle acque di Bueno Fonteno, probabilmente legata alla grande faglia presente nella valle di Fonteno, impostata SO-NE, che ribassa i livelli interni e che dirige esattamente verso il settore di Grone e dell'Acqua Sparsa: il collegamento accertato dimostra la presenza di uno spartiacque interno e di un sistema carsico che può raggiungere sviluppi anche superiori ai 100 km.

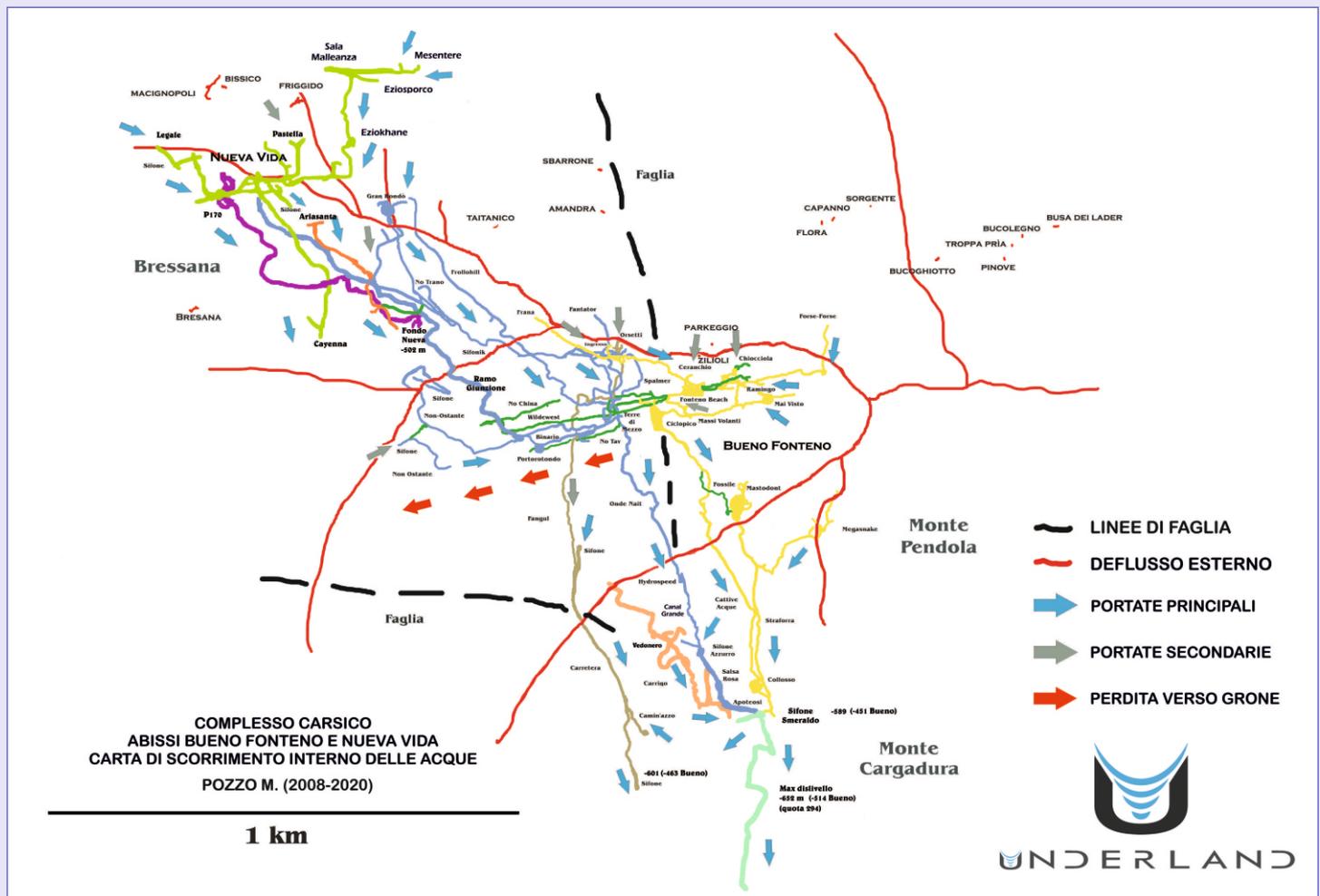


Figura 14. Carta di scorrimento interno delle acque nel complesso carsico Abisso Bueno Fonteno-Nueva Vida - Grafica M. Pozzo



96 Foto 7. Bueno Fonteno: ramo Cattive Acque a valle - Foto N. Belotti

Ancora ignota è la conoscenza legata alle acque in arrivo dalle zone di assorbimento o ai collegamenti con ingressi alti.

Il settore di Grone conferma la presenza della grande sinclinale indirizzata verso la risorgenza dell'Acqua Sparsa non solo a seguito degli ultimi tracciamenti delle acque, ma anche grazie alle nuove scoperte e alla realizzazione di un quadro 3D generale: la linea dell'asse e quella del collettore ipotizzato, sembrano molto vicine alle estensioni di alcune nuove cavità scoperte (Patagonia - LoBg 7393, Dragrone - LoBg 7395, e altre minori), mentre altre cavità di sviluppo superiore al mezzo chilometro, come Gronehenge (LoBg 7536) ed Ercole al Bivio (LoBg 7764), scoperti da Underland ai limiti estremi dell'area di Grone (Monte di Grone - Monte Torrezzo), sembra abbiano buone carte in regola per diventare accessi importanti di un nuovo vasto settore sotterraneo del Sebino Occidentale.

Le nuove scoperte danno così nuovi stimoli ad una ricerca che, nonostante i grandi numeri, si presenta per le incognite da svelare come uno studio ancora in fase embrionale.

#### Riferimenti bibliografici

- Pozzo M. (2006), Abisso Bueno Fonteno - Notizie Italiane, Speleologia, 54: 66;  
 Pozzo M. et al (2009), Progetto Sebino e Abisso Bueno Fonteno - Notizie Italiane, 61:65-66;  
 Pozzo M., Gatti F., (2011), "Studio Idrogeologico del complesso carsico Bueno Fonteno (Sebino Occidentale, Bg)" - Approfondimento conoscitivo relativo agli acquiferi carsici lombardi /Osservatorio Aree Carsiche - Regione Lombardia, Federazione Speleologica Lombarda;  
 Pozzo M., Gatti F. (2012), "Abisso Bueno Fonteno, vertigine senza tempo", Speleologia, 66: 18 -27;

- Pozzo M. (2013), Giunzione Abissi Nueva Vida e Bueno Fonteno - Notizie Italiane, Speleologia, 69:52; Pozzo M. (2013) - Prealpi Lombarde, Carta d'identità: Sebino, Speleologia, 68:15;  
 Pozzo M. Corengia D. (2013), L'area carsica del Sebino Occidentale, Il Grottesco (GG Milano), 56:94-101;  
 Pozzo M., Gatti F., Cella GD (2015), Sistema carsico Bueno Fonteno-Nueva Vida: studio e tracciamento dei flussi d'aria, Atti del XXII Congresso Nazionale di Speleologia, Sessione Scienza-C4,-Pertosa Auletta (Sa), 30.05-02.06.2015, 486-491;  
 Pozzo M. (2014), "Progetto Sebino: aggiornamenti 2014" - Notizie Italiane, Speleologia, 71:5;  
 Pozzo M., Gatti F. (2016), Area carsica del Sebino Occidentale" - Il Catasto Speleologico Lombardo (Progetto Tu.Pa.Ca) - Vol. unico (Federazione Speleologica Lombarda), 339-349;  
 Pozzo M. (2016), "Il sistema Bueno Fonteno-Nueva Vida supera i 30 Km" - Notizie Italiane, Speleologia, 75:6;  
 Pozzo M., (2017), "Tipologie di sorgenti carsiche" - Panta Rei, periodico di informazione Ambientale - anno 2, 5:56-61;  
 Pozzo M., (2017), "Le risorgenze di Predore" - Panta Rei, periodico di informazione Ambientale - anno 2, 6:52-57;  
 Pozzo M., (2017), "Le risorgenze carsiche di Tavernola Bergamasca" - Panta Rei, periodico di informazione Ambientale - anno 2, 7:60-66;  
 Pozzo M. (2019), Underland: nuovi abissi nel Sebino Occidentale (Gronehenge, Patagonia, Maneepool Ragah, la grotta dei cristalli) - Notizie Italiane, Speleologia, 81: 6-7;  
 Pozzo M. (2021), Sottomondo N.1 - Carte di scorrimento delle acque nel Complesso Carsico del Sebino Occidentale - Rivista monografica virtuale del gruppo Underland, pagine 74, scaricabile dal sito <https://underlandweb.wordpress.com/> (sez. Sottomondo).



Foto 8. Gronehenge (LoBg 7536): la voragine di ingresso in piena cresta, lungo la quale si sviluppa il nuovo abisso - Foto N. Belotti

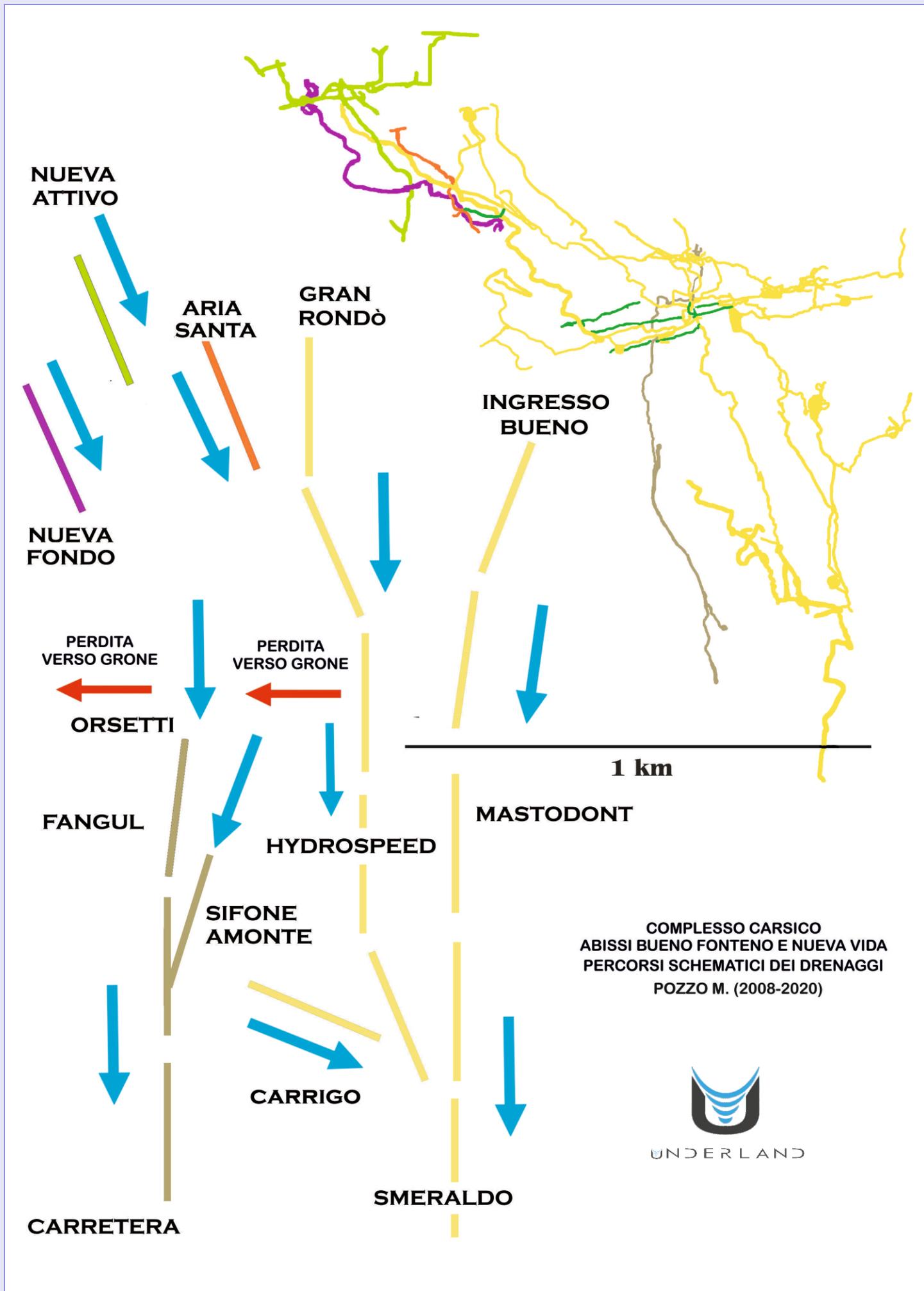


Figura 15. Percorsi schematici dei drenaggi nel complesso carsico Abisso Bueno Fonteno-Nueva Vida - Grafica M. Pozzo

# Grigna Settentrionale

## Esplorazioni nel massiccio del Grignone (Lecco - Lc)

Andrea Maconi (a), Marco Corvi (b), Felicità Spreafico, Marzio Merazzi (c)

(a) Gruppo Grotte Milano CAI - SEM, Progetto INGRIGNA!; (b) Speleo Club Ribaldone, Progetto INGRIGNA!;  
(c) Speleo Club CAI Erba, Progetto INGRIGNA!

2018-2022



98

### Riassunto

La speleologia in Grigna ha preso avvio nel secondo dopoguerra. A distanza di quasi 70 anni, sono cambiate molte cose dalle prime discese pionieristiche dei pozzi della Grigna, ma rimane ancora l'approccio metodico e il rigore scientifico che da sempre hanno caratterizzato l'esplorazione delle grotte del massiccio.

A partire dal 2002 l'attività speleologica in Grigna ha avuto un nuovo impulso a seguito del ritrovamento di vari nuovi ingressi sui ripidi versanti del Releccio da parte dello S.C. Erba. Ad esso si sono uniti nelle esplorazioni altri gruppi lombardi ed è nato il progetto di ricerca INGRIGNA!, che ha coinvolto e attualmente coinvolge numerosi gruppi speleologici italiani e stranieri.

L'attività è orientata su due distinti fronti: la ricerca di nuovi ingressi e l'esplorazione delle grotte.

Per quanto riguarda il primo aspetto la ricerca ha interessato tutti i versanti della montagna, reperendo cavità significative anche in zone precedentemente trascurate. Si è passati da circa 500 grotte note del 2002 a circa 1100 attuali sul solo bacino idrogeologico del Grignone (Grigna Settentrionale).

Foto 1. La Grigna Settentrionale vista da Mandello - Foto A. Maconi

Per l'attività in grotta le esplorazioni hanno portato alla nascita del Complesso del Grignone (o del Releccio) "Alfredo Bini", formato dall'unione di diverse cavità già note (in primis W Le Donne) con altre scoperte nel frattempo, per uno sviluppo attuale di circa 29,6 km ed una profondità di -1313 m. Altre novità degli ultimi anni sono l'esplorazione del Pozzo nel Dito (-862m) e dell'Abisso delle Spade (-960 m) che è stato collegato al fondo a W Le Donne alla profondità di -1090 m.

I dati raccolti sono archiviati e resi disponibili sul sito del Catasto Speleologico Lombardo a cura della Federazione Speleologica Lombarda. Inoltre, i dati topografici sono organizzati in un database, nel quale sono state inserite quasi tutte le grotte note ad oggi, complete di dati di poligonale (originali o, nel caso fossero mancanti, ricostruiti dai rilievi). Ciò ha permesso di capire meglio le relazioni tra le diverse grotte e ampliare le conoscenze del fenomeno carsico profondo.

Nel presente articolo si descrivono le principali novità esplorative emerse nel corso degli ultimi anni.

### Inquadramento

La Grigna Settentrionale (2410 m slm), nota anche come Grignone, si sviluppa nelle Prealpi lecchesi sulla sponda orientale del Lago di Como e confina a sud con la Grigna Meridionale (Grignetta). Entrambe le montagne si sviluppano nel Calcarea di Esino, seppure l'idrostruttura sia assai diversa. Mentre la prima è caratterizzata dalla presenza di importanti grotte e un carsismo diffuso nella parte alta (altopiano del Moncodeno), la seconda è prevalentemente caratterizzata da fratturazioni, che hanno limitato lo sviluppo del carsismo, seppure localmente siano presenti importanti fenomeni carsici, come ad esempio sul versante nord dell'Alpe di Campione.

È tuttavia da osservare come nel bacino del Grignone, ad eccezione della Grotta di Fiumelatte (risorgente temporanea del sistema), il cui sviluppo supera 1 km, tutte le cavità di un certo sviluppo si aprano solo nella parte alta della montagna, indicativamente sopra i 1700 m di quota.

Il bacino idrogeologico della Grigna Settentrionale è definito da una blanda sinclinale con asse SSE-NNW che immerge verso Varenna e che ha condizionato lo sviluppo del carsismo.

Le sorgenti accertate del bacino montuoso sono infatti la Grotta di Fiumelatte LoLc 1501 (sorgente temporanea a 285 m slm, con portate in piena di qualche metro cubo al secondo) e Fonte Uga LoLc 5575 (sorgente perenne di circa 200 l/s che sgorga da una grotticella a 225 m slm).

È verosimile come la maggior parte delle acque della Grigna sia diretta in regime normale verso sorgenti sub-lacuali ad oggi ignote. Lo studio della idrogeologia del massiccio è stato oggetto di due tracciamenti. Il primo, del 1989 (Pavia, 1994), che ha confermato la connessione delle grotte del Moncodeno con la

risorgente di Fiumelatte, è stato seguito da uno studio più approfondito nel 2019 (Spreafico *et al.*, 2022).

### Storia delle esplorazioni

Le prime indagini speleologiche in Grigna risalgono ai primi decenni del secolo scorso (Buzio, 2008), ma le esplorazioni speleologiche vere e proprie della Grigna presero avvio nel secondo dopoguerra, soprattutto ad opera del Gruppo Grotte Milano CAI SEM che ha cominciato a organizzare un catasto delle cavità note (Servida, 1954), seppure principalmente limitate ai fenomeni più evidenti. Nei decenni successivi è stata avviata una campagna di ricerca più sistematica (Focarile *et al.*, 1960) che ha portato anche alla stesura di carte di dettaglio del fenomeno carsico, oltre che all'esplorazione di varie centinaia di pozzi sul versante del Moncodeno (Bini *et al.*, 1977).

A partire dagli anni '80 del secolo scorso le grotte esplorate raggiungono profondità notevoli, come Marons Glaces (-557 m) e successivamente W Le Donne, che supera i -1000 m (Buzio, 1988). La nascita di cavità sempre più profonde porta diversi gruppi italiani e stranieri ad interessarsi all'area e nuovi abissi vengono scoperti. Tuttavia l'attività nel corso degli anni diminuisce e solo attorno a fine anni '90 nuovi speleologi si interessano all'area e riprendono le attività con buoni risultati.

È da evidenziare come nel frattempo sia stata redatta una preziosa monografia (Bini e Pellegrini, 1998) che raccoglie tutti i dati catastali e i rilievi effettuati fino al momento.

A partire dal 2002, a seguito della scoperta di numerose grotte da parte dello S.C. Erba sul versante del Releccio, si sviluppa un progetto di ricerca, denominato INGRIGNA!, che raccoglie informalmente tutti i gruppi partecipanti all'attività in Grigna.

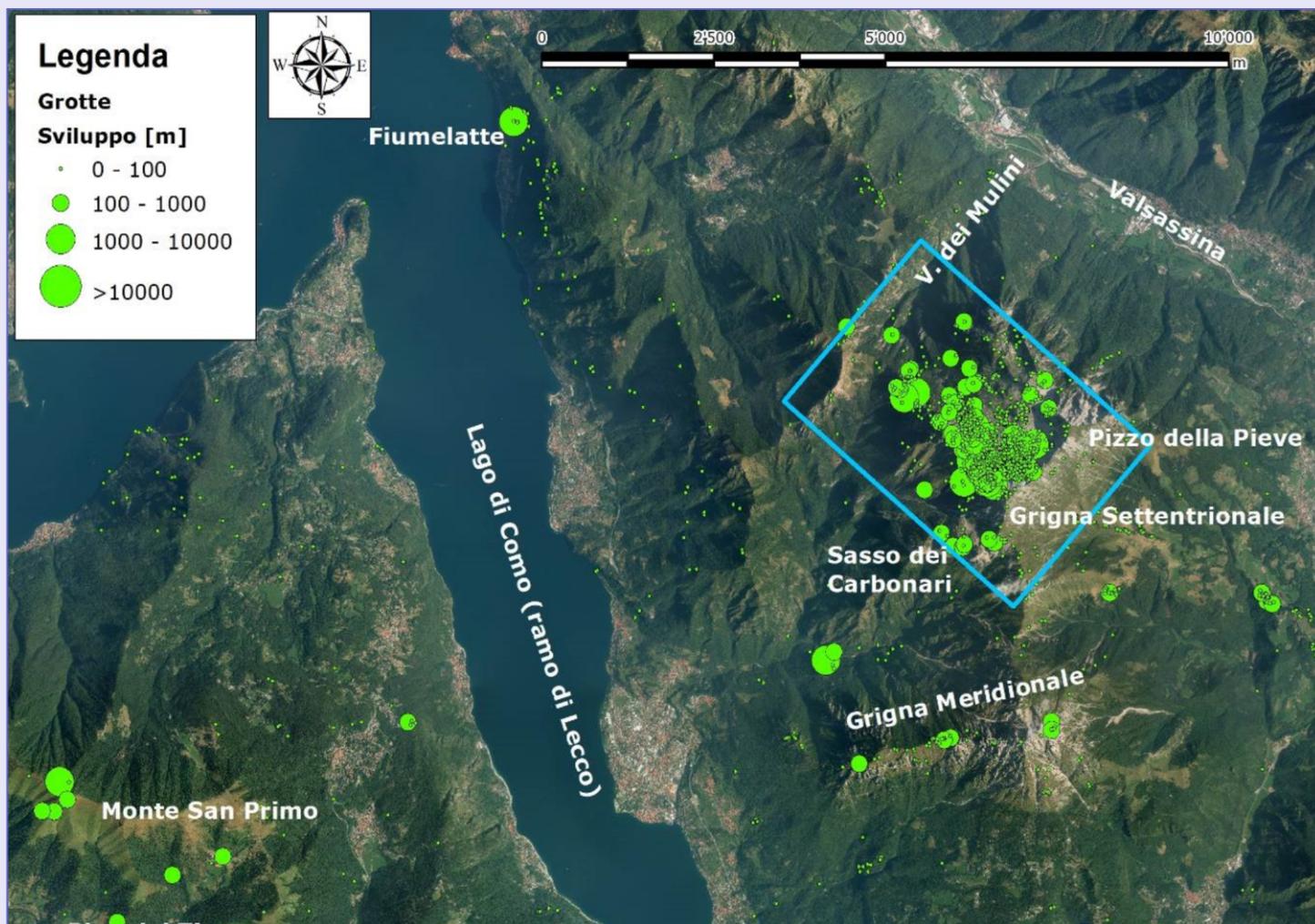


Figura 1. L'area della Grigna Settentrionale, evidenziata in azzurro e le grotte presenti (fonte Tu.Pa.Ca. – Federazione Speleologica Lombarda)

**Le esplorazioni degli ultimi anni**

**W Le Donne - LoLc 1936**

Nell'ultimo decennio l'esplorazione di W Le Donne nelle zone profonde ha permesso di incrementare notevolmente la conoscenza della grotta oltre i limiti delle precedenti esplorazioni, che si arrestavano al fondo di -1155 m.

Contemporaneamente al riarmo della grotta, si è anche proceduto al rifacimento del rilievo, fondamentale per la giunzione con il vicino Abisso Orione.

Punto focale delle ultime esplorazioni è stata la revisione delle condotte freatiche che si sviluppano dai 1100 m di profondità in giù, sia nei Freatici di Destra sia nei Freatici di Sinistra.

Questo piano di condotte si sviluppa trasversalmente rispetto al ramo dal quale si proviene (Ramo del Cobra) e sono dirette grossomodo parallelamente all'asse della sinclinale.

Nei Freatici di Destra, grazie al superamento delle strettoie terminali, ci si affaccia sul Pozzo dei Coltelli, un grosso pozzo che costituisce uno dei nodi principali dei Freatici di Destra. Da qui infatti partono diverse vie, tra cui quella che conduce al punto attualmente più profondo (Muro d'Acqua, -1313 m).

Sulla destra ha inizio una galleria orizzontale di modeste dimensioni (Galleria verso Zapel) e molto fangosa con andamento sub-orizzontale. La galleria ha preso questo nome perché si dirige verso il Passo dello Zapel, quindi in direzione opposta rispetto alle sorgenti e, dopo un percorso di circa 300 m, termina su un sifone.

L'interesse di questo ramo è per il fatto che ad oggi sembra essere la prima galleria degli ambienti finora noti in profondità che si sviluppa sull'altro lato della sinclinale.

A partire dal Pozzo dei Coltelli infatti la galleria punta verso N-NE in leggera salita, mentre fino ad oggi tutti i rami in questa

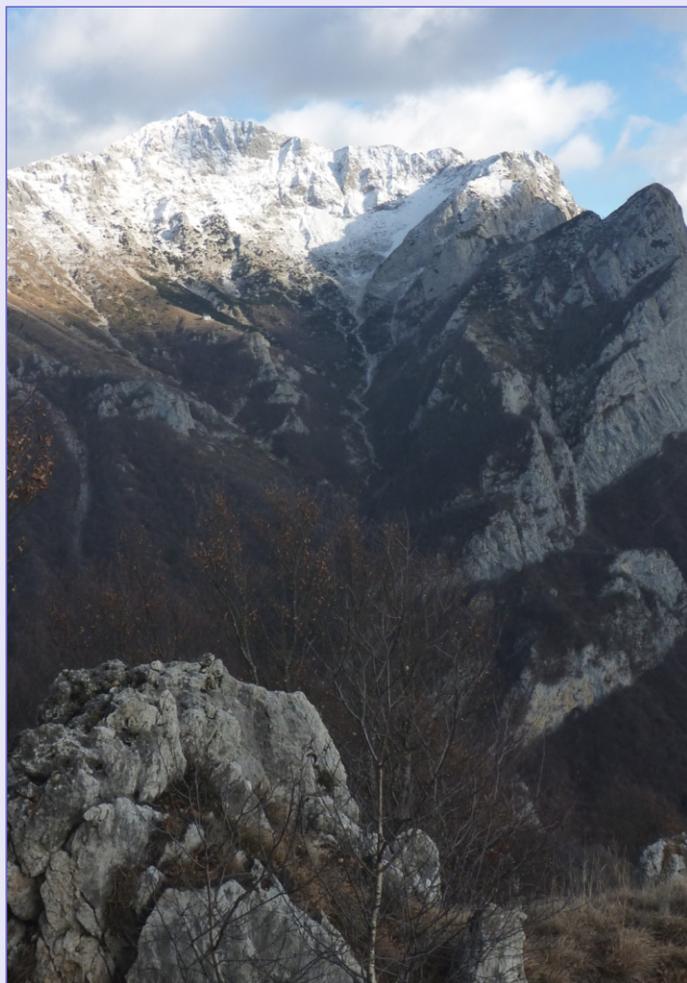


Foto 2. Grigna Settentrionale, vista dalla Cima Palagia - Foto A. Maconi

100

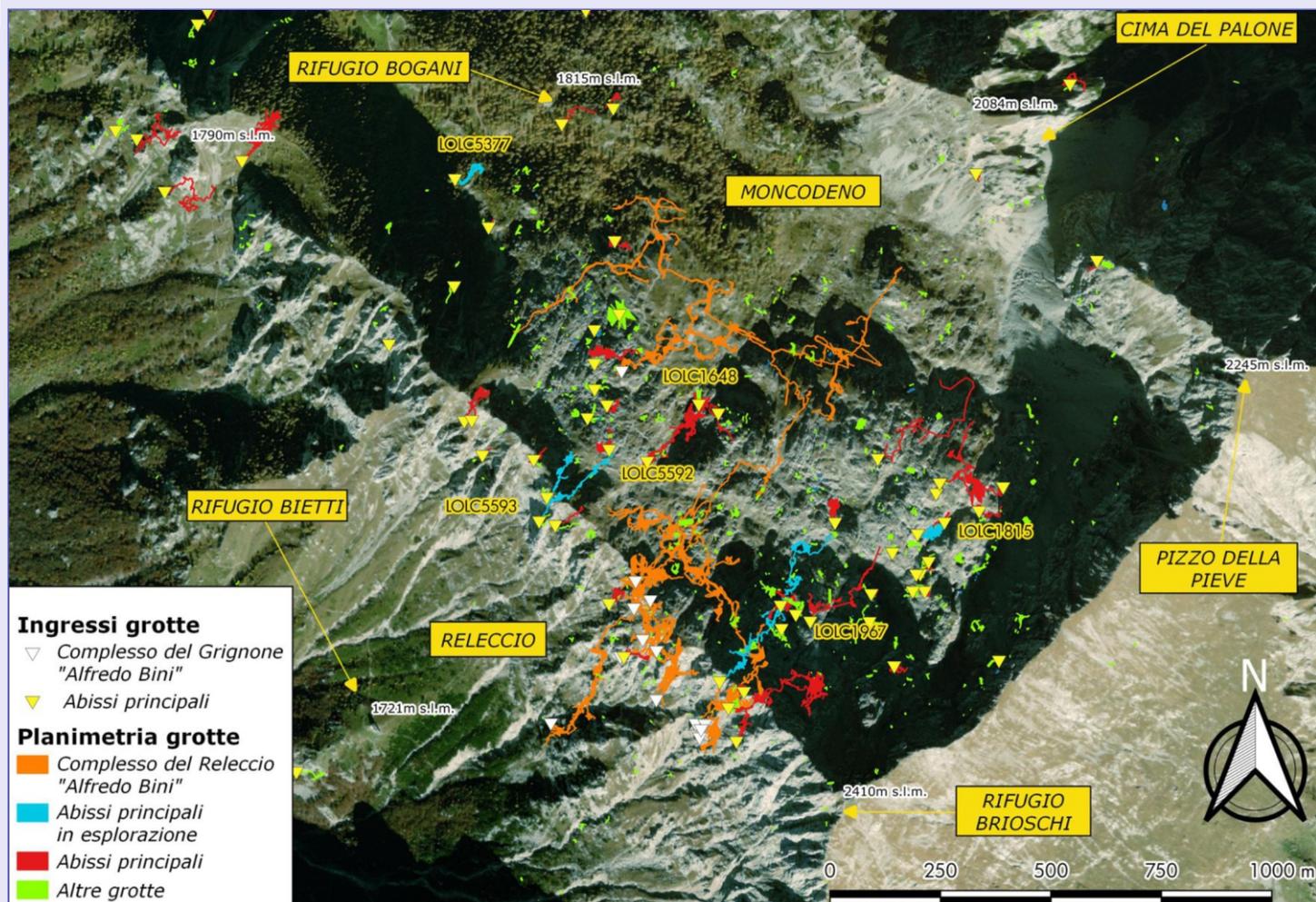
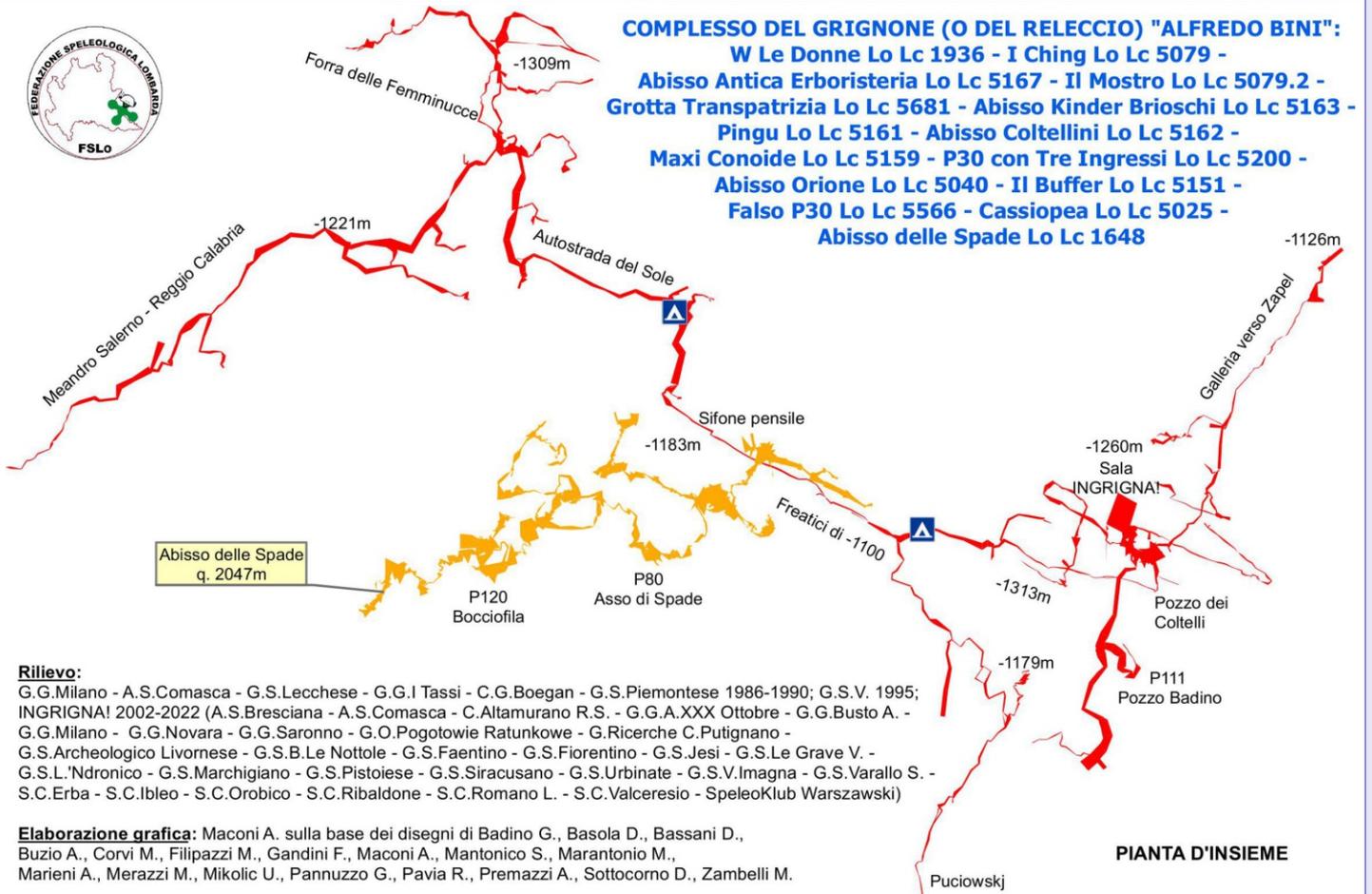


Figura 2 : l'area della Grigna Settentrionale, evidenziata in azzurro e le grotte presenti (fonte Catasto Speleologico Lombardo - FSLo)





**COMPLESSO DEL GRIGNONE (O DEL RELECCIO) "ALFREDO BINI":**  
**W Le Donne Lo Lc 1936 - I Ching Lo Lc 5079 -**  
**Abisso Antica Erboristeria Lo Lc 5167 - Il Mostro Lo Lc 5079.2 -**  
**Grotta Transpatrizia Lo Lc 5681 - Abisso Kinder Brioschi Lo Lc 5163 -**  
**Pingu Lo Lc 5161 - Abisso Coltellini Lo Lc 5162 -**  
**Maxi Conoide Lo Lc 5159 - P30 con Tre Ingressi Lo Lc 5200 -**  
**Abisso Orione Lo Lc 5040 - Il Buffer Lo Lc 5151 -**  
**Falso P30 Lo Lc 5566 - Cassiopea Lo Lc 5025 -**  
**Abisso delle Spade Lo Lc 1648**



**Rilievo:**

G.G.Milano - A.S.Comasca - G.S.Lecchese - G.G.I Tassi - C.G.Boegan - G.S.Piemontese 1986-1990; G.S.V. 1995; INGRIGNA! 2002-2022 (A.S.Brescia - A.S.Comasca - C.Altamurano R.S. - G.G.A.XXX Ottobre - G.G.Busto A. - G.G.Milano - G.G.Novara - G.G.Saronno - G.O.Pogotowie Ratunkowe - G.Ricerche C.Putignano - G.S.Archeologico Livornese - G.S.B.Le Nottole - G.S.Faentino - G.S.Fiorentino - G.S.Jesi - G.S.Le Grave V. - G.S.L.Ndricono - G.S.Marchigiano - G.S.Pistoiese - G.S.Siracusan - G.S.Urbinate - G.S.V.Imagna - G.S.Varallo S. - S.C.Erba - S.C.Ibleo - S.C.Orobico - S.C.Ribaldone - S.C.Romano L. - S.C.Valceresio - Speleoklub Warszawski)

**Elaborazione grafica:** Maconi A. sulla base dei disegni di Badino G., Basola D., Bassani D., Buzio A., Corvi M., Filipazzi M., Gandini F., Maconi A., Mantonico S., Marantonio M., Marieni A., Merazzi M., Mikolic U., Pannuzzo G., Pavia R., Premazzi A., Sottocorno D., Zambelli M.

**PIANTA D'INSIEME**

**Legenda**

- Campi base
- Complesso del Releccio Alfredo Bini**
- Abisso Antica Erboristeria
- Abisso Coltellini
- Abisso Kinder Brioschi
- Abisso Orione
- Abisso Pingu
- Abisso delle Spade
- Cassiopea
- Falso P30
- Grotta Transpatrizia
- I Ching
- Il Buffer
- Il Mostro
- Maxi Conoide
- P30 con Tre Ingressi
- W Le Donne





Foto 3. Galleria verso Zapela W Le Donne, a -1150 m - Foto A. Maconi

direzione procedevano in discesa. È verosimile ritenere che si tratti di un antico condotto che proseguiva verso un versante di montagna speleologicamente ancora quasi vergine.

Le grosse pareti del Palone e del Pizzo della Pieve, seppure scandagliate con diverse calate in parete anche di oltre 200 m, non hanno al momento regalato ancora alcun accesso al sistema ipogeo profondo. La Galleria verso Zapela è interrotta da diverse diramazioni in discesa, di cui la più importante è il Ramo Virus Letale, che procede a grossi pozzi intervallati da scomodi meandri sino a -1260 m, arrestandosi su sifone. Poco prima di questo ramo un'altra via in discesa a pozzi ha permesso di superare ancora la soglia dei -1200 m fermandosi tuttavia su fessure. Dal Pozzo dei Coltelli traversando in sommità invece è stata raggiunta una sala molto grossa (Sala InGrigna) e una galleria orizzontale (Galleria Grazie Giovanni), dove si apre un grosso pozzo profondo 111 m (Pozzo Badino). Infine pendolando sul Pozzo dei Coltelli si accede ad una verticale parallela che ben presto si biforca in due vie: sulla destra vi è il Meandro Mamba, lungo oltre 200 m e terminante in fessura, un ennesimo fondo oltre i -1200 m. Dall'altro lato invece si accede a una grossa forra fossile (Muro d'Acqua) che prosegue a pozzi sino al fondo a -1313 m. Poco prima del sifone finale vi è un grosso arrivo d'acqua, il maggiore di W Le Donne, che scende da un breve camino seguito da una forra ad oggi ancora parzialmente esplorata (portata in secca di circa 15-20 l/s).

Sull'altro lato della grotta, nei Freatici di Sinistra, cioè quelli che effettivamente vanno verso Fiumelatte, il superamento del sifone terminale (Corengia e Premazzi, 2013), ha permesso di



Foto 4. W Le Donne: Autostrada del Sole (-1200 m) - Foto A. Maconi

constatare la prosecuzione della grotta. Da qui in avanti si incontrano le più belle gallerie di W Le Donne, denominate Autostrada del Sole. Esse costituiscono un reticolo piuttosto intricato, con diversi rami laterali, per un totale di circa 2 km. La via principale è la Forra delle Femminucce, caratterizzata da un torrente con portata di 10-15 l/s, che termina su un sifone a -1309 m.

### Pozzo nel Dito - LoLc 1967

La grotta, nota da sempre, è stata oggetto di numerose uscite di disostruzione in quanto presentava una forte circolazione d'aria e la posizione lasciava supporre che fosse collegata al vicino Complesso del Grignone Alfredo Bini. Dopo i pozzetti e le strettoie iniziali, si accede a due ampi pozzi di 50 m, oltre cui la grotta riprende con caratteristiche simili a quelle della parte iniziale, cioè una lunga alternanza di pozzi e stretti meandri. Solo a -200 m, dopo un pozzo franoso di 20 m, la grotta decide di allargarsi. A -300 m si incontra una zona piuttosto complessa con brevi tratti freatici che conducono infine ad un enorme pozzo di 106 m. I pozzi successivi sono ampi, ma terminano in fessura a -500 m. Traversando si raggiunge una zona fossile franosa, che porta rapidamente con ampi pozzi a -600 m circa. Qui sono state tralasciate alcune vie e quella scesa prosegue con saltini, sino ad incontrare due pozzi di 43 m e 50 m che conducono dopo un altro salto ad una nuova forra attiva a -720 m. La grotta prosegue con salti abbastanza ridotti sino a trasformarsi in uno stretto meandro, che termina su sifone a -862 m.

La fortissima aria che si avverte nelle parti superiori della grotta indica che sicuramente la cavità presenta altri ingressi: probabilmente è collegata alle zone terminali di W Le Donne ed in particolare ai Freatici di Destra, anche se al momento la giunzione appare assai poco probabile data la ragguardevole

103

### POZZO NEL DITO LO LC 1967

Rilevato: Cani Sciolti, Gruppo Grotte Milano CAI SEM, Gruppo Speleologico Bergamasco Le Nottole, Gruppo Speleologico Leccese 'Ndricono, Gruppo Speleologico Le Grave, Gruppo Speleologico Siracusano, Speleo Club CAI Erba, Speleo Club CAI Romano di Lombardia, Speleo Club Imperia, Speleo Club Ribaldone - 2007-2019



## LoLc 1648 Abisso delle Spade

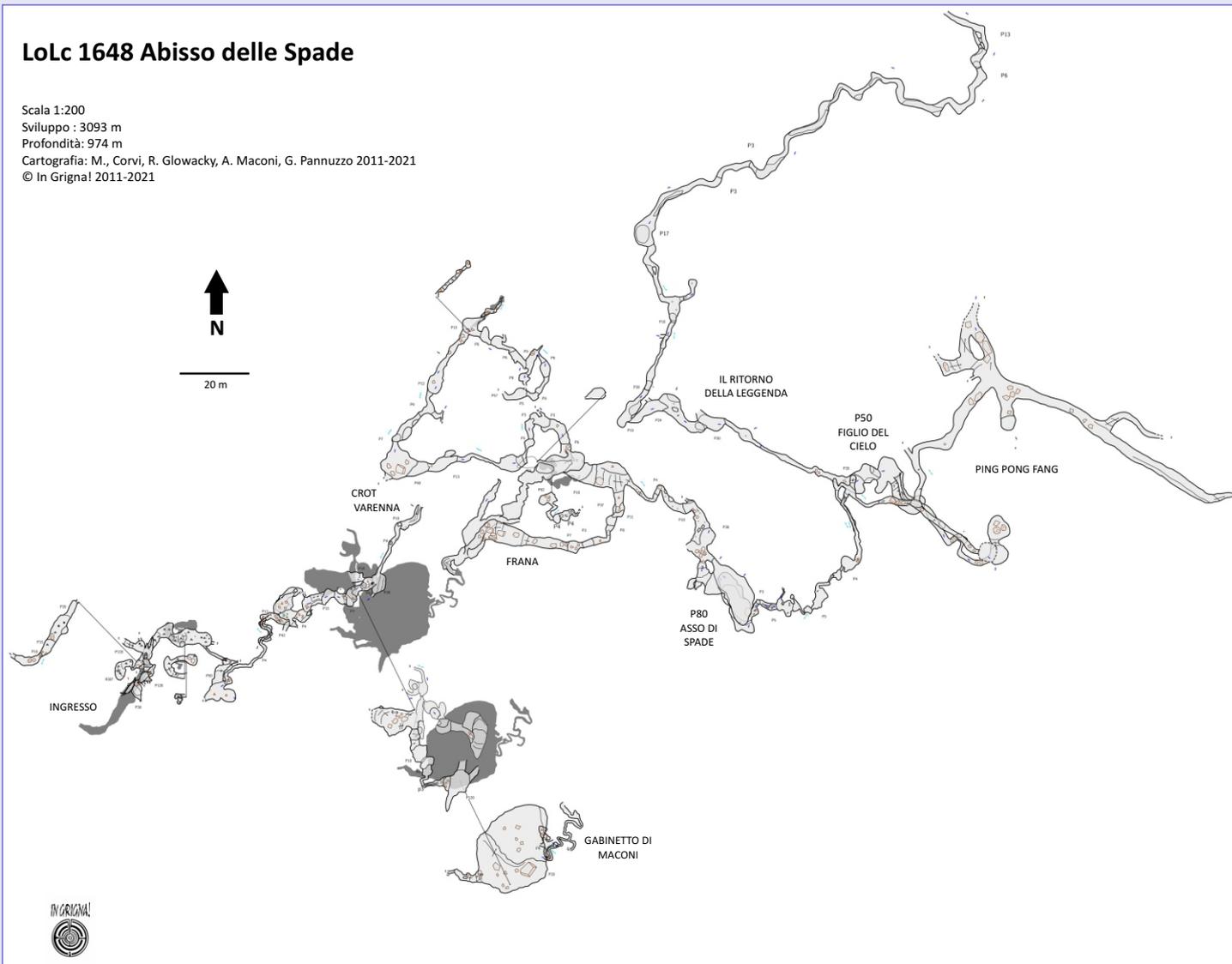
Scala 1:200

Sviluppo : 3093 m

Profondità: 974 m

Cartografia: M., Corvi, R. Glowacky, A. Maconi, G. Pannuzzo 2011-2021

© In Grigna! 2011-2021



### Abisso delle Spade - LoLc 1648

Questa grotta, nota sin dal 1970, si presentava ostruita da ghiaccio alla base del pozzo iniziale a circa 150 m di profondità (Ferrari, 1999) e il suo nome deriva dalle stalattiti di ghiaccio lunghe oltre 6 m che pendevano dalle pareti (negli ultimi anni totalmente scomparse).

In seguito alla fusione del ghiaccio, nel 2011 si è potuto accedere alla parte profonda della grotta, caratterizzata da un'alternanza di pozzi, anche profondi e stretti meandri, fino ad un grosso pozzo di 120 m. Il successivo stretto meandro con partenza in frana ha condotto su una via fossile, che viene poi ad intercettare



Foto 5. Abisso delle Spade: passaggio a -690 m, base P9 - Foto A. Maconi

una forra attiva con una lunga sequenza di pozzi. L'ultima parte, caratterizzata da portate d'acqua piuttosto cospicue e passaggi scomodi, termina in fessura a -767 m. Tale punto è stato raggiunto nel 2012.

Negli anni successivi le esplorazioni sono state meno intense e le uscite saltuarie, però negli ultimi anni è stata intrapresa la discesa di una nuova via a -600 m che con un paio di pozzi giunge su un grosso pozzo di 80 m (Asso di Spade). Alla sua base tuttavia la grotta cambia morfologia, si perde il torrente in fessure e si prosegue su stretti meandri fangosi che si trasformano alla fine in piccole condotte freatiche. Sono le prime tracce di gallerie in questa grotta. Al termine dei cunicoli vi è un pozzo di 20 m, sul quale mediante traverso si raggiungono alcune condotte prevalentemente fossili, anche di grosse dimensioni (larghe sino a 8 m), probabilmente antichi collettori, che si sviluppano per circa 200 m e sono in parte perfettamente sovrapposte ai Freatici di Sinistra di W Le Donne.

Alla base del pozzo di 20 m invece vi è un grosso pozzo di 50 m, in cui confluisce un torrente di alcuni litri al secondo proveniente da un arrivo esplorato per un centinaio di metri. Dalla base del pozzo, un ulteriore salto di 20 m immette in una scomoda forra fangosa lunga un centinaio di metri, oltre la quale la grotta riprende a pozzi.

Attorno a -930 m la sequenza di pozzi si interrompe e lascia spazio a una bella forra orizzontale che termina il suo percorso dopo circa 200 m su un pozzo, alla cui base, a -960 m, si è nel Ramo del Dobrilla, esplorato dai Freatici di Sinistra di W Le Donne e ubicato a -1090 m dall'entrata di W Le Donne.



Foto 6. L'entrata in parete di Humphrey Bogaz - Foto G. Pannuzzo

Il collegamento tra le due grotte è stato effettuato nell'ottobre 2021.

### Pozzo del Nido - LoLc 5592

L'entrata di questa grotta si apre presso la Bocchetta di Piancaformia, in piena parete, dopo una calata di una ventina di metri. Il meandro iniziale conduce a un pozzo di 92 m, oltre al quale la grotta prosegue ampia con altri salti sino a -200 m. Da qui in avanti la grotta diviene più stretta e complessa e al



Foto 7. Pozzo nella Parete Sbagliata: ossa di rapace alla base del primo pozzo - Foto A. Maconi

momento ha raggiunto i -402 m, dopo la discesa di un grosso pozzo di 80 m. Noto è la vicinanza con Humphrey Bogaz, anche se non pare esserci alcuna connessione tra le due cavità.

### Humphrey Bogaz - LoLc 5593

Sull'alta parete leggermente spostata dal Pozzo del Nido vi è l'entrata di Humphrey Bogaz, ben visibile dalla parete perché si presenta come un bogaz tagliato dall'erosione della montagna. L'entrata è raggiungibile scendendo complessivamente circa 150 m di dislivello con corda dalla cresta: il primo tratto lungo un ripido canale, poi dopo un facile traverso - arrampicata si giunge sopra il punto verticale della parete. Superata l'entrata di Cengia Selvaggia LoLc 5589, una quarantina di metri sotto, vi è l'entrata della grotta. Il primo tratto di cavità si presenta come un'alternanza di strettissimi meandri e pozzi. Oltre i -100 m circa s'incontra un pozzo di 46 m con spettacolari crinoidi fossili. Da qui in avanti gli ambienti diventano più ampi e con brevi salti si giunge su un grosso pozzo di 140 m, oltre il quale gli ambienti tornano scomodi e si perviene al fondo di -394 m. Un altro fondo presenta una profondità inferiore solo di qualche metro.

### Pozzo sotto il sentiero per la Piancaformia (Pozzo del Bambino) - LoLc 5377

La grotta è stata oggetto di scavo alla base del primo pozzo per seguire la forte circolazione d'aria, sperando che costituisse una via di accesso più rapida alle zone di fondo di W Le Donne, dato che l'entrata è circa 400 m di dislivello più bassa.

Si presenta sviluppata principalmente su una spaccatura e una sequenza di comodi pozzi di 8, 74, 34, +6, 43, 73, 10 m conducono all'attuale fondo a -225 m.

Lo sviluppo rilevato è di 711 m. Una diramazione laterale consente di chiudere un anello e poi prosegue verso valle tornando verso il fondo della grotta, analogamente anche un'altra via scesa parallela al P. 74 ricollega con quest'ultima.



Foto 8. L'entrata di Hard Rain - Foto S. Ghidelli



Foto 9. Il pozzo iniziale di Hard Rain - Foto A. Maconi

### Pozzo nella Parete Sbagliata - LoLc 5648

L'entrata di questa grotta è stata reperita su una parete di roccia raggiungibile tramite ferrata, sul Sasso dei Carbonari.

Il pozzo di 32 m iniziale conduce su una grossa forra in discesa, con una violenta circolazione d'aria e brevi salti. Infine gli ultimi tre salti di 21, 38 e 13 m conducono al fondo a -137 m.

Tuttavia a -60 m si diparte uno stretto meandro con diverse diramazioni. La principale prosegue a pozzi piuttosto ampi sino al fondo a -203 m. Contrariamente rispetto al resto della Grigna, la grotta è molto anomala, con concrezionamenti in alcuni tratti del fondo e con morfologia in parte diversa dalle altre cavità.

Da notare che l'interesse principale di questa grotta è la posizione: ad oggi infatti nessuna cavità profonda era nota in queste zone, che sono molto prossime al confine meridionale del bacino idrogeologico del Grignone.

### Hard Rain - LoLc 1815

Negli ultimi 10 anni si è assistito ad una forte diminuzione della neve in questa grotta, che si apre con due grosse voragini. La grotta in sostanza è un unico pozzo di 230 m, la verticale più profonda ad oggi nota in Grigna, con gigantesche frane tenute assieme dal ghiaccio.

### Il ghiaccio nelle grotte

Una delle caratteristiche più tipiche del carsismo profondo del Moncodeno sono i depositi di ghiaccio e neve che si trovano in circa 15% degli ingressi e/o alla base di pozzi a cielo aperto.

I depositi stagionali sono alquanto variabili da anno in anno. In alcuni casi ciò ha permesso l'accesso a parti più interne o profonde dove si sono trovati ingenti depositi di ghiaccio di rigelo, come nella LoLc 1739 (-50 m) oggetto di uno studio specifico (Spreafico, 2017).

Le ulteriori principali grotte divenute accessibili negli anni recenti e in cui si è trovato ghiaccio di rigelo fino in profondità sono la LoLc 1887 (-104 m), 1842 (-104 m), 1904 (-95 m), 1939 (-121 m). Il deposito della LoLc 1815 resta il più profondo ad oggi noto.

### Prospettive future

Le esplorazioni e gli studi scientifici di questi ultimi anni hanno permesso di ampliare le conoscenze del carsismo profondo della Grigna Settentrionale e di elaborare una serie di ipotesi che ad oggi sembrano avere sempre più conferme.

Tutte le grotte dell'area sommitale del massiccio (che comprende il Circo di Moncodeno e il Releccio) sembrano essere afferenti, dal punto di vista idrogeologico, al Complesso del Grignone. Morfologicamente tutte le grotte presentano un andamento prevalentemente verticale con profondi pozzi e livelli di gallerie fossili suborizzontali sviluppate quasi esclusivamente in prossimità della zona assiale della sinclinale. Queste gallerie si sviluppano ad una quota di circa 1000 m slm e sono tagliate da numerose forre attive indipendenti tra loro. Queste ultime rappresentano con buona probabilità gli arrivi di ulteriori abissi i cui ingressi sono da ricercare nell'area Moncodeno-Releccio ad una quota compresa tra i 1700 m e la vetta della Grigna Settentrionale. Una possibile conferma a quanto esposto si trova nell'analisi delle circolazioni d'aria.

Gli ingressi alti attualmente conosciuti sono localizzati prevalentemente sopra i 2100 m di quota, mentre gli ingressi bassi si trovano prevalentemente tra i 1700 m e i 2100 m di quota. Le forti correnti d'aria rilevate nelle zone profonde, infatti, sembrano essere veicolate verso ingressi bassi situati nelle zone sommitali del massiccio.

Altre gallerie fossili suborizzontali molto meno sviluppate e tagliate da profondi pozzi si rinvenivano a quote elevate (2100 m slm) e sono presenti sia nel Complesso del Grignone che in altre cavità di recente esplorazione. Come già accaduto in passato, nella ricerca di collegamenti con altre cavità della zona, è molto probabile che sfruttando queste gallerie sarà possibile effettuare nuove giunzioni.

Le recenti esplorazioni hanno permesso di ampliare il quadro conoscitivo del carsismo profondo della Grigna Settentrionale, ma pongono ancora alcuni quesiti irrisolti:

a) ad oggi, nonostante le reiterate campagne di ricerca nelle aree a quote basse e in quelle marginali del massiccio, non sono note cavità significative. Le motivazioni vanno forse ricercate nella diffusa copertura neogenica-quadernaria o a cause geologico-strutturali;

b) le grotte nell'area sommitale del massiccio ubicate nel fianco nord della sinclinale (Palone, Pizzo della Pieve, Valle dei Mulini) e



Foto 10. Cristalli di aragonite al Pozzo nel Dito, a -600 m - Foto A. Maconi



Foto 11. L'entrata in parete della LO 5648 - Foto A. Maconi

nell'area meridionale (Sasso Cavallo) sono poche e per il momento ancora con sviluppi e profondità modeste. In queste aree la bassa densità di grotte è da imputare probabilmente alla morfologia del territorio caratterizzata da alte pareti e pendii molto scoscesi che limitano, di fatto, le possibili prospezioni;

c) nelle aree delle sorgenti è presente una sola grotta significativa (Grotta di Fiumelatte) le cui possibili esplorazioni sono legate esclusivamente ad attività speleosubacquee (Casati, 2012). Tutte le altre cavità attualmente conosciute presenti in zona hanno sviluppi modesti e scarse possibilità esplorative.

Bisogna infine rimarcare che l'abbassamento costante del livello della neve e la riduzione dei depositi di ghiaccio nelle grotte della Grigna Settentrionale sicuramente porterà nel futuro, come già avvenuto negli ultimi anni, a nuove esplorazioni.

Le esplorazioni profonde nelle zone terminali di W le Donne e negli abissi principali dell'area, a causa delle lunghe permanenze necessarie e alla mancanza di ingressi bassi, risultano invece più problematiche. Le possibilità esplorative rimangono comunque molto alte considerando l'elevato numero di vie laterali ancora da esplorare. Le possibilità di trovare ingressi bassi, invece, rimangono ancora nel campo delle ipotesi.

### Ringraziamenti

Un grosso ringraziamento va in particolare ai gestori ed allo staff del Rifugio Bogani, che ci hanno sempre supportato nelle esplorazioni della Grigna ed ai diversi speleologi che hanno partecipato alle attività condividendone i risultati. L'elenco completo dei partecipanti e dei gruppi è troppo lungo da riportare, ma è senza dubbio il lavoro di squadra e non delle singole persone che ha portato all'attuale conoscenza del sistema.

### Riferimenti bibliografici

Aimar L., Corvi M., Maconi A., Merazzi M., Premazzi A., Tognini P. (2015), "Il massiccio del Grignone: un esempio di esplorazione condivisa", Atti XXII Congresso Nazionale di Speleologia "Condividere I Dati", Pertosa-Auletta (SA) 2015, 559-564;  
 Bini A., Cappa G., Pellegrini A. (1977), "Ricerche sugli aspetti del fenomeno carsico profondo del Gruppo delle Grigne (Lombardia): V - il carsismo nella zona Bregai - Val laghetto (Circo di Moncodeno) parte II", Le Grotte d'Italia, 6: 5-72;  
 Bini A., Pellegrini A. (1998), "Il carsismo del Moncodeno. Ricerche sugli aspetti del fenomeno carsico profondo nel Gruppo

delle Grigne (Lombardia)", Geologia Insubrica, 3 (2);  
 Buzio A. (1988), "Nuove esplorazioni sul massiccio della Grigna Settentrionale (nota preliminare)", Atti XIII Convegno di Speleologia Lombarda, Varese 1988, 19-27;  
 Buzio A. (a cura di) (2008), "Grotte della Grigna e del Lecchese". Parco Regionale della Grigna Settentrionale;  
 Casati L. (2012), "Fiumelatte", La Grigna al contrario, 12: 1-3;  
 Corengia D., Premazzi A. (2013), "Nel cuore profondo del Grignone", Stile Alpino, 4-11;  
 Ferrari G. (1999), "Ricerche sugli aspetti del fenomeno carsico del gruppo delle Grigne (Lombardia)", Atti del XV Congresso di Speleologia Lombarda, S. Omobono Imagna (BG), 47-69;  
 Focarile A., Cigna A., Cappa A. (1960), "Ricerche sul fenomeno carsico profondo nel gruppo delle Grigne (Lombardia)", Atti Soc. It. Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale, Milano, 99 (I): 25-168;  
 Pavia R. (1994), "Idrologia del sistema W le Donne - Grotta di Fiumelatte", Grotte di Lombardia, 1: 23-27;  
 Premazzi A., Aimar L., Maconi A., Merazzi M., Corvi M., Ferrario A. (2010), "Il Complesso del Releccio: cronaca e storia dell'evoluzione", Speleologia, 62: 30-39;  
 Servida E. (1954), "Fenomeni carsici del Gruppo delle Grigne", Tesi di laurea, Università Cattolica 1953/54, Milano;  
 Spreafico F., Basiricò S., Frattini P., Crosta GB., Ferrario A., Tognini P. (2022), "Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale", XXIII Congr. Naz. di Speleol., Ormea 2022;  
 Spreafico F. (2017), "Ricostruzione dei depositi di ghiaccio ipogei in alcune grotte del Moncodeno (Grigna Settentrionale)", Tesi di Laurea Scienze e Tecnologie Geologiche, Univ. Studi MI Bicocca.



Foto 12. La base del pozzo di ingresso a -170 m, nell'Abisso delle Spade e le stalattiti di ghiaccio presenti fino a pochi anni fa - Foto A. Maconi

# Droni e ricerca speleologica

## Tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio

Massimo Pozzo (a), Marco Tremari (b)

(a) Underland, Doctormax ; (b) 3D Survey Drone Srl

2019 - 2022



108

### Riassunto

Il contributo riprende l'argomento pubblicato sul N.81 nella Rivista della Società Speleologica Italiana "Speleologia" (2019), a firma di uno dei due autori.

I droni sono telecamere volanti, montate su un sistema aeromobile a pilotaggio remoto (SAPR), guidate da terra tramite radiocomando e operatore. Sono soggetti alla regolamentazione del Codice della Navigazione aerea dell'Ente Nazionale per la Navigazione Civile (ENAC), e necessitano di polizze assicurative RC verso terzi. L'utilizzo in campo professionale e non, prevede un apposito iter formativo affiancato alle autorizzazioni ad operare rilasciate dall'ENAC stessa. La normativa specifica e molto dettagliata è soggetta a continui aggiornamenti e segue gli sviluppi stessi delle giovani tecnologie che stanno dietro a questo settore in forte espansione.

I campi di applicazione di questi mezzi sono molteplici e le loro prestazioni, in termini di risultati professionali, dipendono in

Foto 1. Pad di atterraggio per drone in clima invernale - Foto M. Pozzo

gran parte dalle risoluzioni delle telecamere supportate, dai sensori che portano a bordo e dalle competenze tecniche messe in atto per sviluppare i singoli progetti.

La presentazione vuole andare oltre alla discussione sulla ripresa video fotografica documentaristica e considerare l'utilizzo tecnico che tali immagini possono fornire per la ricerca territoriale e in particolare per quella speleologica.

Tra i più interessanti è quello della fotogrammetria aerea, o aerofotogrammetria, che consente l'ottenimento di modelli dettagliati in 3D di ampie porzioni di territorio e di ricavare numerosi dati derivati, utili allo studio e alla mappatura del territorio. La nuvola di punti 3D del territorio, elaborata all'interno di software, Structure From Motion, permette di ottenere modelli del terreno e cartografie specifiche.

Tali informazioni possono supportare lo studio e l'attività di ricerca e documentazione speleologica.



Foto 2. Drone di fascia media con fotocamera a risoluzione video 4K - Foto N. Belotti

### L'utilizzo dei droni nella ricerca speleologica

Nell'ultimo decennio l'evoluzione tecnologica ha subito accelerazioni così elevate, da rendere superate tecnologie o applicativi nel momento stesso in cui entrano nel mercato.

Diventa quindi difficile focalizzare l'attenzione sul singolo software o sul singolo applicativo finalizzato ad uno specifico ambito di utilizzo. Viceversa appare più semplice concentrarla sulla reale utilità di una specifica procedura che permetta di fungere da modello indipendente e distaccato rispetto ai singoli apparati applicativi.

Date queste premesse si cercherà di proporre alcuni modelli e soluzioni che possano aiutare e supportare le attività legate alla ricerca speleologica, tramite l'utilizzo dei droni e delle tecnologie legate alla fotogrammetria e al rilievo tridimensionale.

Il termine "drone" o più propriamente SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) diventò più comune nel nostro linguaggio e nel nostro immaginario a seguito del conflitto iracheno del 2003, dove sistemi pilotati a distanza venivano impiegati frequentemente a scopo militare. Nell'ultimo decennio i cosiddetti droni hanno avuto uno sviluppo molto rapido, passando dal ristretto ambito militare anche a quello civile, a supporto di svariate attività.

La peculiarità che ha reso così popolari questi sistemi, oltre allo sviluppo delle tecnologie che ne hanno permesso una continua

miniaturizzazione e semplificazione di utilizzo, è anche la possibilità d'installazione di un payload specifico, che generalmente è costituito da una camera digitale RGB. In altri casi quest'ultimo è costituito da tipi di sensori diversi, come sistemi LIDAR, termo-camere, camere all'infrarosso, etc.

La diffusione dei SAPR investe ampi ambiti di utilizzo, dalle riprese aeree e documentaristiche fino ad applicazioni molto specifiche: rilievo aerofotogrammetrico, mappatura del territorio, monitoraggio ambientale, ispezioni industriali, rilievi in siti estrattivi finalizzati al computo volumetrico, soccorso in situazioni di emergenza (ricerca dispersi).

L'evoluzione dei droni in tutti gli ambiti applicativi è appena all'inizio e sta attraversando uno sviluppo molto rapido, con sistemi sempre più performanti, di ogni fascia economica e con peculiarità proprie (Foto 1 e Foto 2).

Nella ricerca speleologica in esterno, l'uso più immediato del drone è quello di sorvolare porzioni di aree carsiche di difficile accesso per visionarle dall'alto o per studiare in via preliminare un percorso di avvicinamento da effettuare.

Con droni di fascia media, dotati di una comune camera RGB a risoluzione minima full HD e una buona autonomia, si possono ottenere ottime informazioni nelle ispezioni di versanti molto scoscesi o di pareti, evitando di cimentarsi magari inutilmente in impegnative calate o risalite in artificiale (Foto 3 e Foto 4).

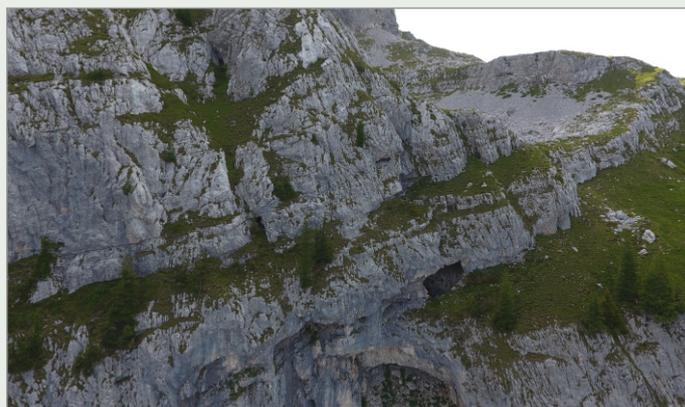


Foto 3 e Foto 4 (in basso). Sorvolo pareti in cerca di accessi (Monte Ferrante - Bg) e sorvolo di plateau calcareo (Mare in Burrasca, area tra Pizzo della Presolana e Monte Ferrante - Bg) - Foto M. Pozzo





Foto 5. Dettagli morfologici più evidenti visti dall'alto - Foto M. Pozzo

Scatti fotografici ad alte risoluzioni permettono ingrandimenti tali da poter esplorare nel dettaglio le immagini acquisite anche da remoto, studiando e valutando poi il percorso di successive calate vincenti. Il sorvolo di aree ad alta densità di fenomeni carsici epigei offre inoltre la possibilità di individuare discontinuità sicuramente più riconoscibili dall'alto rispetto alla ricerca spesso caotica e difficoltosa da terra. (Foto 5 - Foto 6)

L'utilizzo più interessante del drone, ancora in fase di sviluppo in ambito speleologico, è quello della fotogrammetria aerea che consente l'acquisizione e la ricostruzione 3D di ampie porzioni di territorio.

Il rilievo aerofotogrammetrico tramite drone permette di effettuare voli molto più bassi rispetto a quelli effettuati tramite velivoli tradizionali e di ottenere una mappatura del terreno con

un dettaglio enormemente superiore e a costi decisamente più contenuti.

### Dalla fotogrammetria al modello 3D

Per definizione la fotogrammetria è quella disciplina, ricadente nell'ambito del rilievo strumentale indiretto, attraverso cui è possibile ricostruire la forma geometrica di un contesto territoriale, urbano o architettonico, tramite un set di riprese fotografiche. La fotogrammetria può essere aerea o terrestre a seconda che la camera fotografica sia posta in stazione sul terreno oppure sia montata su un aeromobile.

Le origini scientifiche della fotogrammetria risalgono alla fine dell'Ottocento con numerosi campi applicativi sviluppatasi a partire dai primi anni del Novecento: nata come branca della geometria descrittiva, utilizza principi e concetti propri della



Foto 6. Individuazione di ingresso in parete, individuazione percorso migliore, raggiungimento tramite comunicazione radio e sorvolo - Foto M. Pozzo



Foto 7. Posizionamento sul terreno di target ad alta visibilità (Ground Control Point) e rilievo degli stessi tramite sistema GNSS topografico - Foto M. Tremari

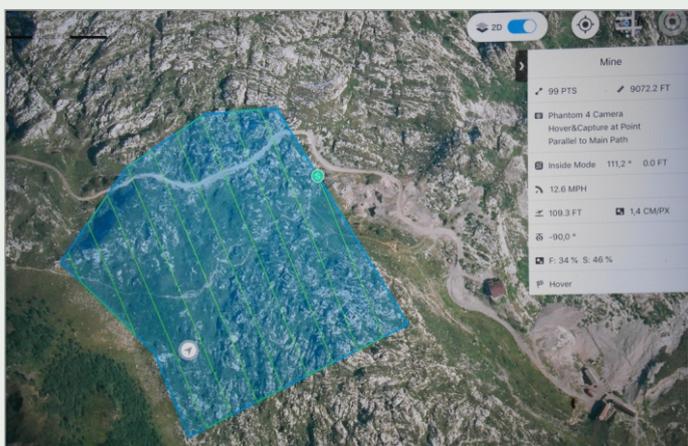


Foto 8. Piano di volo per fotogrammetria aerea con copertura di un'area di circa 100x100 metri (Mare in Burrasca - Presolana Bg) - Foto M. Pozzo

geometria proiettiva attraverso cui è possibile indagare le relazioni biunivoche che si instaurano tra una realtà tridimensionale ed una sua rappresentazione bidimensionale. Già nelle prime applicazioni si differenzia la fotogrammetria terrestre da quella aerea: quella aerea ha trovato da subito una larga diffusione per la realizzazione di carte geografiche tramite gli stereo restitutori analogici, mentre la "terrestre" per il rilevamento di architetture è rimasta spesso più confinata fino ad epoca recente. Nell'ultimo decennio la fotogrammetria digitale, inizialmente ancorata alle metodologie proprie della fotogrammetria analitica, ha assunto una propria connotazione grazie all'acquisizione di tecniche automatiche sviluppate nell'ambito della Computer Vision, quella disciplina che analizza e reinterpreta in chiave informatica la geometria proiettiva della visione. Il recente sviluppo del mercato dei droni (o SAPR), ha permesso inoltre di allargare il potenziale di utilizzo della fotogrammetria e di portare questa tecnologia in ambiti anche non tradizionali.

Oltre che per i rilievi topografici, la fotogrammetria ha trovato nel tempo anche una serie di applicazioni in ambiti non esclusivamente territoriali come per esempio in quello architettonico, archeologico, industriale, geologico e forestale. La pratica ha dimostrato che la precisione dei rilevamenti fotogrammetrici, sia terrestri che aerei, è superiore o equiparabile a quella dei rilievi tradizionali alla medesima scala, con ulteriore vantaggio che tramite la fotogrammetria è possibile ridurre notevolmente i tempi e le risorse impiegate per il rilievo sul campo.

Le particolarità che rendono questa tecnologia così versatile sono la relativa velocità d'impiego, la possibilità di applicazione su scale diverse, dal singolo oggetto fino ad ampie porzioni di territorio, e in genere i costi più contenuti rispetto all'impiego di laser-scanner. Inoltre, grazie all'impiego dei droni è possibile raggiungere e rilevare punti normalmente inaccessibili, come tetti di edifici, coperture di complessi industriali, versanti scoscesi o affioramenti verticali.

Il risultato di un rilievo fotogrammetrico è in genere un modello 3D virtuale che riproduce, in modo realistico e metricamente corretto, il contesto o l'oggetto originale del rilievo. Per poter ottenere un modello 3D geometricamente corretto è necessario vincolarlo all'acquisizione di alcuni punti fissi, materializzati sul terreno tramite target di riferimento, di cui si conosca la corretta posizione tridimensionale nello spazio mediante coordinate note. Senza l'appoggio dei punti di vincolo o GCP (Ground Control Point) non è possibile ottenere un modello metricamente corretto, ma solo una buona approssimazione dell'oggetto rilevato.

Normalmente il rilievo si svolge attraverso l'acquisizione di uno o più set d'immagini, da terra o da drone a seconda del contesto, cui segue la battuta dei target sul terreno, per l'estrapolazione di una terna di coordinate note, tramite Stazione Totale e/o sistema GNSS topografico (Foto 7 e Figura 2). Una volta raccolto il set d'immagini, l'elaborazione delle stesse avviene attraverso l'utilizzo di appositi software che si servono di algoritmi SFM (Structure From Motion).

Questi applicativi consentono di estrarre i punti notevoli dalle singole foto, collimarli fra loro in modo automatico infine restituirli nelle corrette coordinate geometriche sotto forma di nuvola sparsa. I passaggi successivi riguardano l'inserimento delle coordinate note relative ai target di ancoraggio o Ground Control Point e l'estrazione della nuvola di punti densa (dense cloud) che contiene in sé già tutte le informazioni metriche corrette del contesto rilevato.

111

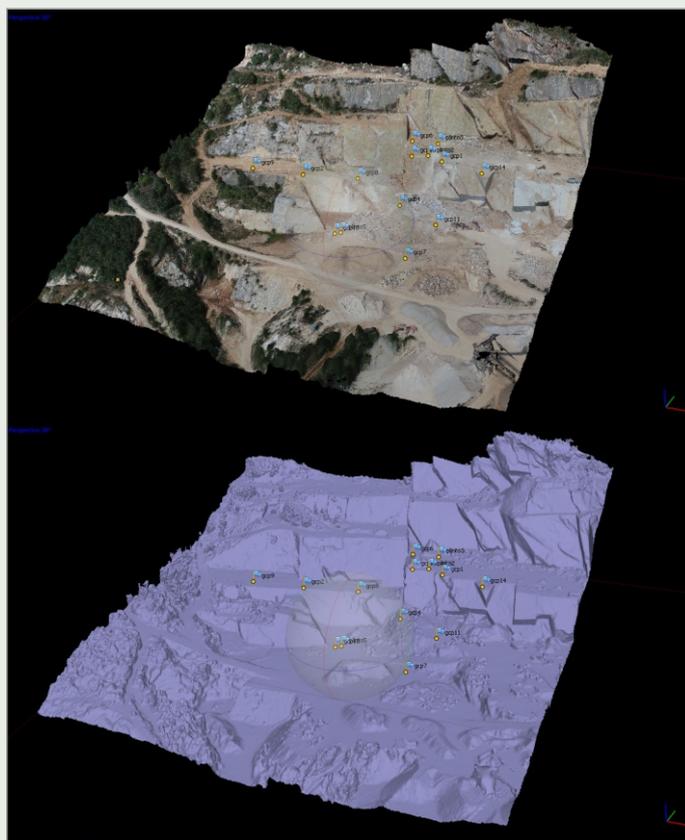


Figura 1. Modello 3D con e senza applicazione della texture - Grafica M. Tremari



Figura 2. Nuvola di punti georeferenziata in contesto di cava - Grafica M. Tremari

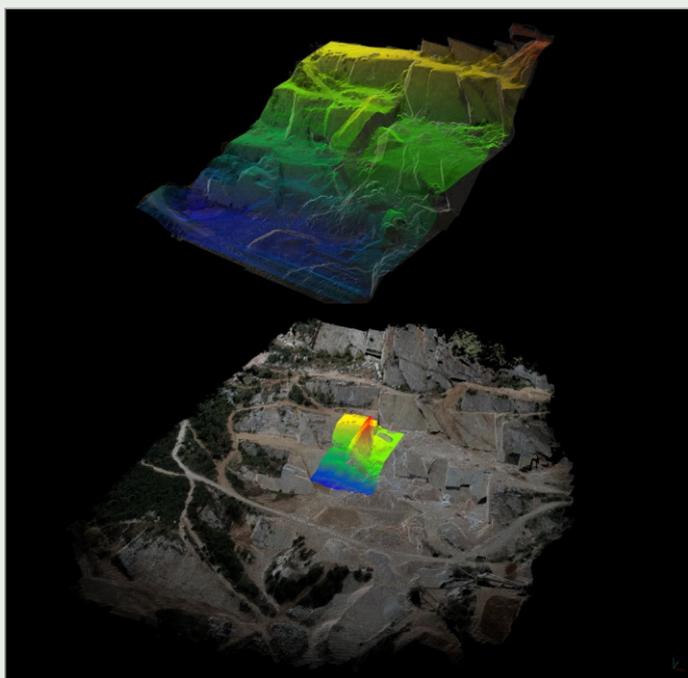


Figura 3. Sovrapposizione di due nuvole di punti georeferenziate per il calcolo del volume di materiale asportato in un contesto di cava - Grafica M. Tremari

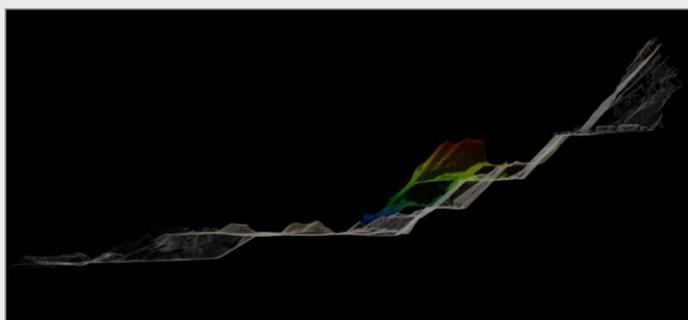


Figura 4. Sezione longitudinale della vista precedente con le due nuvole di punti sovrapposte - Grafica M. Tremari

Ulteriori passaggi consistono (Figura 1), nell'estrazione del modello tridimensionale vero e proprio dalla nuvola di punti densa tramite triangolazione e ricostruzione geometrica della sua superficie e nella applicazione di texture fotografiche reali sulla geometria del modello ottenuto.

Dal modello così elaborato contenente il dato geometrico e spaziale corretto è a questo punto possibile estrarre una serie di dati derivati che consistono soprattutto in ortofotopiani, piani quotati, DEM (Digital Elevation Model), DSM (Digital Surface Model), curve di livello e profili altimetrici di superfici o sezioni (Figure 2, 3 e 4).

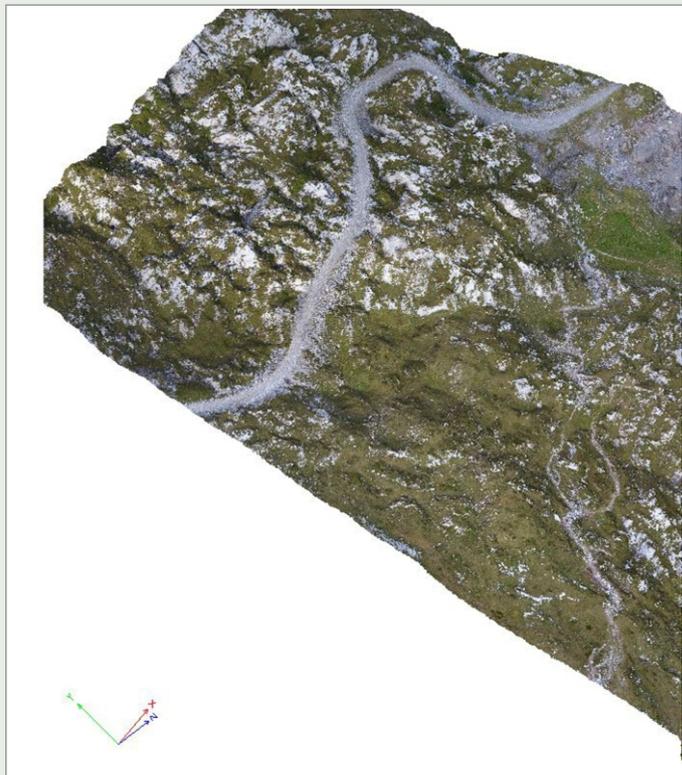


Figura 5 - Primo risultato grafico (Mare in Burrasca - Presolana Bg) - Grafica M. Tremari

### L'uso dei modelli 3D del territorio come supporto alla ricerca speleologica

In ambito speleologico l'utilizzo della fotogrammetria e dell'aerofotogrammetria può avere due interessanti applicazioni: una rivolta ai rilievi indoor, all'interno delle cavità stesse (che esula dal presente intervento) e l'altro a livello territoriale, per la mappatura e l'individuazione degli accessi su interi versanti o ampi areali: l'ottenimento di un corretto e dettagliato modello 3D del terreno diventa utile alla ricerca.



Figura 6 e Figura 7. Risultato grafico al 1600% - Grafica M. Tremari





Figura 8 - Risultato grafico foto al 3200% (Mare in Burrasca – Presolana Bg) - Grafica M. Tremari

Per concludere con un esempio pratico e tornando alla Figura 1, questa riporta la prova di una copertura fotogrammetrica di un'area di circa 100x100metri, con un risultato morfologico finale del territorio appena leggibile (Figura 5).

Per l'elaborazione delle figure successive (Figura 6 e Figura 7 al 1600%, Figura 8 al 3200%), sono state scattate 99 foto ad alta risoluzione (4096x2160). Riprodurre quindi ricostruzioni del territorio in larga scala richiede strumentazioni e mezzi che i gruppi speleologici non possiedono.

Questo utilizzo darà grandi risultati ai catasti speleologici e a tante rappresentazioni grafiche, se in futuro si riusciranno a mescolare i vari software in dotazione o a realizzarne uno ex novo ed apposito, che unisca i dati raccolti per la rappresentazione grafica del sottosuolo, quelli fotogrammetrici e le coordinate degli ingressi delle cavità.

Un primo prototipo di scheda di ingresso grotta è stato sperimentato nell'ambito della presente ricerca, ed è visibile al link seguente: [http://www.spazio360.eu/wp-content/uploads/panorama/GROTTE/GRONEHENGE/gronehenge\\_pano.html](http://www.spazio360.eu/wp-content/uploads/panorama/GROTTE/GRONEHENGE/gronehenge_pano.html)

Molto più complicato l'argomento dedicato alle scansioni di ambienti nel sottosuolo mediante uso di drone con laser scanner o simili. I prototipi attualmente in uso sono prodotti sperimentali ed estremamente costosi, e i droni vengono pilotati senza l'ausilio del GPS, che in esterno garantisce stabilità e la quasi impossibilità di caduta o di perdita del mezzo.

Un possibile utilizzo utile alla ricerca speleologica è l'ottenimento di mappe termiche integrando il drone di un sistema che supporti una termo camera.

Questo tipo di telecamera è utilizzato professionalmente nel

campo dell'ingegneria e nelle ispezioni industriali, nel monitoraggio di impianti elettrici, energetici e idraulici.

Le termo camere presenti sul mercato sono molto costose e si distinguono in radiometriche e non radiometriche.

La telecamera radiometrica permette di effettuare un'analisi termica precisa del punto in cui viene indirizzata e quindi potrebbe facilmente fornire indicazioni, ad esempio su un altopiano carsico, sulla presenza di eventuali bocche alitanti, restituendo una visione o comunque la registrazione della mappatura completa attraverso immagini termiche ad infrarosso, che vengono poi interpretate ed elaborate tramite software dedicato. Anche lungo zone costiere di laghi o fiumi, puntata verso l'acqua, la termo camera è in grado di rilevare le differenti temperature del liquido in superficie con la possibilità di individuare eventuali risorgenze subacquee o sub lacuali.

In conclusione, l'argomento droni e speleologia è tutt'altro che esaurito: è evidente che con fotogrammetria aerea e termografia si possono ottenere informazioni di elevata precisione soprattutto cartografica, migliorando la qualità delle nostre ricerche, le conoscenze e di conseguenza i risultati esplorativi.

### Riferimenti bibliografici

Fasi F., Fregonese, L., Ackermann, S., De Troia, V. (2013), "Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas". ISPRS Workshop 3D-ARCH: 3D virtual reconstruction and visualization of complex architectures, (2013) pp.73-80;

Paris L. (2012), "Fotogrammetria e/o foto modellazione", in: Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione. Vol. II, (a cura di) Andrea Casale. Esiti della ricerca Prin 2008. Anno 2012. pp. 63-84;

Remondino F., Poli D. (2014), "Back to the future. Il ritorno della fotogrammetria", in: Geomedia - Rivista italiana di geomatica e geografia intelligente, n°2, Anno XVIII, 2014, pp. 6-8;

Russo, M., Remondino, F., Guidi, G. (2011), Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. Archeologia e Calcolatori, 22, pp.169-198;

Santise M., Passoni D., Pagliari D. (2014), "Esperienze di fotogrammetria da UAV per il calcolo dei volumi" in: Bollettino della Rivista italiana di fotogrammetria e topografia, 2014, pp. 43-51;

Pozzo M. (2019), "L'utilizzo dei droni nella ricerca speleologica", Speleologia, 81: 60-63.

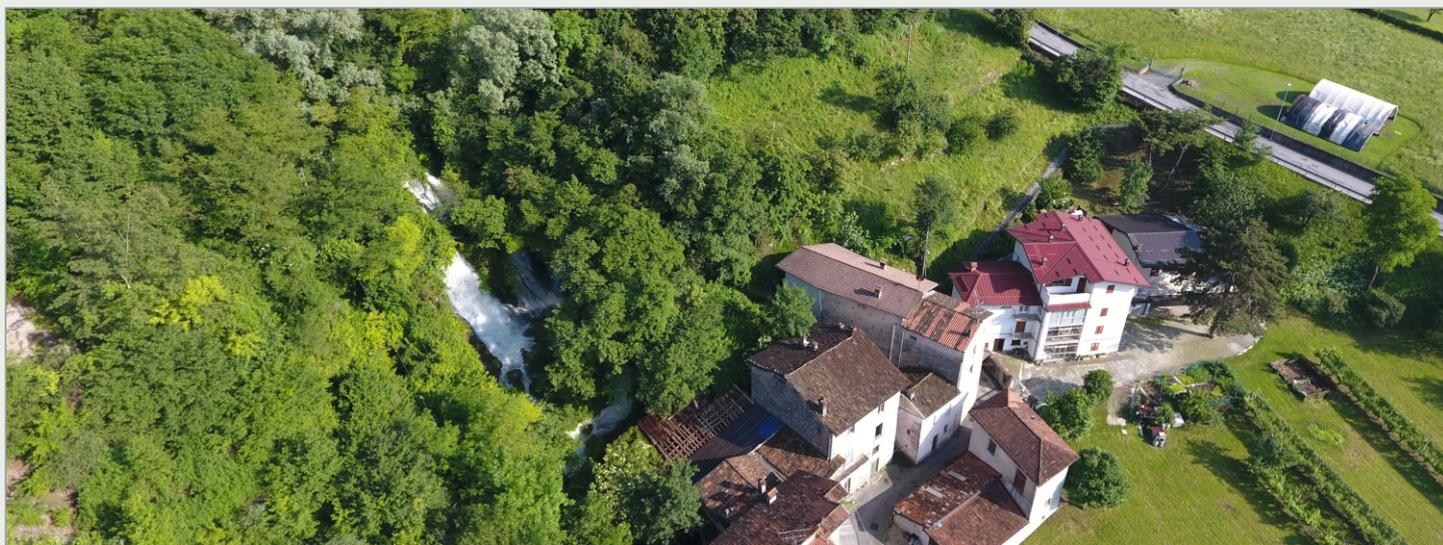


Foto 9 - Sorvolo di sorgente carsica in periodo di piena: il drone permette di visionare luoghi spesso di difficile accesso via terra - Foto M. Pozzo

# Tracciamento dei flussi sotterranei dell'aria: stato dell'arte e prospettive

Gian Domenico Cella (a)

(a) Gruppo Grotte CAI Novara, Comitato Scientifico SO Bossea CAI

2022



114

## Riassunto

Si sa che per gli speleologi che conducono esplorazioni, è molto utile avere informazioni preliminari circa i settori sotterranei non ancora noti, al fine di indirizzare al meglio le ricerche. Le correnti aeree e le loro modalità di movimento sono in grado di fornirci molte informazioni quali percorsi, distanze, dislivelli tra gli ingressi, volume e forma dei vani ignoti.

Lo studio della pressione, della temperatura, della velocità dell'aria e della sue variazioni è stato già ampiamente trattato in letteratura; un lavoro di sintesi di taglio divulgativo in lingua italiana, completo di opportuna bibliografia è stato recentemente fatto da Miragoli (2019), a cui si rimanda.

Non va poi dimenticata una tecnica di tracciamento molto originale, messa a punto dagli speleologi triestini, che consiste nel variare la pressione dell'aria all'interno della cavità facendo ricorso ad aspiratori molto potenti, previa sigillatura dell'ingresso (Metodo Florit-Zanini, descritto da Diquál, 2015): i risultati avuti in sistemi di media estensione sono stati molto positivi.

Foto 1. Fumogeno da segnalazione - Foto copyright Ravenna24ore.it

In questo lavoro desidero invece approfondire l'aspetto "tracciamento" dell'aria, riassumendo brevemente quanto finora riportato in letteratura, integrato da vari test condotti sul campo.

In campo "civile" tecniche di tracciamento, alcune norme (ISO 16000-8, ASTM E741), permettono di calcolare volumi di ambienti chiusi, i vuoti nelle frane, fino a mappare il movimento dell'aria in ambienti sotterranei complessi quali miniere e metropolitane urbane.

Classicamente un'unità di tracciamento è composta da due parti: una o più sezioni di rilascio del tracciante e una o più sezioni di rilevamento. Le stazioni di rilevamento sono quelle che maggiormente condizionano la scelta del tracciante da usare e le modalità operative generali.

In linea generale possiamo raggruppare le modalità di un tracciamento in tipi: 1 - qualitativa, di tipo passa/non passa; 2 - qualitativa con curva di concentrazione del tracciante transitato; 3 - quantitativa.

**Tracciamenti qualitativi**

Un tracciamento è definito qualitativo quando permette unicamente di verificare se il tracciante è transitato.

Questa situazione si verifica quando il rilevamento è di natura puramente sensoriale (tipicamente il naso o la vista dello speleologo). In letteratura viene riportato l'impiego di numerosi traccianti di natura "casalinga": fumo, profumi, essenze, incensini ma anche combustione di pneumatici, zolfo ecc. ecc. In genere la distanza coperta da questi traccianti, non sempre salutari, è piuttosto breve.

Di particolare interesse si sono invece rilevati i derivati usati per odorizzare i gas combustibili, che vengono avvertiti a concentrazioni infinitesime (10 ppb): tralasciando aspetti legali e di sicurezza, essi si sono mostrati molto efficaci. Classicamente vengono utilizzati mercaptani, quali il tetra-idrotiofene (THT; in Italia considerato gas tossico) e ter-butil mercaptano (TBM). Personalmente consiglierei il derivato (bis-metil-tio)-metano, l'aroma sintetico del tartufo, prodotto alimentare di libera vendita, che se non altro ci espone meno ai rigori della legge.

Se il rilevamento si basa sull'uso di una sostanza (cattore) che cattura il tracciante in transito, come ad esempio il carbone attivo, risulterà poi necessario estrarlo dal cattore per riconoscerlo; l'estrazione può venire effettuata con solventi o, in alcuni casi, previo riscaldamento.

Le tecniche di riconoscimento più usate più utilizzate sono la gascromatografia (GC) o meglio ancora la gascromatografia associata alla spettrometria di massa (GC-MS); con questa ultima tecnica il riconoscimento è assoluto, anche a bassissime concentrazioni.

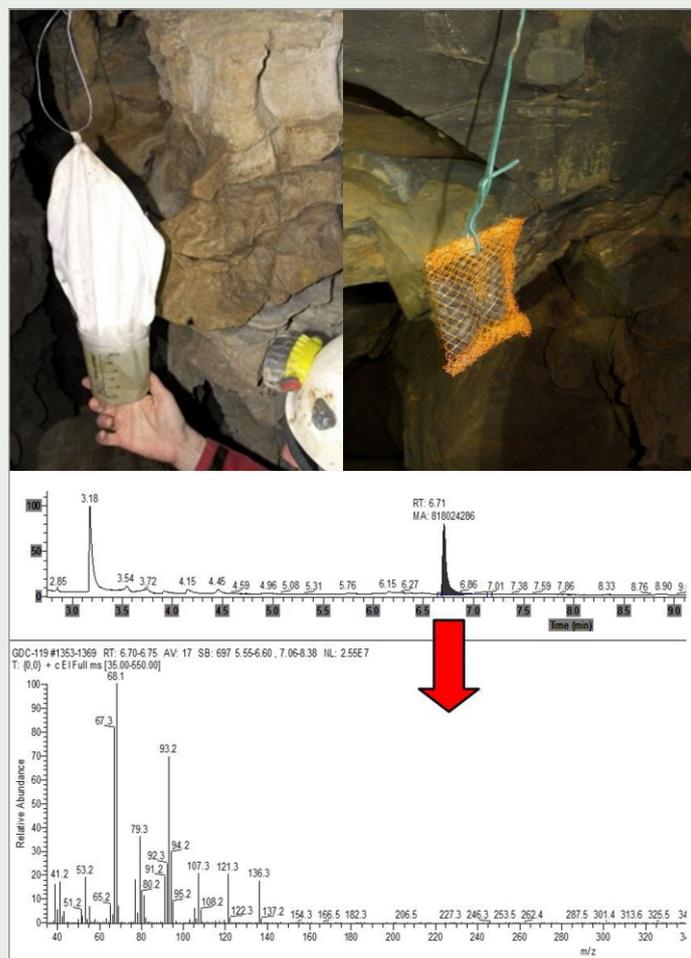


Foto 1 e 2. Tracciamento qualitativo con D-Limonene (Sistema Bueno Fonteno-Nueva Vida, Sebino Occidentale, BG). In alto: la stazione di rilascio e il cattore a carbone attivo.

Figura 1. Riconoscimento con GC-MS - Foto GD. Cella

I traccianti possono essere moltissimi e vengono scelti in funzione del contorno al tracciamento: traccianti fluorurati inodori (sensibilità nell'ordine delle ppt; non necessitano di bianco), terpeni (D-limonene,  $\alpha$  e  $\beta$  pinene) e altri; anche i mercaptani più pesanti vengono fissati dal carbone attivo. Questa tecnica permette di effettuare tracciamenti multipli senza particolari problemi.

Il riconoscimento richiede il ricorso a laboratori specializzati e dà unicamente risposte del tipo passa/non passa e una vaga idea delle concentrazioni in gioco. Si possono avere misure quantitative spot del tracciante transitato ricorrendo all'impiego di aspiratori volumetrici (dosatori) e misurando in parallelo la portata globale della galleria in cui il ricevitore è posto. Si tenga presente che la reazione che fissa il tracciante al carbone attivo è reversibile: quindi a lungo andare, il tracciante fissato viene rilasciato.

**Tracciamenti con curve di transito e quantitativi**

Se il rilevamento viene effettuato con sonde specifiche è possibile ottenere le curve di transito tracciante/tempo, dato che fornisce utili informazioni circa forme e dimensioni del tratto ignoto (Cella, 2022). Conoscendo la portata di aria della galleria è anche possibile risalire alla quantità assoluta del tracciante transitato e, di conseguenza, ricostruire la ripartizione quantitativa dei flussi aerei.

Con questa tecnica buoni risultati sono stati ottenuti usando come tracciante l'anidride carbonica: il metodo, pur non dotato di spiccata sensibilità, ha però il vantaggio di non richiedere grossi investimenti ed è alla portata di ogni gruppo speleologico. Ottimi risultati in sistemi complessi sono stati anche ottenuti usando acetilene (Standish, 1988).



Foto 3. Tracciamento quantitativo con CO2 - Antro del Corchia (LU), lancio nella galleria turistica - Foto GD. Cella

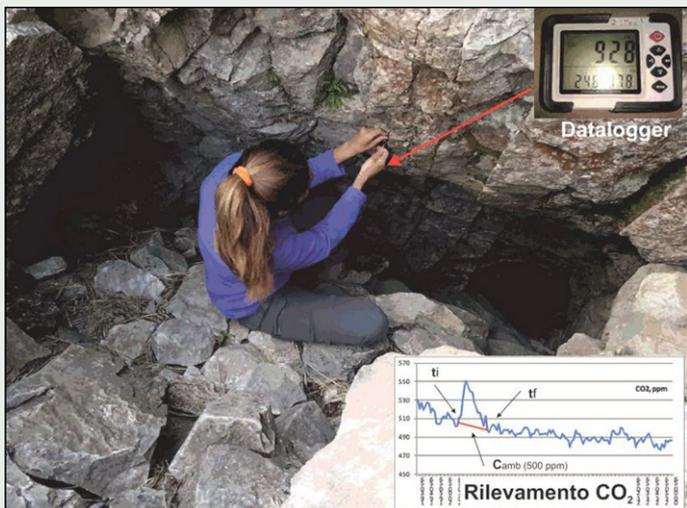


Foto 4. Tracciamento quantitativo con CO2 - Antro del Corchia (LU): acquisizione alla Buca del Serpente. Da qui fuoriesce il 13% dell'aria che circola nel settore turistico (foto GDC e FST) - Foto GD. Cella

Un'originale metodologia è stata recentemente messa a punto da Alessandro Vernassa. Si basa sull'impiego di bombolette spray di deodoranti contenenti sostanze profumate; in realtà viene tracciato il propellente (idrocarburi gassosi), facilmente rilevato da sensori VOC (Volatile Organic Compounds), dal costo di qualche euro. Rilevatori quantitativi dal costo accettabile sono già disponibili sul mercato, ma gli speleo volenterosi potranno facilmente assemblarne uno al costo di qualche decina di Euro. La tecnica è in avanzata fase di ottimizzazione: i vantaggi sono molteplici, specie in termini di trasporto del tracciante e della sensibilità.

Si conclude riassumendo in Tabella 1 quanto a noi noto al momento.



Foto 4 e 5. Tracciamento semi quantitativo con VOC - (cort. di A. Vernassa): bomboletta di tracciante e rilevatore  
Figura 2: curva di transito (Turbiglie, CN)

Tracciante	Rilevatore	Risposta	.....	Note
Fumo	Vista, telecamera	Diretta, q. qualitativa	Bassa	
Incensini	Olfattivo	Diretta, qualitativa	Bassa	
Aria calda	Termocamera	Diretta, q. qualitativa	Molto bassa	
Profumo	Olfattivo	Diretta, q. qualitativa	Bassa	
Mercaptani	Olfattivo	Diretta, qualitativa	Elevata	
Idem, alto PM	Carbone attivo	Indiretta, qualitativa*	Medio alta	
Terpeni	Carbone attivo	Indiretta, qualitativa*	Elevata	Limonene, pineni
Idrocar. fluorurati	Carbone attivo	Indiretta, qualitativa*	Elevata +	No bianchi
An. carbonica	Sensore specifico	Diretta, quantitativa	Medio bassa	CO2 da estintori
Acetilene	Sensore specifico	Diretta, quantitativa	Elevata	
Idrocarburi VOC	Sensore specifico	Diretta, quantitativa	Medio alta	Propellenti spray

\*: necessaria analisi gas-cromatografica, meglio se associata a spettrometria di massa.

Tabella 1 – Traccianti aerei e modalità di impiego di traccianti aerei sotterranei

### Prospettive

In prospettiva, l'approccio traccianti aeriformi finalizzato alla ricerca e definizione di zone inesplorate è aperto a infinite possibilità. Non ci sono limiti, se non economici, alla progettazione di sonde specifiche per ogni tipo di tracciante; i costi analitici per analisi indirette sui captori sono in caduta libera.

Queste indagini richiedono in ogni caso a priori "cervello".

### Ringraziamenti

L'autore è grato a tutte le persone che hanno collaborato alla messa a punto dei metodi e alla raccolta dati sul campo, in particolare Marina Abisso, Lia Botta, Maurizio Miragoli, Alessandro Vernassa.

### Riferimenti bibliografici

Diquál, A. (2015), "Un insolito metodo di indagine speleologica", in <https://www.boegan.it>.  
 Maurizio Miragoli (2019), "Ricavare le dimensioni di una grotta dalle misure meteo", in *Labirinti*, 38, pp. 40-49;  
 G. Domenico Cella (2022), "Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica", in atti del XXIII Congresso Nazionale di Speleologia;  
 P. Nicholas Standish (1988), "Dispersion Mechanism in underground mine ventilation", in University of Wollongong Thesis Collection.



Foto 6. Tracciamento qualitativo con D-Limonene (Abisso Nueva Vida, Sebino Occidentale, BG): la stazione di rilascio - Foto M. Miragoli



*Grotta Cambio Programma (LoBs 4100 - Cariadeghe, Serle - Bs): il salone sottostante il pozzo di accesso è sede di importanti reperti archeologici e paleontologici - Foto Marco Tremari*

# Grone

## La Grotta Altro Pianet: tutela e valorizzazione del paesaggio archeologico sotterraneo (Bergamo - Bg)

Cristina Longhi (a), Massimo Pozzo (b), Marco Tremari (c)

(a) Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, (b) Underland; (c) SAP s.r.l.

2020 - 2021



Foto 1. Altro Pianet (LoBg 7534): l'ingresso della cavità - Foto M. Pozzo

### Riassunto

L'articolo presenta i risultati dell'indagine archeologica e speleologica di una cavità sita in Comune di Grone (Bg), località Sant'Antonio.

L'ingresso è stato individuato da un gruppo di speleologi nel corso della ricerca di nuovi ingressi del sistema carsico presente in questo territorio.

Lo scavo archeologico è stato condotto da un gruppo multidisciplinare di archeologi e speleologi, in diverse campagne di scavo (2015-2017-2020), con il sostegno dell'amministrazione locale, e ha indagato integralmente il contesto frequentato all'inizio del Bronzo Antico (2200 a.C.) e poi completamente sigillato da apporti alluvionali: il deposito dunque non è stato disturbato da frequentazioni antropiche successive.

La documentazione di scavo ha previsto la realizzazione di un rilievo 3D di dettaglio tramite acquisizione fotogrammetrica e algoritmi SFM (*Structure From Motion*), finalizzato alla riproduzione virtuale dell'ambiente sotterraneo.

Il modello virtuale ricostruito, oltre a supportare le indagini

scientifiche effettuate all'interno della grotta, sarà fondamentale per la futura valorizzazione del sito, di non facile accesso.

Il comportamento virtuoso degli speleologi e le modalità di intervento hanno consentito di tutelare, studiare e valorizzare il sito, ponendo le basi per una proficua collaborazione sul territorio.

Nel 2020, al termine della campagna di scavo, è stato prodotto un video documentario, presentato in prima inedita al Congresso di Ormea nel 2022 e visibile al seguente link:

<https://youtu.be/bBUu38ttFuc>

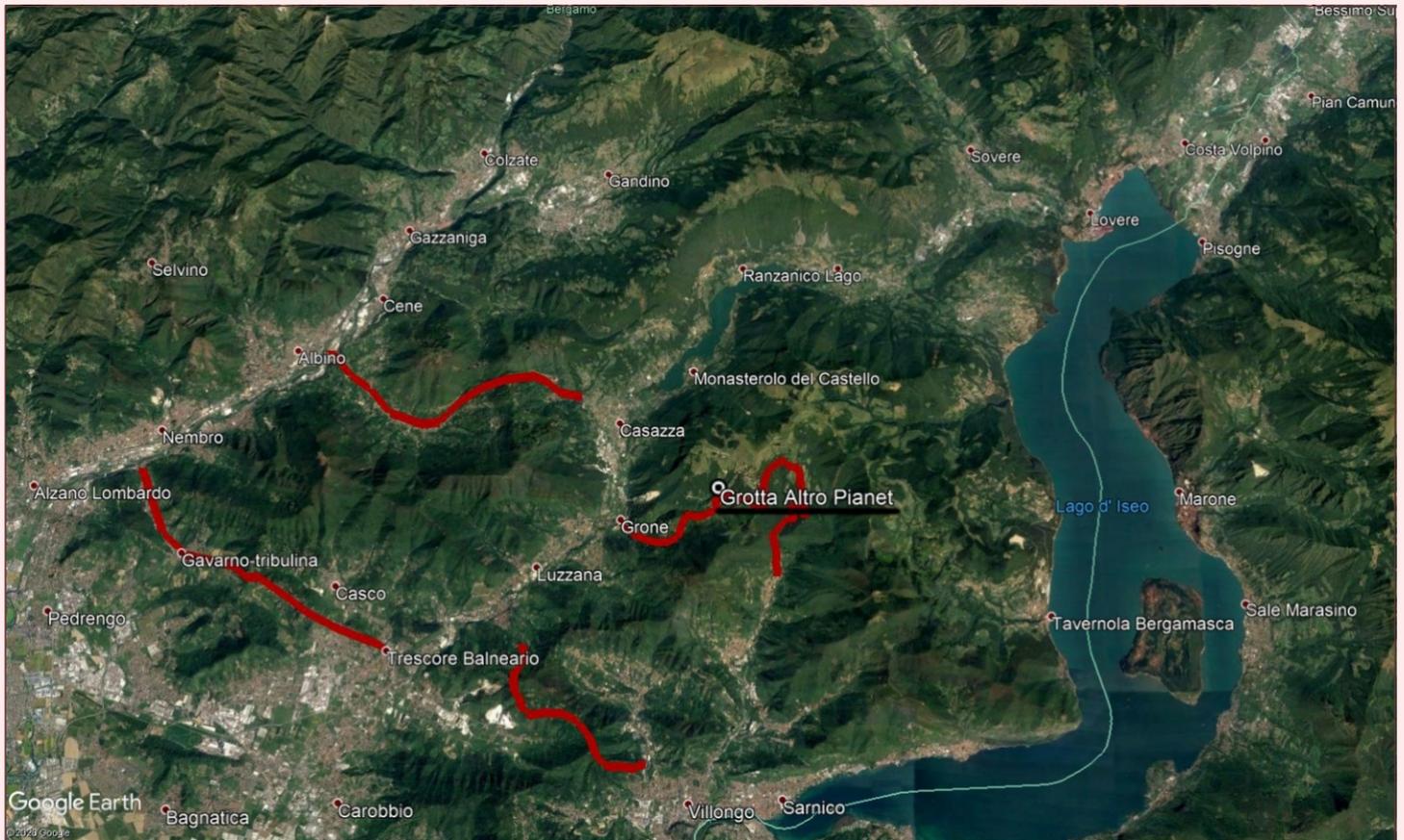


Figura 1. Il sito di Altro Pianet e la Val Cavallina che, con il suo andamento NE-SW, raccorda l'alta pianura bergamasca con Lovere e la Valle Camonica. In rosso evidenziati i percorsi storici tra la Valle Seriana e il basso Sebino (rielaborata da Google maps)

## Introduzione

La grotta Altro Pianet si colloca nell'anfiteatro che si apre verso sud ovest dei colli di San Fermo in Val Cavallina, in particolare si trova sul versante sudorientale di uno dei numerosi impluvi che confluiscono nel fiume Cherio, emissario del Lago di Endine.

Per collocare correttamente il sito e cercare di comprendere le ragioni della sua presenza in un luogo così impervio, è necessario analizzare in modo più ampio il contesto topografico. La Val Cavallina si colloca nel settore orientale della provincia di Bergamo ed ha un orientamento, approssimativamente nord-sud; è caratterizzata nel fondo valle dalla presenza del lago di Endine e di quello di Gaiano. La presenza di cavità a media quota e di ecosistemi molto diversificati hanno favorito l'insediamento umano sin dalle epoche più antiche, fra i ritrovamenti più noti è sicuramente quello del Buco del Corno di Vigano San Martino in cui accanto a resti di fauna pleistocenica sono stati raccolti materiali culturali databili al Paleolitico medio, forse riferibili a un bivacco.

Sulla dorsale che separa la Valle Cavallina e la Valle Seriana sono stati individuati numerosi siti mesolitici che testimoniano la frequentazione in quota a scopi venatori [1].

Le sue caratteristiche geomorfologiche la rendono inoltre una via di comunicazione privilegiata tra la pianura bergamasca e la porzione settentrionale del lago di Lovere e poi dei valichi alpini della Valle Camonica. Oltre a questa direttrice, si possono riconoscere numerosi percorsi trasversali che favorivano il transito dalla Valle Seriana verso il Sebino. Per il settore meridionale della valle, qui di interesse, ricordiamo: verso la Val Seriana quello della Tribulina di Scanzo, che arriva a Trescore Balneario, e quello del Colle Gallo, che scende a Casazza; verso il Sebino, il passo di San Giovanni delle Formiche accessibile da Entratico e la facile via dei Colli di San Fermo che passa da Grone. Nel neolitico e nella successiva età del Rame questa caratteristica è evidenziata dalla posizione degli insediamenti ad

oggi noti: in primo luogo quello del Canton di Trescore Balneario, posto allo sbocco del percorso già ricordato proveniente dalla Valle Seriana e del Buco del Corno di Entratico, a poca distanza dall'attuale percorso che valica il passo di san Giovanni delle Formiche verso il basso Sebino [2].

Completano il quadro della geografia dell'insediamento preistorico i siti, fuori valle, di Lovere - via Decio Celeri e del Coren Pagà di Rogno che ben marcano l'esistenza di un importante asse viario verso la Valle Camonica [3]. In questo quadro territoriale si inserisce il sito archeologico di Altro Pianet, che da un lato rimarca l'importanza della valle per la sua posizione chiave, essendo posto lungo la via che attraverso i colli di San Fermo conduce al Basso Sebino, e dall'altro arricchisce il panorama culturale della fine della preistoria in questo settore della Provincia, ad oggi noto solamente per il contesto di Lovere - via Decio Celeri.



Foto 2. Altro Pianet (LoBg 7534): ingresso della cavità - Foto M. Tremari

### La ricerca speleologica nel territorio del Sebino

Il ritrovamento della Grotta Altro Pianet, rientra nell'ambito di una ricerca speleologica su larga scala, che dal 2006 ha interessato tutta l'area del Sebino Occidentale.

Il progetto di ricerca dedicato (Progetto Sebino) nasce su idea di Massimo Pozzo [4]. Nel primo decennio dalla costituzione, scopre ed esplora un esteso sistema carsico (Abisso Bueno Fonteno-Nueva Vida) per oltre trenta chilometri di cunicoli e gallerie che si diramano sotto la Valle di Fonteno, confinante a Ovest con quella di Grone.

Studi e test relativi alla conoscenza del percorso delle acque sotterranee, presenti nelle diramazioni degli abissi di Fonteno, hanno accertato collegamenti con sorgenti poste tra i 5 e i 7 km in linea d'aria nel Comune di Tavernola Bergamasca e in quello di Grone. Addirittura, per ipotesi legate alla disposizione delle strutture geologiche presenti, si presuppone che la quasi totalità dell'areale del Sebino Occidentale (circa 100 km quadrati) svolga funzione di un enorme bacino imbrifero, con collegamenti sotterranei sia di falda che aerei tra la Val Cavallina e il versante del Lago d'Iseo, partendo dal limite estremo del Monte Torrezzo (1378 m). L'idea di trovare nuovi ingressi ed eventuali collegamenti ipogei con il versante di Grone, indusse gli speleologi ad intensificare le ricerche in alcune vallette presenti presso la località Sant'Antonio. Gli scopritori dell'ingresso iniziale (Massimo Pozzo, Rebusi Giovanni, Maurizio Greppi), riuscirono a percepire la prosecuzione della cavità dopo i primi metri del vano iniziale perché da un piccolo pertugio fuoriusciva un flusso d'aria avvertibile: per gli speleologi il primo segno di presenza di spazi vuoti all'interno di massicci calcarei.

### Il sito

La grotta, posta a quota 877 m s.l.m., è costituita da una piccola cavità orientata nord-sud, con un'inclinazione di 12 gradi, posta sul versante idrografico sinistro di un ruscello che si genera da una sorgente posta poco più a monte.

L'area d'ingresso, formatasi a seguito dei distacchi dei banchi calcarei, si configura come un ambiente piccolo e stretto di forma quadrangolare, che si restringe verso l'interno, con una superficie totale di circa 8 mq.

Poco oltre, la grotta si restringe ulteriormente in un passaggio stretto e basso, lungo 2,50 m, largo in media 1,20 m e alto non più di 0.60 m, che immette in una camera interna: un ambiente di modeste dimensioni di circa 21 mq di superficie e con un'altezza massima di 4,25 m.

Le pareti si presentano parzialmente concrezionate a causa dello stillicidio, soprattutto nella parte nord/nord-ovest, dov'è presente una piccola nicchia, immediatamente a fianco del passaggio d'ingresso.

Verso sud, la camera si restringe in uno stretto e tortuoso cunicolo, che al momento della scoperta risultava completamente occluso da sedime deposizionale, che allo stato attuale è stato solo parzialmente asportato; dunque non è stato possibile verificare una sua eventuale prosecuzione.

### Lo scavo archeologico

Lo scavo archeologico della piccola cavità è stato effettuato in due distinte campagne [5], tra il 2015 e il 2017, a seguito di un primo sondaggio esplorativo che aveva permesso di verificare la presenza di un deposito preistorico conservato ancora *in situ*.



Foto 3. Altro Pianet: rilevamenti durante la campagna lavoro di novembre 2015 - Foto M. Tremari

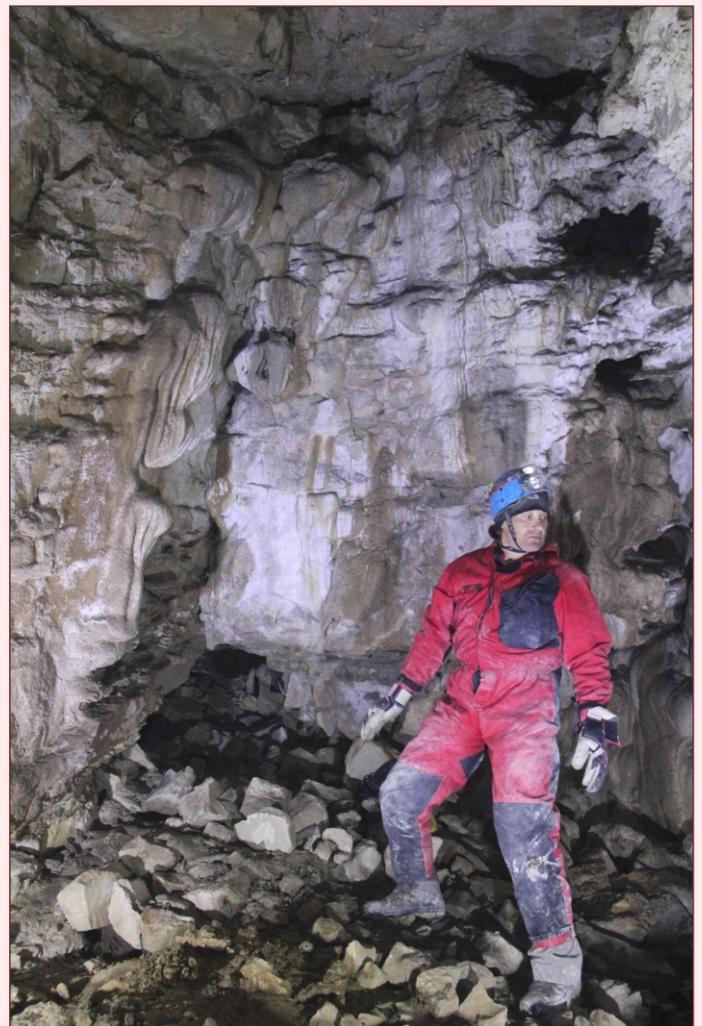


Foto 4. Altro Pianet: il vano interno pochi secondi dopo il primo passaggio. La sala è adorna di belle colate concrezionali - Foto M. Pozzo



Foto 5. Sezione stratigrafica della prima parte dell'ingresso - Foto M. Tremari

Figura 2 (in basso). Planimetria e ortofotopiano generale delle aree indagate - Rilievo e grafica M. Tremari



Foto 6. Camera interna con il livello di frequentazione preistorica messo in luce - Foto M. Tremari

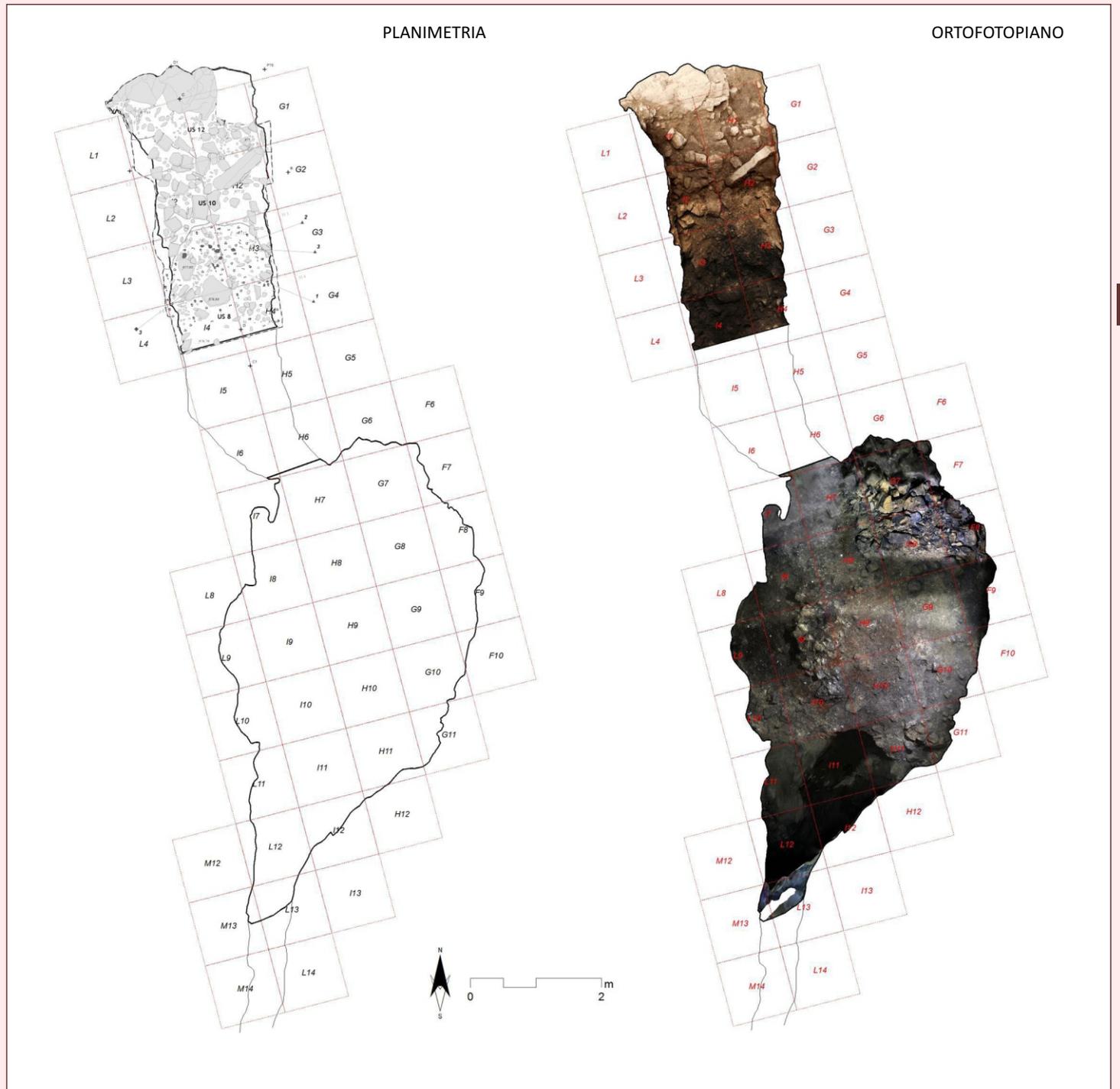




Foto 7. Dettaglio concentrazione di pietre US4=US17 a inizio scavo (alto)  
Foto 8. Dettaglio della concentrazione di pietre US4=US17 a fine scavo (basso) - Foto M. Tremari

Figura 3. Sezione archeologica generale (ingresso) orientata Sud-Nord - Rilievo M. Tremari

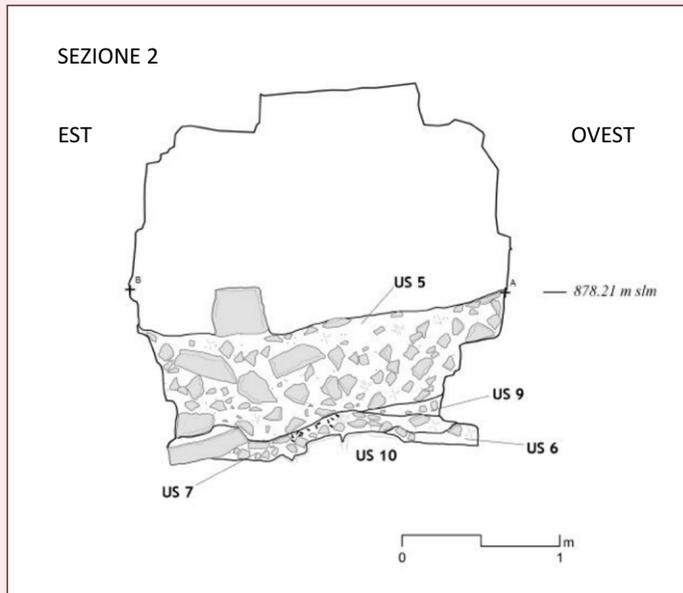
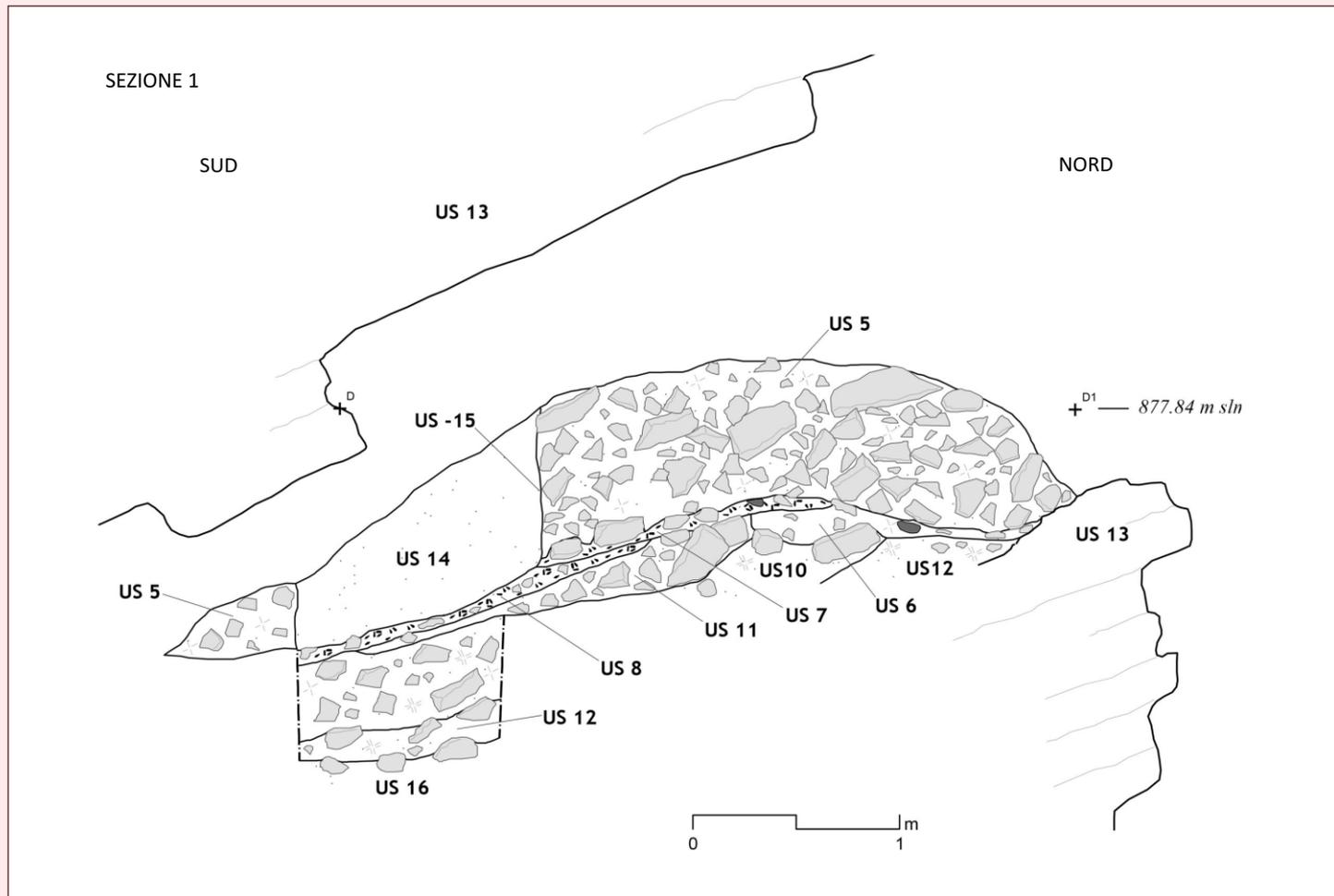


Figura 4. Sezione archeologica generale orientata Est-Ovest - Rilievo M. Tremari

Le indagini archeologiche si sono concentrate in due diversi settori di scavo, uno posto all'ingresso della grotta, l'altro nella camera interna, permettendo di esplorare in modo estensivo la sequenza stratigrafica riscontrata. Lo scavo ha permesso di raccogliere i dati che hanno consentito di ricostruire e di datare la frequentazione antropica del sito e che permetteranno di realizzare un'eventuale valorizzazione della grotta. La stratigrafia generale della grotta è sigillata da un unico livello, denominato US 5, costituito da uno strato limo-argilloso di colore bruno contenente pietre e blocchi calcarei di dimensioni eterogenee provenienti dal crollo della volta. Lo spessore varia da 1,10 m in prossimità dell'ingresso per assottigliarsi fino quasi a scomparire



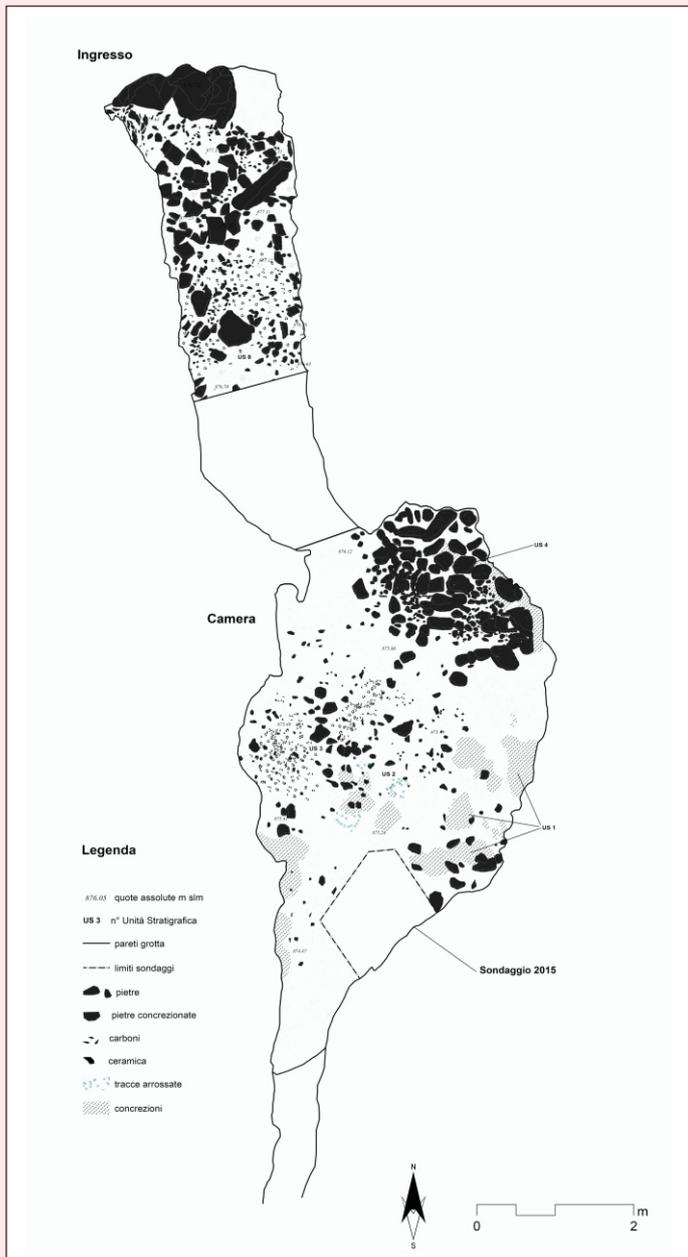
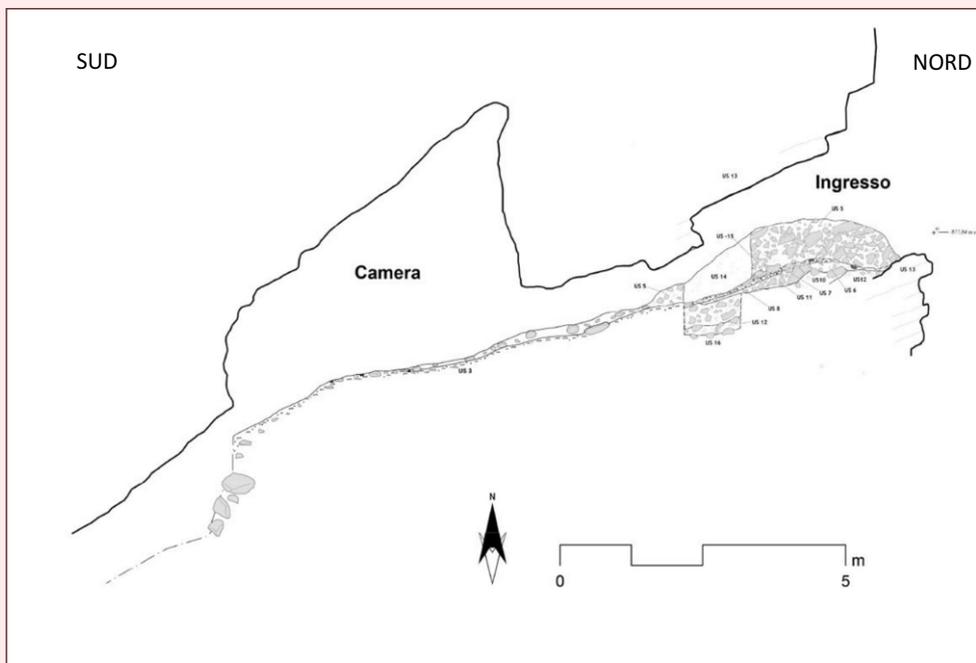


Figura 5. Rilievo archeologico delle aree indagate - Rilievo M. Tremari  
 Figura 6 (in basso). Sezione archeologica generale orientata Sud-Nord.  
 Foto 9. Altro Pianet: l'ingresso visto da Nord - Rilievo e foto M. Tremari

all'interno della camera. Il deposito, di chiara origine alluvionale, è il risultato di una o più fasi di piena del torrente, a seguito delle quali l'accesso alla grotta è stato quasi completamente occluso. Il principale livello di frequentazione preistorica, e per il momento l'unico documentato, è costituito da uno strato argillo-limoso di colore bruno, organico, carbonioso con scaglie di roccia carbonatica e si trova immediatamente sotto a US 5, anche se in alcuni punti della camera interna, un sottile livello concrezionato, US 1, sigilla la paleosuperficie.

Lo strato antropizzato, denominato US 3 nella camera interna e US 8 nella parte d'ingresso, si estende in modo omogeneo su tutta la superficie della grotta finora indagata, degradando da nord verso sud seguendo la naturale inclinazione degli strati calcarei del substrato, e contiene un discreto numero di frammenti ceramici, anche di medio-grandi dimensioni, alcuni strumenti in selce e una discreta quantità di resti di fauna anche combusta. Nella camera interna sulla paleosuperficie sono state rilevate alcune aree arrossate termo-combuste, US 2, forse esito di ripetuti episodi di accensione di fuochi. Nell'angolo nord-ovest della camera è presente una concentrazione di pietre di medie e grandi dimensioni, che sembra delimitare un'area di accumulo intenzionale. Un piccolo sondaggio all'interno della concentrazione delle pietre, ha permesso di distinguerne un livello superficiale, US 4 = US 17 (più recente), e uno sottostante, US 18, nel quale le stesse erano cementate fra loro da spesse concrezioni. Tra le pietre concrezionate del livello US 18 sono stati rinvenuti numerosi frammenti ceramici, alcuni dei quali di considerevoli dimensioni, appartenenti a forme parzialmente ricostruibili, e una discreta quantità di resti di fauna.

La parte più profonda della grotta ad oggi indagata è costituita da uno stretto cunicolo che continua verso sud, oltre la camera, ostruito da un sedimento di origine antropica con presenza di carboni, fauna e frammenti ceramici, che sembrerebbe quello proveniente dalla camera, trascinato e percolato verso il basso a seguito degli episodi alluvionali che hanno interessato la parte più esterna della grotta. Lo stato attuale della ricerca non permette al momento di ipotizzare l'eventuale prosecuzione dei livelli di frequentazione della grotta oltre al cunicolo. Da quanto fino ad oggi accertato la frequentazione della grotta è riconducibile ad un unico orizzonte databile sia sulla base dei dati archeologici che in cronologia assoluta tra la fine dell'Età del Rame e l'inizio dell'Età del Bronzo Antico.



### Il rilievo 3D tramite fotogrammetria

Durante le due campagne di scavo è stato svolto anche il rilievo 3D dell'intera area di indagine che ha consentito di ottenere un modello tridimensionale della cavità esplorata.

Il rilievo è stato effettuato nel corso delle due campagne di scavo e, oltre a riprodurre l'intera superficie interna della cavità, ha riprodotto anche le superfici archeologiche messe in luce nel corso dello scavo.

La metodologia utilizzata per il rilievo è quella della fotogrammetria non calibrata *image-based*, che consente l'acquisizione di un qualsiasi oggetto o contesto reale e la sua trasposizione in ambiente digitale, sotto forma di modello tridimensionale realistico e metricamente corretto.

Negli ultimi anni la tecnica di acquisizione fotogrammetrica si sta facendo sempre più spazio in ogni ambito legato al rilievo territoriale, soprattutto a seguito del recente sviluppo dei droni o UAV e, recentemente, anche in ambito archeologico sta trovando un fertile terreno di applicazione.

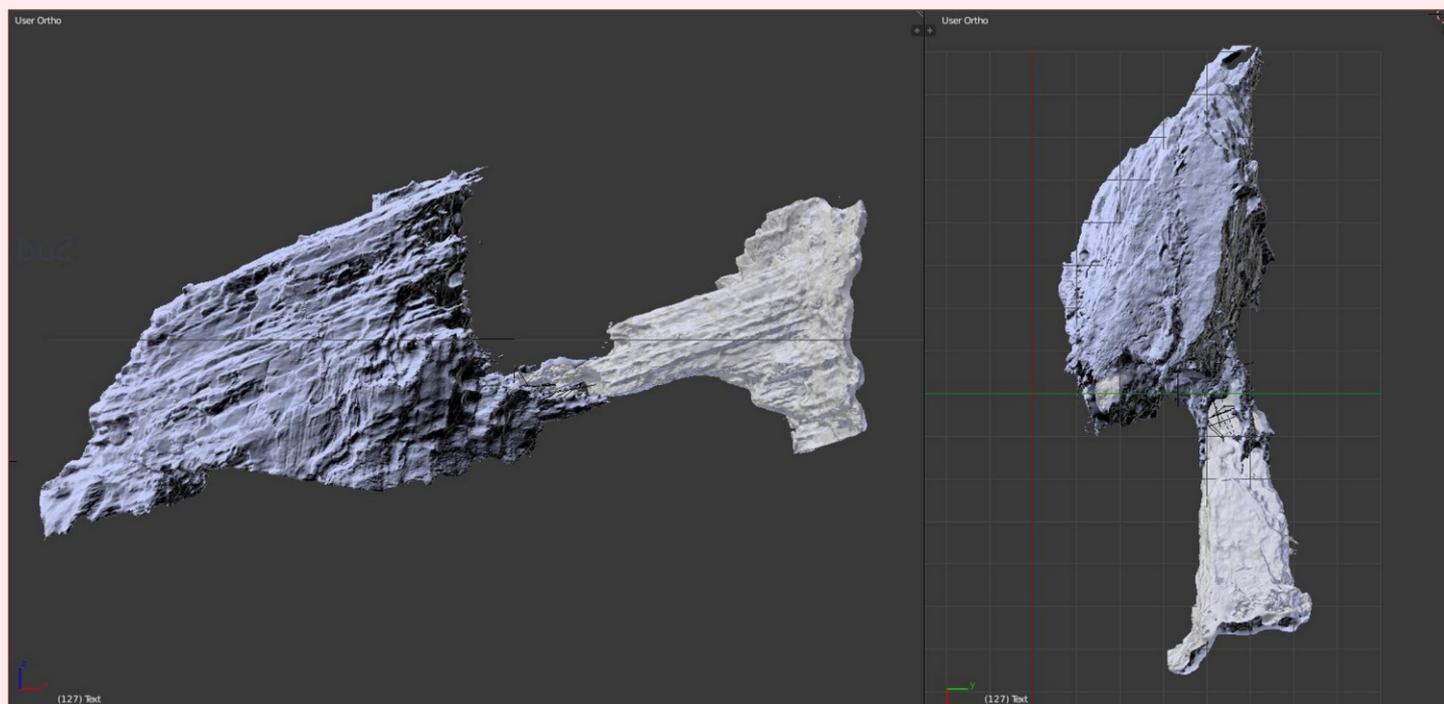
Il procedimento si basa sull'estrapolazione della geometria tridimensionale del dato a partire da una serie d'immagini bidimensionali effettuate da punti di ripresa differenti e con un'ampia area di sovrapposizione tra esse.

L'ottenimento di un modello 3D geometricamente corretto è vincolato all'acquisizione di alcuni punti fissi, materializzati sul terreno tramite target di riferimento, di cui si conosca la corretta posizione tridimensionale nello spazio mediante coordinate note. Il rilievo si svolge sul campo attraverso l'acquisizione di serie di immagini cui segue la battuta dei target sul terreno, per la restituzione dei punti di vincolo con coordinate note, tramite Stazione Totale e/o sistema GNSS topografico.

Una volta raccolto il set di immagini l'elaborazione delle stesse avviene attraverso quattro fasi distinte e consequenziali.

La prima consiste nell'elaborazione tramite algoritmi SFM (*Structure From Motion*), nella quale vengono estratti i punti notevoli dalle singole foto, che vengono collimati fra loro e infine restituiti nelle corrette coordinate geometriche sotto forma di nuvola sparsa. Nella fase successiva, tramite l'inserimento delle coordinate note relative ai target di ancoraggio o *Ground Control Points*, i punti della nuvola sparsa vengono georeferenziati nello spazio e viene quindi creata la nuvola di punti densa, contenente

*Figura 7. Rilievo 3D della grotta, da fotogrammetria - Rilievo M. Tremari*



*Foto 10. Il meticoloso lavoro di raccolta del set immagini fotografiche e la battuta del target su pavimento e pareti - Foto M. Pozzo*

la corretta geometria tridimensionale del modello acquisito. In seguito avviene il passaggio dalla nuvola di punti densa a modello tridimensionale vero e proprio, tramite triangolazione e ricostruzione geometrica della sua superficie.

L'ultima fase consiste nell'applicazione di una texture fotografica reale sulla geometria del modello tridimensionale per riportare su esso anche il dato immagine.

Dal modello così elaborato, contenente il dato geometrico e spaziale corretto, a questo punto è possibile estrarre una serie di dati derivati che consistono soprattutto in ortofotopiani, piani quotati, curve di livello e profili altimetrici di superfici o sezioni.

Nel caso in oggetto la metodologia illustrata è stata applicata dall'inizio alla fine dei lavori, ottenendo un modello tridimensionale digitale georeferenziato per ogni fase di scavo a seguito di ogni unità stratigrafica rimossa.

La prima operazione sul campo ha riguardato il posizionamento nella camera d'ingresso di 11 target fissi codificati, materializzati su supporto cartaceo plastificato, fissati tramite chiodi da roccia sul piano, sulle pareti e sulla volta.

Oltre ai target per il rilievo fotogrammetrico posti all'interno, sono stati posizionati anche una serie di chiodi topografici esternamente alla grotta, finalizzati al posizionamento topografico generale dell'intero complesso.

Le coordinate assolute X, Y, Z, sono state ottenute tramite battute di punti effettuate, internamente con Stazione Totale e esternamente tramite sistema GNSS topografico.

Nella camera sono stati posizionati lungo le pareti e sulla superficie, durante la seconda campagna di scavo, ulteriori 11 target codificati che sono stati agganciati a quelli esistenti, andando a costituire una rete totale di 22 punti di controllo.

Una volta creata e rilevata la rete di punti di vincolo è stato possibile effettuare l'acquisizione fotografica delle intere aree interessate dal rilievo. Le battute fotografiche sono state ovviamente condizionate dall'inevitabile illuminazione artificiale in entrambi gli ambienti e da alcune oggettive difficoltà di ripresa, soprattutto lungo lo stretto e angusto corridoio di passaggio tra l'ingresso e la camera interna. In generale si è operato tramite camera reflex con immagini riprese in HDRI, sia tramite asta, sia direttamente da terra.

Per la creazione del modello generale, la prima acquisizione di 272 immagini è stata effettuata durante la campagna del 2015, mentre la seconda, di 350 immagini, durante quella del 2017. Altre acquisizioni di dettaglio sono state effettuate man mano che venivano asportate le unità stratigrafiche scavate, per ottenere modelli digitali virtuali di singoli contesti individuati.

I due set principali di immagini hanno permesso di creare due modelli 3D indipendenti, uno per la zona di ingresso e uno per la camera interna che, solo successivamente, sono stati uniti in un unico modello generale.

L'unione dei due modelli indipendenti è stata possibile tramite il posizionamento di 6 target comuni ai due set di scatti, posti lungo il piccolo corridoio di passaggio che mette in comunicazione i due ambienti.

Il modello generale creato è così costituito da una nuvola di punti densa composta da 62.787.103 di punti, dalla quale è stato possibile ottenere una mesh con superfici triangolari e infine un

modello 3D texturizzato, georeferenziato, in scala e completamente fedele alla realtà. I passaggi per la creazione e la gestione del modello tridimensionale finale della grotta sono stati effettuati utilizzando quattro differenti software di elaborazione e gestione dati 3D (Agisoft Photoscan, Cloud Compare, MeshLab e Blender).

A seguito dell'ottenimento del modello 3D generale si sono potuti ricavare numerosi dati come ortofotopiani, profili e piani quotati delle superfici interessate. Questi ultimi sono stati esportati e gestiti direttamente all'interno di un ambiente GIS (QGIS) per la vettorializzazione e l'estrapolazione di tutti gli elementi significativi e utili alla creazione del rilievo archeologico di fase e delle sezioni generali di scavo.

Il modello tridimensionale ottenuto, oltre che da supporto a tutte le indagini scientifiche consentirà di effettuare animazioni e filmati finalizzati alla valorizzazione e alla divulgazione dell'intero contesto.

La possibilità di disporre del modello virtuale degli ambienti indagati, permette infatti di avere uno strumento efficace per ottenere visite e accessi al contesto da parte di chiunque e per conservare il dato scientifico indagato nel modo più fedele e oggettivo possibile.

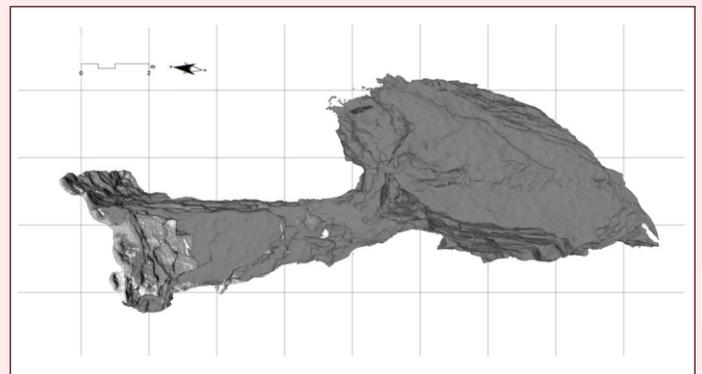
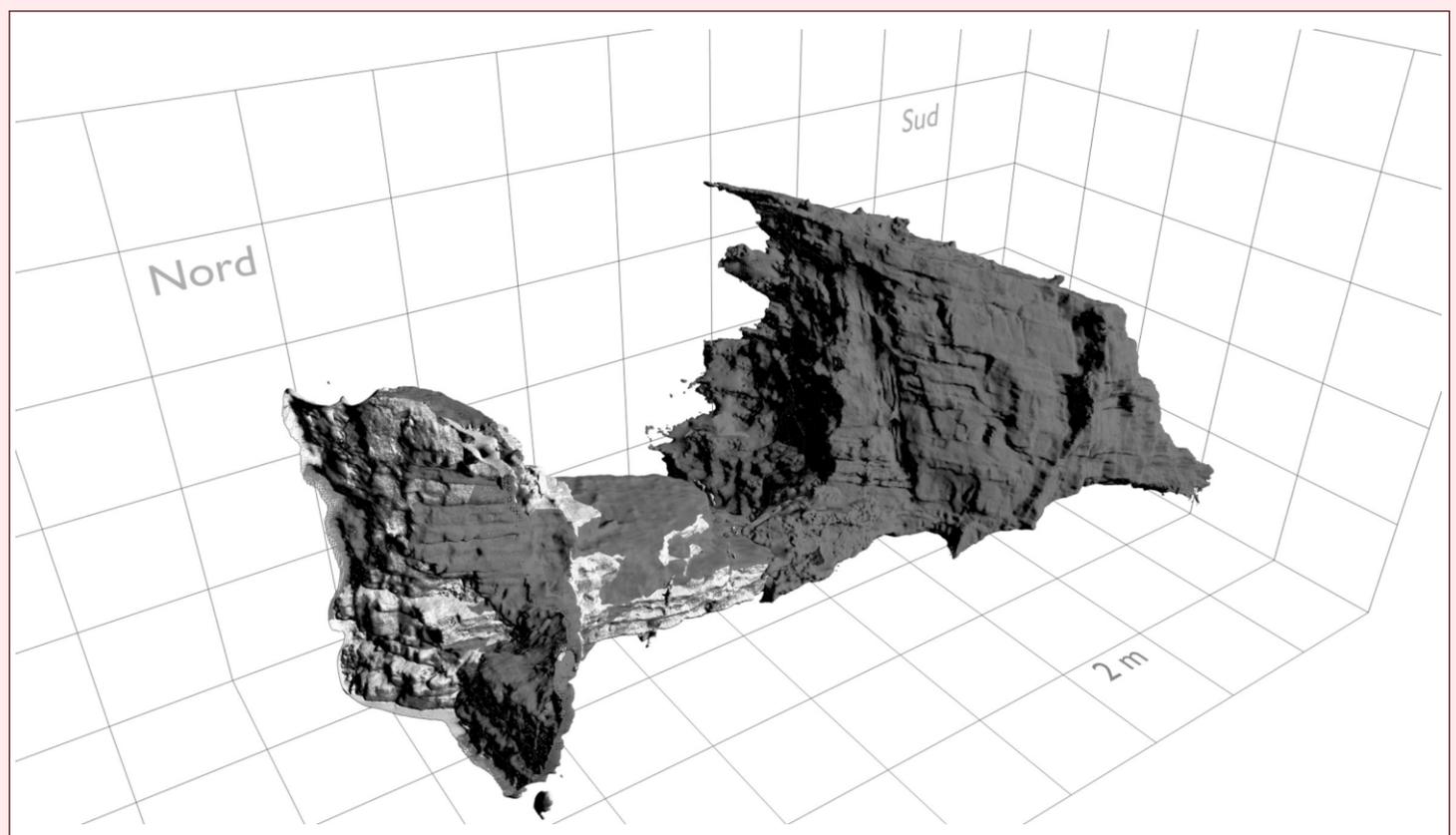


Figura 8. Rilievo 3D della grotta, da fotogrammetria - Rilievo M. Tremari  
Figura 9. Rilievo 3D della grotta, in prospettiva e orientato Nord-Sud - Rilievo M. Tremari



### I materiali

I materiali archeologici raccolti nella grotta, come già accennato, contemplano recipienti ceramici frammentari e scarsi manufatti di selce. Il complesso ceramico è ancora in corso di studio [6], ma si possono comunque fornire alcune informazioni del tutto preliminari. Il primo reperto a venire alla luce è stato un piccolo boccale ansato, forse in origine integro e accidentalmente frammentato durante l'ingresso nella grotta. La particolare forma del corpo, globulare con il collo distinto, ha immediatamente permesso di collocarlo all'inizio dell'età del Bronzo, che in Italia settentrionale è collocata attorno al 2200 a.C. La datazione fatta in un primo momento solo su base tipologica deve essere riconsiderata alla luce della datazione radiocarbonica ottenuta da un campione di carbone di legna proveniente da US 8, 2580 BC (95.4%) 2300 BC cal.  $2\sigma$ , che invece lo colloca alla fine dell'età del Rame [7].

Questa collocazione cronologica comunque non è da scartare alla luce della riflessione in corso sul tema della continuità culturale tra la fine dell'età del Rame e le fasi più antiche dell'età del Bronzo [8]. In particolare, le forme dei boccali, che costituiscono attualmente il fossile guida per la suddivisione cronologica dell'Antica età del Bronzo, e della Cultura di Polada, potrebbero svolgere un ruolo determinante per la revisione cronologico-culturale della fine della Preistoria. In questo senso il sito di Altro Pianet, in cui è attestata per ora un'unica fase di frequentazione e in quanto contesto "chiuso", potrebbe svolgere un ruolo fondamentale.

Fra la ceramica raccolta nel corso delle indagini archeologiche è stato ricostruito un grosso boccale a corpo globulare e a collo distinto, decorato sulla spalla con cordoni che formano un



Foto 11. Due boccali restaurati - Foto C. Longhi

motivo a triangoli, e almeno di altri 2 boccali frammentari di piccole dimensioni. Tutti i boccali ad oggi individuati sono accomunati dalla presenza di un'ansa a gomito sormontata da un'appendice a bottone, o a tronco di cono, e da impasti semidepurati. Sono inoltre stati raccolti anche piccoli frammenti di vasi di impasto grossolano e di grandi dimensioni.

Contrariamente a quanto accade negli altri siti di questo periodo, il complesso degli strumenti di selce e di schegge di lavorazione è molto scarso: solo due strumenti sono classificabili come elementi che costituivano il tagliente di un coltello messorio o falchetto. Il quadro delle tracce lasciate dalla frequentazione umana del sito è completato da resti di fauna, semi e frustuli di carbone. Gli studi futuri saranno in grado di definire meglio se la

Foto 12. Particolare dei due boccali restaurati - Foto C. Longhi





Foto 13. L'archeologo durante la lunga fase di scavo, trascorre giornate intere all'interno della grotta - Foto V. Franchini

fauna presente nella grotta sia riconducibile a una frequentazione a scopo di ricovero o si tratti, come più probabile, di resti di pasto [9]; così come la presenza di semi e legna carbonizzata potrà dare un quadro del paesaggio antico e chiarire il ruolo dei vasti piani scottati ritrovati all'interno della camera.

### Discussione

Ad oggi è ancora troppo presto per formulare ipotesi attendibili sulla natura della frequentazione umana della grotta, possiamo però proporre alcune riflessioni alla luce dei dati ad oggi analizzati. E' possibile in primo luogo affermare che Altro Pianet non può essere annoverato tra le molte grotticelle sepolcrali dell'età del Rame che caratterizzano il territorio bergamasco, i resti ossei raccolti sembrano essere tutte riferibili ad animali. La

grotta potrebbe dunque essere stata un luogo di riparo temporaneo, come sembrano indiziare l'accensione dei fuochi, la presenza di ceramica destinata alla conservazione e alla consumazione del cibo e i semi. Questa interpretazione è però messa in dubbio dalla difficile accessibilità della camera interna, poiché anche nell'età del Bronzo era necessario strisciare alcuni metri per passare dal corridoio di ingresso alla grotta vera e propria, e dalla scarsità del materiale archeologico in generale e soprattutto dei manufatti in selce.

Una terza ipotesi, da verificare con le future analisi, potrebbe essere che il sito fosse un luogo dedicato al culto delle acque: il fatto che i boccali, recipienti dedicati al contenimento dei liquidi, siano stati ritrovati prevalentemente concentrati nell'angolo delimitato dalla stesura di pietre, nel punto di maggior stillicidio potrebbe confortare questa tesi [10]. Inoltre essi erano rotti in grossi frammenti ricomponibili, indizio che in origine dovevano essere integri, contrariamente agli altri reperti ceramici molto frammentari e incompleti; non sembrano dunque far parte dei "rifiuti" che compongono i depositi archeologici. La risposta verrà dal proseguire degli studi, quello che è certo è che la scoperta del sito archeologico di Altro Pianet riveste per molti versi un carattere di eccezionalità: eccezionali sono state le circostanze della scoperta. Se non è raro infatti che un sito in grotta venga ritrovato da speleologi, raramente chi entra è in grado di realizzare immediatamente di trovarsi in un sito archeologico e, soprattutto, di comprenderne la grande fragilità. Va dato merito a coloro che per primi sono entrati, riconosciuta l'antichità del recipiente, di avere interrotto l'esplorazione e di avere avvisato le autorità, consentendo un'immediata azione di tutela e di ricerca, garantendo così la massima conservazione possibile delle evidenze. Raro è anche lo stato di conservazione del sito: gli apporti alluvionali, che avevano obliterato l'ingresso



Foto 14. Altro Pianet: l'area dedicata al setaccio del materiale di scavo proveniente dalle varie sezioni indagate dagli archeologi - Foto M. Pozzo

della cavità e che avevano solo parzialmente ricoperto il paleosuolo, hanno consentito una conservazione ottimale del contesto, evitando ad Altro Pianet la sorte di molte grotte del territorio bergamasco in cui l'intensa frequentazione antropica nel corso del tempo hanno nel tempo distrutto le tracce più antiche. Inusuale è stata anche la sinergia di forze che si sono concentrate nelle attività di ricerca: la possibilità di intervenire tempestivamente dell'ufficio di tutela grazie ad una fortuita, quanto rara, disponibilità economica; la grande passione e interesse mostrato dalla comunità locale che ha sostenuto le ricerche; il lavoro di grande qualità professionale della ditta archeologica che ha condotto gli scavi, in grado di effettuare anche il rilievo illustrato in questo contributo; la passione e l'alto senso civico dei volontari speleologi hanno consentito di raggiungere un obiettivo che è anche il punto di partenza per restituire al pubblico uno spaccato di storia di 4000 anni fa.

### Riferimenti aggiuntivi al testo

[1] "Storia Economica e Sociale di Bergamo I. I primi millenni. La preistoria" Cenate Sotto, 2007, saggi di S. Chiesa e R. Poggiani Keller.

[2] Per una descrizione archeologica puntuale dei due siti si rimanda alle numerose pubblicazioni in merito in particolare per il Canton di Trescore Balneario: R. Poggiani Keller, Il sito del Canton di Trescore Balneario (BG) fra Neolitico Medio ed età del Rame, in Bianchin Citton E. (a cura di), L'area funeraria e culturale dell'età del Rame di Sovizzo nel contesto archeologico dell'Italia settentrionale, "Quaderni di Archeologia, n. 1, Vicenza, 2004, pp. 103-122; per il la Buca del Corno di Entratico: R. Poggiani Keller, Contesti di recente indagine nella Lombardia prealpina, tra tardo Neolitico e prima età del Rame, in Atti del Convegno Il declino del mondo neolitico. Ricerche in Italia centro-settentrionale fra aspetti peninsulari, occidentali e nord-alpini, Pordenone 5-7 aprile 2001, a cura di A. Ferrari, P. Visentini, "Quaderni del Museo Archeologico del Friuli occidentale", 4, 2002, pp. 271-289.

[3] R. Poggiani Keller, Lovere (Bergamo): una sequenza stratigrafica esemplare dal Neolitico Antico al Bronzo Finale in area prealpina, "Rivista di Scienze Preistoriche", L, 1999-2000, Firenze, pp. 297-374. A. Ferrari, A. Pessina, P. Visentini, Il Coren Pagà di Rogno (Alto Sebino, Bergamo), in Atti del Convegno Il declino del mondo neolitico. Ricerche in Italia centro-settentrionale fra aspetti peninsulari, occidentali e nord-alpini, Pordenone 5-7 aprile 2001, a cura di A. Ferrari, P. Visentini, "Quaderni del Museo Archeologico del Friuli occidentale", 4, 2002, pp. 335-347.



Foto 16. Parte inferiore di vaso in ceramica - Foto V. Franchini



Foto 16. Campioni di semi carbonizzati, che verranno esaminati e studiati in seguito da specialisti paleobotanici - Foto V. Franchini

[4] Progetto Sebino è un'associazione di diversi gruppi speleologici, nata su idea di M. Pozzo nel 2006 e costituitasi poi come gruppo speleologico, e con scopo principale lo studio idrogeologico dell'area del Sebino Occidentale (Bg), che tutt'ora prosegue con interazione da parte di enti locali e di gestione delle acque. Underland nasce nel 2017 sempre su idea di M. Pozzo e persegue attraverso il Progetto Disperse Acquae i medesimi obiettivi di ricerca, più orientati sul versante della struttura che volge verso la Val Cavallina, con la sorgente Acqua Sparsa come principale esutore.

[5] Il primo sondaggio, effettuato a seguito della segnalazione avvenuta il 18 marzo 2015, e la prima campagna di ricerca sono stati effettuati con fondi del Ministero dei Beni Culturali, la seconda campagna è stata sostenuta dal Comune di Grone e dalla Fondazione Comunità Bergamasca. La direzione scientifica dello scavo è stata della Soprintendenza Archeologia della Lombardia (dott.ssa Cristina Longhi), operanti sul campo la ditta archeologica SAP s.r.l. (dott. Nicola Cappelozza, dott. Marco Redaelli e dott. Marco Tremari), gli Speleologi di Progetto Sebino (in particolare Massimo Pozzo e Maurizio Greppi) e dott. Matteo Malzanni, ispettore onorario della Soprintendenza.

[6] Lo studio dei materiali archeologici è in corso da parte della dott.ssa Claudia Mangani e della scrivente, Cristina Longhi.

[7] E' in programma la datazione assoluta di un altro campione – un seme - per escludere che la data non possa essere risultata più antica per l'effetto "oldwood" possibile sui frammenti di legno, e cioè che la data di abbattimento dell'albero sia più antica del momento in cui il campione si è depositato nella stratigrafia.

[8] R. Perini, Gli scavi nel Lavagnone. Sequenza e tipologia degli abitati dell'età del Bronzo, in Annali Benacensi, 9, pp. 109-154; G. Leonardi, M. Baioni, M. Cupitò, C. Longhi, N. Martinelli, Northern Italy around 2200 BC. From copper to early bronze age: continuity and/or discontinuity?, in 2200 BC - A climatic breakdown as a cause for the collapse of the old world?, Halle, 2015, pp. 283-304.

[9] La fauna del sito è in studio da parte del prof. Umberto Tecchiati dell'Università degli Studi di Milano. Un punto da chiarire sarà sicuramente la collocazione cronologica dei numerosi ossi raccolti nel sito, la grotta è stata infatti frequentata nel tempo da piccoli roditori, e forse volpi, fatto reso evidente dalla presenza di patine differenti sugli ossi raccolti.

[10] Sempre in territorio bergamasco è il sito della Tomba dei Polacchi, una grotta la cui stratigrafia è andata in parte distrutta dalle esplorazioni speleologiche ma che ha restituito la testimonianza di un recipiente posto a raccogliere lo stillo di una stalattite e contenente un metatarso di pecora: R Poggiani Keller, Grotta Tomba dei Polacchi (Rota d'Imagna, in Annali benacensi, 5, 1979, p. 173-182.

**Riferimenti bibliografici**

Cappellozza N. (2015), "Nota sull'indagine preliminare al deposito archeologico della grotta "Altro Pianet", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, Nota preliminare: 1;

Ferrari A., Pessina A., Visentini P. (2002), "Il Coren Pagà di Rogno (Alto Sebino, Bergamo)", in: Il declino del mondo neolitico. Ricerche in Italia centro-settentrionale fra aspetti peninsulari, occidentali e nord-alpini, Atti del Convegno, Pordenone 5-7 aprile 2001, A. Ferrari, P. Visentini (a cura di), "Quaderni del Museo Archeologico del Friuli occidentale", 4, 2002: 335-347.

Guidi G., Russo M., Beraldin J.A. (2010), "Acquisizione 3D e modellazione poligonale". Milano;

Forte M., Campana S. (2016), "Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Archaeology in the Age of Sensing". Cham;

Leonardi G., Baioni M., Cupitò M., Longhi C., Martinelli N. (2015), "Northern Italy around 2200 BC. From copper to early bronze age: continuity and/or discontinuity?", in 2200 BC – A climatic breakdown as a cause for the collapse of the old world?, Halle, 2015: 283-304;

Perini R. (1988), "Gli scavi nel Lavagnone. Sequenza e tipologia degli abitati dell'età del Bronzo", Annali Benacensi 9: 109-154

Poggiani Keller R. (1979), "Grotta Tomba dei Polacchi. Rota d'Imagna", Annali benacensi 5: 173-182;

Poggiani Keller R. (2000), "Lovere (Bergamo): una sequenza stratigrafica esemplare dal Neolitico Antico al Bronzo Finale in area prealpina", in: Rivista di Scienze Preistoriche L, 1999-2000,

Firenze: 297-374;

Poggiani Keller R. (2002), "Contesti di recente indagine nella Lombardia prealpina, tra tardo Neolitico e prima età del Rame", in: Il declino del mondo neolitico. Ricerche in Italia centro-settentrionale fra aspetti peninsulari, occidentali e nord-alpini, Atti del Convegno, Pordenone 5-7 aprile 2001, A. Ferrari, P. Visentini (a cura di), "Quaderni del Museo Archeologico del Friuli occidentale", 4, 2002: 271-289;

Poggiani Keller R. (2004), "Il sito del Canton di Trescore Balneario (BG) fra Neolitico Medio ed età del Rame", in Bianchin Citton E. (a cura di), L'area funeraria e culturale dell'età del Rame di Sovizzo nel contesto archeologico dell'Italia settentrionale, "Quaderni di Archeologia 1", Vicenza: 103-122;

Redaelli M. (2015), "Grone, Altro Pianet, località Sant'Antonio – Indagine Preliminare", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, Relazione Archeologica - Campagna 6-24 Novembre 2015: 1-12;

Russo M., Remondino F., Guidi G. (2011), "Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico", in Archeologia e Calcolatori 22: 169-198;

Torres J.C., Arroyo G., Romo C., De Haro J. (2012), "3d digitization using Structure From Motion", in Navazo G. Patow (eds.), XXII Spanish Computer Graphics Conference, CEIG 2012 (Jaen, Spain, September 12-14, 2012): 1-10;

Tremari M. (2017), "Grone, Altro Pianet, località Sant'Antonio – Indagine Archeologica", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, Relazione Archeologica - Campagna 7-16 Giugno 2017: 1-15.



Figura 10. Altro Pianet: ricostruzione grafica 3D della camera interna, da fotogrammetria, con il livello di frequentazione preistorica messi in luce - Grafica M. Tremari

# Val Giongo

## La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia: novità sulla storia più antica della bassa Valle Brembana (Bergamo - Bg)

Nicolò Falgari (a), Cristina Longhi (b), Marco Redaelli (c)

a) Underland, (b) Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, (c) SAP s.r.l.

2020 - 2021

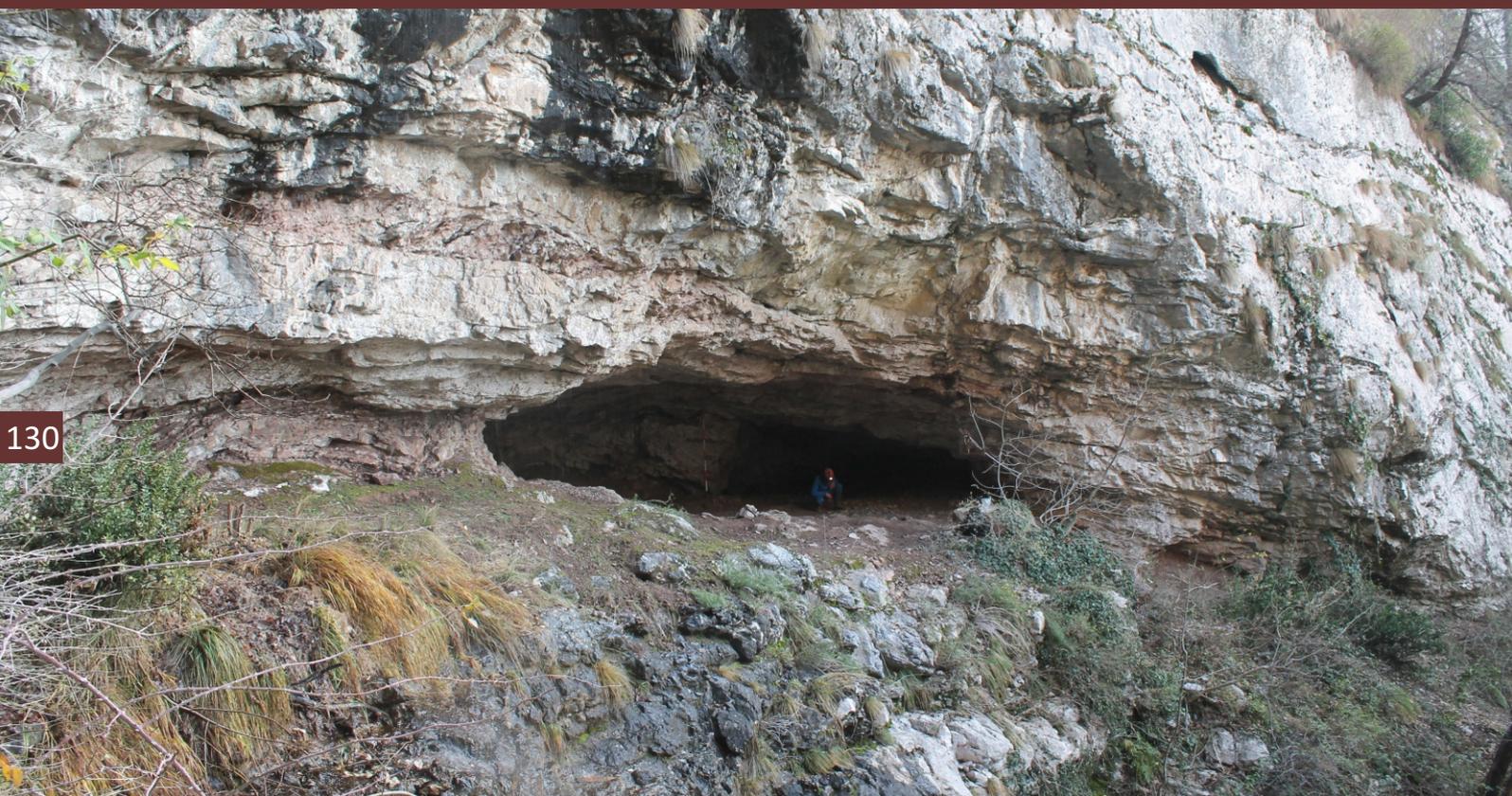


Foto 1. Val Giongo (Bg): Grotta Antroide - Foto M. Redaelli

### Riassunto

La valle del Giongo è poco distante dalla Città di Bergamo in direzione nord, posta trasversalmente tra l'imbocco delle Valli Brembana e Seriana; priva di insediamenti è dominata dal monte Canto Alto (in passato noto con il nome di Pizzidente).

La valle si trova in un'area carsica e ha suscitato interesse speleologico vista la presenza di numerose cavità.

Anche il gruppo di ricerca speleologica Underland ha proceduto a rivedere cavità già note e nell'occasione ha individuato nuove grotte che hanno evidenziato interesse non solo speleologico ma anche archeologico.

Underland ha supportato per l'aspetto archeologico la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Bergamo e Brescia, nelle attività di tutela e salvaguardia partecipando a una prima ricognizione dei siti archeologici.

La segnalazione dei primi ritrovamenti da parte di N. Falgari (Underland), risale al 9 maggio 2020 durante una perlustrazione alla base della parete detta «Salt del Diaol».

È stata individuata una cavità di notevoli dimensioni e al suo interno numerosi frammenti di ceramica. A seguito di questo primo ritrovamento e successivi, si è potuto constatare che l'area di interesse archeologico è più ampia del previsto, poiché le grotte con frequentazione antica si sono rivelate numerose in tutta la Valle.

I ritrovamenti e le connesse indagini archeologiche hanno interessato le cavità denominate Antroide, Binocolo, Geragni, Le Blanc e Linea 78 e le aree immediatamente adiacenti.

Il contributo comprende i contenuti inseriti nella sezione «Poster», presentata durante lo svolgimento del Congresso, e la versione più estesa dell'approfondimento di indagine, pubblicata sul N. 20 della collana «Quaderni Brembani», edita dal Centro Culturale Valle Brembana «Felice Riceputi», e stampata nel novembre 2021.



Figura 1. La Valle del Giongo tra la pianura e l'imbocco della Valle Brembana. La freccia indica il canto Alto (Geoportale Regione Lombardia)

### La Valle del Giongo e le sue grotte (N. Falgari)

Poco distante dalla città di Bergamo all'imbocco della Val Brembana, sul lato sinistro idrografico del fiume Brembo, si trova la Valle del Giongo, una valle incontaminata e scarsamente insediata. La Valle si estende per circa 4 km con orientamento E-W seguendo l'assetto delle stratigrafie rocciose Giurassiche e Cretaciche presenti, visibili con grandi affioramenti rocciosi, all'estremità Est vi è il monte Canto Alto, lungo le cui pendici nasce il torrente Giongo.

Il Canto Alto (noto in passato con il nome di Pizzidente) con un'altitudine di 1.146 m è la vetta più alta: da qui è possibile avere un'ampia visione della pianura circostante.

Scendendo lungo la dorsale a Nord della Valle del Giongo si incontra la Corna dell'Uomo (972 m) dalla cui vetta è possibile vedere il paese di Zogno, sovrastato dall'imponente e famosa sinclinale/anticlinale della Corna Rossa.

Proseguendo verso Ovest si trovano i Prati Parini (780 m) per poi arrivare a Mediglio (482 m) una piccola frazione di Sedrina, dove il torrente Giongo si immette nel fiume Brembo.

Percorrendo la dorsale sud si incontra il Monte Lumbric (829 m),

dalla cui vetta è possibile scorgere in lontananza la Città di Bergamo. Alle sue pendici si trova il paese di Sorisole. Sempre verso Ovest si trovano il Monte dei Giubilini (596 m) e poi il Monte Giacomina (608 m) punto in cui la dorsale discende formando una sella in frazione Bruntino di Villa d'Almè per poi risalire sul Monte Bastia (411 m) (Figura 1 e Foto 2).

La Valle del Giongo ricopre un elevato interesse dal punto di vista geologico in quanto si colloca nella struttura geologica nota come Flessura Pedemontana, che in questo punto è costituita da una successione di pieghe anticlinali e sinclinali alterne associate a faglie inverse (con direzioni comprese tra E-W e ESE-WNW) e piani assiali delle pieghe e piani di faglia da mediante immergenti verso nord a subverticali, tramite cui le formazioni giurassiche si accavallano in direzione sud al disopra di quelle del Cretacico Inferiore, a loro volta ricoperte da quelle del Cretacico Superiore.

Le sue caratteristiche geologiche definiscono la Valle del Giongo come «area carsica» (Foto 3); si osservano qui numerosi affioramenti litologici di natura calcarea come la Maiolica, il Sass de la Luna, il calcare di Domaro e il calcare di Moltrasio, che hanno determinato sia un processo di carsismo superficiale (epigeo) testimoniato dalla presenza di campi solcati (Karren), vaschette di corrosione, doline e da inghiottitoi (visibili in tutto il territorio), sia un carsismo sotterraneo (ipogeo) che ha dato vita a forme più complesse come grotte, cunicoli e antri.

Questi ultimi si formano per l'effetto di precipitazioni o per la presenza di corsi d'acqua sotterranei che, modellando e scavando, originano complessi carsici di grande interesse dal punto di vista speleologico. Per questo motivo la Valle del Giongo è divenuta uno dei centri degli interessi del gruppo speleologico "Underland", che negli ultimi anni ha proceduto alla ri-esplorazione di cavità già note e alla scoperta di nuove cavità, raccogliendo dati di interesse regionale.



Foto 2. La Val Giongo vista dalla grotta Binocolo - Foto N. Falgari

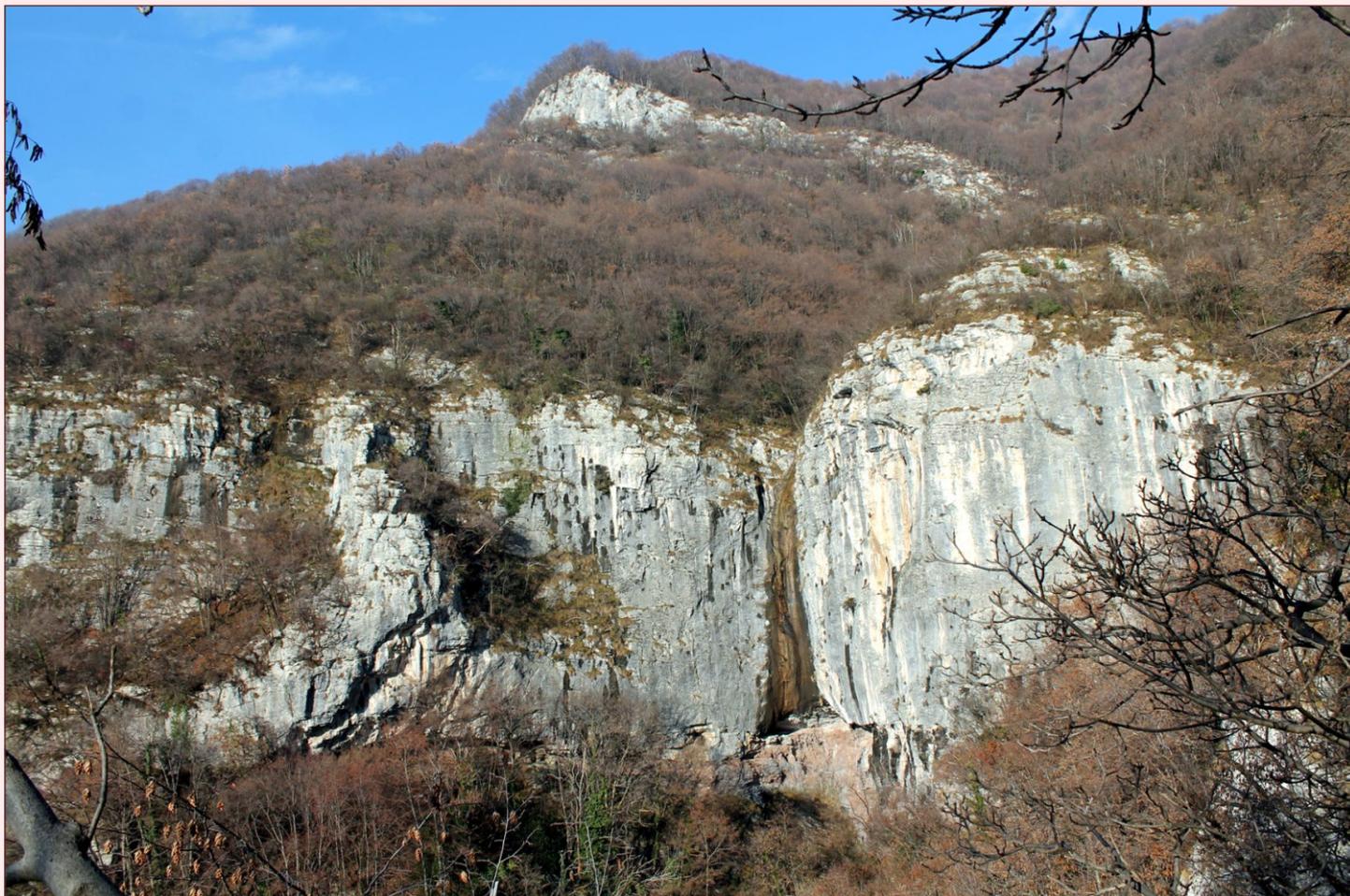


Foto 3. Le formazioni di Maiolica che caratterizzano la Valle - Foto M. Redaelli

Fra le scoperte più rilevanti possiamo citare:

- **Giubilea (LoBg 7202)**: cavità orizzontale formatasi all'interno del Sass de la Luna, con uno sviluppo complessivo di 1,3 Km che la rende attualmente la grotta più sviluppata dell'area di nostro interesse. Al suo interno presenta un percorso acquifero.
- **En?gma**: grotta verticale formatasi all'interno della Maiolica con uno sviluppo complessivo di 800 m, presenta una struttura ramificata con cunicoli che si intersecano in più riprese.

Questa cavità molto probabilmente faceva parte di un sistema complesso con vie d'acqua sotterranee, ma il probabile abbassamento dei livelli di falda, la ha trasformata in una grotta fossile.

- **Fontanù (LoBg 1092)**: grotta orizzontale formatasi all'interno della Maiolica con uno sviluppo complessivo di 450 m, in cui si trova una sorgente perenne. Conosciuta inizialmente per uno sviluppo totale di 30 m, a seguito delle nuove esplorazioni si è riusciti ad ampliarne gli sviluppi.
- **Tamba di Val Giongo (LoBg 1080)**: grotta orizzontale che si è

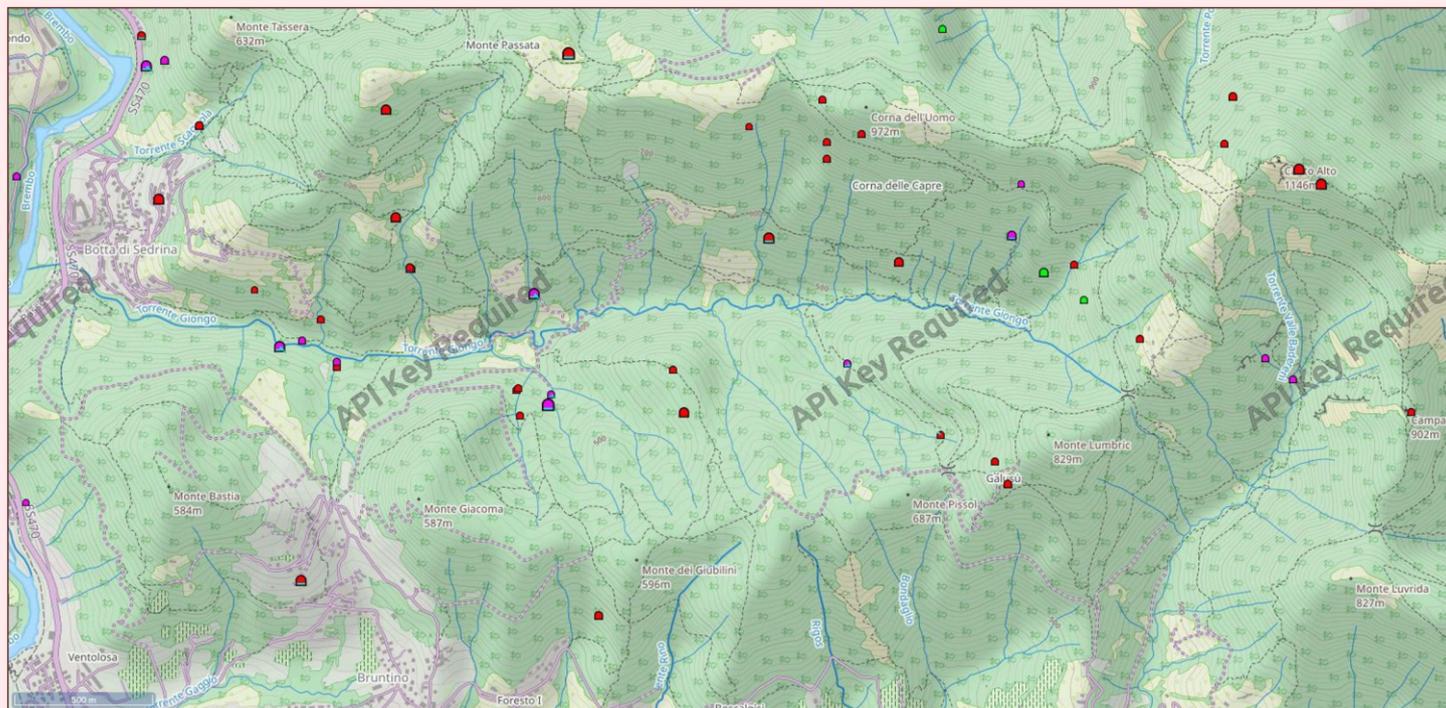


Figura 2. Localizzazione delle grotte della Valle del Giongo (Catasto Speleologico Lombardo)

formata all'interno della Maiolica con uno sviluppo complessivo di 450 m. Il corso d'acqua al suo interno forma due laghetti. D'estate si può avvertire nettamente il flusso d'aria gelida che fuoriesce ed è anche possibile percepirlo da una notevole distanza dall'ingresso.

Oltre a queste sono state ritrovate altre cavità di importanza minore a livello speleologico, poichè di limitata estensione, ma interessanti sotto altri aspetti (Figura 2).

*Il giorno 9 maggio 2020 nel corso di una perlustrazione, mi sono trovato casualmente di fronte ad un antro di notevoli dimensioni situato alla base della parete denominata "Salt del Diaol".*

*Constatato lo scarso interesse speleologico, osservai più approfonditamente la morfologia, in quanto sembrava idonea all'insediamento umano: infatti sul fondo dell'antro notai sulla superficie del terreno asciutto e polveroso qualcosa di strano, e raccolsi un oggetto. Dapprima mi sembrò un frammento di roccia simile a quelli presenti nella grotta, ma dopo averlo osservato nel dettaglio, compresi che si trattava di un frammento di ceramica. Con più attenzione individuai ulteriori frammenti sparsi su una piccola porzione di superficie della grotta pensando che "frammenti di ceramica delineano un frammento di storia". Questo indica come una grotta, che può sembrare di scarsa rilevanza per l'aspetto speleologico sia invece risultata rilevante in ambito archeologico; quindi è bene osservare un luogo con occhi diversi per trovare quello che altrimenti non saremmo in grado di vedere.*

*A seguito di questo primo ritrovamento ho indagato in altre cavità note constatando che l'area di interesse archeologico era più ampia del previsto poichè le grotte con reperti archeologici sono molte e in diversi punti della Valle.*

La segnalazione dei ritrovamenti alla Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia ha dato vita a un progetto di posizionamento e prima indagine dei siti archeologici presentata in questo articolo.



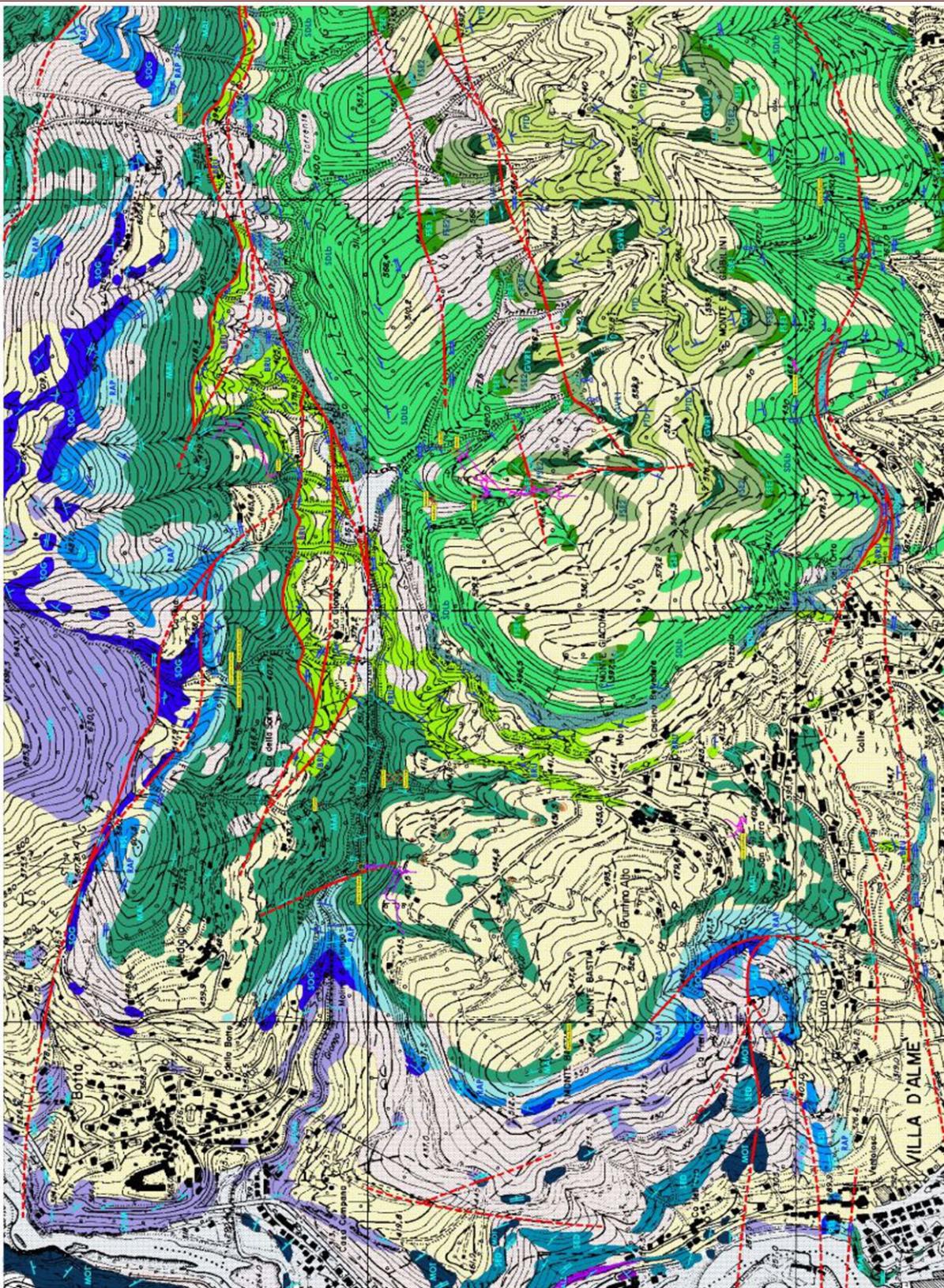
Foto 4. Grotta En?gma: il quarto pozzo in frattura - Foto L. Aimar

Foto 5 (sotto). Grotta En?gma: particolari morfologie nella formazione della Maiolica - Foto L. Aimar



CARTA GEOLOGICA DELLA BASSA MEDIA VAL GIONGO

UTM 32T WGS84  
550442E 5066623N



Rilievo: Marino Suardi Restituzione e elaborazione grafica: Marino Suardi, Claudio Forcella 05/04/2018

54732E 506836N

LEGENDA

LITOLOGIA E STRATIGRAFIA

COPERTURA QUATERNARIA

- QIV** Depositi eolivi-colluviali e costi di alterazione a matrice fine limo-argillosa con subordinati clasti
- QV** Deposito di versante o di fans con caso spigolati e blocchi, localmente cementati, matrice a sabbia alluvionale
- QVI** Depositi fluviali o di fancone alluvionale con ghiaie, sabbie e limi

SUBSTRATO MESOZOICO

- PTD** TORBIDITI DEL CRETACICO SUPERIORE
- GVR** FORMAZIONE DI GARNARO. Membro delle Padi. Ner. argill. grigio scuro e nero, con banchi shales, alternata a marna e arenaria fine
- FS2** FORMAZIONE DI SORSOLE. Bianco Cretaco. L. calcari chiari ad assetto caotico con parascandimenti
- FS1** FORMAZIONE DI SORSOLE. Marna Rossa: marna rosse con intercalari calcareni, calciluti e parascandimenti

DEPOSITI PELAGICI E CLASTICI DEL CRETACICO INFERIORE

- SD15** SASSE DE LA LIMBA. Litozone Superiore: calcareniti e calcari marinosi in sabbie e banchi calciluti e marna
- SD16** SASSE DE LA LIMBA. Litozone Inferiore: marna e marna calcarea
- BRU** MARNIA DI BRUNTINGO: argilli e marna argillosa varicolori con black shale areniti, marna e calcari marinosi anche in banchi
- MA10A** MARNIA DI MAOLIO: calciluti bianche, grigie o crema con noduli e lense di sabbie, interstrati marinosi, calcareniti, calciluti e parascandimenti

DEPOSITI POST RIFT DEL GIURASSICO SUPERIORE

- RAP** GRUPPO DEL SCLERPO LOMBARDO
- RS1** ROSO AD APRITE: alternanza di marna, calcari silicei e calcari calciluti
- RS2** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS3** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS4** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS5** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS6** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS7** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS8** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS9** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS10** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS11** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS12** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS13** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS14** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS15** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS16** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS17** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS18** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS19** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS20** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS21** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS22** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS23** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS24** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS25** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS26** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS27** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS28** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS29** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS30** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS31** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS32** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS33** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS34** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS35** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS36** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS37** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS38** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS39** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS40** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS41** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS42** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS43** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS44** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS45** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS46** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS47** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS48** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS49** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS50** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS51** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS52** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS53** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS54** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS55** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS56** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS57** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS58** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS59** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS60** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS61** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS62** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS63** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS64** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS65** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS66** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS67** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS68** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS69** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS70** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS71** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS72** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS73** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS74** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS75** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS76** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS77** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS78** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS79** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS80** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS81** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS82** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS83** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS84** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS85** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS86** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS87** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS88** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS89** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS90** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS91** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS92** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS93** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS94** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS95** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS96** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS97** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS98** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS99** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei
- RS100** ROSO AD APRITE: calciluti e calcari silicei

DEPOSITI PRE E SIN RIFT DEL GIURASSICO INFERIORE

- SOG** FORMAZIONE DI SOGNO: alternanza di calcari marinosi e marna di grigi, verdi e rossati e argilliti nere, con lense di sabbie
- CA10A** CALCARE DI DONNARDO: calciluti e calcari marinosi sciliceti grigio chiari con interstrati marinosi-argilliti grigi rossi o verdeggiati
- MOT** CALCARE DI MOTTA: calciluti e calcari marinosi sciliceti grigio scuro, calciluti, calciluti e calcari marinosi sciliceti grigio scuro
- SED** CALCARE DI SEDRINA: calcari micridi grigi e grigio scuro con sabbie nere e grigi parzialmente dolomitizzati, nella parte alta calcizzati
- AL2** FORMAZIONE DELL'ALBENIA: calcari micridi e calcareniti grigi o noccioli chiari in grossi banchi, localmente dolomitizzati

ELEMENTI LINEARI E ALTRI SIMBOLI

- Gliedure strati:**
- diriti:** [simbolo]
- inclinazione:** 3°25' 26-40° 41-55° 56-70° 71-85° 90°
- rovesciati:** [simbolo]
- Gliedure:** [simbolo]
- inclinazione:** 3°25' 26-40° 41-55° 56-70° 71-85° 90°
- Faglie e fratture:** [simbolo]
- Sovrascandimenti:** [simbolo]
- Grotte naturali:** con imbocco: [simbolo] orizzontale [simbolo] verticale [simbolo]
- Grotte naturali, proiezione sviluppo in pianta:** [simbolo]
- Doline:** [simbolo]
- Sorgenti:** non captate [simbolo] captate [simbolo]

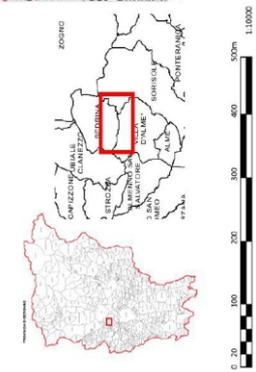


Figura 3. Carta geologica della Bassa Media Val Giongo - (Rilievo M. Suardi; disegno M. Suardi, C. Forcella - 2018)

**I siti archeologici (C. Longhi, M. Redaelli)**

Grotte, cavità e ripari sotto roccia hanno da sempre rappresentato per gli uomini un punto di riferimento nel territorio, innanzitutto per il loro utilizzo più immediato come ripari occasionali, come ricovero degli animali o come magazzini per la conservazione degli alimenti grazie alla temperatura costante del loro interno, ma anche, soprattutto nel corso della preistoria, frequentati come luoghi di confine tra il mondo terreno e quello sotterraneo e dunque utilizzati come luoghi di culto e di sepoltura.

Come ben sanno gli speleologi che esplorano grotte, cavità e anfratti nel territorio bergamasco, al loro interno spesso sono ben visibili tracce di vita umana: muri a secco utili a delimitare spazi o a occludere parzialmente gli ingressi, resti di focolari e di bivacchi o modifiche della morfologia originaria per adattare lo spazio alle esigenze del momento. Questi resti sono per lo più da attribuire a tempi relativamente recenti e sono riconducibili a due motivi principali: l'utilizzo della grotta come ricovero per animali o come rifugio temporaneo.

Oltre alle testimonianze recenti, molte grotte ne conservano alcune da riferire a una frequentazione umana più antica: oggetti e utensili e labili tracce di strutture leggere realizzate per adeguare l'ambiente alla funzione necessaria [1].

Numerose nel territorio sono le grotte che recano tracce di utilizzo antico, con funzione di insediamento occasionale come, ad esempio, la Grotta di Corna Altezza di Aviatico o la Buca del Corno di Entratico [2]; con funzione sepolcrale, come le grotte della Corna Rossa di Zogno o a Ubiale Clanezzo, il Bus di Cornei e il Buco di Costa Cavallina [3]. La Tomba dei Polacchi [4] sembra essere stata utilizzata come luogo di culto, così come la grotta Altro Pianet a Grone [5].

Nella maggior parte dei casi purtroppo però le tracce più antiche vengono distrutte parzialmente o totalmente dalle frequentazioni più recenti. Le grotte, infatti, sono un ambiente particolarmente vulnerabile in quanto la copertura che protegge il terreno da consistenti azioni erosive ne impedisce anche l'accrescimento, così le stratificazioni che conservano la memoria delle azioni più antiche sono poco profonde e dunque possono essere facilmente sconvolte dalle azioni di scavo.

Per questo motivo di molti siti archeologici in grotta possiamo raccontare molto poco circa il loro utilizzo più antico: in alcuni casi la segnalazione del ritrovamento dei reperti è giunta troppo tardi e i depositi archeologici erano già irrimediabilmente sconvolti al momento dell'arrivo degli archeologi nel sito, altre volte invece il ritrovamento non è stato reso pubblico se non



Foto 6. Valle del Giongo, Grotta Antroide: frammenti ceramici - Foto M. Redaelli



Foto 7. Valle Giongo: la Grotta Antroide - Foto M. Redaelli

dopo molti anni, impedendo di fatto qualsiasi raccolta di dati utile a ricostruire il contesto archeologico. Anche i siti meglio indagati come la Tomba dei Polacchi di Rota Imagna, il Buco del Corno di Entratico o le grotte della Corna Rossa di Zogno, al momento delle indagini archeologiche risultavano già interessati da sterri precedenti e dunque molti dati che avrebbero potuto arricchire il racconto sulla vita al loro interno erano andati irrimediabilmente perduti [6].

Nel caso delle grotte della Valle del Giongo, particolarmente qualificata è stata la procedura messa in atto da «Underland» che, a seguito dell'individuazione del materiale di interesse archeologico, ha interrotto l'esplorazione e avvisato la Soprintendenza che è immediatamente intervenuta con una campagna di ricognizione, effettuando i primi accertamenti [7].



Foto 8. Valle Giongo: interno Grotta Binocolo - Foto M. Redaelli



Foto 9. Valle Giongo, Grotta Binocolo: ceramica e ossa - Foto M. Redaelli

I ritrovamenti e le connesse indagini archeologiche hanno interessato le cavità denominate: Antroide, Binocolo, Geragni, Le Blanc e Linea 78 e le aree immediatamente adiacenti [8].

**Grotta Antroide:** la presenza di resti carboniosi di fuochi recenti e scritte sul soffitto indizia che la grotta è utilizzata attualmente come luogo di bivacco o è utilizzata come ricovero occasionale per animali, considerati i numerosi escrementi visibili sul piano di calpestio. Il deposito di spessore variabile tra i pochi centimetri e i 30, purtroppo risulta molto rimaneggiato, frammenti al terreno sono stati raccolti frammenti ossei animali e scarsi frammenti ceramici databili al periodo tardo romano e al periodo rinascimentale. La presenza di una scoria ferrosa e di alcuni frammenti di ceramica tardo romana sparsi lungo la cengia a



Foto 11. Valle Giongo, Grotta Le Blanc: lama e nucleo di selce, frammento ceramico - Foto C. Longhi

nord dell'ingresso di «Antroide», troppo esposta per costituire un luogo in cui svolgere attività di qualche genere, purtroppo è indizio del fatto che la stratigrafia archeologica è stata in passato asportata dall'interno della camera e scaricata all'esterno. I frammenti ceramici di epoca romana in via preliminare confrontabili con quelli ritrovati nel Bus di Cornei di Costa Cavallina [9], e l'assenza di resti umani, rimandano a una frequentazione occasionale come bivacco o riparo (Foto 1 e 6).

**Grotta Binocolo:** nella piccola sala sono stati rinvenuti un frammento ceramico ad impasto molto grossolano probabilmente di epoca preistorica o protostorica e due frammenti ossei, uno dei quali parrebbe una falange umana. Anche in questo caso la presenza del frammento ceramico in superficie indica la compromissione della stratigrafia archeologica. Il frammento è scarsamente significativo e dunque è impossibile proporre una datazione. Se il frammento di falange dovesse risultare umano, potrebbe essere ipotizzato l'utilizzo funerario della piccola sala (Foto 8, Foto 9).



Foto 10. Valle Giongo: Grotta Geragni - Foto M. Redaelli



Foto 12. Valle del Giongo, grotta Linea 78: frammento ceramico - Foto C. Longhi

**Grotta Geragni:** la presenza di impronte e di escrementi indica che la cavità è utilizzata come rifugio dai cinghiali, dunque il terreno risulta molto rimaneggiato. Tra il terreno smosso sono stati raccolte schegge di selce di difficile datazione.

Allo stato attuale delle indagini non è possibile affermare con certezza la frequentazione antica della cavità. Le schegge raccolte non recano chiare tracce di lavorazione intenzionale e, considerata la presenza di affioramenti di selce nell'area, la presenza potrebbe essere accidentale (Foto 10).

**Grotta Le Blanc:** all'ingresso tra il terreno smosso sono stati raccolti un frammento di ceramica preistorica, due lame di selce e un nucleo di selce che indicano una probabile frequentazione nel Neolitico Antico. E' stato raccolto anche un acciarino di selce di epoca moderna. Il deposito è di scarso spessore e sembra essere stato rimaneggiato totalmente.

Per quanto scarsi i reperti raccolti indicano che la grotta è stata frequentata forse come bivacco in una fase iniziale del Neolitico, purtroppo l'elevata compromissione del contesto non permette ulteriori considerazioni (Foto 11, Foto 13)

**Grotta Linea 78:** sul fondo dell'ampia sala appoggiati sulla superficie sono statiraccolti numerosi frammenti ceramici di epoca tardo romana riconducibili a una frequentazione la cui natura è ancora da definire [10] (Foto 12, Foto 14).

L'esito delle prime ricognizioni all'interno di alcune cavità della Valle del Giongo sebbene non sia molto confortante sotto il profilo dell'indagine archeologica, poiché i contesti sono apparsi quasi totalmente compromessi dall'azione dell'uomo o dalla frequentazione di animali, offre degli interessanti spunti di riflessione per quanto attiene la ricostruzione della storia del territorio, con particolare riferimento ai percorsi di collegamento tra la pianura e la Valle Seriana con la Bassa Valle Brembana.

Prima d'ora alcuni ritrovamenti di reperti preistorici lungo il versante sud-ovest del Canto Basso [11] e il ritrovamento di molte cuspidi di freccia sul versante a sud dei Prati Parini [12] avevano già definito l'area come cruciale per il collegamento tra le Valli e la piana del Quisa nel corso della preistoria.

Gli attuali ritrovamenti, che indiziano una sicura frequentazione preistorica per la grotta Binocolo e per la grotta Le Blanc e di epoca romana per le grotte Antroide e Linea 78, confermano una direttrice di collegamento attiva almeno in questi due periodi. Il sentiero che dalla Forcella del Sorriso conduce verso la Corna dell'Uomo ed i Prati Parini e quelli che da Sorisole - Tassaroli e da Bruntino (presenti anche nelle cartografie ottocentesche) giungono alla Botte di Sedrina e a Cler potrebbero ricalcare gli antichi accessi alla bassa Valle Brembana.

Lo sfruttamento della Valle del Giongo consentiva forse da un lato di evitare il percorso in sinistra idrografica del Brembo, che tra Villa d'Almè e la Botte di Sedrina è particolarmente impervio,



Foto 13. Grotta Le Blanc: - Foto M. Redaelli

dall'altro poteva essersi aperto come via di accesso per lo sfruttamento degli affioramenti selciferi del Sass de La Luna, la cui importanza è testimoniata da una vasta area di lavorazione sul Monte Bastia di Villa d'Almè (Figura 4). L'indagine archeologica è ancora all'inizio, sarà necessario procedere con nuove ricognizioni ed accertamenti archeologici per raccogliere ulteriori indizi utili a ricomporre il quadro della storia del più antico popolamento della Bassa Valle. La collaborazione tra gli archeologi della Soprintendenza e gli speleologi di Underland sarà determinante per continuare le ricerche nel modo più proficuo e completo, con l'obiettivo comune di preservare e far conoscere le testimonianze lasciate da coloro che hanno percorso le montagne prima di noi (Foto 17).



Foto 14. Valle del Giongo: Grotta Linea 78 - Foto M. Redaelli



Foto 15. Valle Giongo, Grotta En?gma: verticale con cascata - Foto L. Aimar



Figura 4. Posizione dei ritrovamenti archeologici nella bassa Valle Brembana (da SITER Provincia di Bergamo)

**Riferimenti aggiuntivi al testo**

[1] Nella grotta delle Arene candide a Finale Ligure, frequentata tra il Paleolitico e l'Altomedioevo, nei livelli relativi dell'insediamento Neolitico sono stati ritrovati focolari e buche destinate all'alloggiamento per pali destinati a sostenere tramezze o altri elementi funzionali. Santo Tinè, a cura di, Il neolitico nella Caverna delle Arene Candide (scavi 1972-1977), Istituto Internazionale Studi Liguri, Bordighera, 1999.

[2] Raffaella Poggiani Keller, L'età del Bronzo. Aspetti insediativi e culturali, attività, sepolture e rituali, in Storia Economica di Bergamo, vol. I, I primi millenni. Dalla preistoria al medioevo (a cura di R. Poggiani Keller, M. Fortunati), Cenate Sotto, 2007, pp. 138-141.

[3] Raffaella Poggiani Keller, Grotte e ripari sepolcrali nella fascia alpina e prealpina lombarda, in Bione, Corna Nibbia, 5000 anni fa in Valle Sabbia, a cura di M. Baioni, Sal. 2017, pp. 103-109.

[4] Raffaella Poggiani Keller, L'età del Bronzo. Aspetti insediativi e culturali, attività, sepolture e rituali, in Storia Economica di Bergamo, vol. I, I primi millenni. Dalla preistoria al medioevo (a cura di R. Poggiani Keller, M. Fortunati), Cenate Sotto, 2007, pp. 138-141.

[5] La grotta è stata scoperta nel 2015 dagli speleologi Massimo Pozzo, Giovanni Rebusi e Maurizio Greppi di Progetto Sebino ed è stata oggetto di 4 campagne di ricerca da parte della Soprintendenza, i risultati delle indagini sono in corso di pubblicazione e una scelta di materiali è oggetto di una piccola esposizione presso il Comune di Grone (Bg).

[6] Diversa sorte ha seguito la grotta Altro Pianet di Grone per la quale, grazie alla tempestiva segnalazione agli archeologi da parte di Progetto Sebino, è stato possibile raccogliere dati

puntuali sulla stratigrafia archeologica accumulatasi nel corso dell'utilizzo antico e sulla posizione dei reperti archeologici. I campioni di terreno indisturbato inoltre conservavano semi e carboni che hanno consentito di conoscere l'ambiente circostante e l'economia della comunità che la frequentava.

[7] Le indagini archeologiche sono state eseguite il 19 e il 20 dicembre 2020 dal dottor Marco Redaelli di SAP Società Archeologica srl, sotto la direzione scientifica di Stefania De Francesco e Cristina Longhi della Soprintendenza archeologia, belle Arti e paesaggio per le province di Bergamo e Brescia.

Lo speleologo della segnalazione, Nicolò Falgari (Underland), profondo conoscitore del territorio, ha guidato l'archeologo lungo il percorso, contribuendo attivamente e con grande professionalità alla ricerca di superficie.

[8] Per le schede delle grotte si rimanda a Catasto Speleologico Lombardo - Progetto Tu.Pa.Ca. ([speleolombardia.it](http://speleolombardia.it))

[9] La ceramica è in studio da parte della collega Stefania De Francesco; i frammenti erano esposti al Museo della Valle di Zogno. R. Poggiani Keller, Il Museo della Valle di Zogno, Zogno, 1996.

[10] Le considerazioni tecniche sui materiali si rinviano al completamento dello studio in atto da parte di Stefania De Francesco.

[12] Cfr. SITER - Prov. BG (<http://sit.provincia.bergamo.it/>)

[13] Segnalazione dei signori Fustinoni dell'agriturismo Prati Parini.



Foto 16. Valle Giongo: l'ingresso della Grotta Geragni - Foto M. Redaelli

# Divulgare per tutelare

## L'esempio del Museo delle Grigne (Esino Lario - Lc)

Andrea Ferrario (a), Luca Triacchini (b), Piero Annoni (c), Nicola Castelnuovo (d),

(a) Federazione Speleologica Lombarda; (b) DaTriK Solutions; (c) Piero Annoni; (d) Assoproteus

2020 - 2021



Foto 1. Presentazione del progetto - Foto G. Grampa

Esplorare consente di ampliare confini nello spazio non solo per chi compie l'esplorazione, ma permette di estendere le conoscenze per tutti quanti, sia altri speleologi che non.

In alcuni casi le grotte nuove svelano bellezze particolari, diventando mete ambite non solo per gli esploratori ma anche per semplici visitatori. In altri casi le grotte si difendono da tale "invasione" in quanto è necessario affrontare lunghi avvicinamenti e progressioni tecniche, in ambienti poco ospitali, che sia per il freddo, l'acqua o altro.

Le grotte della Grigna rappresentano entrambe le situazioni, sono per la maggior parte tecniche e quindi si concedono poco per una frequentazione speleologica di massa, ma alcune sono facilmente accessibili e molto note, e dunque alla facile portata di molti, anche se mai abbastanza semplici per renderle turistiche nel senso tradizionale del termine.

Tuttavia oltre un secolo di attività speleologiche ha consentito di conoscere una tale vastità del patrimonio speleologico della Grigna che c'è un generale interesse per i suoi sistemi carsici,

anche e soprattutto da parte delle comunità locali.

Il Museo delle Grigne è un presidio della conoscenza e della cultura della comunità di Esino Lario (LC), comune montano incastonato nella Val d'Esino.

Grazie al bando di Regione Lombardia per sostenere l'implementazione di musei regionali, con il progetto "Alla scoperta della Grigna sotterranea con Leonardo da Vinci", è stata avviata una proficua collaborazione con il Museo delle Grigne (gestito dall'Associazione Amici del Museo delle Grigne e dal Comune di Esino Lario), la Federazione Speleologica Lombarda e Parco Regionale della Grigna Settentrionale, per rendere accessibili le conoscenze acquisite dagli speleologi. L'occasione è stata utile per proporre lo sviluppo di tecniche comunicative moderne e all'avanguardia.

Con questo intento sono state sviluppate essenzialmente tre tipologie di proposte interattive che rendono il visitatore parte attiva nella visita del Museo.

La visita della nuova sezione inizia con la scoperta di un percorso didattico sviluppato con un'interfaccia digitale, gestibile dall'utente con apposito monitor touch.

Al suo interno è stato sviluppato un percorso di varie tematiche che spaziano dalla storia geologica della Grigna alla visualizzazione delle grotte principali con schede, foto e rilievi. Si aggiungono anche giochi interattivi per avvicinare il pubblico più giovane al tema delle grotte.

Inoltre, è possibile visualizzare un percorso che consente di esplorare la Grotta del Cainallo grazie alla realizzazione di un *virtual tour*, appositamente creato con il montaggio di una serie di fotografie realizzate a 360°.

Questa grotta è stata in passato oggetto di tentativi di turisticizzazione vanificati dalla difficoltà tecniche per raggiungere il sito.

Con il *virtual tour* tutti possono apprezzare le bellezze della grotta senza creare un ulteriore aggravamento dei percorsi turistici all'interno della grotta.

Infine, la visita si completa con visualizzazione del 3D del massiccio della Grigna Settentrionale e di tutte le sue grotte grazie allo sviluppo di specifico software per visionare, con la tecnica della Realtà Aumentata, un ologramma in 3D attraverso il display di un tablet fornito dal Museo.

Inquadrando con un tablet un apposito riferimento visivo fisicamente presente nel museo, è possibile vedere sovrappreso il modello tridimensionale della Grigna.

Tale modello viene visualizzato come ologramma e risulta esplorabile nelle tre dimensioni esattamente come se fosse un plastico reale. Il digitale permette tuttavia un'ulteriore esperienza, ovvero la visualizzazione in trasparenza di tutte le grotte presenti all'interno del massiccio montuoso, insieme ai nomi principali e ad alcune note (es. posizione dei campi base interni).

L'applicativo è stato pensato per far comprendere la profondità e la dimensione di ciò che si nasconde nel sottosuolo, anche per chi non è speleologo ma che manifesta curiosità nel conoscere il mondo naturale sotto una insolita prospettiva, quella ipogea.



Foto 2. Grotta del Cainallo: fotografia ipogea - Foto A. Ferrario

Con questo progetto, terminato nel 2019, è stato possibile rendere visibile e alla portata di tutti quanto è stato esplorato e documentato dagli speleologi, incrementando nei visitatori del Museo la consapevolezza di essere in un territorio straordinariamente importante dal punto di vista speleologico e naturalistico.

141

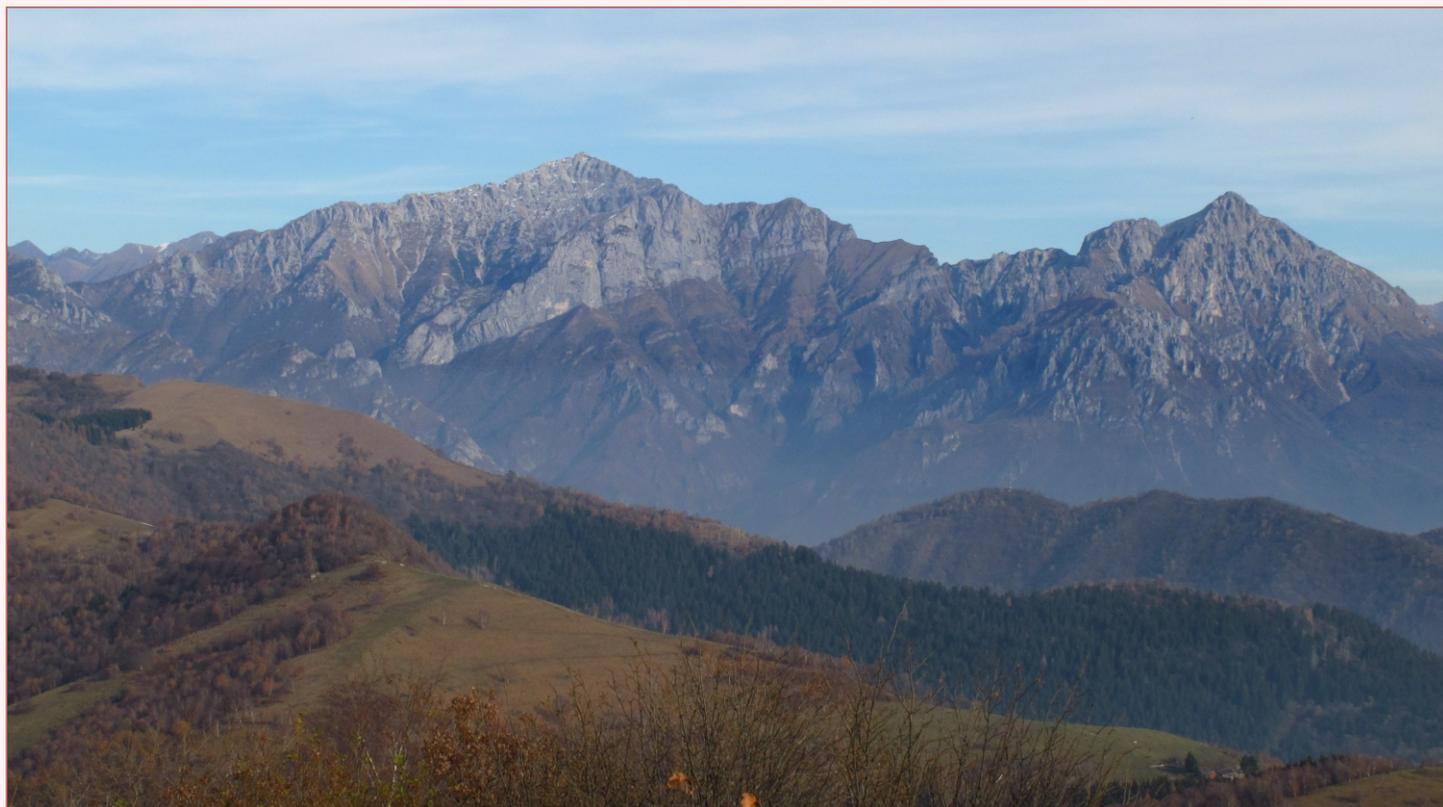


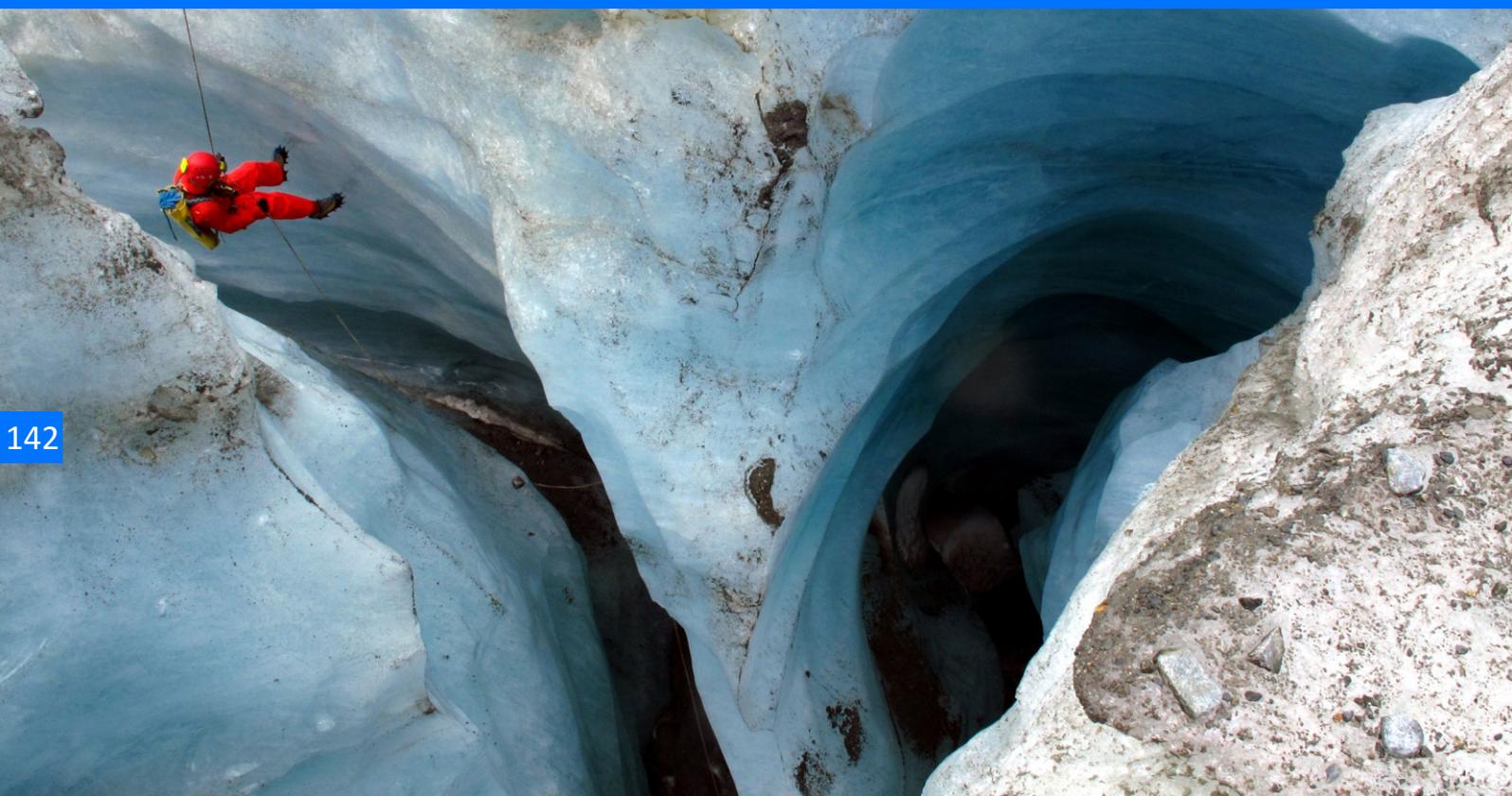
Foto 3. Grigna Settentrionale e Meridionale - Foto A. Ferrario

# Grotte glaciali e mutamenti recenti dei ghiacciai

Andrea Ferrario (a), Mauro Inglese, Paola Tognini (b), Paolo Testa (c)

(a) Gruppo Grotte Saronno CAI-SSI; (b) Gruppo Grotte Milano CAI-SEM; (c) Gruppo Speleologico CAI Varallo

2022



142

Foto 1. Ghiacciaio del Morteratsch - Foto A. Ferrario

## Riassunto

Negli ultimi decenni i ghiacciai alpini stanno reagendo ai cambiamenti climatici con forti perdite di massa, che si traducono in riduzioni di spessore e arretramenti delle fronti: a questo si accompagnano modificazioni morfologiche rilevanti. Le cavità glaciali dipendono strettamente dalla distribuzione degli sforzi all'interno del ghiacciaio e dai flussi di acqua e di aria che vi entrano, e ogni modifica di questi due fattori si traduce in modifiche delle cavità, sia endo- che subglaciali.

Il monitoraggio di grotte glaciali (come, tra gli altri, quello portato avanti dal 2008 dal Progetto Speleologia Glaciale in alcuni ghiacciai dell'arco alpino) evidenzia che la presenza di cavità glaciali condiziona l'evoluzione dei ghiacciai stessi, attraverso fenomeni di collasso delle cavità, processi di ablazione superficiale e processi di sublimazione e fusione per flussi d'aria all'interno delle cavità.

I ghiacciai alpini, con una maggiore facilità di accesso, permettono di studiare, di anno in anno, l'evoluzione di queste grotte e di metterla in relazione con l'evoluzione dei ghiacciai

stessi: alcuni esempi di quanto osservato nel corso degli ultimi decenni sul Ghiacciaio dei Forni (SO) e del Morteratsch (CH) mostrano l'importanza delle osservazioni che gli speleologi possono fare.

I cambiamenti climatici in atto hanno anche ripercussioni sullo svolgimento delle attività di esplorazione, con modifiche del periodo in cui è possibile fare esplorazioni e con il raggiungimento delle fronti che diventa sempre più impegnativo: tutte piccole, ma significative, testimonianze dei cambiamenti in atto e della rapidità con cui stanno avvenendo.

Negli ultimi decenni i ghiacciai alpini stanno reagendo agli innalzamenti delle temperature medie estive e alla scarsità di precipitazioni nevose con forti perdite di massa che si traducono in riduzioni di spessore e arretramenti delle fronti: a questo si accompagnano modificazioni morfologiche, dello stato di sforzo e della fratturazione.

Negli ultimi 30 anni la gran parte dei ghiacciai alpini subisce il costante aumento delle temperature medie estive con una drastica riduzione dei volumi di ghiaccio e delle fronti (Bonardi *et al.*, 2012).

Osservazioni ricorrenti delle grotte glaciali nelle Alpi evidenziano l'accentuarsi dei cambiamenti delle dinamiche dei ghiacciai. La formazione delle grotte glaciali è infatti strettamente dipendente dalla distribuzione degli stress all'interno della massa di ghiaccio, e dai flussi d'acqua e di aria, che vi scorrono al suo interno: ogni cambiamento di questi fattori causa un cambiamento della morfologia delle grotte (Mavlyudov, 1991,1992; Badino & Piccini, 1995, 2003; Badino, 1999, 2002; Tognini, 2001, 2018).

Allo stesso modo, la presenza di grotte glaciali ha un'influenza determinante sull'evoluzione delle lingue glaciali: grandi vuoti, in particolare dove il ghiaccio è sottile e crepacciato, causano instabilità: grotte di contatto possono portare a imponenti crolli improvvisi, con una perdita rilevante della massa glaciale (Ferrario *et al.*, 2012; Tognini, 2008, 2018).

Le grotte glaciali possono inoltre portare a una significativa perdita di massa tramite fenomeni di sublimazione influenzati dalle correnti d'aria che si innescano all'interno delle cavità, in particolare in quelle di contatto, come dimostrato dalla

formazione di evidenti scallops (Mavlyudov, 1991, 1992; Ferrario *et al.*, 2012; Tognini, 2018).

Quantificare le perdite di ghiaccio dovute a questi fenomeni è molto complesso. Secondo delle misurazioni di Mavlyudov, nei ghiacciai dell'Asia centrale (1991, 1992, comm. Pers.) l'evaporazione avviene nei mesi invernali (con un calo di 10-15 cm l'anno), mentre la perdita per fusione avviene nei mesi estivi, con una diminuzione di diversi decimetri all'anno.

Di seguito si riportano alcuni esempi di osservazioni in due ghiacciai alpini, il Ghiacciaio del Morteratsch e il Ghiacciaio dei Forni. Qui il ruolo degli speleologi è stato rilevante per la documentazione delle dinamiche glaciali in relazione alle cavità glaciali, utilizzando metodi semplici come il posizionamento degli ingressi, rilievi topografici ripetuti negli anni, oltre a un'accurata documentazione fotografica.

### Ghiacciaio del Morteratsch

Alimentato dalle vette più elevate del massiccio del Bernina, il ghiacciaio del Morteratsch è situato nelle Alpi svizzere meridionali (Grigioni), con una superficie di circa 15 km<sup>2</sup> e una lunghezza di 7,43 km (dati del 2009) è il principale ghiacciaio delle Alpi Centrali nonostante una variazione negativa della lunghezza di 2.889 m dal 1878 al 2020 ([www.glamos.ch](http://www.glamos.ch); 2022). Si tratta di un tipico ghiacciaio vallivo costituito dalla confluenza di due lingue distinte: il Vadrett da Morteratsch e il Vadret da Pers. Nel 2015 la continuità fisica della confluenza è stata interrotta per l'arretramento della lingua del Pers, in parte causato anche dal crollo di grotte sub glaciali, in particolare dopo il 2010.



Foto 2. Ghiacciaio dei Forni - Foto A. Ferrario

Fino al 2014-2015 entrambe le lingue presentavano sistemi di grotte endoglaciali ben sviluppati: ora i mulini glaciali sono dislocati solo nella parte superiore della zona di ablazione (anno 2021), mentre una rapida scomparsa di queste cavità è stata rilevata nella porzione inferiore.

Le grotte di contatto presso la fronte del Morteratsch hanno avuto un'evoluzione fortemente correlata all'evolversi della morfologia della fronte glaciale. Tra il 2008 e 2015 si sono formate continuamente grotte di contatto molto ampie, con il torrente subglaciale sempre attivo all'interno di ampie gallerie a tunnel. A causa delle dimensioni insolitamente ampie di queste cavità, correlate al ridotto spessore del ghiaccio superficiale, queste grotte sono state soggette a importanti fenomeni di crollo nei mesi estivi, con il distacco importanti volumi di ghiaccio in tempi rapidi.

Le zone in cui sono presenti grotte endoglaciali sul ghiacciaio del Morteratsch sono state suddivise in tre settori distinti. La parte superiore (2.470-2.490 m slm) è ad oggi la meno colpita dalla riduzione in spessore del ghiacciaio e consente l'esplorazione di cavità profonde, anche di 70 m circa, ma con profondità molto variabili negli anni. Quest'area è caratterizzata anche da bédère ben incise che alimentano gli ingressi principali.

Un'area intermedia è stata identificata tra i 2.220 m e 2.300 m, caratterizzata da canyon lunghi e talvolta profondi, con mulini di profondità massima intorno a 20 m e solitamente sempre attivi. I canyon esplorati a cielo aperto sono spesso l'evoluzione di gallerie interne al ghiacciaio che, con la riduzione dello spessore di ghiaccio, vengono scoperte, portando in superficie morfologie meandreggianti differenti dalle tradizionali bédère

per forme e origine. Questo processo di "scoperchiamento" risulta molto rapido rispetto al passato per via del progressivo abbassamento del ghiaccio e alle ridotte precipitazioni invernali. Infine, un terzo settore è stato identificato tra le quote di 2.140-2.180 m dove fino al 2013 lo spessore del ghiaccio era tale da consentire la formazione di pozzi profondi 10-15 m. Alcuni di essi raggiungevano direttamente il substrato roccioso, poi riempiti di sedimenti in tempi rapidi. Attualmente questo settore risulta totalmente scoperto dal ghiaccio.

### Ghiacciaio dei Forni

Il Ghiacciaio dei Forni (Valtellina, SO) è localizzato nel massiccio dell'Ortles-Cevedale. Con una superficie di 11,4 km<sup>2</sup> e una lunghezza di 3,2 km (Bonardi *et al.*, 2012) è il secondo ghiacciaio italiano per estensione e lunghezza. Tuttavia il suo bacino composito a tre lingue ha subito forti decadimenti strutturali, portando nel 2015 a una separazione definitiva della lingua orientale da quella centrale che, ad oggi, risulta la porzione che meglio resiste alla complessiva riduzione della massa glaciale (Azzoni *et al.*, 2017).

Il Ghiacciaio dei Forni è sistematicamente monitorato dalla fine del XIX Secolo. Anche gli speleologi hanno iniziato a visitarlo dalla metà degli anni '90 del secolo scorso, in modo tale da poter esplorare e studiare le caratteristiche delle cavità glaciali per un periodo di quasi 30 anni. I primi studi hanno permesso di migliorare le conoscenze dei processi di formazione ed evoluzione delle grotte nel tempo, in cui le teorie sui processi del criocarsismo erano ancora agli inizi.

Nell'ultimo decennio sono state realizzate osservazioni utili per



Foto 3. Ghiacciaio dei Forni - Foto A. Ferrario

analizzare il rapporto tra il carsismo glaciale e l'evoluzione morfologica del ghiacciaio e gli effetti della riduzione del volume di ghiaccio sulle morfologie delle grotte (Tognini, 2008; Ferrario *et al.*, 2012; Tognini, 2018).

Le grotte sono principalmente mulini alimentati da bédrière con lunghezze talvolta rilevanti, creando pozzi profondi al fino a 40 m. Fino agli inizi del 2000 vennero identificate 5 aree distinte tra loro, con grotte allineate secondo il modello classico che prevede una sequenza con mulini fossili a valle, mulini più sviluppati e di neo formazione verso monte. La riduzione del volume di ghiaccio ha causato una modifica del modello di formazione delle grotte, evidenziando un maggior controllo della distribuzione delle fratture sulla presenza dei mulini o, in alcuni casi, la scomparsa totale delle grotte. Anche in questa circostanza lo scopercchiamento delle cavità endoglaciali porta alla formazione di canyon che in pochi anni tendono a sparire.

Il processo di formazione delle grotte subglaciali è incrementato negli ultimi anni con successivi crolli di porzioni rilevanti di ghiaccio. Nel 2018 un grande tunnel subglaciale sconosciuto ha causato un crollo di centinaia di metri di lunghezza, consentendo l'esplorazione di una grotta di contatto lunga circa 100 m, anch'essa scomparsa del tutto l'anno seguente.

### Cambiamenti climatici e attività esplorativa

Gli effetti del cambiamento climatico non si riflettono solo sullo stato dei ghiacciai e sul fenomeno del carsismo glaciale, ma sono percepiti direttamente anche dagli speleologi che compiono le attività di monitoraggio. Nel corso dei primi anni 2000 è stata accertata la presenza di mulini a quote prossime ai 3.000 m, fenomeno che non era mai stato riscontrato prima nei ghiacciai alpini (Ferrario, 2018). Inoltre il continuo ritiro delle lingue glaciali costringe ad avvicinamenti sempre più lunghi. Ultimo aspetto, ma forse più rilevante, è l'osservazione che il periodo ottimale per svolgere questa attività si è notevolmente ristretto: il periodo autunnale è infatti sempre più caratterizzato da temperature elevate, con portate d'acqua di fusione rilevanti fino all'autunno inoltrato: attualmente il periodo idoneo per svolgere l'attività è quindi limitato tra fine ottobre e novembre, mentre fino a 10 anni fa si poteva fare attività già nel mese di settembre. Di contro, spesso è ora possibile esplorare cavità subglaciali nei mesi invernali, essendo facilmente raggiungibili per la scarsità di precipitazione nevosa.

### Conclusioni

Le attività svolte sui Ghiacciai dei Forni e del Morteratsch evidenziano l'importante ruolo che l'attività speleologica può avere per comprendere meglio le dinamiche di ritiro dei ghiacciai, con cambiamenti repentini nel giro di pochi anni. Senza la possibilità di osservare e rilevare i ghiacciai dall'interno non è possibile comprendere fino in fondo le cause che portano rilevanti crolli e perdite di volumetrie che potrebbero garantire una durata maggiore delle masse glaciali.

La glaci speleologia è una specializzazione della speleologia praticata da pochi elementi presenti in tutta Italia. La nascita del Progetto Speleologia Glaciale nel 2008 consente una collaborazione attiva tra tutti gli speleologi, ad oggi circa 150, interessati a svolgere un'attività che richiede esplorazioni e monitoraggi in periodi brevi su ampie aree.

In una situazione di rapida evoluzione dei ghiacciai, è fondamentale poter raccogliere il maggior numero possibile di dati e informazioni su fenomeni che, in un futuro assai prossimo, sono destinati purtroppo a scomparire.

### Riferimenti bibliografici

- Azzoni R.S., Fugazza D., Zennaro M., Zucali M., D'Agata C., Maragno D., Cernuschi M., Smiraglia C., Diolaiuti G. A. (2017), "Recent Structural evolution of Forni Glacier tongue (Ortles-Cevedale Group, Central Italian Alps)" *Journal of Maps* 13 (2): 870-878;
- Badino G. (1999), "Il carsismo glaciale", *Le Scienze* 372/1999: 44-51;
- Badino G. (2002), "The glacial karst", *Proc. 5th Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions, UIS, 15-16 April 2000, Courmayeur (Italy)*, Nimbus, Rivista della Società Meteorologica Italiana, 23-24: 82-93;
- Badino G., Piccini L. (1995), "Aspetti morfologici ed evolutivi delle cavità endoglaciali di origine criocarsica", *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 18: 225-22;
- Badino G., Piccini L. (2003), "The role of glacier stress field on moulins geometry", *Proc. 6th Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions, UIS, 3-8 September, 2003, Ny-Alesund (Svalbard)*, SEDEK, Madrid: 7-12;
- Bonardi L., Rovelli E., Scotti R., Toffaletti A., Urso M., Villa F. (2012), "I ghiacciai della Lombardia: evoluzione e attualità", Servizio Glaciologico Lombardo, Hoepli ed.
- Ferrario A., Inglese M., Testa P., Tognini P. (2012), "Progetto Speleologia Glaciale: ricerche per conoscere, esplorare e documentare le cavità glaciali dell'arco alpino", *Speleologia, Rivista della Società Italiana di Speleologia* 67: 26-34;
- Ferrario A. (2018), "Le grotte nel Ghiacciaio dello Scalino", *Labirinti, bollettino del Gruppo Grotte Novara*, 37: 35-38;
- Mavlyudov B. R. (1991), "The influence of air flows on glacier caves forming", *Proc. 1st Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions, UIS, 1-5 October, 1990, Madrid, ITGE*: 199-206;
- Mavlyudov B. R. (1992), "Ice evaporation in the glacier caves (Kagware Glacier, South Tibet)", *Proc. 2th Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions, UIS, 10-16 February, Midzgyorze (Poland)*, Silesian University Sosnowies: 81-91;
- Tognini P. (2001), "Cavità endoglaciali e processi criocarsici: il punto sulle conoscenze attuali", *Terra Glacialis* n. 4: 61-82
- Tognini P. (2008), "L'evoluzione delle grotte glaciali del Ghiacciaio dei Forni", *Il Grottesco, Bollettino del Gruppo Grotte Milano, CAI-SEM* 55: 89-95;
- Tognini P. (2018), "Evoluzione delle cavità glaciali e relazione con le morfologie di superficie", *Labirinti, bollettino del Gruppo Grotte Novara*, 37: 67-73.



Foto 4. Ghiacciaio del Morteratsch - Foto M. Inglese

# Piano di azione per i Chirotteri in Lombardia: un processo partecipato

Bruna Comini, Fabrizio Oneto, Marco Torretta (a), Andrea Ferrario (b), Martina Spada, Stefania Mazzaracca (c), Elisabetta Maria Rossi (d)

(a) Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste; (b) Federazione Speleologica Lombarda  
(c) Istituto Oikos s.r.l impresa sociale; (d) Regione Lombardia

2022

146



Foto 1. *Myotis bechsteinii* (Cariadeghe, Bs) - Foto M. Pozzo

## Riassunto

Il Life IP Gestire2020 ([www.naturachevale.it](http://www.naturachevale.it)) è un progetto life integrato che mira alla conservazione della biodiversità sul territorio lombardo anche attraverso la crescita di una consapevolezza istituzionale ma anche civile, e della capacity building degli enti territoriali interessati.

Il Life prevede specifiche azioni che hanno come obiettivo la conservazione dei Chirotteri, e prioritariamente lo sviluppo di uno specifico Piano di Azione attraverso la partecipazione e i contributi di diversi soggetti, fra cui Associazioni di categoria quali la Federazione Speleologica Lombarda, ha permesso di elaborare una strategia complessiva e unitaria di conservazione, definita attraverso specifici incontri e workshop in cui sono state evidenziate esigenze del territorio e possibili misure di convergenza. Il Piano è stato formalmente approvato con delibera del Consiglio Regionale n. 1028 del 17/12/2018, ed è subito diventato riferimento settoriale all'interno di strumenti di Pianificazione regionali quali il PTR (Piano Territoriale Regionale) e il RET (Regolamento Edilizio Tipo).

Inoltre il percorso e le conoscenze confluite nel Piano d'Azione, sono stati fondamentali per la redazione del nuovo PAF (Prioritised Action Framework) approvato da Regione Lombardia con delibera 5028 del 12 luglio 2021.

Un esempio concreto di attuazione del Piano, è stata la realizzazione di alcuni interventi concreti sul territorio finanziati con il "Programma regionale per interventi territoriali a salvaguardia della biodiversità – Life Gestire 2020" (D.g.r. 21 settembre 2020 - n. XI/3583), fra cui il Progetto Sos.Chiro (Sostituzione cancelli per la Chirotterofauna), realizzato dal Parco Regionale Campo dei Fiori nel 2021.

## Lavoro esteso

Regione Lombardia è capofila di uno dei primi progetti Life integrati attivati dalla Comunità europea: il Life IP Gestire2020. Il Progetto mira alla conservazione della biodiversità sul territorio lombardo ed ha l'ambizione di promuovere la biodiversità a vari livelli, istituzionale ma anche civile, creare una nuova coscienza

rivolta alla sostenibilità delle attività umane e accrescere le conoscenze e le capacità dei soggetti direttamente interessati dalla gestione del territorio.

Il progetto prevede specifiche azioni che hanno come obiettivo la conservazione dei Chiroterri e degli habitat utilizzati durante il proprio ciclo vitale sul territorio lombardo.

A tale scopo è stato prioritariamente redatto uno specifico Piano di Azione, che rappresenta il primo passo verso la realizzazione di attività concrete per la conservazione dei Chiroterri sul territorio lombardo. Il Piano raccoglie le conoscenze sulla chiroterrofauna della Lombardia, individua le criticità e gli obiettivi tematici da raggiungere nel medio-lungo termine per garantire la conservazione, in particolare di 18 specie target, il cui status è considerato critico, inadeguato o sconosciuto.

Il Piano di Azione è il risultato di un processo bottom up in cui la partecipazione e i contributi di diversi soggetti ha permesso di elaborare una strategia complessiva e unitaria di conservazione, definita attraverso specifici incontri e workshop in cui sono state evidenziate esigenze del territorio e possibili misure di convergenza.

Il ruolo del mondo speleologico e delle Associazioni di categoria (Federazione Speleologica Lombarda in primis), ha rappresentato un esempio concreto di questo processo che ha portato all'individuazione e definizione di specifiche Azioni di Piano: attivare percorsi di formazione per gli speleologi, redigere manuali tecnici per il riconoscimento dei chiroterri e la loro gestione, integrare le informazioni sulle grotte presenti nel Catasto regionale con dati inerenti la biodiversità, adeguare la normativa esistente e i regolamenti locali sulla fruizione degli ambienti ipogei, realizzare un regolamento delle attività speleologiche nelle Aree Natura2000.

Nel corso dell'iter di redazione del Piano, sono stati svolti 3 incontri, sia pubblici sia tecnici ristretti, nelle aree di maggior interesse speleologico della Lombardia e che hanno coinvolto circa 50 speleologi e loro rappresentanti.

Risultato principale è stata quindi la creazione di una strategia regionale per la gestione e la conservazione dei pipistrelli con azioni specifiche volte a raggiungere gli obiettivi prefissati.

Formalmente approvato con delibera del Consiglio Regionale n. 1028 del 17/12/2018, il Piano di Azione è attualmente il riferimento regionale per la gestione delle popolazioni di pipistrelli e dei loro habitat, nonché per la pianificazione di attività che favoriscano o tengano conto delle esigenze di

conservazione dei pipistrelli.

Gli indirizzi contenuti nel Piano sono stati quasi immediatamente recepiti all'interno del PTR (Piano Territoriale Regionale) della Regione Lombardia con uno specifico riferimento al Piano e con l'inserimento fra Obiettivi Tematici del PTR TM 1.9 "Tutelare e aumentare la biodiversità, con particolare attenzione per la flora e la fauna minacciate (ob. PTR 14, 17, 19)" del seguente punto: "Tutelare e favorire la presenza in ambito urbano di specie animali protette e minacciate di estinzione". A seguire, inoltre, le buone pratiche per la conservazione dei Chiroterri sono confluite nell'aggiornamento del Regolamento Edilizio Tipo (RET).

Infine, il Piano è stato uno dei principali strumenti per definire le esigenze e la quantificazione dei costi delle Azioni a favore della chiroterrofauna e degli habitat utilizzati, informazioni indispensabili inserite nel PAF (Prioritised Action Framework) approvato da Regione Lombardia con delibera 5028 del 12 luglio 2021. Il PAF è uno strumento strategico di pianificazione pluriennale, che fornisce una panoramica generale delle misure necessarie per attuare la rete Natura 2000 dell'Unione Europea (UE) e la relativa infrastruttura verde, specificando il fabbisogno finanziario per tali misure e collegandole ai corrispondenti programmi di finanziamento dell'UE.

All'interno del Piano sono inoltre stati individuati alcuni degli interventi prioritari in aree specifiche del territorio lombardo. Anche in questo caso fondamentale è stata la messa a sistema delle informazioni derivanti dalle conoscenze pregresse di esperti, volontari e Enti gestori delle aree protette lombarde per poter definire una priorità e localizzazione degli interventi.

Le indicazioni così raccolte sono state fondamentali per indirizzare le fonti di finanziamento, fra cui soprattutto il "Programma regionale per interventi territoriali a salvaguardia della biodiversità - Life Gestire 2020", decretato con atto n. 11951/2020, che ha messo a disposizione oltre 2 milioni di euro a favore della biodiversità, fra cui 180.000 euro a favore della chiroterrofauna.

Fra gli interventi finanziati e portati a termine vi è il Progetto Sos.Chiro (Sostituzione cancelli per la Chiroterrofauna), promosso dal Parco Regionale Campo dei Fiori. Il progetto, realizzato nel 2021, ha avuto lo scopo di migliorare cancellate preesistenti per incrementare o consentire il passaggio dei Chiroterri presso l'ingresso di quattro grotte naturali che presentavano strutture inadeguate per il loro passaggio.

Con questo intervento sono stati realizzati cancelli nuovi su misura e il rifacimento di staccionate perimetrali per le seguenti grotte: Grotta di Cima Paradiso, Bùs del Remeron, Grotta XXV Aprile e Grotta Totò il Magnifico. Tutte le grotte considerate sono localizzate all'interno della ZSC Grotte del Campo dei Fiori, gestito dall'ente Parco.

Il monitoraggio dei Chiroterri nelle cavità: Grotta di Cima Paradiso e Grotta Totò il Magnifico, in cui le precedenti cancellate impedivano l'attraversamento degli esemplari, ha permesso di verificare, in poche settimane, il passaggio delle specie target grazie ai nuovi cancelli, nonostante queste cavità siano rimaste inutilizzate da molto tempo (nel caso della Grotta di Cima Paradiso da oltre 50 anni).



Foto 2 e 3. Grotta di Cima Paradiso, confronto del cancello d'ingresso prima e dopo l'intervento - Foto A. Ferrario

**Roberto Conti (1953 - 2022)**

Ebbi il piacere di conoscere Roberto Conti nel 1973 al G. G. Milano, quasi 50 anni fa. Con suo fratello Renato e parte degli speleologi dell'attuale Gruppo Grotte CAI Busto Arsizio, ci dedicammo per molti anni all'esplorazione di numerose cavità della provincia di Varese e insieme collaborammo alla stesura di un corposo volume, poi pubblicato, sul "Fenomeno Carsico e Idrogeologico Ipogeo del complesso Monte San Martino-Colonna-Monte Rossel in Valcuvia (VA)".

Roberto fu anche uno dei promotori della costituzione del nuovo Gruppo Grotte CAI Busto Arsizio e partecipò alla scrittura dello statuto nel 1979. Per molti anni fu eletto nella cariche sociali del sodalizio.

Con il tempo acquisì una considerevole conoscenza in campo geologico, nonostante la sua laurea in Matematica ad Indirizzo Informatico.

Studiò la Geologia di una piccola area carsica con cavità di alta montagna, in Val Formazza (Vb) (Notiziario N 2 del 1983), il Carsismo del Monte Comana-Brienno (Co) (Notiziario N 3 del 1986), il Carsismo delle Rocce Triassiche della Val Brembilla (Bg) (Atti del XIII Convegno di Speleologia Lombarda - Varese novembre 1988) e in anni successivi, il Carsismo dei Piani di Artavaggio e del Monte Campelli (Lc), il Carsismo del Monte Magnodeno (Lc) con studio geologico per individuare il bacino di assorbimento e della parte superiore della Val Taleggio (Bg).

Fu attivo come aiuto istruttore nei Corsi del GGBA di Avvicinamento alla Speleologia, in visite e in diverse spedizioni in grotte lombarde e non, fra cui: Grotta Marelli (Va), Grotta Scundurava (Va), Grotta Remeron (Va), Grotta San Martino (Va), Grotta del Frassino (Va), Buco della Volpe (Va), Grotta Pizzala (Co), Grotta del Km 13 (Co), Grotte Tacchi e Zebio (Co), Grotta Ferrera (Lc), Grotta del Monte Cantarso (Bg), Grotta Farneto nei gessi delle colline bolognesi (Bo), Grotta di Rio Martino (Cn), Monte Cucco (Pg), Antro del Corchia (Lu), Gouffre Fumant (Francia).

148

Fu anche delegato del GGBA in alcune riunioni della Federazione Speleologica Lombarda (FSLo) e collaborò in ambito informatico all'organizzazione del Raduno e Assemblea dei Gruppi Grotte CAI della FSLo tenutasi a Busto Arsizio dal GGBA a marzo del 2022.

Fu amministratore del sito del GGBA NEWS (<https://it.padlet.com/rconti90/ggbanews>) e a maggio del 2022 partecipò con altri soci del gruppo grotte alla manifestazione del centenario del CAI Busto Arsizio.

Partecipò sia con alcuni soci del gruppo grotte che con la moglie Olga a seminari, raduni, congressi e Symposium di Speleologia: all' 8° Congresso di Speleologia a Bowling Green in USA nel 1981, al 4° Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia a Catania nel 1983, al 9° Congresso Internazionale Barcellona in Spagna nel 1986, al 10° Congresso Internazionale a Budapest in Ungheria nel 1989, al 12° Congresso Internazionale a La Chaux de Fonds in Svizzera nel 1997, al 14° Congresso Internazionale di Speleologia a Kalamos in Grecia nel 2005, al 15° Congresso Internazionale di Speleologia a Kerville in Texas nel 2009, al 16° Congresso Internazionale di Speleologia a Brno nella Repubblica Ceca nel 2013, al 17° Congresso Internazionale di Speleologia a Penrith - Sydney in Australia nel 2017, al 18° Symposium of Vulcanospeleology presso il Lava Beds Park CA USA nel 2018, al Seminario sulla Speleologia nelle Aree protette vincoli e valorizzazioni a Barzio (Lc) nel 2019.

Collaborò all'organizzazione del 19° Symposium of Vulcanospeleology promosso dalla Commissione UIS tenutosi a Catania, anche in remoto, tra agosto e settembre 2021, in tale occasione Roberto Conti fu riconfermato per altri due anni come Membership Officer della Commissione UIS e fu ufficialmente incaricato di collaborare con gli organizzatori del prossimo Symposium on Vulcanospeleology in programma a fine novembre 2022 al nuovo Geopark di Dak Nong in Vietnam".

Roberto fece in tempo a partecipare al XXIII Congresso Nazionale SSI tenutosi a Ormea dal 2 al 5 giugno 2022, presentando uno studio geologico, desunto da vari anni di lavori sul campo delle cavità del Monte Cich a Esino Lario (Lc) assieme alcuni soci del GGBA, e presentato per esteso in questo volume. Si iscrisse, ma non poté partecipare al 18° Congresso Internazionale di Speleologia previsto dal 24 al 31 luglio 2022 in Savoia (Francia).

Roberto Conti fu per tutti noi sia del GGBA che per gli altri speleologi e non che lo hanno conosciuto una persona buona, presente nel bisogno, educato, di compagnia, gentile e sempre sorridente.

Fai buon viaggio caro amico.

*A cura di: Giordano Ghidoni*





Ghiacciaio del Morteratch (CH) - Foto A. Ferrario



*[www.speleolombardia.it](http://www.speleolombardia.it)*