

N. 0 - 2023

LOMBARDIA

www.speleolombardia.it

Con patrocinio
di



IPOGEEA

SPECIALE  ORMEA '22

ISBN: 979-12-21-05775-1



Rivista della Federazione Speleologica Lombarda



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

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

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 prosecuzioni 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.

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)

Felicita 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, Felicita 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

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 Km² 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
Cariadeghe				
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
Tesio				
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.

Calcere 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.

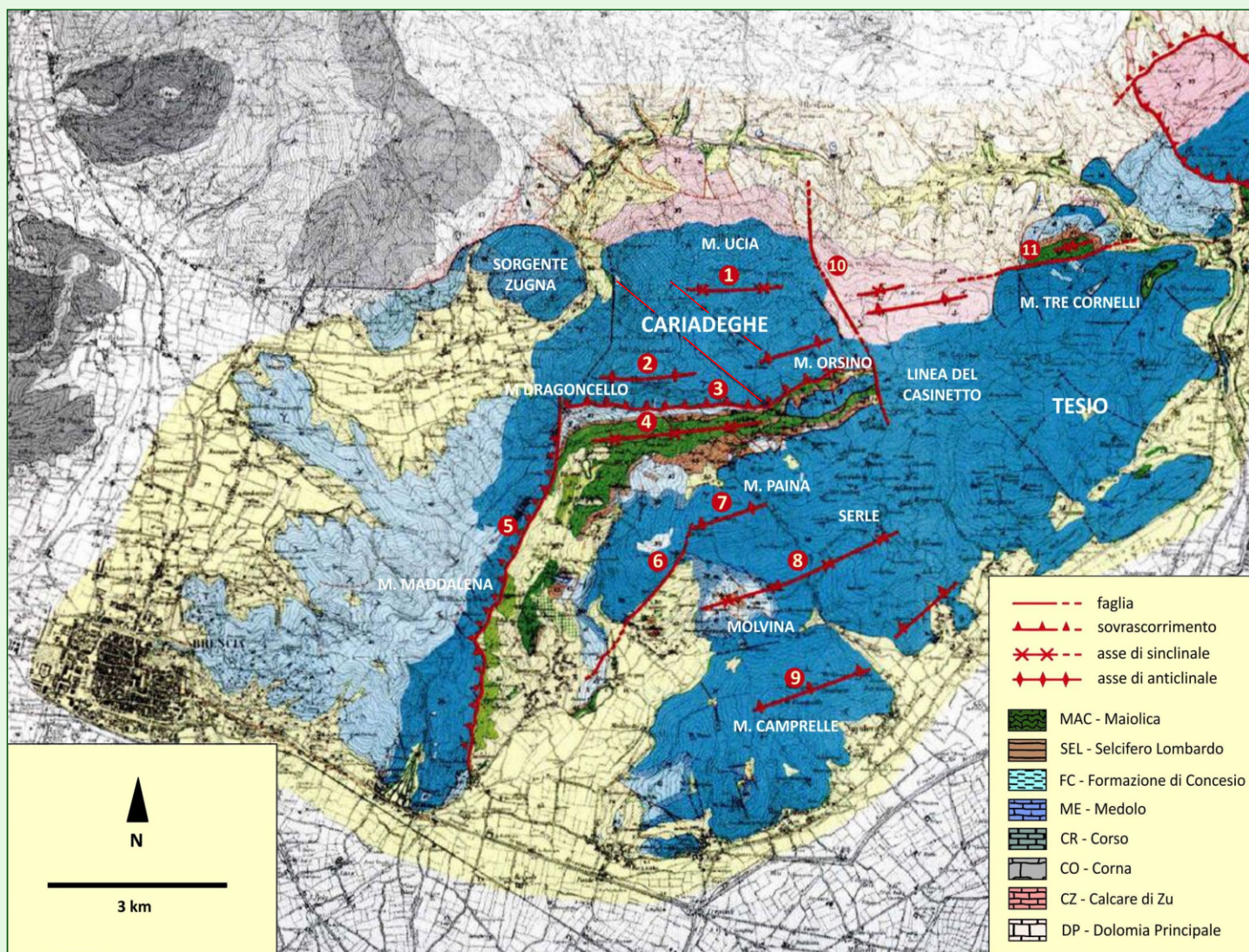


Figura 3. Indicazione dei maggiori elementi tettonici a scala locale (Schirolli, 1997, 1998). Estratto da: Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a Sud dell'Adamello, Foglio Est - Università di Pavia (1972) - Scala 1:50.000

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

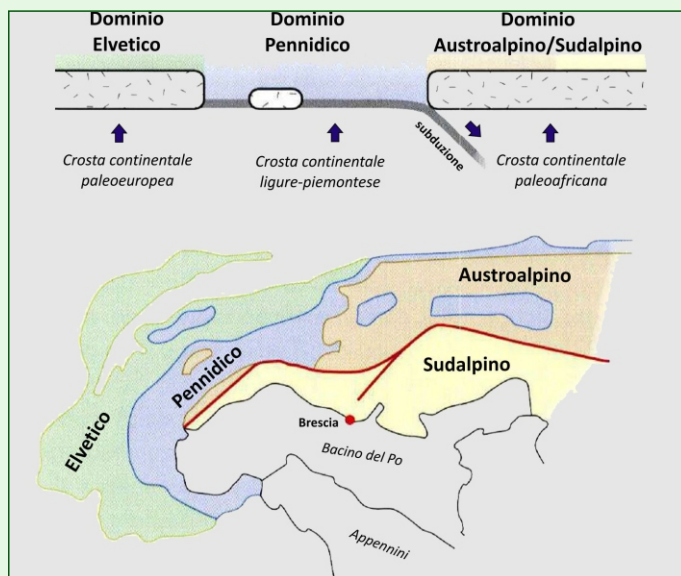


Figura 4. Distribuzione dei maggiori domini paleogeografico-strutturali nella catena alpina e schema semplificato della loro naturale posizione originaria durante il Cretaceo, all'inizio del processo di riavvicinamento delle placche paleoeuropea e paleoaficana, che porterà allo scontro tra le due masse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

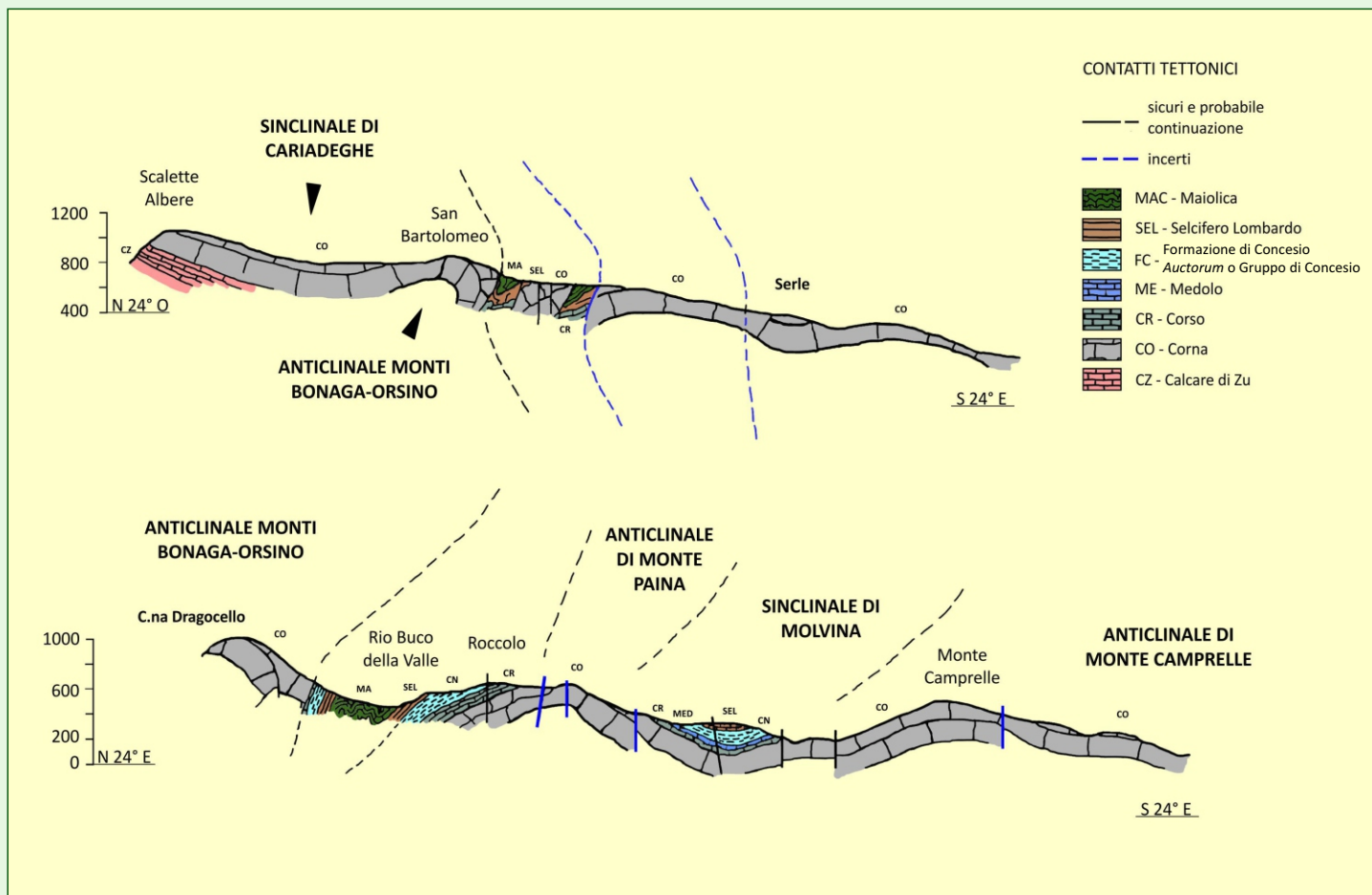


Figura 5. Sezioni geologiche che attraversano con andamento NW-SE il territorio compreso tra Botticino e Serle (da Cassinis, 1968 - Rielab. grafica: M. Pozzo)

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

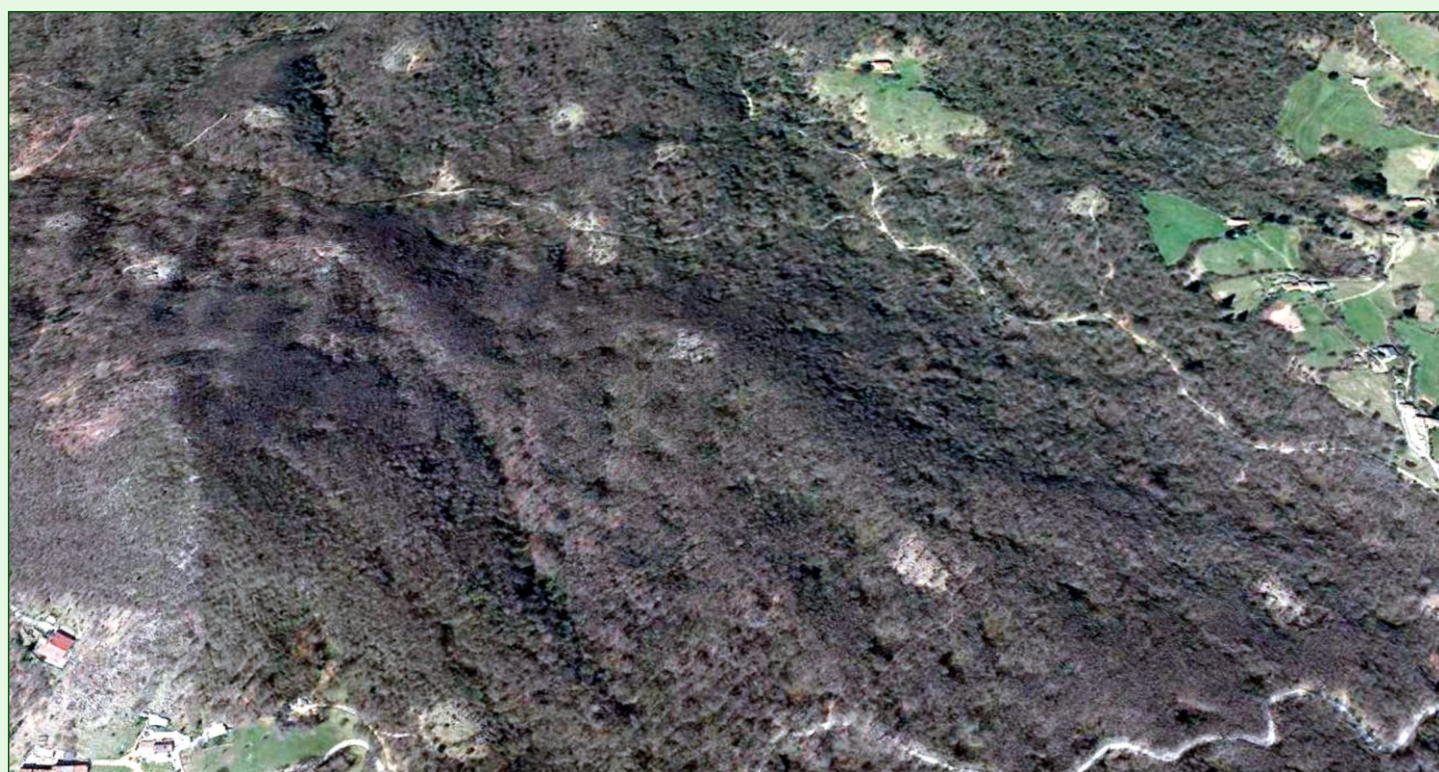


Figura 6. Stralcio da ortofoto, ripresa aerea di una porzione dell'Altopiano di Cariadeghe, in cui è visibile l'alta concentrazione di doline

(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

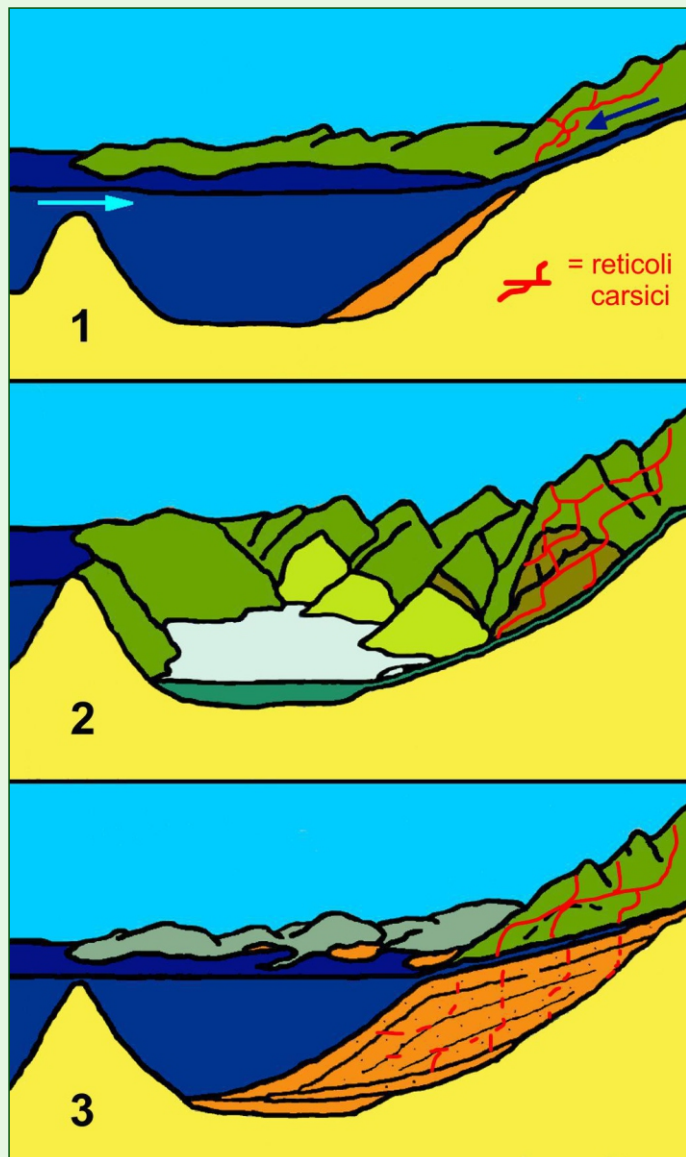


Figura 7. Schema "Crisi di salinità del Messiniano".

- 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'Iseo 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 informatizzato 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.

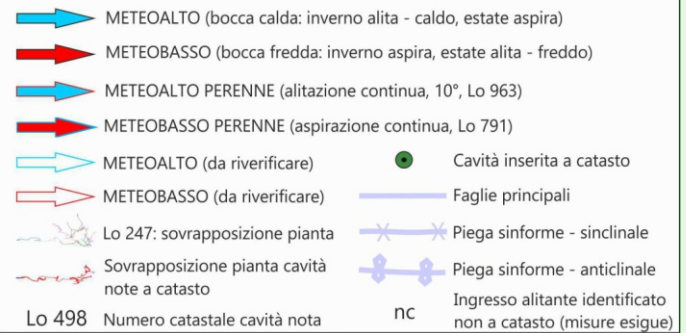
Questa attività ha permesso, con i dovuti tempi, di visualizzare un quadro d'insieme più chiaro e preciso di quello conosciuto e, tramite la realizzazione di una "Carta della circolazione dei flussi d'aria" contenente il maggior numero di informazioni sul fenomeno delle alitazioni degli ingressi delle 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
Vedonnovedo - 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 - Neroperaso
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)

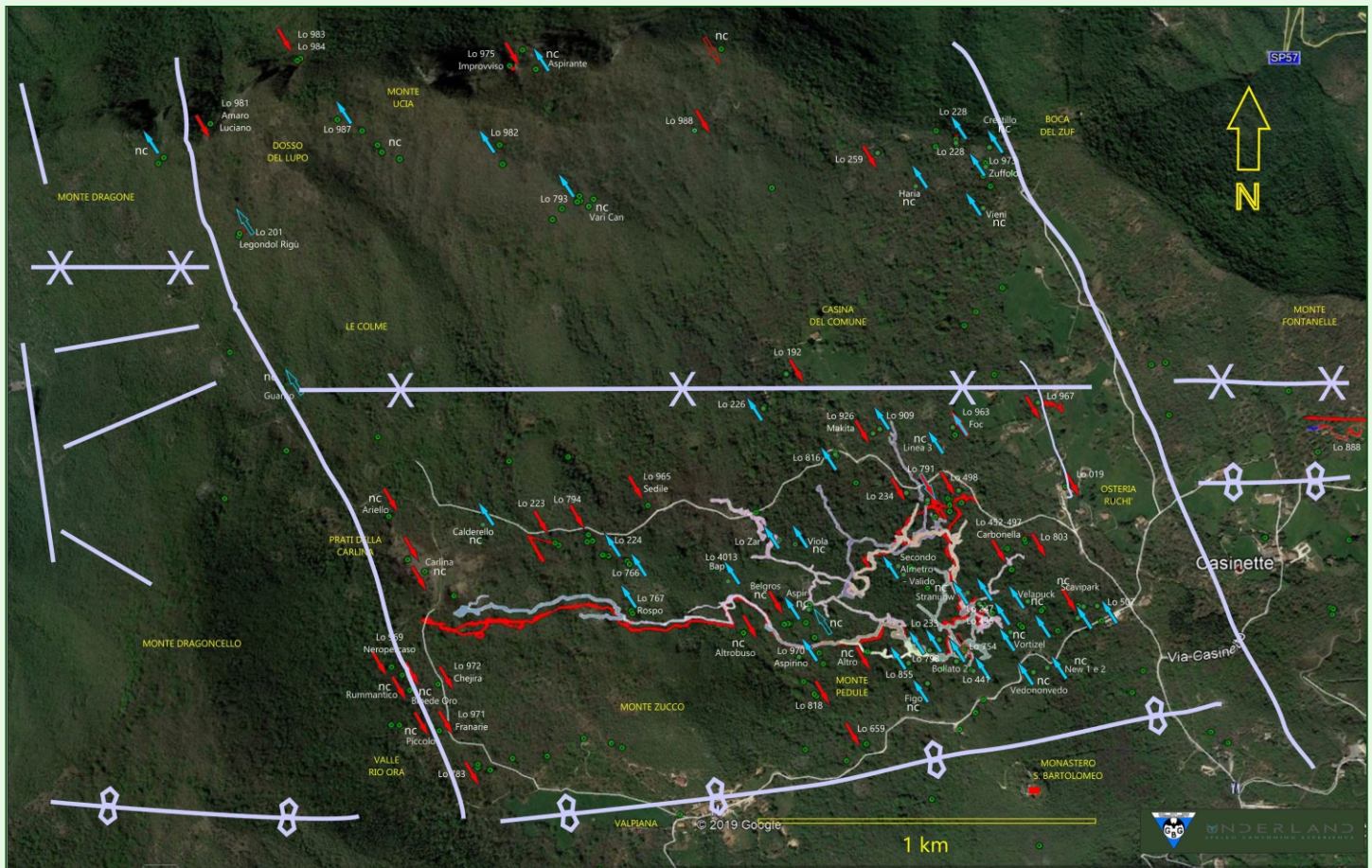




Figura 10. Settori di suddivisione dell'altopiano, sovrapposizione in pianta del complesso carsico e delle cavità di maggiore sviluppo

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

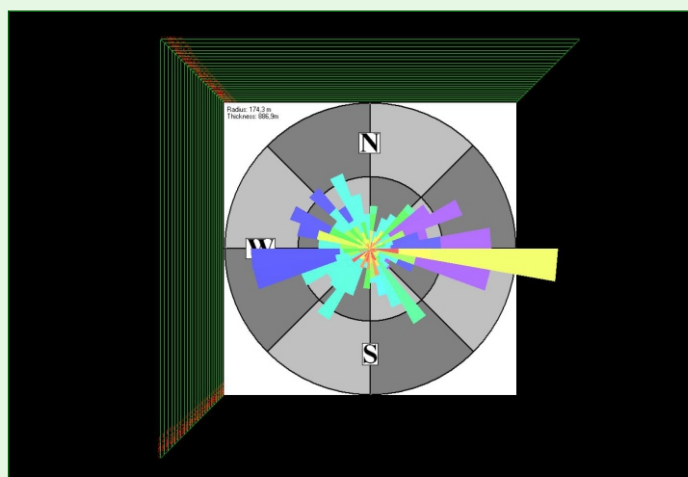


Figura 11. Diagramma a «rosa 3D» riportante le direzioni delle poligonali topografate a nuovo in tutto l'altopiano, in correlazione alle direzioni ed ai dislivelli, confrontabili con le linee di asse delle pieghe e della fratturazione presente (pianta)

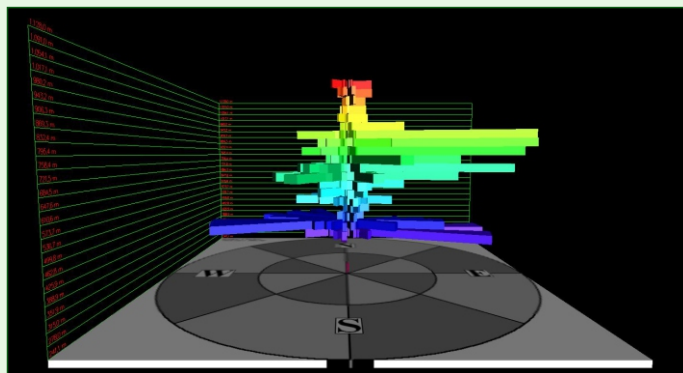


Figura 12. Diagramma a «rosa 3D» riportante le direzioni delle poligonali topografate a nuovo in tutto l'altopiano, in correlazione alle direzioni ed ai dislivelli, confrontabili con le linee di asse delle pieghe e della fratturazione presente (sezione)



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

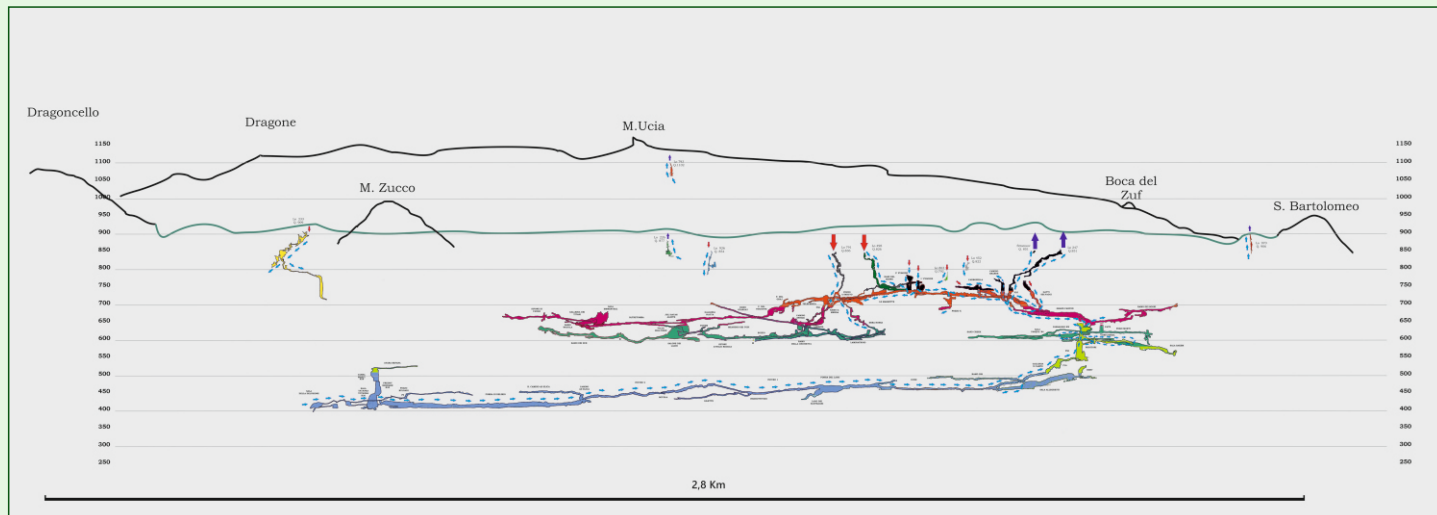


Figura 14. Ricostruzione parziale in sezione della circolazione dei flussi d'aria all'interno del Complesso carsico di Cariadeghe (LoBs 247 - LoBs 498 - LoBs 791) e cavità limitrofe in regime invernale - M. Pozzo, V. Franchini, 2021

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

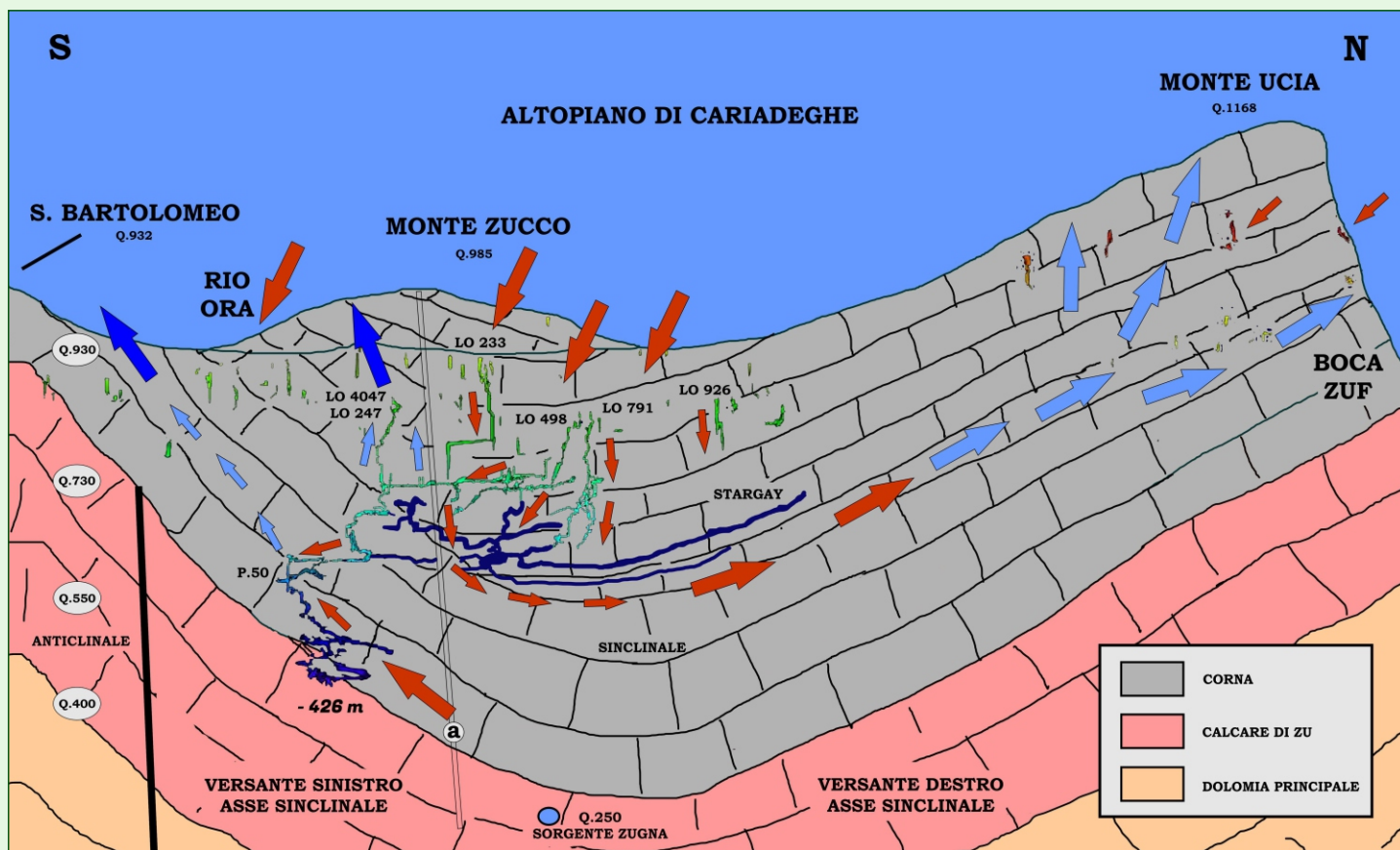


Figura 15. Altopiano di Cariadeghe. Visione schematica della linea ipotetica di divisione tra i due grandi settori del reticolo carsico locale: il settore del fianco sinistro rispetto all'asse della piega sinclinale e il settore destro. Schema della circolazione dei flussi d'aria accertato - Dis. M.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

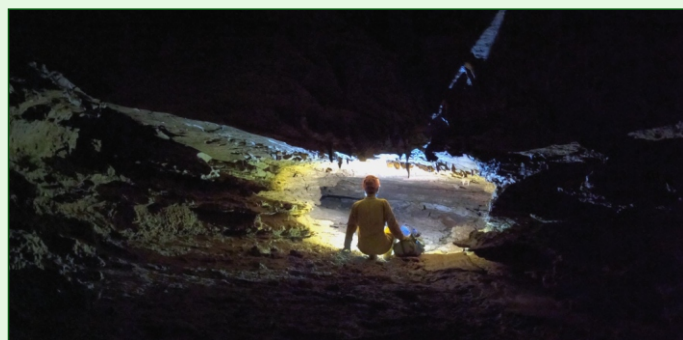


Foto 5. LoBs 247: Ramo Stargay (o Stargate) - Foto M. Pozzo

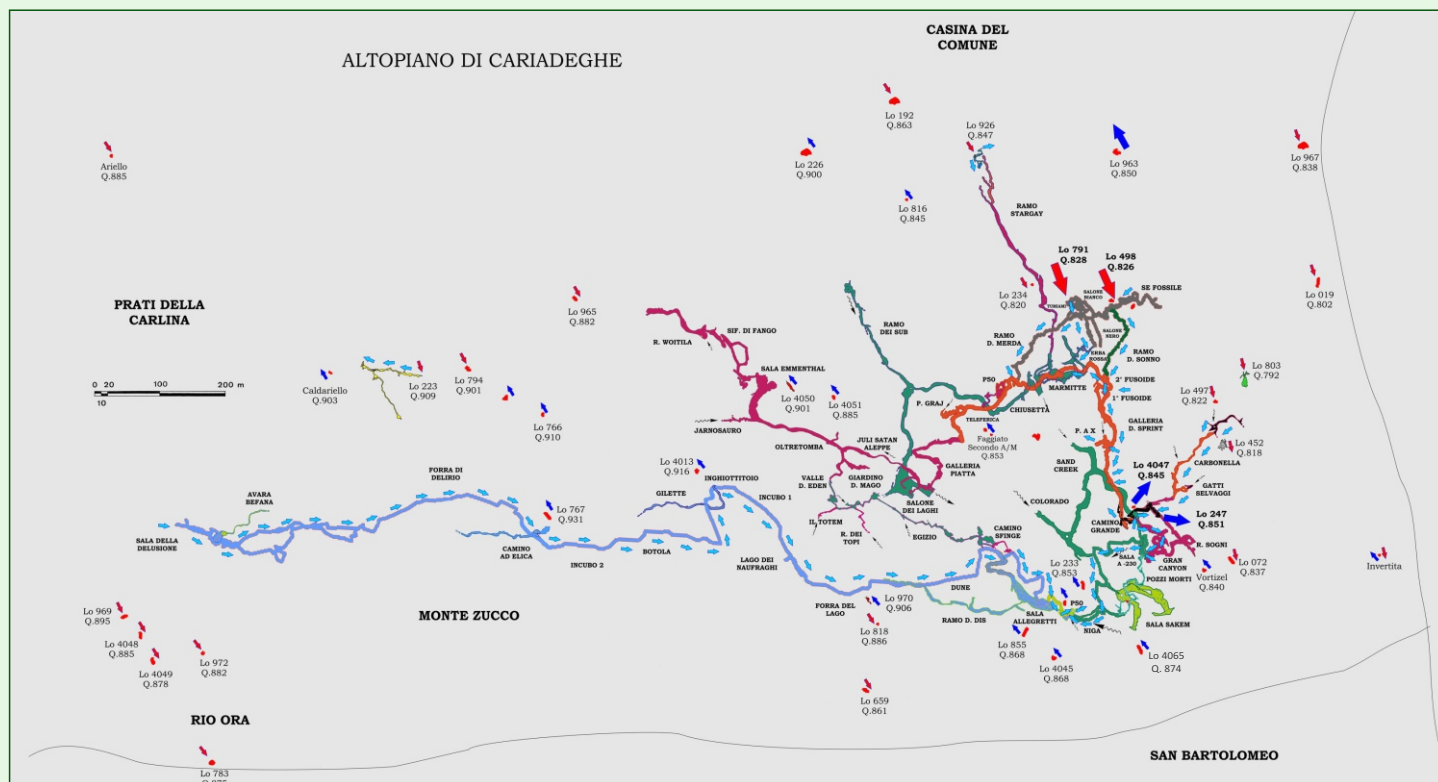


Figura 16. Ricostruzione parziale in pianta della circolazione dei flussi d'aria all'interno del Complesso carsico di Cariadeghe (LoBs 247 - LoBs 498 - LoBs 791), e cavità limitrofe in regime invernale - M. Pozzo, V. Franchini, 2021

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 - Būs del Caali;

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

LoBs 767 - Būs 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 - Būs 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 - Būs del lat di Casa Ceri;

LoBs 192 - Būs Mandria;

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

LoBs 234 - Būs de la Pòcia dei Làacoi;

LoBs 247 - Omber en banda al Būs 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 - Būs del Föc;

LoBs 965 - Būs del Sedile;

LoBs 967 - Būs 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°C a 23°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°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.

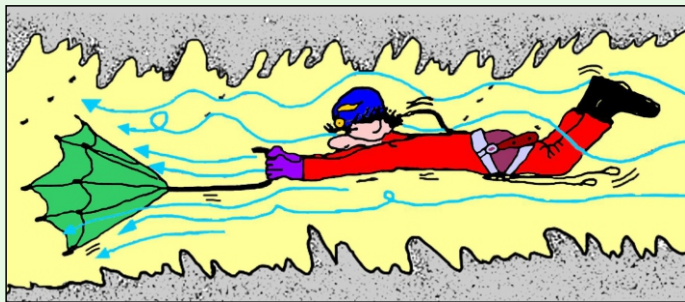
In esterno, i barattoli sono stati appesi ad alberi, ad almeno 2 metri di altezza da terra e coperti da esposizione diretta ai raggi solari.

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:

$$T = -Gq + T_0$$

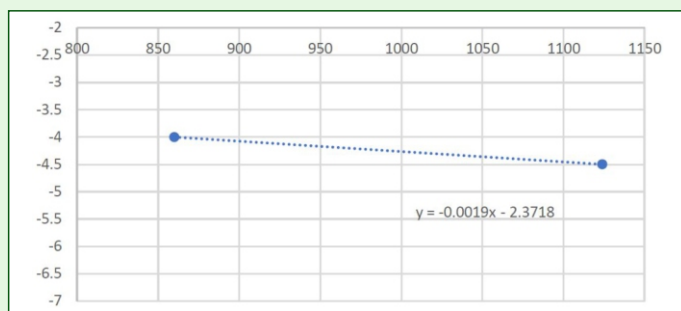


Figura 17. Grafico della variazione della Temperatura esterna (asse Y) con la quota (asse x). La curva serve per calcolare il tasso di variazione di temperatura con la quota

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.

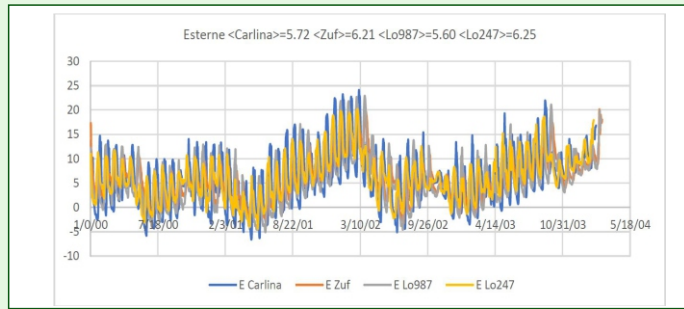


Figura 18. Grafico della variazione della Temperatura esterna (asse Y) con la quota (asse X)

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

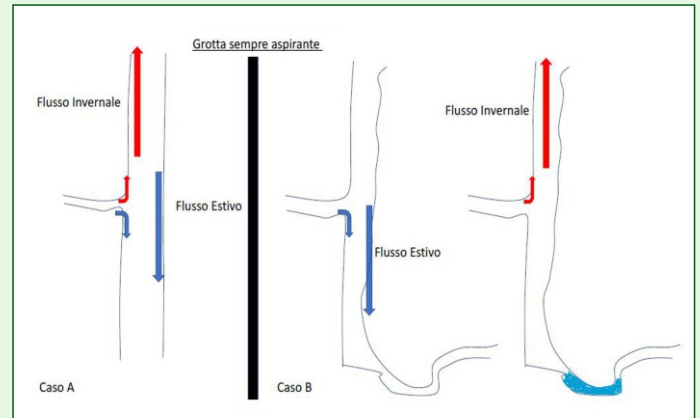


Figura 19. Esempio di ipotesi schematiche di «grotta sempre aspirante»

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.

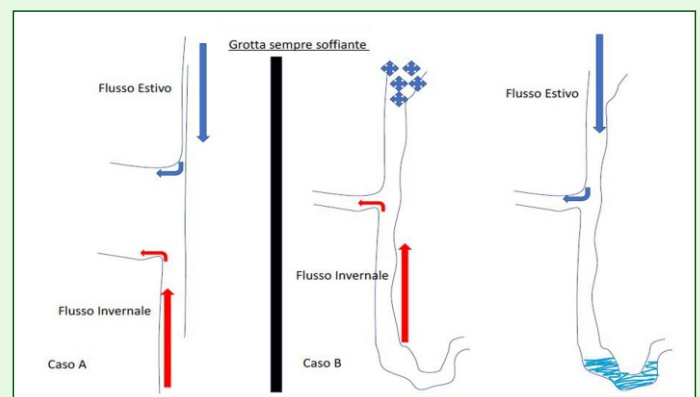


Figura 20. Esempio di ipotesi schematiche di «grotta sempre soffiante»

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 - V	Lo Zar	Caldariello	LO 816	LO 909	LO 963	LO 226 Casin	LO 793 FO C	Haria	LO 982	LO 973 Zuffol	LO 987	LO4050	Lo4045	E Omb	E Carina	E Bica Zuf	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	1,86	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
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 modalita 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.

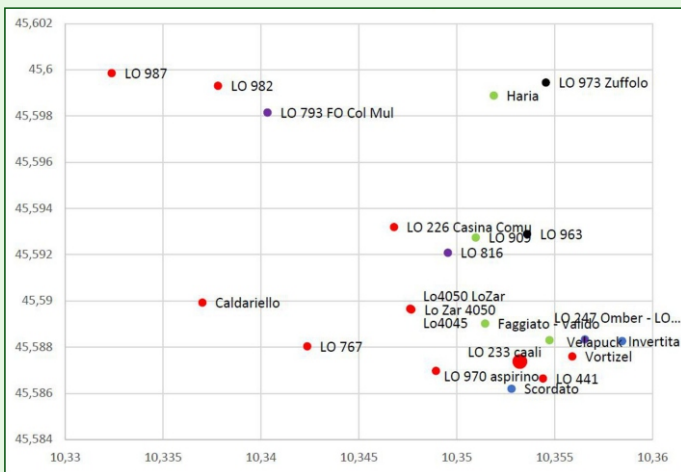


Figura 21. Pianta temperature omologhe invernali

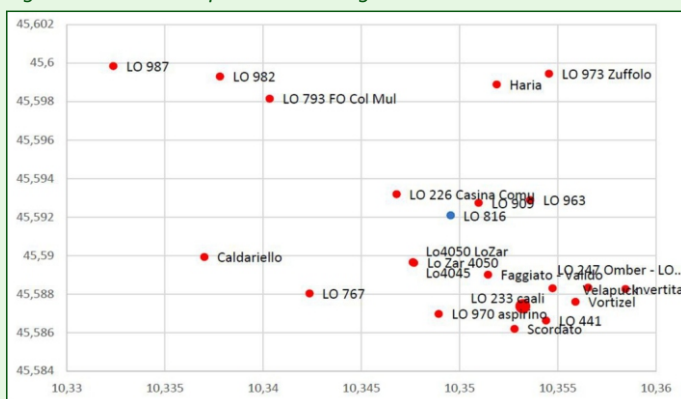


Figura 22. Pianta temperature omologhe estive

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 modalita 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

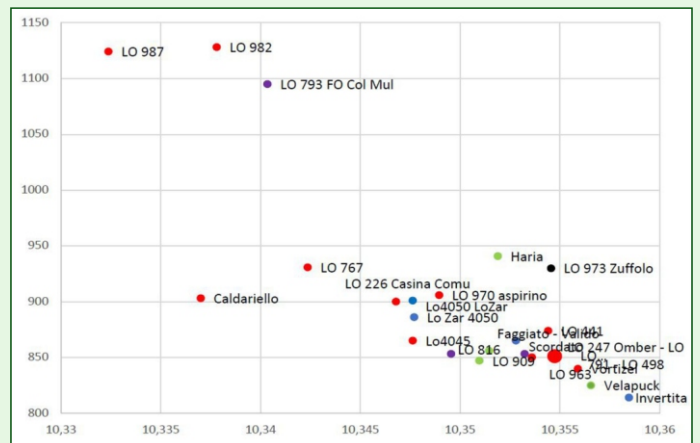


Figura 23. Sezione temperature omologhe invernali

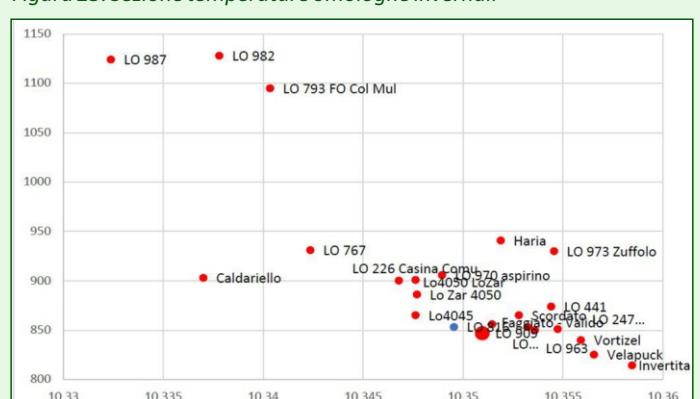


Figura 24. Sezione temperature omologhe estive

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.

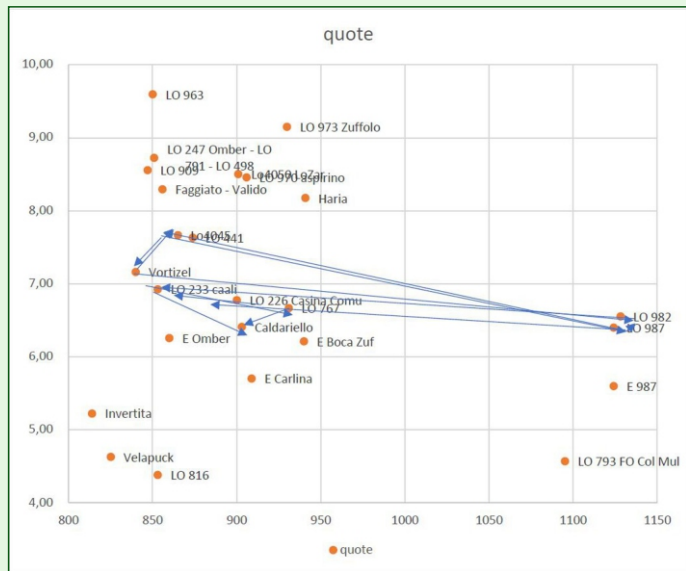


Figura 25. Grafico di controllo dei collegamenti in parallelo

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 candele 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

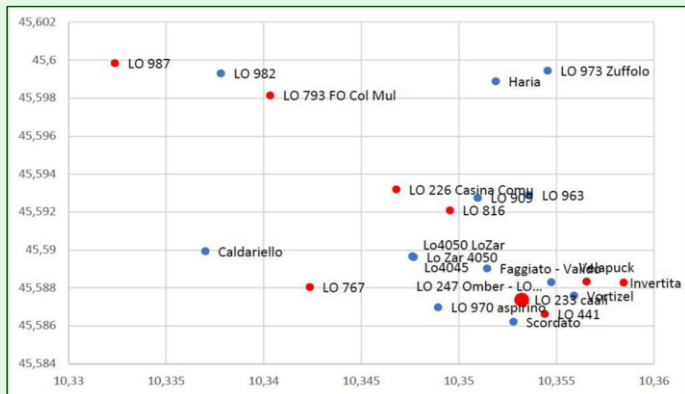


Figura 26. Pianta correlazioni

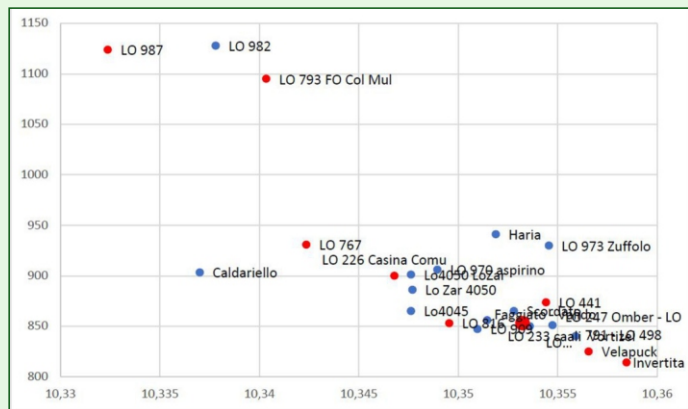


Figura 27. Sezione correlazioni

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																						-

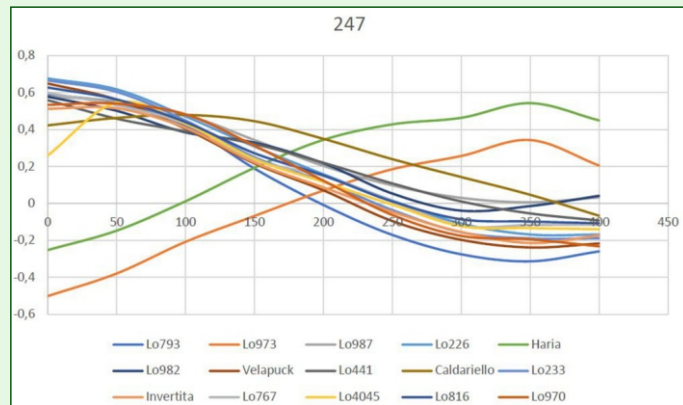


Figura 28. Grafico di confronto con ritardo progressivo delle temperature in relazione alla LoBs 247

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.

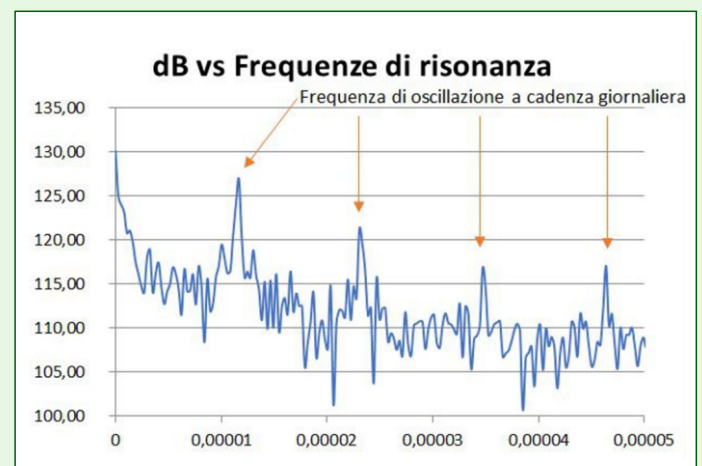


Figura 29. Grafico dell'analisi in frequenza di risonanza

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.

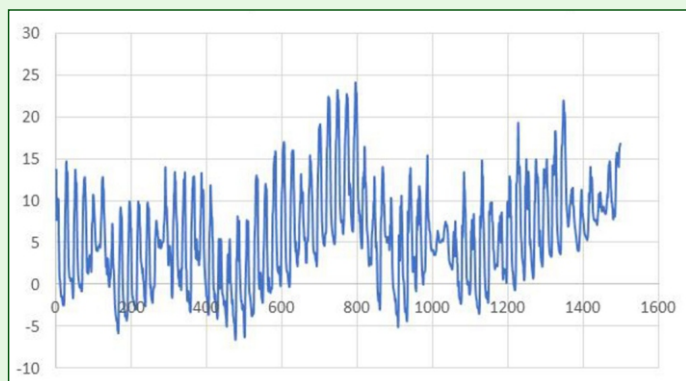


Figura 30. Grafico della variazione di temperature in °C Carlina Esterne nel tempo

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

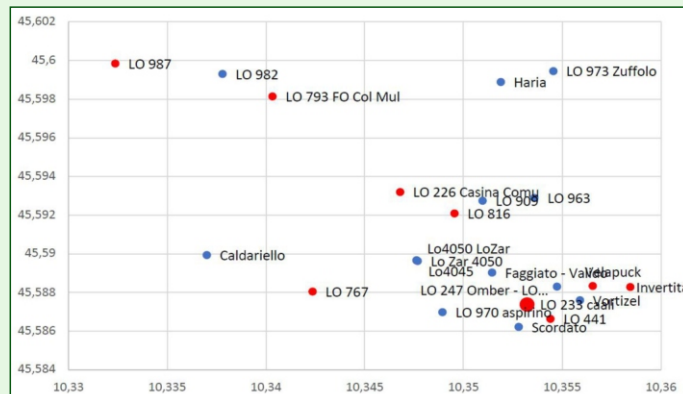


Figura 31. Pianta correlazioni tra frequenze di risonanza

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

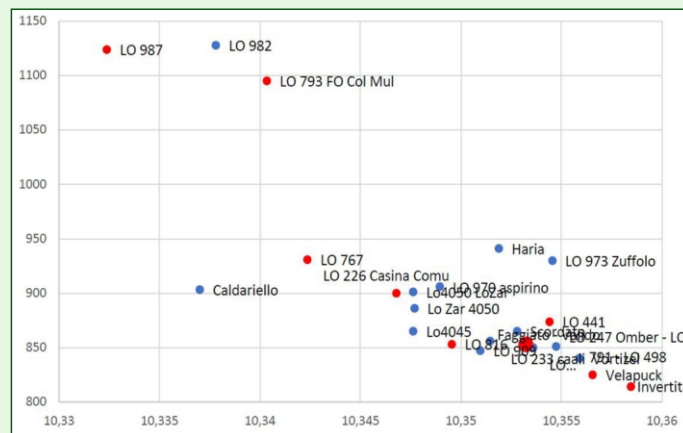


Figura 32. Sezione correlazioni tra frequenze di risonanza

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.

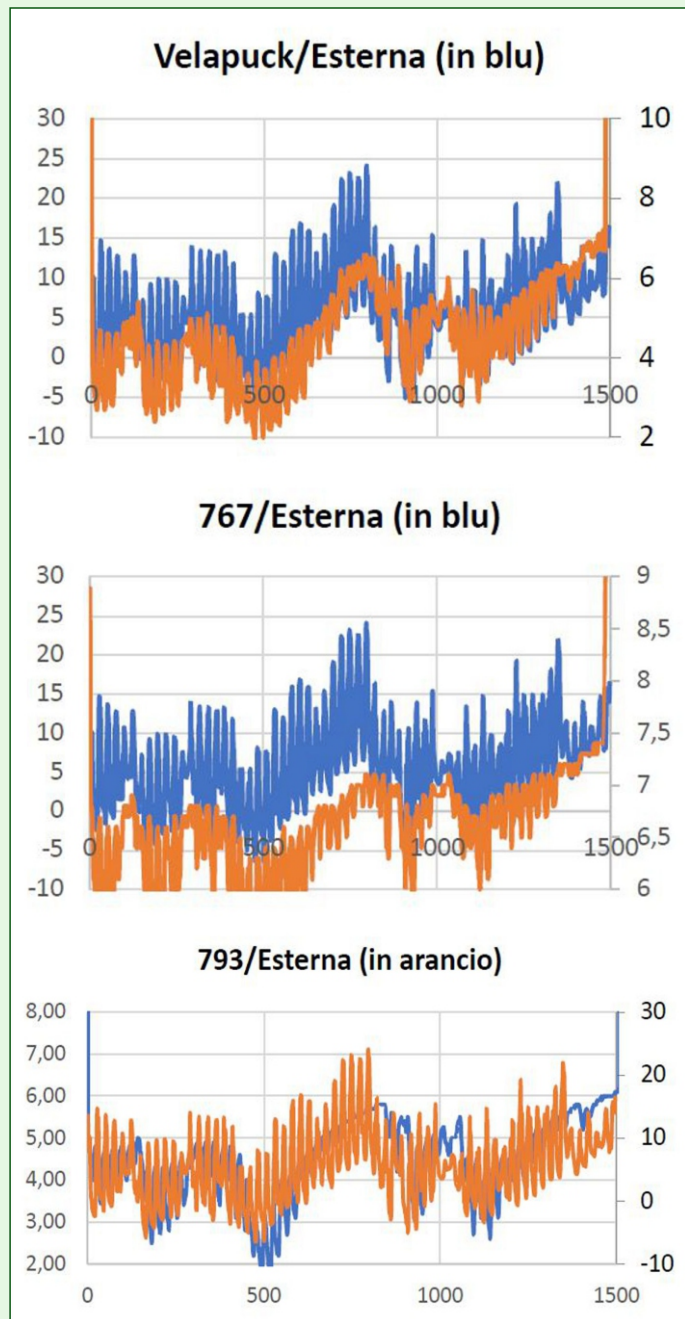


Figura 33. Esempio di confronto tra le frequenze di alcune singole cavità (Velapuck, LoBs 767 e LoBs 793, per e quelle esterne)

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

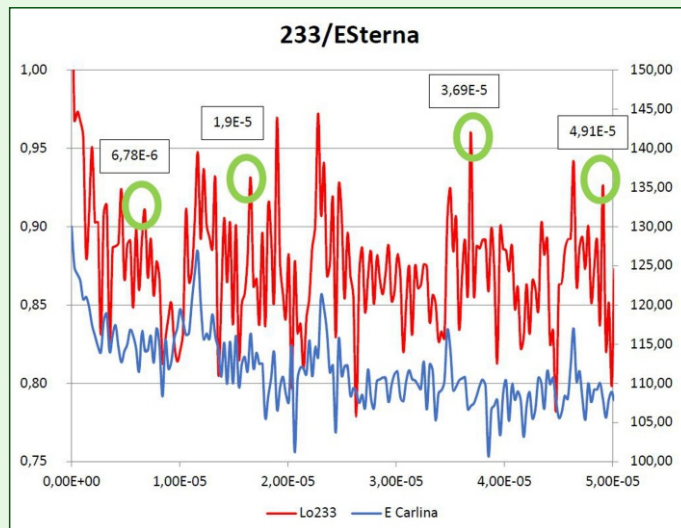


Figura 34. Esempio di confronto tra le frequenze della LoBs 233 e quelle esterne

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:

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

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 (L_{eq}) 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 (L_{smorz}), 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

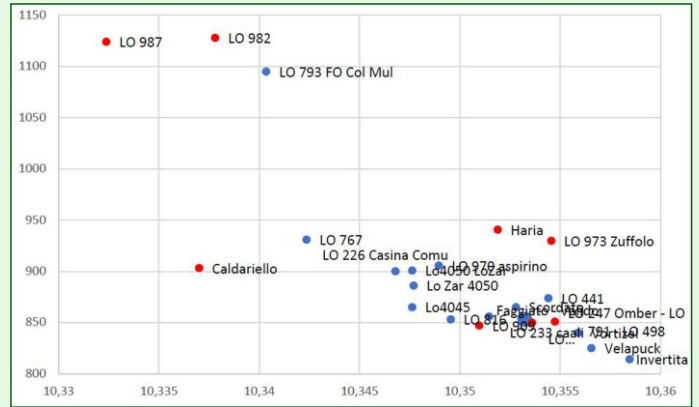


Figura 36. Sezione differential dB

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.

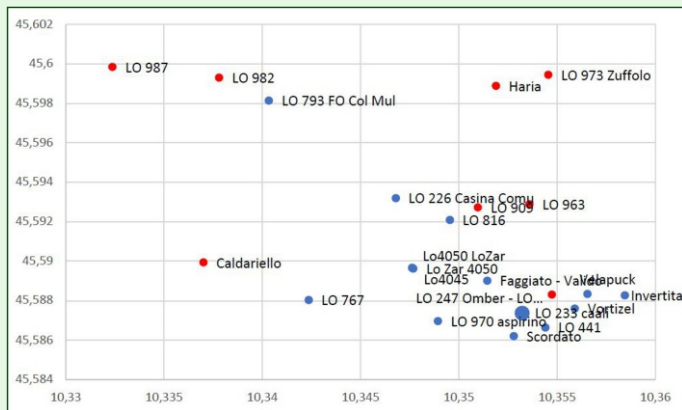


Figura 35. Pianta differential dB

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.

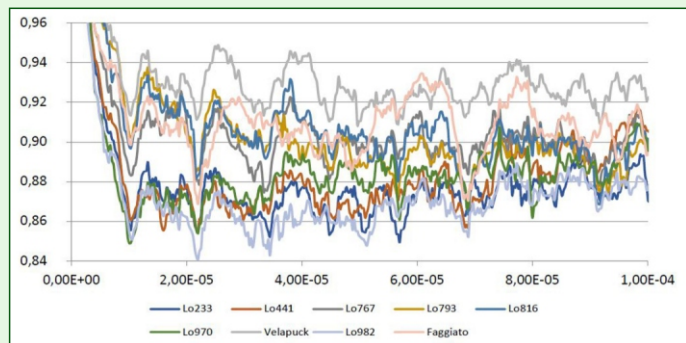


Figura 37. Grafico di Smoothed Differential dB (LoBs 226, LoBs 233, LoBs 4065, LoBs 793, LoBs 816, LoBs 982, Faggiato, Velapuck)

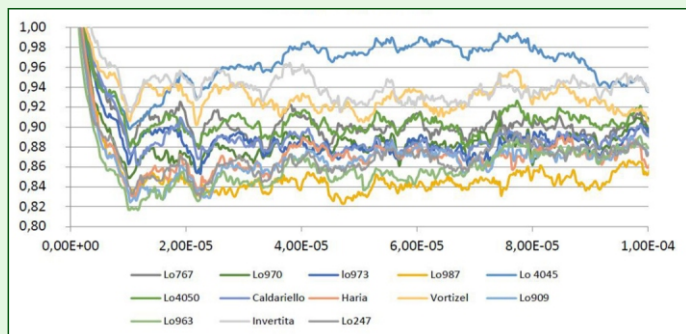


Figura 38. Grafico di Smoothed Differential dB (LoBs 247, LoBs 767, LoBs 963, LoBs 973, LoBs 987, LoBs 4045, LoBs 4050, Caldariello, Haria, Invertita, Vortizel)

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).

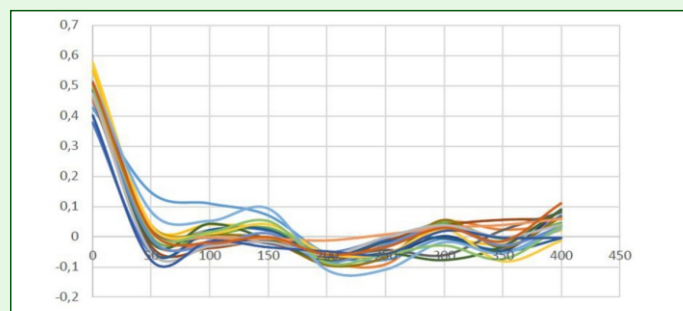


Figura 39. Grafico di Smoothed Differential dB della LoBs 247 confrontata con tutte le altre

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 ω oggetto di studio (giornaliera, ecc., $\omega = 7.3 \times 10^{-5}$ rad s⁻¹), cioè la differenza tra la T_{max} e T_{min} esterna:

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

Dove ΔT è l'equivalente T_A in sotterraneo con uno sfasamento α , 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 α , applichiamo un riscaldamento che varia in modo ciclico.

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

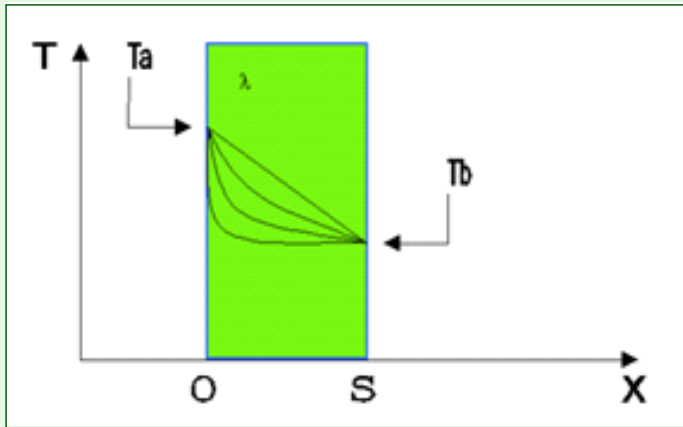


Figura 40. Diffusività. Equazione di Fourier in una dimensione

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:

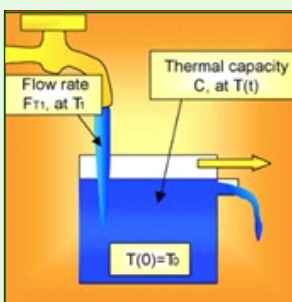


Figura 41. Modello filtrativo

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

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 Δt_{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° (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	ΔT	Q	α_r daily (ore)	α_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 φ = *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 = $3 \cdot 10^{-10} \text{ }^\circ\text{K/s}$

ρ_r, ρ_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

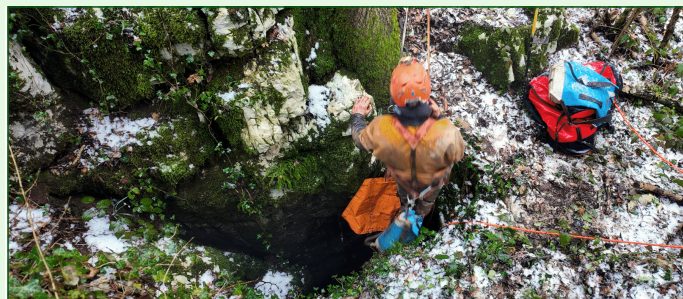


Foto 13. LoBs 233: l'ingresso dopo grandinata invernale - Foto M. Pozzo

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	$\varphi(\text{m}^3/\text{s})$		Portata= m^3/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.

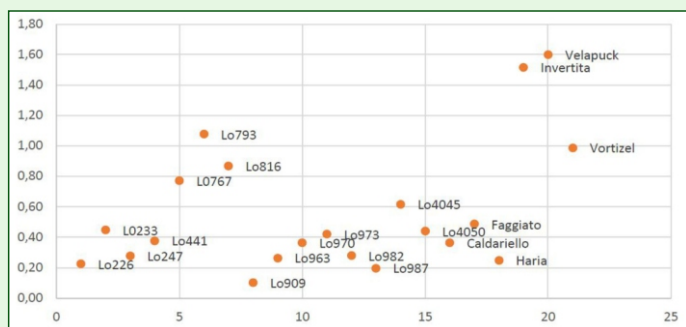


Figura 42. Grafico relativo alle ampiezze delle oscillazioni di temperatura interna (asse y)

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

Per fare questo, si è dovuto procedere con FFT estraendo per ogni grotta le sue frequenze fondamentali che sono state confrontate con quelle esterne, sottraendole. Si sono così ottenute le frequenze pure delle grotte senza gli influssi esterni. È stata quindi effettuata una *cross_correlation* per verificare se le grotte avessero delle frequenze comuni, cercando l'esistenza di una correlazione tra loro. Utilizzando lo stesso approccio, cioè di porre come limite le correlazioni superiori al 70%, non è stata rilevata alcuna relazione. In realtà accettando valori intorno al 50% sarebbero risultate delle correlazioni anche interessanti, ma temiamo che il dato non abbia alcun significato per il nostro studio.

Strumenti utilizzati

I termometri sono Elitech con misura al decimo di grado e precisione 0,5°C. Per le misure in esterno con oscillazioni di vari gradi non presentano problematiche, mentre per quelle in interno in effetti è inserita una precisione imbarazzante sulle misure e rimane da verificare con un termometro in laboratorio, se l'oscillazione è un difetto di fabbricazione o un'effettiva misura. Riteniamo sia un'effettiva misura poichè dal confronto delle oscillazioni dei termometri (che sono una quarantina) non si notano sfasamenti, ma un'assoluta sincronia con quelli in esterno. I termometri vengono inseriti all'interno delle grotte ad una distanza compresa tra 50 m e 10 m dall'ingresso, in piena aria sospesa da terra. I termometri quindi sono sottoposti ad un flusso costante d'aria che difficilmente può essere influenzato da eventi che avvengono in esterno. Se lo fossero si dovrebbe trovare una sorta di isteresi tra le variazioni esterne e quelle registrate, cosa che in realtà non si nota: la fase è sempre la stessa, se non in due casi, con sfasamenti molto importanti.

I termometri vengono calibrati in fabbrica: è stata effettuata una procedura di calibrazione comune e a fine ciclo è previsto un confronto globale per verificare se esistono spostamenti significativi tra i vari termometri.



Foto 14. I contenitori utilizzati per la protezione dei data logger, con fondo tagliato e buchi laterali di areazione - Foto M. Pozzo

I flussi d'aria invernali sono risultati decisamente stabili perchè le temperature si sono mantenute ben al di sotto di quelle di inversione.

La mancanza di un rilevamento anemometro è ovviamente una lacuna grave, che si cerca di colmare con i nuovi dispositivi in fabbricazione (al decimo di grado ma con 0,2° di precisione).

Sono state utilizzate le variazioni esterne come sistema di riferimento, il che non vuol dire che si è usata la media della variazione, ma la sua variazione oraria, quindi parametrizzando ogni misura interna rispetto a quanto avveniva all'esterno in quel momento.

Il punto che sembra emergere dai dati allegati, è che tutte le grotte (tranne 2 complessi noti per essere molto grandi e profondi) con un termometro fissato nel flusso principale di uscita dell'aria, mostrano delle oscillazioni in armonia con le oscillazioni esterne.

Immergendo un termometro in un liquido che scorre a temperatura T0 stabile, e facciamo variare la temperatura all'esterno, è praticamente impossibile che il termometro ne sia influenzato.

Possiamo immaginare solo 3 casi riconducibili a due comportamenti:

- 1) le temperature oscillano al di sotto della temperatura della grotta (7°+/- 1° rispetto alla grotta a 12°);
- 2) le temperature oscillano al di sopra della temperatura della grotta (7°+/- 1° rispetto alla grotta a 2°);
- 3) le temperature oscillano in un *range* che comprende la temperatura della grotta (7°+/- 10° rispetto alla grotta a 12°).

I primi 2 casi non inficiano la temperatura della grotta se è grande e profonda, ma si comportano come in letteratura e prima o poi ad una distanza X, in genere inferiore a 200 m, le variazioni di temperatura si smorzano in profondità.

G. Badino ha costruito una bella teoria sulle variazioni secolari di temperatura, ma per ciò che ci riguarda nell'immediato, questo effetto non conta.

Il terzo caso è molto più interessante e frequente, perché una variazione di quel tipo influenza pesantemente i flussi di aria: si ha quindi una grotta che inverte ripetutamente le direzioni e di conseguenza il fenomeno rimane confinato ancora nell'area termotropica delle grotte, come ben evidenziato da A. Cigna.

Quindi i casi evidenziati e frequenti, dell'Altopiano di Cariadeghe sono inspiegabili.

L'unica idea plausibile dopo l'osservazione dei dati, è che le variazioni di temperatura esterne in qualche modo entrano nelle grotte e le percorrono interamente, presentando in uscita un'andamento oscillante (con le stesse caratteristiche delle oscillazioni esterne) ma in qualche misura attenuato. Usando il parallelo elettrico, è come se le grotte fossero un filtro di attenuazione dell'oscillazione di ingresso.

Questo filtro, a seconda della sua complessità (puro R, puro C, mix R/C) provoca degli smorzamenti visibili in uscita che posso essere rivelati non solo da una variazione di ampiezza ma anche di fase (come in alcuni casi si verifica).

Ora prendendo un modello, che è per una propagazione (diffusione?) statica delle temperature e ci aggiungiamo per esempio un *drift* di 1 m/s di flusso, ci ritroviamo che se staticamente ci impiega 1 ora ad arrivare a 200 m, dinamicamente in quell'ora potrebbe essere penetrato per chilometri nel complesso, e se il complesso fosse più piccolo, si potrebbero avere in uscita delle oscillazioni attenuate ma non smorzate.

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 CO₂, 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 ²
300	1 10 ⁻⁵
1000	3 10 ⁻⁵
3000	1 10 ⁻⁴

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))
```

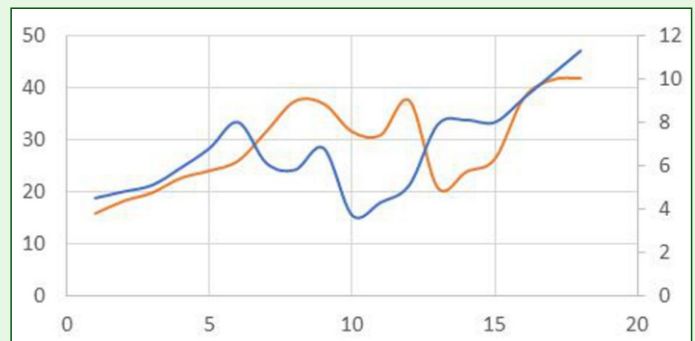


Figura 44. Grafico dei vettori senza ritardo

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.

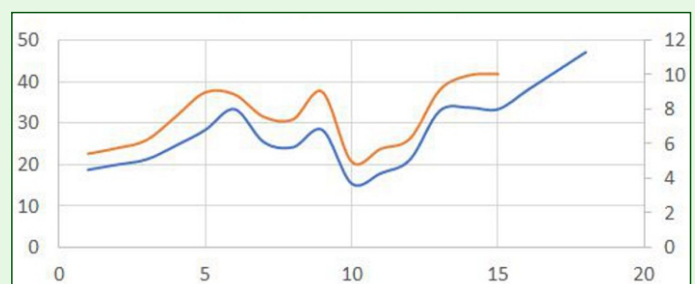
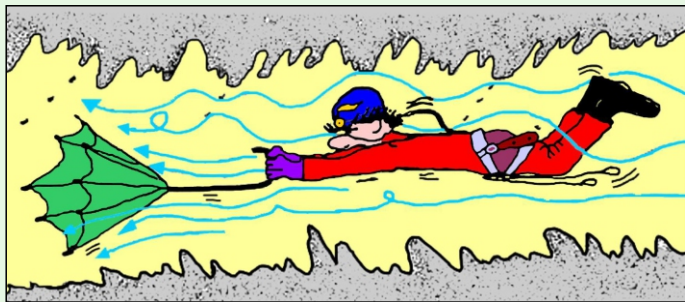


Figura 45. Grafico dei vettori con ritardo di 3 unità



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.

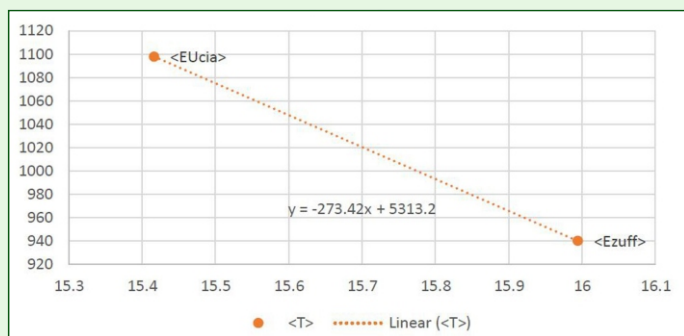


Figura 46. Grafico (estivo) della variazione di temperatura esterna (asse y) con la quota (asse X). $G = 3,7^\circ \text{Km}^{-3}$

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

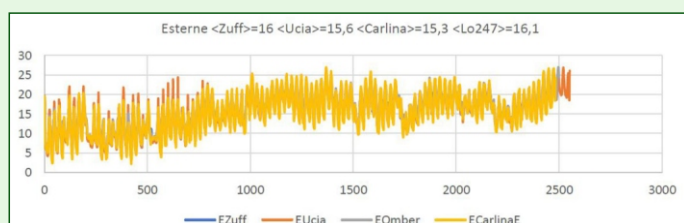


Figura 47. Correlazione tra termometri esterni e temperatura media del periodo

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	?

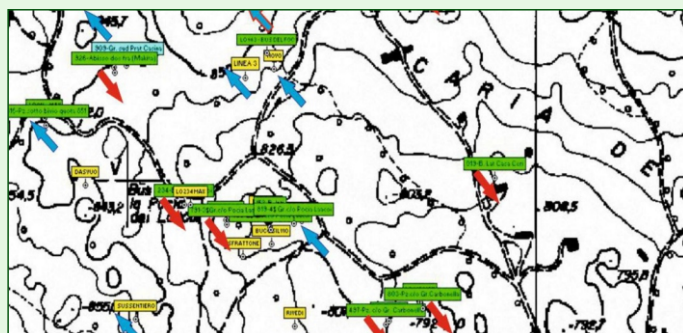


Figura 48. Stralcio di CTR e dettaglio delle alitazioni agli ingressi

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	OLaminatio	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				

ma passa tramite altre grotte.

Ad esempio Velapuck è in connessione con la LoBs 4045 tramite la LoBs 4065.

Un altro caso specifico è la relazione tra LoBs 982 (soffiante) e la LoBs 247 (soffiante), dove probabilmente entrambe ricevono aria dalle stesse sorgenti e quindi possono considerarsi a tutti gli effetti la stessa grotta.

Nel caso estivo la lettura appare abbastanza chiara nelle relazioni tra i buchi aspiranti e quelli soffianti, ma purtroppo la cosa si complica con le relazioni tra le grotte soffianti che sembrano tutte interconnesse tramite relazioni molto complicate.

L'analisi congiunta dei dati estivi ed invernali diventa a questo punto quasi impercorribile nella sua globalità, con questi grafici al contrario si può procedere con analisi limitate a gruppi di grotte, pianificando opportuni set di tracciamenti.

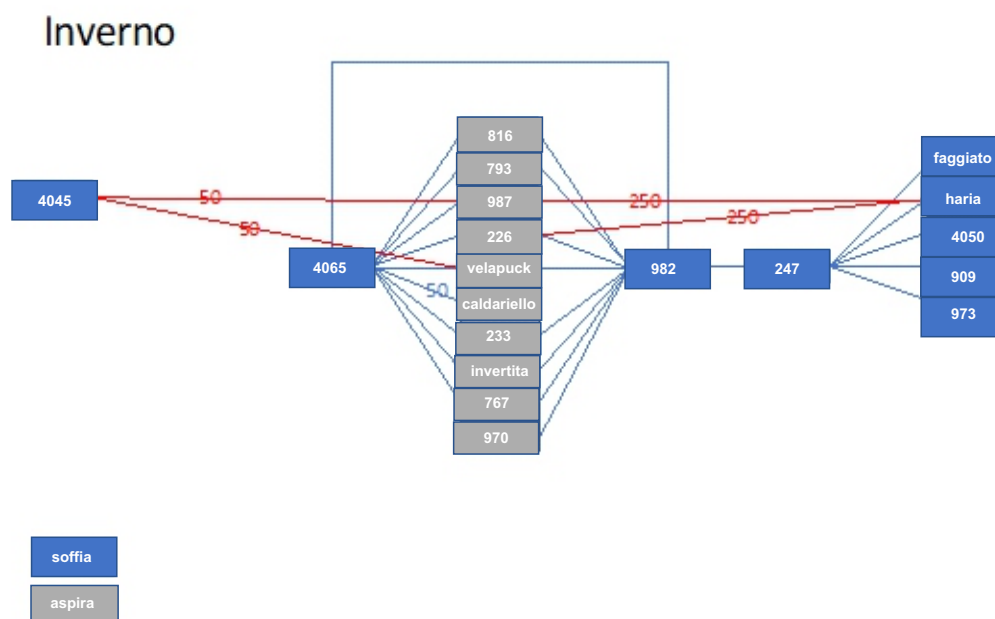


Figura 49. Inverno: analisi in frequenza delle variazioni di temperatura e correlazioni con grotte di riferimento correlate con altri gruppi di grotte

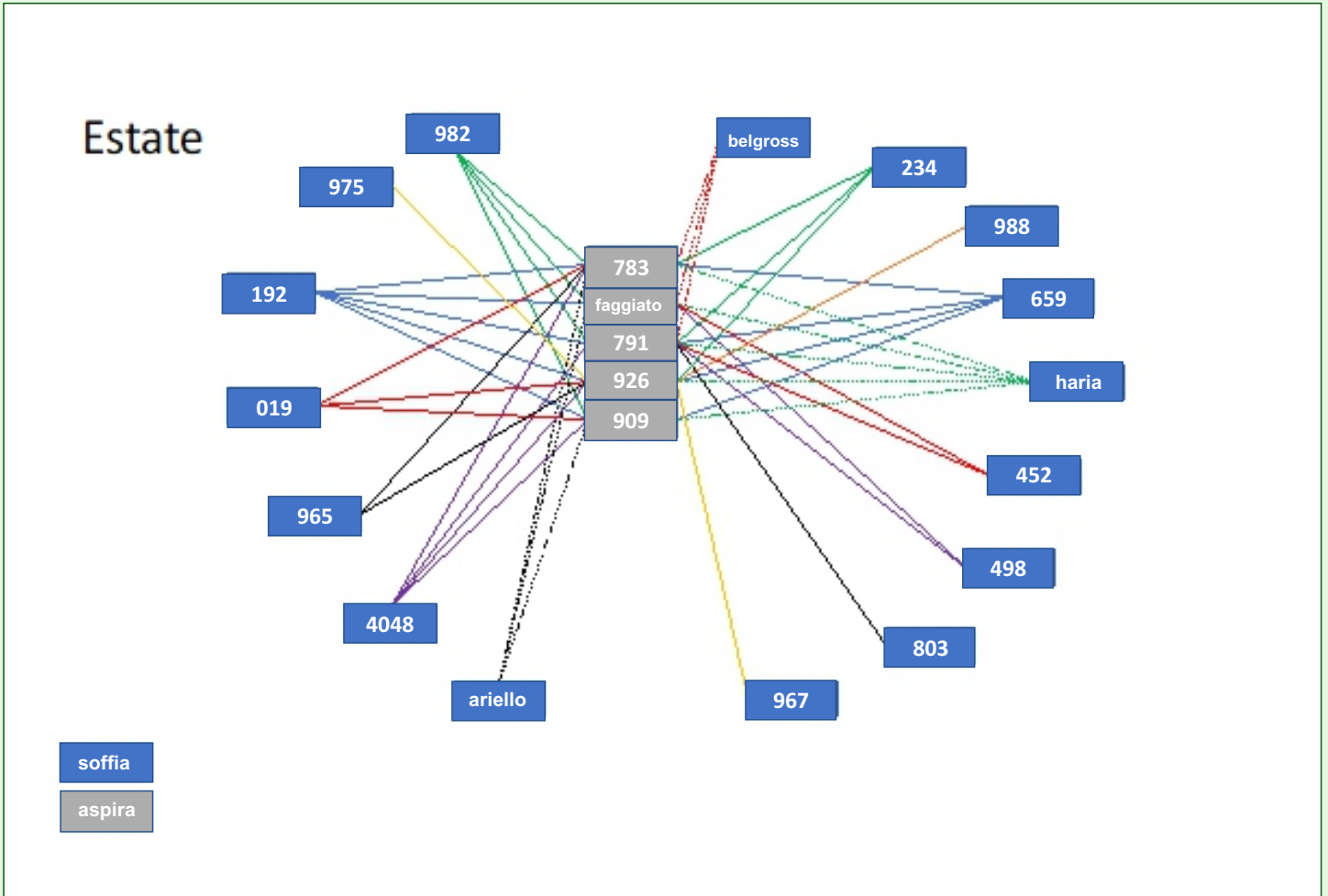


Figura 50. Estate: analisi in frequenza delle variazioni di temperatura e correlazioni con grotte di riferimento correlate con altri gruppi di grotte

80

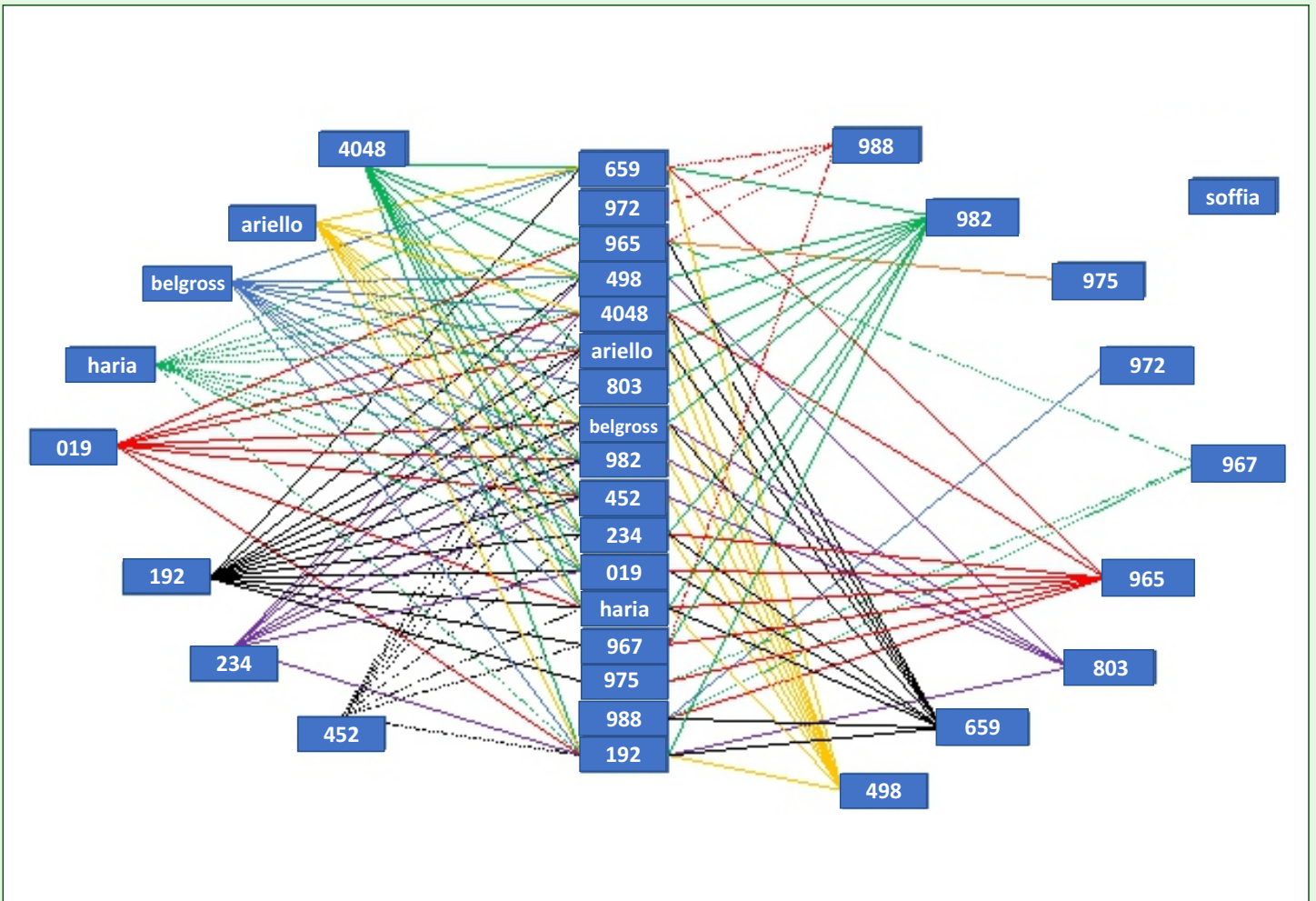


Figura 51. Analisi congiunta in frequenza delle variazioni di temperatura e correlazioni con grotte di riferimento correlate con altri gruppi di grotte

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	ΔT	$Q = ((T_A/\Delta T)^2 - 1)^{1/2}$	media α_r daily (ore)	media α_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	∞	5,98	42,85
OBase50	10,41	0,02	642,06	5,97	38,66
OFusoidi	10,41	0,00	∞	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

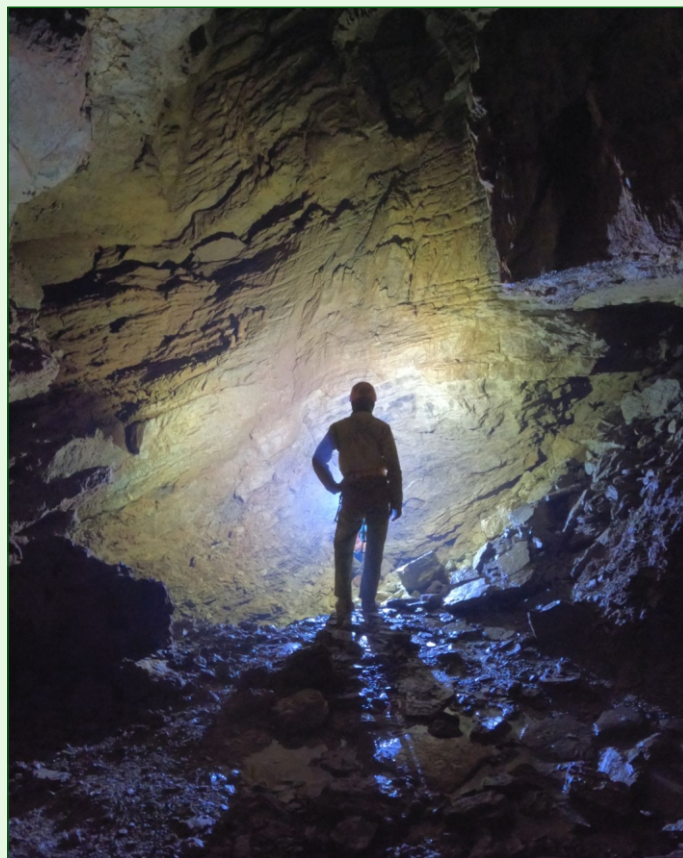


Foto 17. LoBs 973 (Zuffolo): la Salafaglia, a circa -50 m di dislivello, si apre in un ambiente di notevoli dimensioni impostato su un'importante linea di faglia e incrocio di fratture.

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:

φ = 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

ρ_r, ρ_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/Km²

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	φ (m ³ /s)	φ (m ³ /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		

differenti dimensioni che sono normali in una cavità sotterranea. In Tabella 29 (pagina precedente), si riassumono i risultati sia estivi che invernali per un confronto (al solito in rosso i dati estivi e in blu quelli invernali). Non commentiamo in dettaglio questi dati, in quanto sono da considerare come macro indicazioni che ovviamente dipendono dalle velocità dell'aria estrapolate. Ci soffermiamo solo sulla relazione tra le grotte monitorate sia in inverno che in estate, che in teoria dovrebbero dare risultati simili (in verde scuro).

Come già rilevato, le differenti velocità danno come risultato differenti lunghezze, tranne nel caso di LoBs 982 che sembra relativamente insensibile alle variazioni di stagione.

Il problema delle ampiezze

Un dato che risalta dal confronto tra le 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 inferiore.

È facile dire che le ampiezze interne sono tanto maggiori quanto

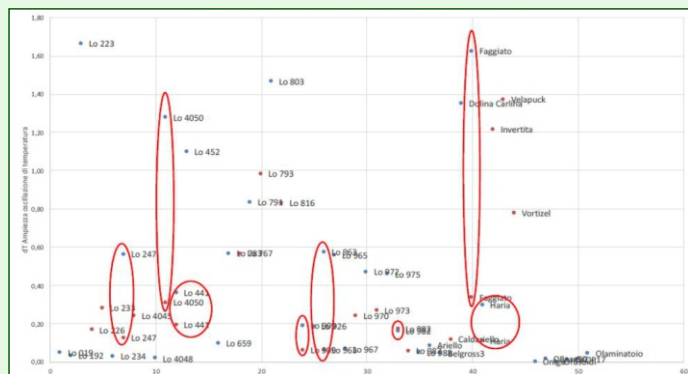


Figura 52. Variazione della temperatura interna al variare di quella esterna (estate=rosso/inverno=blu)



Foto 18. Il ritrovamento di ulteriori accessi ha permesso di esplorare nuove cavità - Foto M. Pozzo



Foto 19. Gli «incensini» sono spesso indispensabili nelle fasi di mappatura interna dei flussi - Foto M. Pozzo

le grotte risultano essere maggiormente influenzate dalle variazioni esterne (quindi quanto siano più superficiali) e arrivare alla conclusione che tutte le grotte con ampiezza superiore a 0,2 (sull'asse delle Y) sono delle grotte di dimensioni piccole o molto vicine alla superficie. 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.

Dal confronto con le variazioni di temperatura estive e invernali, è evidente che grotte come LoBs 909, LoBs 982, Haria e in parte LoBs 247, sono grotte decisamente più stabili in temperatura che le altre evidenziate con il cerchio rosso.

Sono quindi grotte da ritenere prioritarie negli sforzi esplorativi.

Conclusioni e considerazioni (M. Miragoli)

Rimandiamo il lettore alle medesime osservazioni formulate a fine pagina 74, per le analisi del periodo invernale.

Suggerimenti per i prossimi passi

1. È necessario fare dei monitoraggi selettivi su alcune grotte: LoBs 909, LoBs 982, Haria e LoBs 247.
2. È auspicabile a fine lavoro pianificare un monitoraggio delle velocità delle arie negli ingressi più significativi: vedi i grafici delle analisi in frequenza invernali ed estive.
3. È da pianificare a partire dal prossimo anno, una serie di monitoraggi con aperture chiusure ripetute su alcuni degli ingressi selezionati precedentemente.
4. È da pianificare una serie di lanci di CO₂, per l'analisi finale delle connessioni tra le grotte, con relativo monitoraggio esterno.

La stesura di questo lavoro non sarebbe stata possibile senza la caparbia e geniale passione di Max Pozzo e Vicky Franchini, che con santissima pazienza hanno posizionato i misuratori, li hanno mantenuti, coccolati, riparati e gestito i dati in uscita: un lavoro gigantesco di cui a me è bastato premere qualche tasto. A loro onore e merito di tutto quello che ora sappiamo di più.

Non posso ovviamente non citare il supporto di Roberto Chignola, e la sua infinita pazienza ad ascoltare i deliri estivi di un vecchio speleo appesantito.

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'Omer», 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

