

Primi risultati del monitoraggio microclimatico di Buco Cattivo (Italia)

FILIPPO FELICI¹, VALERIANA MANCINELLI²

Riassunto

Da alcuni decenni si cerca la giunzione tra il Buco Cattivo ed il sottostante Complesso Fiume-Vento. La speleologia esplorativa potrebbe trarre notevoli vantaggi dai monitoraggi microclimatici (pressione atmosferica P, temperatura aria T, velocità/direzione aria V). Nel gennaio 2006, la Federazione Speleologica Marchigiana “FSM” ed il Gruppo Speleologico Urbinate “GSU” hanno installato, all'interno di Buco Cattivo e fino alla distanza di 3 km dall'ingresso, 7 termistori, collegati a 5 datalogger, che misurano in semi-continuo (un dato ogni ora) la T. I dati di T della grotta, collezionati sino ad ora, evidenziano la presenza di zone termiche anomale, non influenzate in maniera diretta dalle variazioni di T esterna, ma da flussi d'aria calda probabilmente provenienti da altre zone del massiccio calcareo. Questi flussi d'aria calda si sono innescati quando la T esterna ha subito un rapido decremento. È in corso l'estensione del monitoraggio per numero di stazioni di monitoraggio e per tipologia di parametri (P, V). In totale saranno monitorati quasi 8 km di grotta ed in questo modo si potrebbe capire anche il ruolo d'eventuali effetti di variazione di P sulla circolazione delle masse d'aria in cavità a sviluppo orizzontale.

Parole chiave: monitoraggio microclimatico; monitoraggio in grotta; grotta di origine carsica

Abstract

After many decades of research, it's still unknown the connection between Buco Cattivo cave and below Fiume-Vento underground system. Explorative caving could obtain many advantages by microclimatic monitoring (air pressure P, air temperature T, air flow rate and direction V). Federazione Speleologica Marchigiana “FSM” and Gruppo Speleologico Urbinate “GSU” have managed to install since January 2006, 7 temperature sensors connected to 5 data loggers measuring air temperature (average value/hour) inside Buco Cattivo cave until 3 km from the entrance. Cave T data collected until now, highlight the presence of abnormal areas which are not directly influenced by external T ranges: instead, it seems to be influenced by warmer air flows probably originating inside unknown areas of the underground system. These warmer air flows have been found when external T was characterised by a fast decrease. Now, it has been decided to enlarge the monitoring by number of monitored points and by type of microclimatic parameters (P, V). Nearly 8 km will be totally monitored inside the cave and this way it could be also understand if pressure variations are able to influence air circulation pattern in sub-horizontal cave.

Keywords: microclimatic monitoring; cave monitoring, Karst cave

¹ Gruppo Speleologico Urbinate, Sezione Speleologica CAI SSI Città di Castello, Gruppo Speleologico Ferrarese, Federazione Speleologica Marchigiana.

² Gruppo Speleologico Urbinate, Federazione Speleologica Marchigiana.

Introduzione

L'area carsica della Gola di Frasassi si trova nel settore centro-occidentale della Regione Marche, in provincia di Ancona (Figura 1). Questa area è solcata e modellata dal Fiume Sentino che ne ha inciso profonde valli ed è stata oggetto, dalla metà del secolo scorso, di numerose ricerche speleologiche.

La temperatura media annuale all'interno della gola della Rossa e, precisamente, nei pressi dell'ingresso turistico del Complesso Fiume - Vento, è di 13,6°C.

Le esplorazioni, eseguite da vari gruppi speleologici italiani, hanno permesso la scoperta di tre grotte principali: il complesso Grotta di Mezzogiorno (4 MA AN) – Grotta della Beata Vergine (o di Frasassi, 1 MA AN), il Complesso Grotta Grande del Vento (307 MA AN) – Grotta del Fiume (8 MA AN (Complesso Fiume – Vento) e la Grotta di Buco Cattivo (22 MA AN) (Buco Cattivo). Il complesso Grotta di Mezzogiorno – Grotta di Frasassi si trova nella sponda Nord dell'incisione del Fiume Sentino, mentre il Buco Cattivo ed il Complesso Fiume – Vento si trovano sulla sponda meridionale. Queste due ultime cavità sono parzialmente sovrapposte, ma i numerosi tentativi di trovarne le possibili gallerie di giunzione sono stati vani nonostante diverse altre grotte minori siano presenti sullo stesso versante della gola. Dal punto di vista geologico le due grotte possono essere considerate come un unico sistema carsico, sviluppati in più fasi distinte e su diverse fasce altimetriche (Menichetti et al, 1994; Galdenzi et al., 2002). Il Complesso Fiume - Vento si sviluppa planimetricamente per circa 25 km, è una cavità a preva-

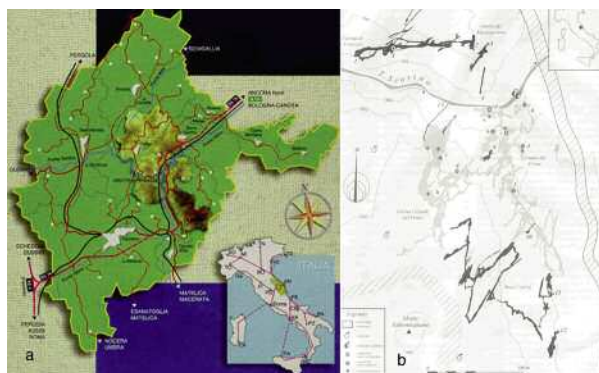


Fig. 1 – Inquadramento geografico (a) (Parco Gola della Rossa, Sito Internet) e planimetria schematica del carsismo (b) dell'area di Frasassi (Galdenzi et al., 2000)

lente sviluppo orizzontale caratterizzata da piani carsici sviluppati su più livelli sovrapposti e collegati tra loro da pozzi o fessure. Il piano carsico più alto ad oggi esplorato è il VII (Bocchini et al., 1990) di età superiore ai 200000 anni (Tuccimei, 2004), è costituito dal tratto compreso tra l'ingresso alto del Complesso Fiume - Vento (386 m slm) e le parti alte dell'Abisso Ancona e si trova a circa 180 metri sopra il Fiume Sentino. Il dislivello tra il VII ed il VI livello (circa +65 sopra il del Fiume Sentino) è di circa 120 metri. Il VI livello del Complesso Fiume – Vento è rinvenibile nei piani superiori di Sala Duecento e di Sala Nera, anche se gallerie minori sono presenti anche altrove (sopra Sala Gentile da Fabriano, Bocchini et al., 1990). Il livello più basso (I) è in corrispondenza della superficie della falda freatica e dell'attuale livello del Fiume Sentino (205 m slm).

Gli ingressi principali, ad oggi conosciuti, di Buco Cattivo sono l'ingresso del Buco Cattivo (538 m slm) e l'ingresso basso, il "Fiorini" (470 m slm). Anche il Buco Cattivo è sviluppato su più piani sovrapposti, il più basso dei quali si trova a circa 400 m slm. Questo si trova poco al di sopra della quota del settimo livello del Complesso Fiume Vento.

La via principale di Buco Cattivo inizia dall'ingresso basso, poi ci sono una serie di gallerie orizzontali o leggermente inclinate fino ad arrivare ad un P30 (Pozzo delle Ruspe). Al pozzo segue un breve meandro impostato su una grossa diaclasi (il Meandro) fino ad arrivare ad un grande ambiente (Sala Merloni). Da qui ha inizio il tratto orizzontale della grotta composto da ampie gallerie (nell'ordine: Galleria dei Tornanti, Galleria di Damocle, Galleria delle Meraviglie), a tratti allagate, poste a partire da quota 400 m slm. Queste gallerie congiungono ampi saloni (Sala Inizio Gaggia, Sala Franosa, Sala Rinaldi, ecc...). Le parti più lontane della grotta (Damocle, Meraviglie, ecc...) sono sovrastate da ulteriori gallerie (Galleria dei Rover, Yessongs, Speleot Teppismo, Andrè the Giant) di formazione più remota, la cui genesi è probabilmente riconducibile al periodo in cui si sono formate le zone comprese tra l'ingresso più alto ed il Fiorini. La formazione del Complesso Fiume - Vento si ricollega all'azione combinata delle acque sulfuree di falda con le acque ossigenate di percolazione

(Cucchi et al., 1990; Galdenzi, 1990). Laddove esse sono venute in contatto si sono creati i vasti ambienti rinvenibili nelle grandi gallerie e nelle grandi sale. Gli ingenti depositi di gesso confermano queste ipotesi. Viste le similitudini morfogenetiche tra il Complesso Fiume – Vento e il Buco Cattivo e la presenza di gesso, a tratti abbondante anche in Buco Cattivo, si ritiene che anche la formazione di questa ultima sia da attribuire al mescolamento dei due tipi di acqua (Galdenzi, 1990). Le piante schematiche di Buco Cattivo e del Complesso Fiume – Vento (Figura 2) mostrano che le due cavità sono sovrapposte in più punti. Infatti, Sala Franosa (Buco Cattivo) è sovrapposta con Sala Villa (Complesso Fiume Vento), molte zone comprese tra Sala Franosa e la Galleria di Damocle, compresi i Rami dei Rover (Buco Cattivo), sono sovrapposte con i rami esplorati dal GSCAI Fabriano e GSM nel 2001 (Ramo New Mexico, Complesso Fiume Vento). Inoltre, le recenti esplorazioni in zona Rover hanno portato alla luce gallerie sovrapposte con i rami sud-orientali della Grotta Grande del Vento. Questi punti sovrapposti distano tra i 150 ed i 250 metri di dislivello (Gruppo Speleologico CAI Jesi, 1990) e, considerando gli andamenti prevalentemente orizzontali delle cavità, potrebbero ostacolare la giunzione.

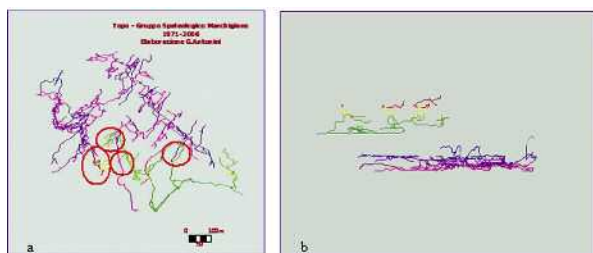


Fig. 2 - Pianta (a) e sezione (b) di Buco Cattivo e del Complesso Fiume – Vento. I cerchi rossi identificano, in pianta, le zone di sovrapposizione (Elaborazione Antonini, Comunicazione Personale dell'Autore)

I monitoraggi microclimatici in continuo in grotte di origine carsica sono stati utilizzati per eseguire studi preliminari a progetti di turisticizzazione e conservazione (Fernández-Cortés et al., 2005; Fernández-Cortés et al., 2006 [a]), per valutare gli effetti successivi all'apertura al pubblico (Galdenzi et al., 2002; Menichetti et al., 1994; Faimon et al., 2006; Cigna, 1993) e per compren-

dere meglio i meccanismi di formazione della cavità e degli speleotemi in essa contenuti (Fernández-Cortés, 2005; Sondag et al., 2003; Spötl et al., 2005). I parametri monitorati sono stati, solitamente: T, CO₂, Radon, Umidità, Velocità e Direzione del vento. Nei monitoraggi eseguiti sono state installate poche stazioni di campionamento ottenendo ampie serie temporali di dati che permettono di avere solo visioni spaziali incomplete. In altri casi, i monitoraggi microclimatici sono stati eseguiti in molti punti delle cavità tramite campionamenti manuali producendo, però, serie temporali di dati incomplete (Fernández-Cortés et al., 2006 [b]).

Per individuare le zone dove è più probabile la giunzione con il Complesso Fiume – Vento, verranno monitorati in continuo molti punti della cavità (15) per ottenere ampie serie temporali di dati ed una visione complessiva delle condizioni microclimatiche della grotta.

Quindi, gli scopi del progetto sono:

1. Individuare aree con anomalie termiche;
2. Studiare le correnti barometriche;
3. Studiare l'impatto della frequentazione speleologica sulle condizioni microclimatiche di Buco Cattivo.

In particolare, i punti 1. e 2. potrebbero risultare importanti nell'individuazione di aree dove la giunzione con il sottostante Complesso Fiume - Vento può essere più probabile. Infatti, essendo l'aria nel Complesso Fiume Vento più calda, si potrebbero innescare movimenti convettivi ascensionali di aria più calda; di conseguenza, la temperatura di Buco Cattivo, o di alcune parti di esso, potrebbe aumentare. Per lo studio delle correnti convettive si monitorano Temperatura dell'Aria e la Velocità e Direzione del Vento. Inoltre, la morfologia di Buco Cattivo è particolarmente adatta allo studio delle correnti barometriche in quanto, oltre ad essere una cavità ad andamento prevalentemente orizzontale, è composta da grandi sale intervallate da gallerie di dimensioni più ridotte. Per lo studio delle correnti barometriche si monitorano la Pressione Atmosferica e la Velocità e Direzione del Vento.

Parte sperimentale

I parametri microclimatici che verranno studiati sono Temperatura dell'Aria (T), Pressione atmo-

sferica (P), Velocità e Direzione del Vento (V). Il campionamento è stato organizzato in più fasi. La prima fase, che riguarda il monitoraggio del solo parametro T su 7 punti della cavità ed all'esterno, è stata avviata nel gennaio 2006 ed è terminata nel marzo 2007. La seconda fase riguarda l'implementazione del numero di punti monitorati (14 più uno esterno) del parametro T. La terza riguarda l'implementazione dei parametri monitorati con l'introduzione di P e V in quasi tutti i punti monitorati della seconda fase.

La seconda e la terza fase sono state avviate e la durata prevista per il completamento è di cinque anni. Eventualmente potrà essere prevista una terza fase avanzata per l'installazione di alcuni sensori anche nel sottostante Complesso Fiume Vento.

Preliminarmente all'installazione dei sensori del primo stralcio sono state effettuate due campagne speditive per il rilevamento delle temperature: una nella stagione estiva ed una in quella invernale. I campionamenti preliminari sono stati effettuati con sonda PT100 RTD (termometro digitale XS Temp5 della ZetaLab), risoluzione 0,01°C e range -50 - +90 °C. I risultati delle campagne preliminari sono stati utilizzati per scegliere i punti di campionamento.

I punti di campionamento sono stati selezionati sulla base dei seguenti parametri:

- maggiore scarto registrato tra la temperatura estiva e quella invernale;
- confluenza di più ambienti della cavità.

Si è deciso di monitorare il solo tratto compreso tra l'Ingresso Fiorini e Sala Rinaldi, per uno sviluppo complessivo di 3 km circa. Nel corso delle fasi successive si provvederà a monitorare anche i rami laterali ed il tratto compreso tra Sala Rinaldi ed il Fondo delle Meraviglie estendendo il monitoraggio della cavità a circa 8 km. Il progetto è in grado di rendere Buco Cattivo uno dei laboratori sotterranei maggiori al mondo per estensione del monitoraggio.

La prima rete di acquisizione dati è costituita da 8 sensori di temperatura (Campbell Scientific, T107, risoluzione 0,01, range -35 - +50 °C) 7 dei quali interni alla cavità ed uno nei pressi dell'ingresso "Fiorini". I sensori sono collegati a 5 centraline di raccolta dei dati. I datalogger, a 16 bit (Campbell Scientific, CR 800X), e le relative bat-

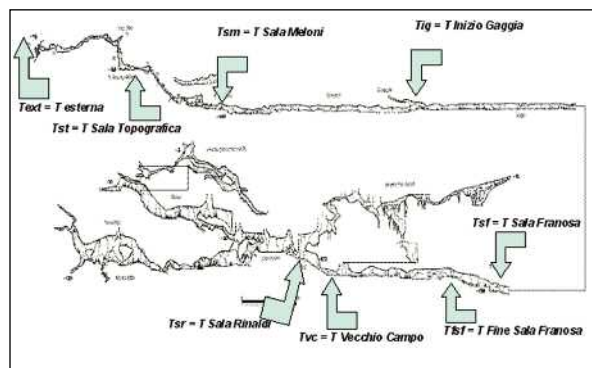


Fig. 3 - Sezione di Buco Cattivo con indicazione della posizione dei sensori di Temperatura (Antonini, 1989)

terie di alimentazione, sono contenuti in contenitori stagni di vetroresina contenenti gel di silice con proprietà idrofile. I collegamenti sensori/datalogger sono costituiti da cavi schermati a quattro vie e connettori stagni. I cavi hanno una lunghezza massima di 100 metri.

Prima di procedere all'installazione dei sensori in grotta, è stata effettuata la calibrazione ed la misura della reale accuratezza di ogni singolo sensore. Gli 8 sensori sono stati, quindi, inseriti contemporaneamente in un ambiente isoterma, mantenuto ad una temperatura di 13 °C per 4 giorni.

I sensori hanno una frequenza di campionamento di un dato al minuto. Le centraline sono state programmate per mediare 60 dati. Vengono collezionati, quindi, 24 dati al giorno per ogni punto di campionamento.

La prima centralina, posta sopra il Pozzo delle Ruspe raccoglie i dati misurati da due termistori, uno posto all'esterno (Text) ed uno posto nelle parti avanzate di Sala Topografica (Tst); la seconda centralina, posta in Sala Merloni, memorizza le temperature rilevate nell'omonima sala (Tsm); la terza centralina, posta a metà Galleria dei Tornanti raccoglie i dati di T rilevati dal sensore (Tfig) posto all'inizio della Gaggia mentre la quarta, posizionata in Sala Franosa, raccoglie i dati dai sensori posti all'inizio ed alla fine della stessa sala (rispettivamente Tsf e Tfsf). La quinta, ed ultimo centralina raccoglie, infine, i dati rilevati dal termistore posto alla fine del Ramo della Gaggia (o zona del Vecchio campo, Tvc) e da quello di Sala Rinaldi (Tsr). La figura 3 visualizza la posizione dei sensori e delle relative centraline. Vista l'estensione del tratto di cavità monitorato, in stretta

dipendenza con gli scopi della ricerca, e la mancanza di una rete elettrica di alimentazione, ogni centralina viene alimentata autonomamente da una batteria al piombo da 12 v di capacità 7 Ah la cui durata, con un solo sensore T, è stimata essere di circa un anno. Per ragioni di sicurezza si è, comunque, proceduto alla sostituzione degli accumulatori ogni due mesi circa. Tutto questo ha richiesto un notevole impegno umano. Tutti i sensori sono stati posizionati alla stessa distanza dal suolo (circa 1,70 m). Questo accorgimento è stato adottato in quanto si è ritenuto importante considerare il fenomeno della stratificazione termica, resosi evidente durante le campagne preliminari di raccolta dati. In effetti, in gallerie e sale di grandi dimensioni, come quelle che caratterizzano il tratto di cavità successivo al meandro, questo fenomeno, dovuto principalmente a ristagno di aria e a velocità estremamente ridotte, è da tenere in debita considerazione. Le centraline, invece, sono state fissate direttamente alle pareti della cavità. Essendo uno degli scopi del progetto quello di analizzare l'influenza della frequentazione speleologica sul microclima della cavità, si è deciso di non interdire l'accesso a nessuno. Quindi, in prossimità dell'Ingresso Fiorini, sono stati posizionati cartelli informativi e un diario per annotare informazioni utili quali data, n° persone, ora di ingresso, percorso e numero di impianti ad acetilene. Per studiare l'impatto sul microclima della frequentazione speleologica, in data 14 ottobre 2006, è stata effettuata una prova di disturbo termico che è consistita nell'innalzare artificialmente la temperatura degli ambienti monitorati più piccoli della cavità (Sala Topografica e Sala Merloni). Sei persone sono stazionate, quindi, per oltre un'ora, ad impianto acetilenico acceso, nelle sale citate.

Risultati e discussione

Calibrazione delle centraline

Dall'analisi delle serie di dati sono emerse notevoli differenze che vengono riassunte nella tabella 1. Le differenze misurate sono state considerate come errori sistematici. Per convenzione è stato attribuito il valore vero a Text. L'analisi dell'accuratezza ha evidenziato che la precisione è di 0,02 °C, con un grado di affidabilità del 68 %.

Text	Tst	Tsm	Tig	Tsf	Tfsf	Tvc	Tsr
0,00	-0,26	-0,33	-0,42	-0,17	-0,32	-0,15	0,21

Tab. 1 - Calibrazione dei sensori. I valori si riferiscono al sensore Text (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

Temperature medie della cavità

La tabella 2 riporta le temperature medie registrate nel periodo gennaio/ottobre 2006.

	Text	Tst	Tsm	Tig	Tsf	Tfsf	Tvc	Tsr
T media	13,77	11,46	12,19	11,81	11,59	11,69	11,31	10,74

Tab. 2 - Temperature medie rilevate nel periodo di indagine (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

La temperatura media annuale all'interno della gola della Rossa e, precisamente, nei pressi dell'ingresso turistico del Complesso Fiume - Vento (quota 200 m slm), è di 13,6°C. Considerando un gradiente termico dell'atmosfera standard pari a circa 6,5°C/km (Badino, 1995), la temperatura media annuale attesa presso l'ingresso "Fiorini" di Buco Cattivo è 12°C. Parimenti un simile calcolo potrebbe essere eseguito su tutte le parti monitorate di Buco Cattivo. Considerando un gradiente termico ipogeo di 3,5°C/km (Badino, 1995) ed una temperatura interna del Complesso Fiume - Vento di circa 13,5°C (Menichetti et al., 1994) la temperatura attesa nelle gallerie di quota 400 di Buco Cattivo 400 è 12,9°C.

Queste differenze tra i valori attesi e quelli rilevati esistono, probabilmente, perché:

- i sensori utilizzati in Buco Cattivo non sono stati calibrati con quelli attualmente attivi nel sottostante Complesso Fiume - Vento;
- Text (Versante NE della gola) forse è posizionato all'interno di una zona dove è possibile la formazione di microclimi;
- possibile presenza di termalismo residuale nelle acque sulfuree di risalita presenti nel Complesso Fiume - Vento;
- i dati elaborati non si riferiscono ad un intero anno solare.

Giornate con frequentazione speleologica

Circa 20 giornate sono state registrate nel periodo gennaio/ottobre 2006 senza che si verificassero atti vandalici. L'interesse stimolato negli speleologi non direttamente coinvolti ha contribuito alla riuscita del progetto.

L'analisi dell'impatto della frequentazione speleologica sulle condizioni microclimatiche di Buco Cattivo è riportata in Figura 4 che illustra l'andamento della temperatura nei vari punti di grotta monitorati in una giornata (09 aprile 2006) durante la quale un gruppo speleologico ha percorso il Buco Cattivo con un corso sezionale di speleologia. Si evidenziano gli innalzamenti della temperatura in Sala Topografica ed in Sala Merloni. In particolare, il gruppo, in discesa, ha provocato (ore 13) un innalzamento di 0,08°C circa in Sala Topografica. Lo stesso gruppo ha provocato un innalzamento di circa 0,12 °C in Sala Merloni (ore 14.00). Durante la risalita del gruppo (ore 17.00) la temperatura di Sala Topografica è aumentata di 0,18 °C.

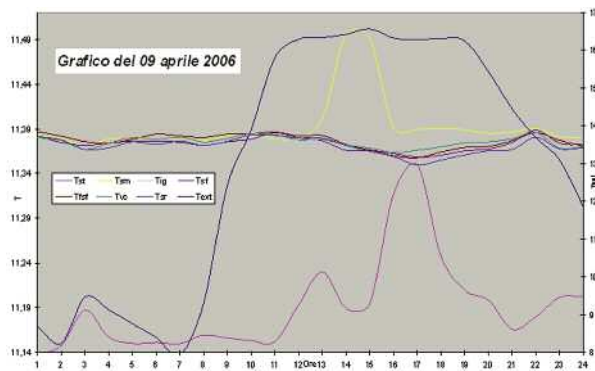


Fig. 4 - Grafico temperature del 9 aprile 2006 (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

L'andamento delle temperature visualizzate in Figura 4 è simile a quello registrato durante le altre giornate in cui c'è stata frequentazione speleologica.

La figura 5 mostra gli andamenti delle temperature registrati nella giornata (14 ottobre 2006) in cui è stata effettuata la prova di disturbo termico.

Il grafico mostra un andamento del tutto simile a quello di Figura 4 a parte il valore assoluto dell'innalzamento di T (0,45 °C in Sala Topografica e circa 0,20 °C in Sala Merloni).



Fig. 5 - Andamento delle Temperature nella giornata di misura del disturbo termico procurato da una visita di sei persone (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi).

Giornate senza frequentazione speleologica

Si riportano i grafici elaborati durante le giornate con forte escursione termica esterna (Figure 6 e 7). Le escursioni termiche di una certa entità registrate dal sensore esterno provocano significative variazioni della Temperatura in Sala Topografica. In particolare nelle giornate 29-30 maggio 2006 (Figura 6), la temperatura esterna è diminuita di circa 12°C in poche ore e ciò ha provocato una diminuzione della temperatura ($\Delta T = 0,2$ °C) in Sala Topografica. A questa diminuzione sono associati aumenti delle temperature di tutte le altre parti della cavità monitorate. In particolare Sala Merloni è la parte in cui è stato registrato l'innalzamento di minore entità ($\Delta T = 0,02$ °C) mentre Sala Rinaldi quella dove è stato registrato l'innalzamento maggiore ($\Delta T = 0,09$ °C).

In generale, comunque, si evidenzia che ad

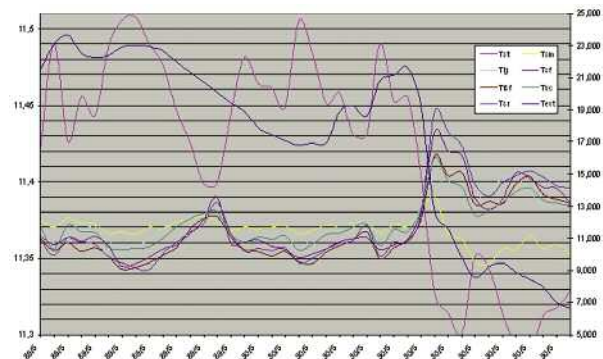


Figura 6 - Andamento delle Temperature nelle giornate 29-30 maggio 2006 (la scala a destra si riferisce a Text; Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

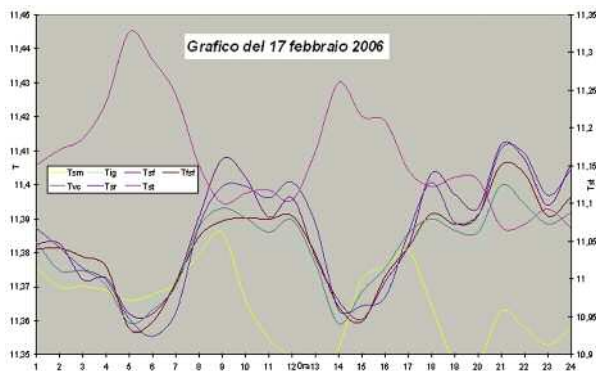


Fig. 7 – Andamento delle Temperatura del 17 febbraio 2006 La scala a destra si riferisce a Tst (Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

aumenti delle T registrate in Sala Topografica corrispondono diminuzioni delle T registrate nelle altre parti della cavità, e viceversa.

Le osservazioni fatte nelle giornate del 29/30 maggio sono valide anche nella giornata del 17 febbraio (Figura 7). Infatti, alle diminuzioni delle T registrate in Sala Topografica corrispondono innalzamenti delle T nella parti più interne della cavità monitorate (Sala Inizio Gaggia, Sala Franosa, Fine Sala Franosa, Vecchio Campo e Sala Rinaldi), e viceversa. L'andamento delle T in Sala Merloni è, invece, simile a quello di Sala Topografica. Tuttavia le oscillazioni in questo punto di Buco Cattivo appaiono "smorzate" ed in ritardo rispetto a quelle di Sala Topografica.

La risposta dei sensori profondi alle oscillazioni della T registrata in Sala Topografica, è visibile nell'intero periodo monitorato (figura 8). Tuttavia, la T in Sala Merloni sembra avere comportamenti differenti tra estate ed inverno. In inverno le sue oscillazioni sembrerebbero seguire le oscillazioni registrate in Sala Topografica anche se di ampiezza minore ed in ritardo. Durante i periodi più caldi, invece, sembrerebbe che le sue oscillazioni siano di segno opposto rispetto a quello di Sala Topografica.

La Tabella 3 mostra il grado di correlazione tra le serie collezionate nei diversi punti monitorati nel periodo gennaio/ottobre 2006. Si nota che solamente la serie di Tst è correlata a Text.

Al contrario, le serie dei 5 sensori posti più in profondità (Tig, Tsf, Tfsf, Tvc e Tsr) hanno andamento simile tra loro, come è visibile in Figura 8 che mostra (media mobile su 24) tutte le serie di

	Text	Tst	Tsm	Tig	Tsf	Tfsf	Tvc	Tsr
Text		0,70	0,09	0,07	-0,13	-0,29	0,07	-0,09
Tst	0,70		-0,01	-0,02	-0,28	-0,32	-0,16	-0,17
Tsm	0,09	-0,01		0,23	0,18	0,17	0,23	0,16
Tig	0,07	-0,02	0,23		0,73	0,72	0,81	0,79
Tsf	-0,13	-0,28	0,18	0,73		0,86	0,85	0,84
Tfsf	-0,29	-0,32	0,17	0,72	0,86		0,78	0,85
Tvc	0,07	-0,16	0,23	0,81	0,85	0,78		0,86
Tsr	-0,09	-0,17	0,16	0,79	0,84	0,85	0,86	

Tab. 3 - Matrice di correlazione per l'intero periodo di campionamento (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

dati. La serie di Tsm è scollegata dalle serie di Tig, Tsf, Tfsf, Tvc e Tsr.

La Tabella 4 evidenzia il grado di correlazione che caratterizza le serie di dati registrate durante il periodo estivo (01 giugno/31 agosto).

Buone correlazioni caratterizzano unicamente i cinque sensori più profondi (Tig, Tsf, Tfsf, Tvc, Tsr) che non appaiono così evidenti per le altre serie come nell'intero periodo, ma anche nel periodo estivo Tst appare correlata con Text. Andamenti inversi vengono comunque registrati tra i sei sensori più profondi e Tst. Le maggiori correlazioni inverse registrate con Text e Tst sono state calcolate con la serie di Tfsf.

La tabella 5 mostra, invece, le correlazioni che riguardano i dati registrati dai vari sensori nel

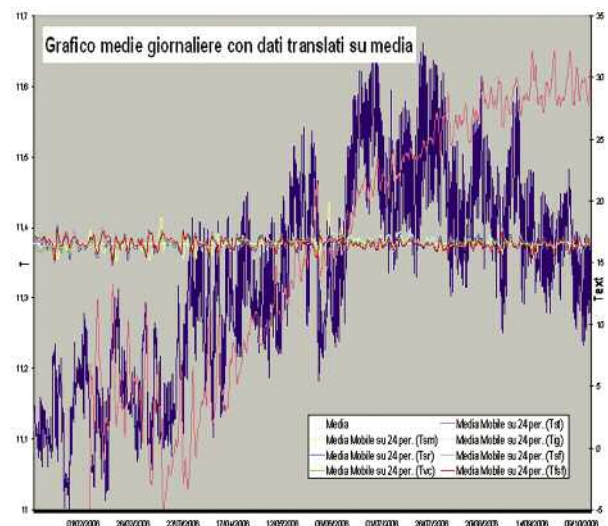


Fig. 8 - Andamento delle temperature nel periodo indagato I dati sono traslati sul valore medio. La scala a destra si riferisce a Text (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

	Text	Tst	Tsm	Tig	Tsf	Tfsf	Tvc	Tsr
Text		0,32	-0,14	-0,16	-0,23	-0,27	-0,19	-0,24
Tst	0,32		-0,32	-0,30	-0,39	-0,43	-0,38	-0,28
Tsm	-0,14	-0,32		0,22	0,23	0,22	0,24	0,18
Tig	-0,16	-0,30	0,22		0,66	0,73	0,75	0,75
Tsf	-0,23	-0,39	0,23	0,66		0,87	0,79	0,78
Tfsf	-0,27	-0,43	0,22	0,73	0,87		0,80	0,81
Tvc	-0,19	-0,38	0,24	0,75	0,79	0,80		0,86
Tsr	-0,24	-0,28	0,18	0,75	0,78	0,81	0,86	

Tab. 4 – Matrice di correlazione per il periodo estivo (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

	Text	Tst	Tsm	Tig	Tsf	Tfsf	Tvc	Tsr
Text		0,61	0,05	-0,15	-0,29	-0,30	-0,26	-0,28
Tst	0,61		-0,18	-0,31	-0,45	-0,50	-0,43	-0,42
Tsm	0,05	-0,18		0,18	0,18	0,20	0,23	0,15
Tig	-0,15	-0,31	0,18		0,85	0,87	0,90	0,86
Tsf	-0,29	-0,45	0,18	0,85		0,90	0,90	0,91
Tfsf	-0,30	-0,50	0,20	0,87	0,90		0,90	0,92
Tvc	-0,26	-0,43	0,23	0,90	0,90	0,90		0,90
Tsr	-0,28	-0,42	0,15	0,86	0,91	0,92	0,90	

Tab. 5 - Matrice delle correlazioni per il periodo primaverile (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

	Text	Tst	Tsm	Tig	Tsf	Tfsf	Tvc	Tsr
Text		0,61	0,05	-0,15	-0,29	-0,30	-0,26	-0,28
Tst	0,61		-0,18	-0,31	-0,45	-0,50	-0,43	-0,42
Tsm	0,05	-0,18		0,18	0,18	0,20	0,23	0,15
Tig	-0,15	-0,31	0,18		0,85	0,87	0,90	0,86
Tsf	-0,29	-0,45	0,18	0,85		0,90	0,90	0,91
Tfsf	-0,30	-0,50	0,20	0,87	0,90		0,90	0,92
Tvc	-0,26	-0,43	0,23	0,90	0,90	0,90		0,90
Tsr	-0,28	-0,42	0,15	0,86	0,91	0,92	0,90	

Tab. 6 - Matrice delle correlazioni per il periodo invernale (Text = T esterna; Tst = T Sala Topografica; Tsm = T Sala Merloni; Tig = T Inizio Gaggia; Tsf = T Sala Franosa; Tfsf = T Fine Sala Franosa; Tvc = T Vecchio Campo; Tsr = T Sala Rinaldi)

periodo primaverile (09 aprile - 31 maggio 2006). In questo periodo esse sono evidenziate esclusivamente come positive tra Tst e Text ed anche in questo periodo sono positive tra Tig, Tsf, Tfsf, Tvc e Tsr. Inoltre, in primavera, allo stesso modo dei mesi invernali, si è trovata una correlazione inversa (maggiore di 30%) tra tutti i sensori profondi e Tst ed anche in questo periodo le maggiori inverse registrate con Text e Tst sono state calcolate con la serie di Tfsf. Complessivamente sono state trovate correlazioni più significative

rispetto al periodo estivo. La Tabella 6 mostra le correlazioni del periodo invernale (08 gennaio /08 aprile 2006). I dati raccolti da Text sono inferiori alla temperatura media registrata nel periodo indagato e le correlazioni evidenziate sono state dirette ed inverse. Anche in inverno quelle dirette riguardano i dati registrati dai 5 sensori più profondi (Tig, Tsf, Tfsf, Tvc e Tsr) che si correlano inversamente con Tst. Anche in questo periodo, così come registrato in inverno ed in primavera, quelle inverse più significative sono state registrate con Text e Tst su Tfsf. Complessivamente, in inverno, le correlazioni sono più forti rispetto agli altri due periodi esaminati.

Conclusioni

I primi 10 mesi di monitoraggio hanno evidenziato che:

- i - l'andamento delle temperature registrate nei sensori profondi (da Inizio Gaggia a Sala Rinaldi) è inverso a quanto rilevato in Sala Topografica ed, in minor misura, in Sala Merloni;
- ii - le variazioni di temperatura registrate sono, in valore assoluto, maggiori d'inverno che d'estate;
- iii - l'andamento delle temperature in Sala Topografica ed, in minor misura, in Sala Merloni riflette l'andamento delle temperature esterne. Le oscillazioni della temperatura esterna si smorzano passando da Sala Topografica a Sala Merloni. Purtroppo la mancanza di un sensore a metà strada tra queste due zone della cavità rappresenta una carenza per una migliore comprensione dell'effettiva propagazione dell'onda termica nei primi 400 metri della grotta;
- iv - la normale frequentazione speleologica, anche se condotta da un discreto numero di persone (es. corso di introduzione alla speleologia) con illuminazione a carburo non comporta variazioni rilevanti di temperatura nel breve termine (1-2 ore), tanto meno nel medio-lungo termine (giorni - anni);
- v - rilevanti diminuzioni della temperatura esterna si riflettono in incrementi della temperatura nelle zone più interne della cavità, e viceversa. I riscaldamenti repentini delle parti più interne della cavità, che s'innescano a seguito della dimi-

nuzione della temperatura esterna, inducono a porsi un'importante quesito ai fini della prosecuzione delle esplorazioni della Grotta di Buco Cattivo ed, in particolare, ai fini della ricerca della giunzione con il sottostante Complesso Fiume-Vento. Infatti, le oscillazioni delle temperature nelle parti più interne di Buco Cattivo potrebbero derivare dall'innescarsi di due tipi di flussi d'aria: i moti "convettivi" e i moti "barometrici". I moti "convettivi", che dipendono strettamente dalle variazioni della temperatura esterna, permetterebbero la risalita d'aria calda dai settori carsici più profondi del Monte Vallemontagnana, mentre i moti "barometrici", che dipendono dalle variazioni della pressione atmosferica, permetterebbero lo spostamento delle masse d'aria anche dai settori carsificati posti alla stessa quota nella montagna. Gli studi successivi potrebbero determinare quale dei due tipi di fenomeno è responsabile dello spostamento delle masse d'aria. Se i flussi d'aria sono propriamente convettivi allora gli sforzi per cercare la giunzione s'indirizzeranno laddove essi sono più evidenti. Invece, se i flussi d'aria sono prevalentemente barometrici, le esplorazioni saranno indirizzate non alla ricerca della giunzione con il sottostante Complesso Fiume – Vento ma alla ricerca di nuove zone poste alla stessa quota di Buco Cattivo.

Ringraziamenti

Il Gruppo Speleologico Urbinate e la Federazione Speleologica Marchigiana desiderano ringraziare: la Regione Marche che, con la Legge Regionale sulla Speleologia (LR 04/2000), ha finanziato il progetto; il "Parco Naturale Regionale della Gola della Rossa e di Frasassi", senza il cui permesso non sarebbe stata possibile la realizzazione del progetto; il sig. Galdenzi S. per le sue consulenze.

Bibliografia

ANTONINI G. (1989) - *Le Porte della Montagna: Viaggio Attraverso Grotte e Forre dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. F.lli Annibaldi, Ancona: 1-155.
 BADINO G. (1995) - *Fisica del Clima Sotterraneo*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, serie II, 7, Bologna: 1-136.
 BOCCHINI A., COLTORI M. (1990) - *Il Carsismo della Gola di Frasassi*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, serie II, 4: 155-180.
 CIGNA A. A. (1993) - *Environmental Management of*

Tourist Caves - The Examples of Grotta di Castellana and Grotta Grande del Vento, Italy. Environmental Geology, 21: 173-180.

CUCCHI F., FORTI P. (1990) - *Evoluzione Speleogenetica del Complesso Carsico Grotta del Fiume – Grotta del Vento (San Vittore, Genga - Marche)*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, serie II, 4: 143-154.

FAIMON J., STELCL J., SAS D. (2006) - *Anthropogenic CO₂-flux into cave atmosphere and its environmental impact: A case study in the Čísarská Cave (Moravian Karst, Czech Republic)*. Science of the Total Environment, 369: 231-245.

FERNÁNDEZ-CORTÉS A., CALAFORRA J. M., SÁNCHEZ-MARTOS F. AND GISBERT J. (2005) - *Microclimate Processes Characterization of the Giant Geode of Pulpi (Almería, Spain): Technical Criteria for Conservation*. International Journal of Climatology, 26: 691-706.

FERNÁNDEZ-CORTÉS A., CALAFORRA J.M., GARCÍA-GUINEA J. (2006 a) - *The Pulpi Gigantic Geode (Almería, Spain): Geology, Metal Pollution, Microclimatology, and Conservation*. Environment Geol, 50: 707-716.

FERNÁNDEZ-CORTÉS A., CALAFORRA J.M., JIMÉNEZ-ESPINOSA R., SÁNCHEZ-MARTOS F. (2006 b) - *Geostatistical Spatiotemporal analysis of air temperature as an aid to delineating thermal stability zones in a potential show cave: Implications for Environmental Management*. Journal of Environmental Management, 81: 371-383.

GALDENZI S. (1990) - *Un Modello Genetico per la Grotta Grande del Vento*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, serie II, 4: 123-142.

GALDENZI S., SARBU S. M. (2000) - *Chemosintesi e Speleogenesi in un Ecosistema Ipogeo: I Rami Sulfurei delle Grotte di Frasassi (Italia Centrale)*. Le Grotte d'Italia serie V, 1: 3-18.

GALDENZI S., MENICETTI M. (2002) - *Il Monitoraggio Ambientale nelle Grotte di Frasassi: Struttura della Rete di Acquisizione e Nuove Indicazioni sul Microclima*. Le Grotte d'Italia, serie V, 3: 87-111.

GRUPPO SPELEOLOGICO CAI JESI (1990) - *Complesso Ipogeo Fiume - Vento (8 MA/AN - 307 MA/AN) Rami dei Nard*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, serie II, 4: 221-224.

MENICETTI M., CIGNA A. A., GALDENZI S., MARINELLI G. (1994) - *Relazione tra il Flusso Turistico e le Condizioni Ambientali nella Grotta Grande del Vento a Frasassi (AN)*. Atti XVII Congresso Nazionale di Speleologia - Castelnuovo Garfagnana, 1: 209-224.

Parco Gola della Rossa, Sito Internet - www.cadnet.org/parcorossa/identita.htm

SONDAG F., VAN RUYMBEKE M., SOUBIES F., SANTOS R., SOMERHAUSEN A., SEIDEL A., BOGGIANI P. (2003) - *Monitoring Present Day Climatic Conditions in Tropical Caves Using an Environmental Data Acquisition System (EDAS)*