

# Studio degli aspetti del microclima di grotta fondamentali nella qualità ambientale del S.I.C. Borna Maggiore di Pugnetto (Valli di Lanzo, Piemonte)

## Fundamental aspects of the cave microclimate in the environmental quality of Borna Maggiore di Pugnetto S.C.I. (Lanzo Valley, Piedmont)

MICHELE MOTTA

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino

E-mail: [michele.motta@unito.it](mailto:michele.motta@unito.it)

LUIGI MOTTA

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino

E-mail: [luigi.motta@unito.it](mailto:luigi.motta@unito.it)

**Parole chiave:** Qualità ambientale, Grotte, Microclima ipogeo, Oscillazioni termiche, Umidità

**Key words:** Environmental quality, Caves, Cave microclimate, Temperature, Humidity

### INTRODUZIONE

La Borna Maggiore è una grotta della valle di Lanzo presso Pugnetto (375551 E, 5014621 N, 820 m s.l.m.), Sito di Interesse Comunitario (Direttiva Europea Habitat 43/92) essendo fondamentale area di svernamento di diverse specie di chiroterteri, alcune seriamente minacciate di scomparsa: *Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis emarginatus*, *Myotis blythii*, *Myotis myotis*, *Myotis bechsteinii*, *Myotis daubentonii*, *Myotis nattereri*, *Plecotus auritus*. Infatti, Pugnetto è l'unica area carsica nelle Valli di Lanzo (Balbiano d'Aramengo, 1993) e comprende, oltre alla Borna Maggiore, solo cavità minori non così adatte al letargo dei pipistrelli. Poiché la grotta non è stata mai raggiunta dai ghiacciai (Motta, 2014), vi si osservano artropodi e crostacei endemici che ne accrescono il valore ambientale, provenienti dal soprastante MSS (*Milieu Souterraine Superficiel*) o viventi in essa, come *Dellabeffaella roccai*, *Alpioniscus feneriensis caprae*, *Dolichopoda ligustica septentrionalis*, *Troglohyphantes bornensis*. Anche l'interesse mineralogico è alto, per le abbondanti druse di calcite formatesi in condizioni subacquee (quando la grotta era in condizioni freatiche), e per le concrezioni di silice idrata dette "lacrime di Santa Maria". La grotta ha pure un alto interesse speleologico poiché, come le altre grotte dell'area, è in calcescisti, rocce in cui altrove le cavità ipogee sono rare e in genere derivanti da semplice allargamento tettonico o gravitativo di fratture e non, come qui, da vera dissoluzione carsica.

Il valore del sito come area di svernamento dei chiroterteri deriva *in primis* dalle sue peculiarità microclimatiche e geomorfologiche quali l'assenza di periodi di gelo e la disponibilità di superfici strapiombanti pressoché irraggiungibili dai predatori.

Come tutti i microclimi di grotta, quello della Borna è potenzialmente vulnerabile sia al *Global Warming*, sia a modifiche indotte da eccessiva o mal gestita frequentazione turistica. Scopo di questo lavoro è caratterizzare gli aspetti del microclima interno della Borna di maggiore importan-

za per la stabilità dell'ecosistema (oscillazioni termiche, umidità) e potenzialmente sensibili ad azioni antropiche (chiusura della grotta, illuminazione, ecc.). In particolare, si confrontano i risultati del progetto CAVELAB (2012-2014) con dati più recenti (2014-15), relativi specificatamente al periodo di letargo dei pipistrelli.

### GEOMORFOLOGIA

È stato condotto uno studio geomorfologico preliminare (Fig. 1) utile a caratterizzare numero e posizione degli ingressi, aspetto determinante per la meteorologia ipogea e il microclima interno delle grotte (Badino, 1995; Motta & Motta, 2019). I risultati di questo studio non sono definitivi: ulteriori successive esplorazioni hanno già portato alla scoperta di nuovi rami e del collegamento (non percorribile) con la vicina Tana del Lupo; inoltre, sono in progetto indagini geofisiche, sia per individuare l'intero percorso della parte attiva della grotta, sia per scoprire nuovi rami.

In generale la grotta si è formata come collegamento idrogeologico tra i valloni del Rio Cenere (a quota relativamente più elevata) e della Comba, separati da un rilievo, il Truc d'le Tampe (Fig.1), molto accentuato ma costituito da rocce solubili (calcescisti ricchi di facies marmoree). Una serie di fratture di origine tettonica ha favorito e guidato la carsificazione, da cui il caratteristico *pattern* della grotta (Fig.1). Le principali linee strutturali sono piani di faglia F1 (da 336° / 71° a 310° / 76°) separanti rocce con scistosità S1 (60°-84° / 33°-60°) da altre con S1 165° / 59°; sono inoltre presenti le famiglie di giunti J1 0° / 80° e J2 124°-130° / 50° (Motta & Motta, 2015).

La grotta è quasi orizzontale, poggiando su un acquitaro costituito da filliti, permeabili per fratturazione ma molto meno degli spessi livelli di marmi a silicati in cui si sviluppano le principali gallerie. Gran parte della morfologia originaria delle gallerie è stata ampiamente rimodellata dal *cave breakdown*, il progressivo collasso gravitativo dei soffitti cau-

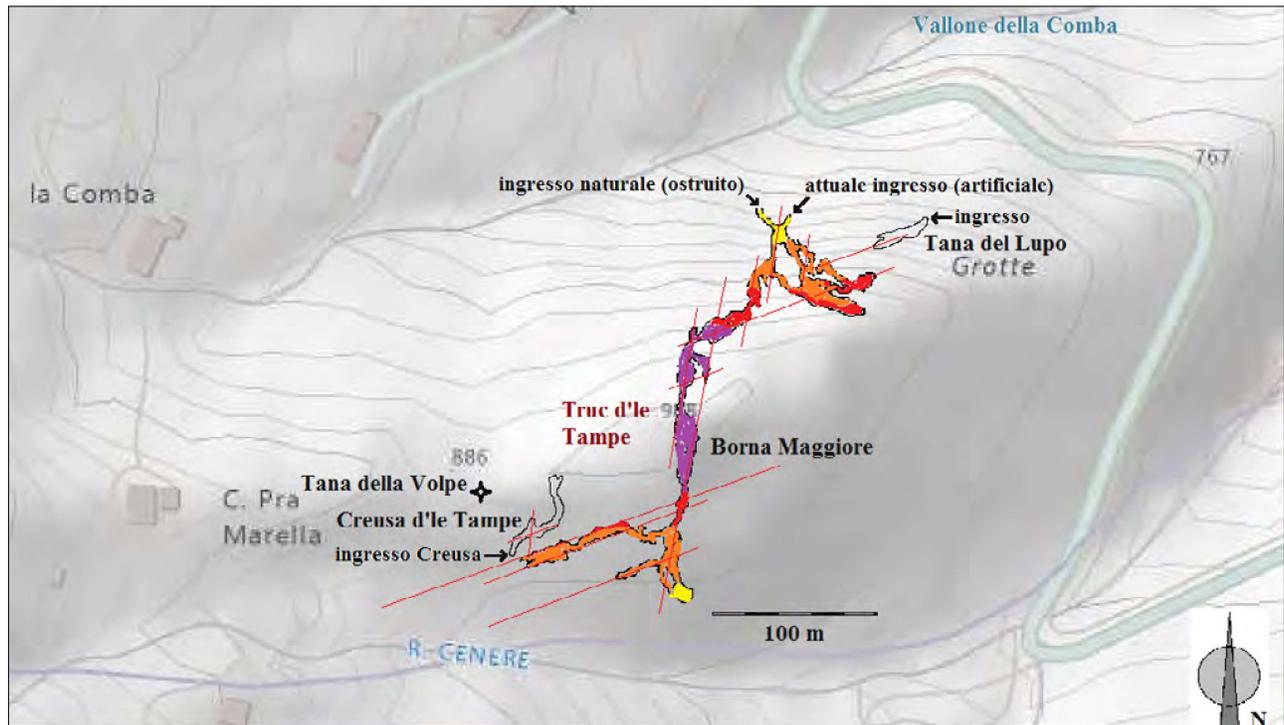


FIGURA 1. Borna Maggiore e cavità minori vicine. Le linee rosse rappresentano le principali fratture, i colori la distanza verticale dalla superficie topografica soprastante. Giallo: 0-20 m; arancione: 20-40 m; rosso: 40-60 m; violetto: 60-80 m.

sante a più riprese distacchi di lastroni e il loro accumulo sui pavimenti. Tale processo ha modificato significativamente la sezione delle gallerie, estendendola verso l'alto e dividendola quasi ovunque in parte superiore, percorribile agevolmente (camminando sui lastroni caduti), e parte inferiore ingombra di blocchi. Alla base della parte inferiore passa, insinuandosi fra i massi, il flusso idrico. Quest'ultimo è così facilmente visibile solo al termine a monte del Ramo della Fontana (Fig. 2), costituito da una stretta galleria epifreatica che non ha ancora subito fenomeni di *cave breakdown*. Uscendo da questa galleria l'acqua si infossa sotto ai blocchi crollati che costituiscono il pavimento del resto del Ramo della Fontana, scorrendo nel cosiddetto Ramo Inferiore (in effetti la parte bassa, ingombra di blocchi, della medesima galleria del Ramo della Fontana), che si può percorrere per breve tratto strisciando tra i massi. Sia il letto della parte del Ramo della Fontana percorsa dall'acqua, sia una galleria recentemente scoperta (non riportata in Fig. 1) che sfocia nel Ramo della Fontana, contengono numerosi ciottoli fluitati di serpentiniti provenienti dal Rio Ceneri. Mancano invece del tutto fossili di macromammiferi, suggerendo che le gallerie oggi percorribili dall'uomo siano diventate tali solo da poco.

La diffusa presenza di druse di calcite formatesi in condizioni subacquee indica che tutto il volume della grotta è stato in condizioni freatiche. Il tratto terminale del Ramo della Fontana è in condizioni epifreatiche (durante le piene l'intera sezione di deflusso è allagata) da tempi abbastanza recenti. Forme epifreatiche ormai inattive sono visibili in tutto il Ramo della Fontana e nel ramo a esso parallelo più a S, in cui scorre acqua nei periodi più piovosi. Salvo la galleria al termine del Ramo della Fontana, al giorno d'oggi tutta la parte conosciuta della Borna è in condizioni vadose (Motta & Motta, 2017).

## I PARAMETRI MICROCLIMATICI

Il progetto CAVELAB, primo studio moderno della grotta (Isaia *et al.*, 2013) ha monitorato gli interstizi dei pavimenti delle gallerie (principale habitat degli artropodi), con sensori a precisione  $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$  misuranti ogni tre ore, dal 27.05.2012 al 6.02.2013 (Fig. 2). Per stimare il dato annuale nonostante il breve periodo di osservazioni, in Motta & Motta (2015) sono usate media, deviazione standard e media dell'escursione termica giornaliera di gennaio 2013 e luglio 2012 (tab. 1). La differenza fra gennaio e luglio non va intesa come escursione termica annua, poiché in grotta gennaio e luglio di norma non sono i mesi più freddo e più caldo dell'anno (Motta & Motta, 2019).

In riferimento alle condizioni termiche delle grotte piemontesi (Motta & Motta, 2014), a distanza maggiore di 30 m dall'ingresso la Borna Maggiore appartiene alle condizioni del tipo A, caratterizzato da bassissime escursioni termiche sia a scala giornaliera ( $< 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sia annuale ( $< 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Vicino all'ingresso la Borna ha invece condizioni termiche di tipo B: escursione termica giornaliera molto bassa ( $0,02\text{-}0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), escursione annua bassa ( $2\text{-}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Le oscillazioni termiche nella Borna sono connesse alle variazioni meteorologiche esterne, specie in autunno. In questa stagione presso l'ingresso la temperatura talvolta scende improvvisamente, probabilmente perché acqua molto più fredda della grotta arriva dalla superficie, grazie al forte surplus idrico nel suolo sopra la grotta, tipico dell'autunno (Motta & Motta, 2015).

Nell'ambito del progetto CAVELAB sono stati condotti rilevamenti stagionali di temperatura e umidità (sensore Pt100 con errore massimo di  $T \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , precisione di  $\text{RH} \pm 2\%$ ), lungo l'asse dei principali rami della grotta ogni 10 m, e in sezioni trasversali delle gallerie ai nodi di una rete

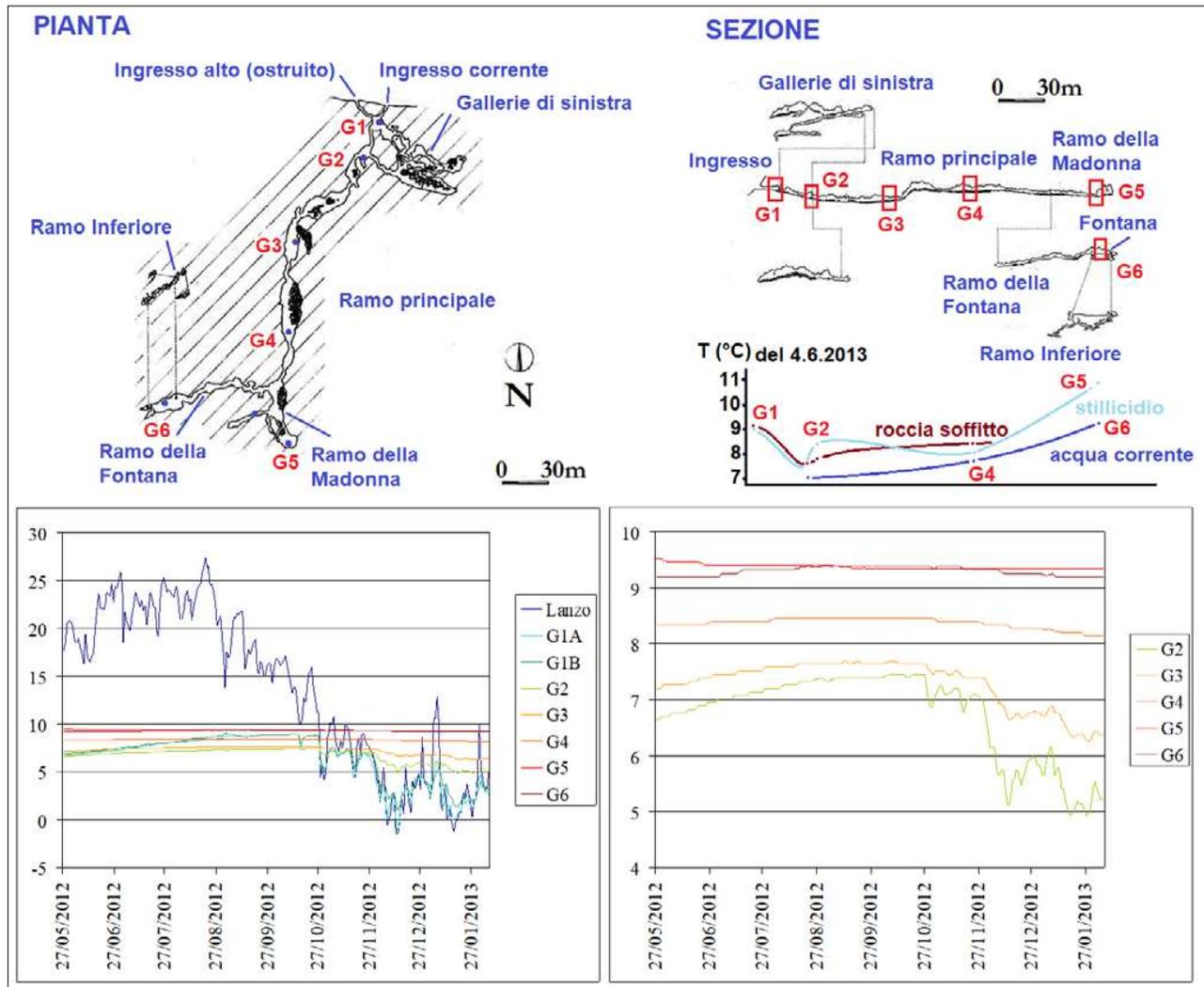


FIGURA 2. Posizione degli *I-button* del progetto CAVELAB e temperature di acqua e roccia in corrispondenza a essi (sopra); temperatura misurata dagli *I-button* e dalla stazione ARPA di Lanzo, la più vicina al sito (sotto, da Motta & Motta, 2015). Il grafico in basso a destra riporta ingrandite le misure degli *I-button* più lontani dall'ingresso.

**Tabella 1. Dati termici (°C) di luglio 2012 (L) e gennaio 2013 (G), da Motta & Motta (2015). La media annua è stimata mediando luglio e gennaio, in considerazione dell'elevata stabilità termica dell'ambiente ipogeo.**

I-button	Distanza da ingresso (m)	Media		Differenza	Media annua	Deviazione standard		Escursione giornaliera	
		G	L			G	L	G	L
G1A	3	2,38	7,76	5,38	5,07	1,69	0,20	1,50	0,06
G1B	3	2,95	7,82	4,87	5,38	1,13	0,16	0,41	0,05
G2	30	5,40	7,09	1,69	6,25	0,39	0,06	0,14	0,01
G3	90	6,54	7,50	0,96	7,02	0,21	0,04	0,03	0,00
G4	150	8,21	8,40	0,19	8,30	0,04	0,00	0,02	0,00
G5	230	9,34	9,40	0,06	9,37	0,00	0,00	0,00	0,00
G6	350	9,21	9,29	0,08	9,25	0,02	0,04	0,01	0,01

a maglie di 0,5 m. Inoltre è stata misurata l'umidità interna delle pareti laterali con sensore dielettrico. La distribuzione abbastanza omogenea di T e RH (Fig. 3) indica buona circolazione dell'aria, salvo che:

- nelle depressioni, evidenzianti l'effetto "buca fredda" (ad es. nella galleria principale a 40 – 120 m dall'ingresso, o nelle Gallerie di Sinistra);

- al fondo del Ramo della Madonna, evidenziante l'effetto "trappola d'aria calda".

L'umidità assoluta varia molto con le stagioni: la grotta si asciuga molto d'inverno, in primavera resta ancora poco umida nei primi 60 m, mentre in estate e autunno è ovunque molto umida, specie in fondo al Ramo della Fontana (per la presenza di acqua corrente), e nel Ramo della Ma-

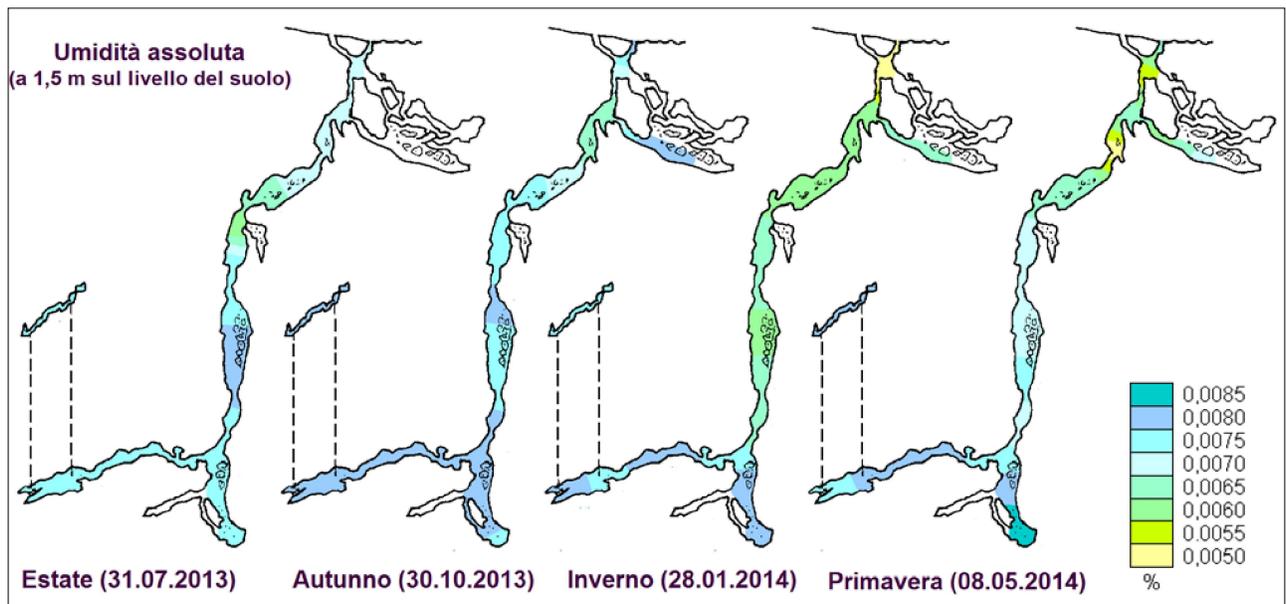
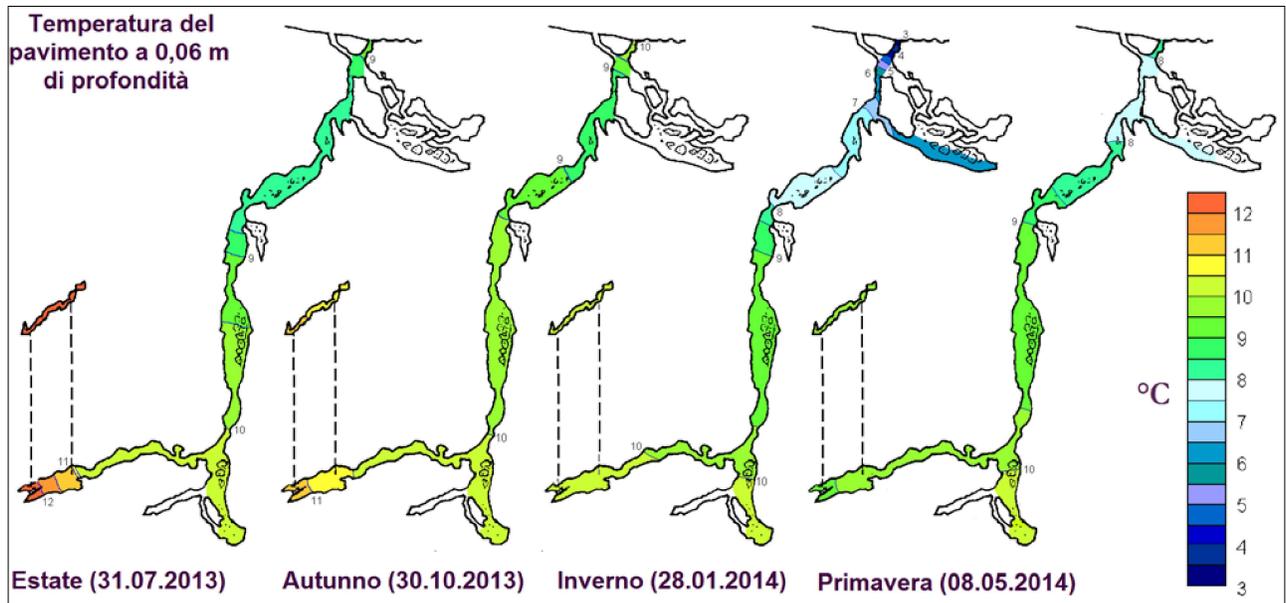
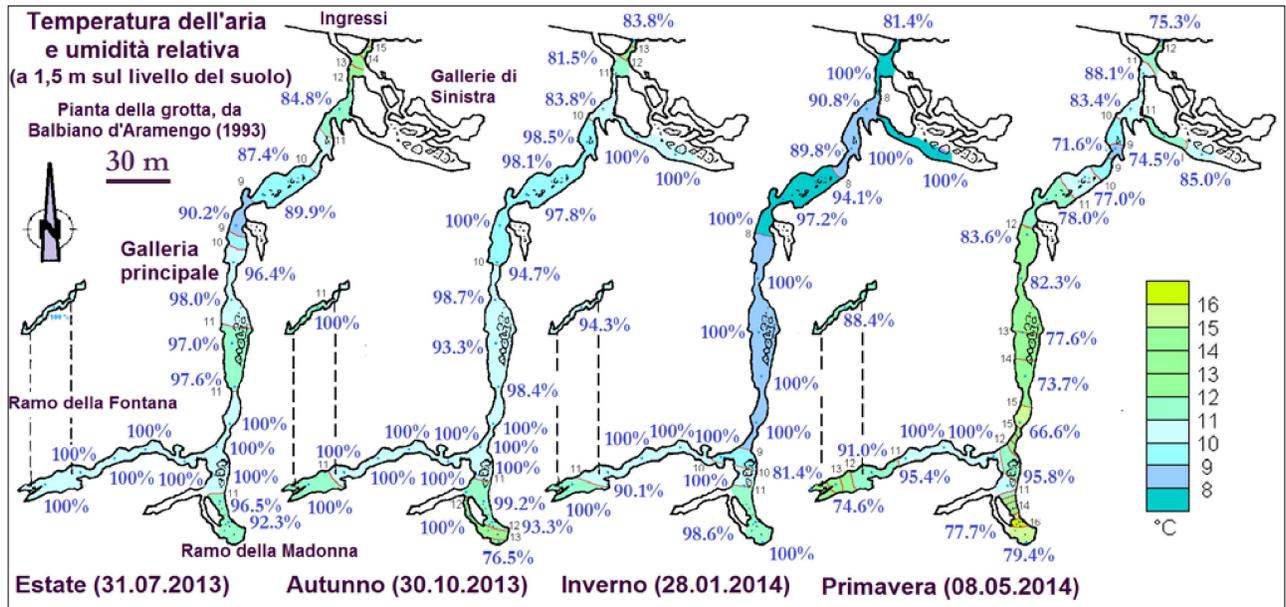


FIGURA 3. Distribuzione stagionale di umidità e temperature (da Motta & Motta, 2015).

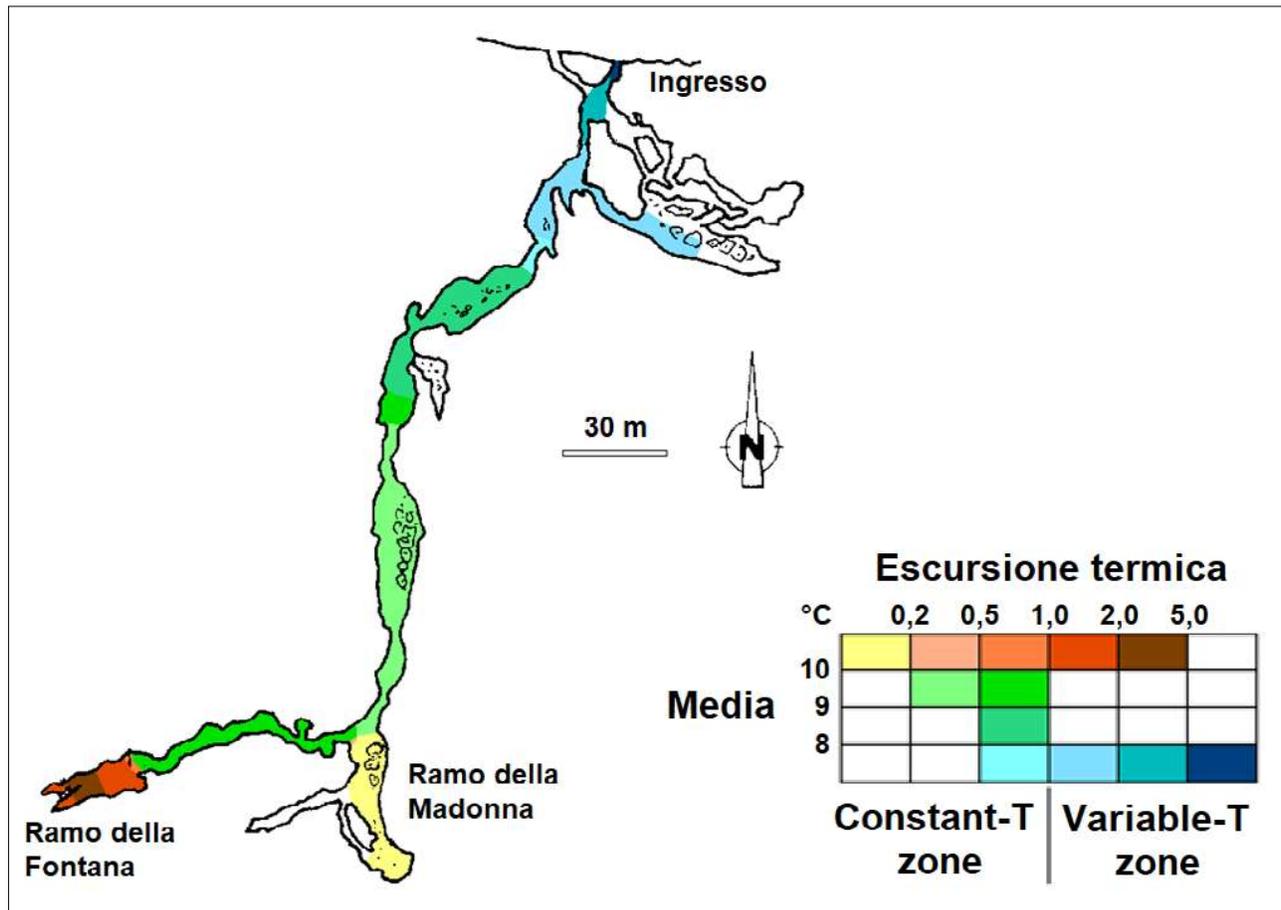


FIGURA 4. Zone termiche del pavimento della grotta, basate sulla media (delle temperature stagionali 2013-14) e sull'escursione termica (massima differenza tra i valori stagionali 2013-14). Da Motta & Motta (2015), base cartografica da Balbiano d'Aramengo (1993). Le zone in bianco nella mappa non sono state misurate; le caselle in bianco nella legenda sono condizioni assenti nella Borna.

donna (perché, leggermente ascendente, intrappola l'aria umida, più leggera).

L'umidità relativa, salvo che in prossimità allo scorrimento idrico, è ben lontana dalla saturazione, anche nelle stagioni di stillicidio abbondante. Presenta una forte variabilità spaziale, suggerendo che l'aria circolante, espandendosi e comprimendosi nell'attraversamento di camere e strettoie, alterna condensazione e evaporazione sulle superfici lungo cui scorre. Infatti, molte superfici rocciose sono bagnate anche dove non c'è stillicidio, e nonostante la bassa RH media dell'aria.

I pavimenti presentano comportamenti termici differenziati. Alcuni hanno variazioni termiche relativamente alte: quelli dei primi 140 m dall'ingresso, a causa dell'arrivo di aria esterna e acqua di stillicidio; quelli del Ramo della Fontana, la cui temperatura ricalca quella dell'acqua di sorgente. Gli altri pavimenti presentano una temperatura molto costante, anche nel Ramo della Madonna che è molto più vicino all'esterno del Ramo della Fontana, e sono, come l'acqua di stillicidio, sempre un po' più freddi dell'aria (mediamente 0,6 °C).

Le variazioni termiche della grotta (Fig. 4) sono sicuramente in relazione con le variazioni meteorologiche esterne, ma secondo un meccanismo complesso. Il notevole squilibrio termico perenne tra Ramo della Fontana (caldo) e zona d'ingresso (fredda) suggerisce tre fonti di variazioni termiche, tutte derivanti da flussi di materia: l'ingresso di

acqua (al Ramo della Fontana), l'entrata di aria dall'ingresso e dal collegamento con la Tana del Lupo, lo stillicidio. Le variazioni termiche associate a queste fonti sono sfasate nel tempo e a differente intensità. Una causa è probabilmente la variabilità di insolazione e quota della superficie topografica sopra la grotta: dai pendii più elevati ma ben soleggiati della Comba di Rio Cenere (da cui proviene l'acqua della Fontana), ai pendii attorno all'ingresso, più bassi di quota ma ombrosi.

#### LE VARIAZIONI TERMICHE NEL PERIODO DI LETARGO DEI CHIROTTERI 2014-2015

Per studiare più specificamente le condizioni termiche degli ambienti usati dai chirotteri per il letargo, dal 28.10.2014 al 22.04.2015 sono state installate tre centraline Mylog, ciascuna collegata a due sensori Pt100 ( $\pm 0,1$  °C) sincronizzati. La prima, al fondo del Ramo della Fontana, aveva un sensore sospeso in aria, l'altro immerso nel corso d'acqua che alimenta la Fontana. I sensori della seconda, nella camera a metà della grotta, erano uno appeso alla parete laterale sinistra (entrando), l'altro immerso nel sedimento del pavimento a 20 cm di profondità. I sensori dell'ultima erano uno appeso al soffitto del corridoio d'ingresso, l'altro immerso a 20 cm di profondità nel sedimento del pavimento di un piccolo anfratto della parete sinistra prossima

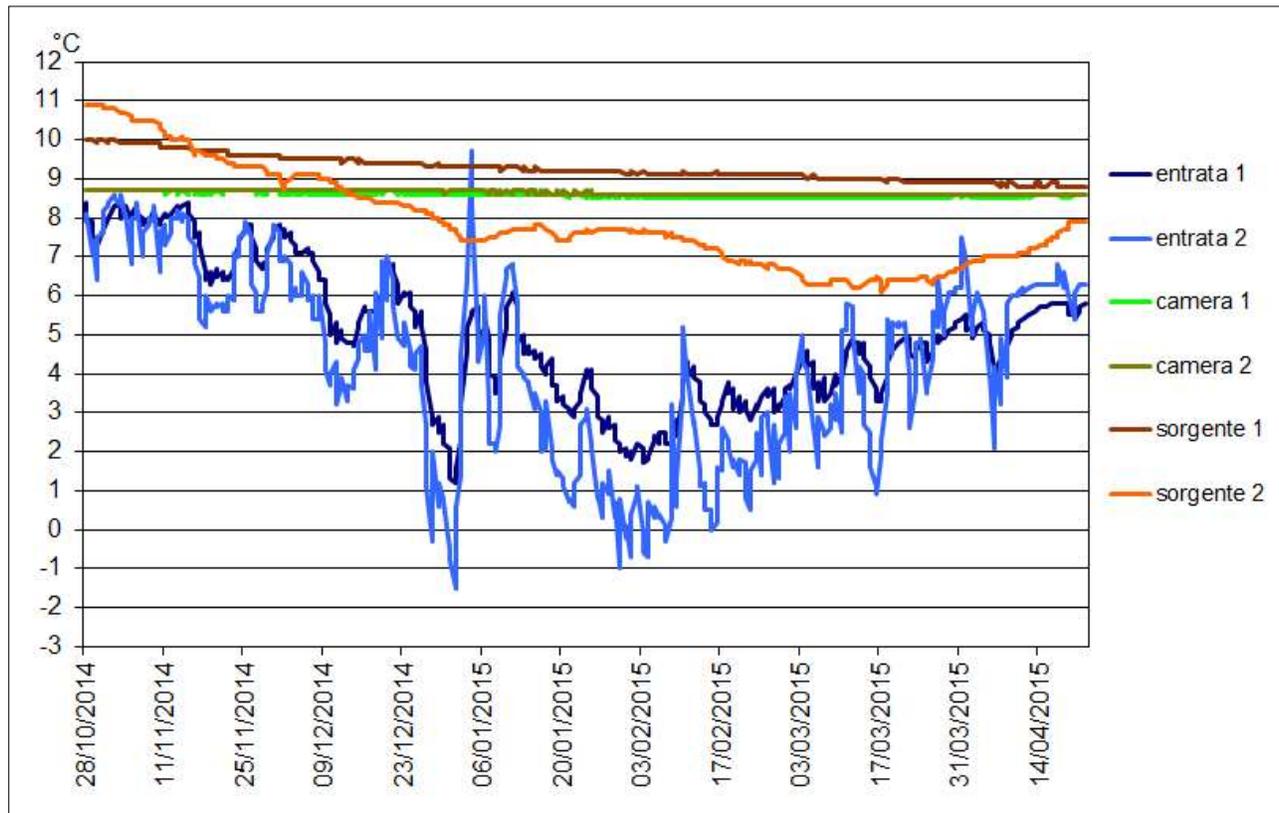


FIGURA 5. Temperature in pavimento (1) e aria (2) vicino all'entrata della grotta e nella camera centrale, in aria (sorgente 1) e acqua (sorgente 2) nel Ramo della Fontana.

all'entrata. I dati validati (Fig. 5) mostrano che all'ingresso l'influenza dell'aria esterna comporta forti e improvvise variazioni termiche dell'aria che, solo un po' attenuate, sono presenti anche nel sedimento a 20 cm di profondità. Nella camera centrale aria e sedimento non presentano significative oscillazioni termiche. Nel ramo della Fontana l'acqua presenta notevoli variazioni termiche, seguite in ritardo e in tono minore dalle variazioni a breve periodo dall'aria.

Il confronto tra le variazioni all'ingresso e nell'acqua del Ramo della Fontana indica che nel periodo più freddo dell'inverno ci sono momenti di contrapposizione tra l'aumento di temperatura dell'aria e il raffreddamento dell'acqua; questo fenomeno è tipico delle grotte alpine e causato da un aumento di temperatura dell'aria all'esterno (tipicamente per il foehn) che provoca (o aumenta) la fusione del manto nevoso, facendo arrivare in grotta acque molto più fredde delle acque residenti da più lungo tempo nella falda idrica che alimenta il corso d'acqua sotterraneo.

La differenza termica tra le sonde conferma le considerazioni basate sui rilevamenti stagionali CAVELAB: nella porzione centrale della grotta il pavimento è leggermente più freddo dell'aria; all'ingresso le differenze sono forti, ma senza significativo *trend* stagionale; nel Ramo della Fontana l'acqua comincia a diventare più fredda dell'aria da metà novembre, per arrivare alla massima differenza a marzo, mese del disgelo.

## CONCLUSIONI

Ridotte oscillazioni termiche, assenza di periodi di gelo a breve distanza dall'ingresso, buona areazione ma senza

forti correnti d'aria: sono questi i principali fattori che rendono il microclima della Grotta della Borna favorevole allo svernamento dei chiroterri. Risulta importante anche il raffreddamento operato dall'acqua di fusione nivale: d'inverno arriva in grotta proprio quando entra aria più calda, evitando il risveglio prematuro dei chiroterri nei giorni di foehn.

Il mantenimento di queste condizioni favorevoli significa preservare la qualità ambientale del SIC. Tali condizioni sono in un equilibrio delicato, facilmente alterabile da azioni e interventi impropri, anche apparentemente innocui. In particolare, l'attuale ingresso della grotta, allargato artificialmente, causa nei pressi dell'ingresso picchi sotto gli 0 °C (Fig. 5), sicuramente assenti quando esisteva solo l'ingresso naturale (un buco triangolare alto meno di un metro, modificato già nel 1924; Berutto, 1983). Esso comunque garantisce ancora al tempo stesso sia il passaggio dei chiroterri, sia il mantenimento di una buona stabilità termica.

Un suo ulteriore ampliamento, invece, provocherebbe eccessivo ingresso d'aria fredda, causando un abbassamento della temperatura a livelli tali da essere insostenibili per i chiroterri. Allo stesso tempo, con effetti opposti, un impianto di illuminazione da "grotta turistica" inadatto (ad es. con luci a forte emissione di calore), o un eccessivo carico turistico, produrrebbero aria calda che rimarrebbe intrappolata nelle parti più interne della grotta (in particolare il Ramo della Madonna) alzandovi la temperatura a livelli probabilmente sfavorevoli per la microfauna, composta largamente da specie stenoterme (Isaia *et al.*, 2013).

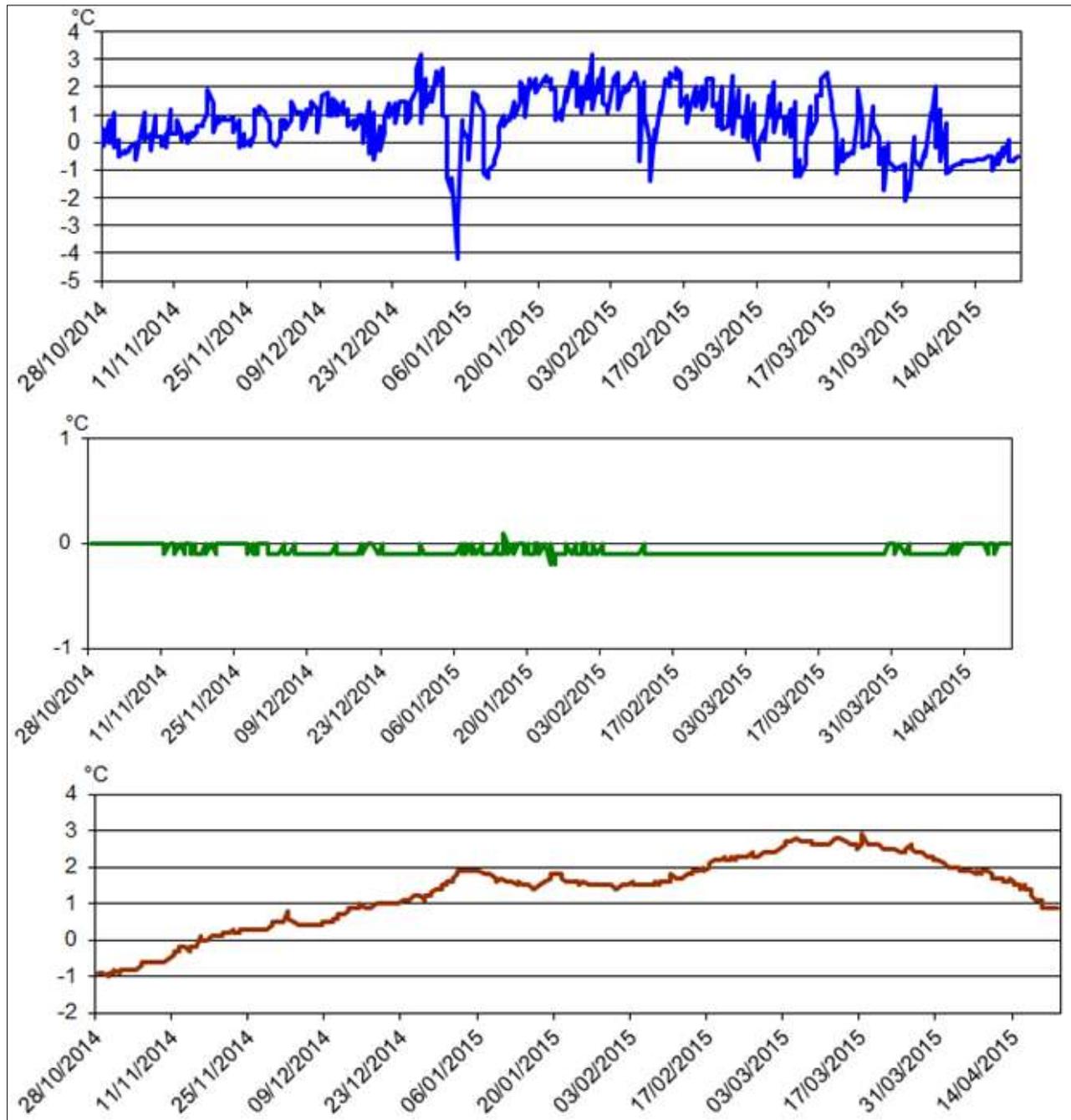


FIGURA 6. Dall'alto, differenza termica tra pavimento e aria all'ingresso, tra pavimento e aria nella camera centrale, tra aria e acqua nel Ramo della Fontana.

#### OPERE CITATE

- BADINO G. (1995). *Fisica del clima sotterraneo*, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Bologna.
- BALBIANO D'ARAMENGO C. (1993). *Le grotte del Piemonte*, Via dalla Pazza Folla, Cassolnovo.
- BERUTTO G. (1983) *Valli di Lanzo e Moncenisio*, Istituto Geografico Centrale, Torino.
- ISAIA M., PASCHETTA M., CHIARLE A., BADINO G., BERTO S., BONA F., MEREGALLI M., MOTTA M., MOTTA L., VIONE D., VIZZINI A. (2013). *CAVE-LAB, an interdisciplinary research project for the study of cave ecosystems and their potentialities for the study of global change*, Abstract Book of XIX International Congress of Arachnology, Kenting.
- MOTTA L., MOTTA M. (2014). *Oscillations of temperatures in Piedmont caves remarkable for speleofauna*, SCIECONF 2014, EDIS, Zilina.
- MOTTA M. (2014). *The definition of the extension of quaternary glaciers within alpine valleys, and his application to study of subterranean fauna*, QUAESTI 2014, EDIS, Zilina.
- MOTTA L., MOTTA M. (2015). *The climate of the Borna Maggiore di Puggnetto Cave (Lanzo Valley, Western Italian Alps)*, Universal Journal of Geoscience n. 3 (3).
- MOTTA L., MOTTA M. (2017). *The climatic study of caves with single entrance: temperatures, humidity, thermal exchanges*, Lulu, Raleigh.
- MOTTA L., MOTTA M. (2019). *Le stagioni delle grotte*, Lulu, Raleigh.