

La Dolina della Spipola

Una “fabbrica del freddo” (e di biodiversità) a due passi da Bologna

FAUSTO BONAFEDE

WWF Bologna

In questo contributo viene descritta l'attività di monitoraggio della temperatura nel corso del 2017 nella Dolina della Spipola nel Parco dei Gessi Bolognesi e calanchi dell'Abbadessa (S. Lazzaro di Savena, BO). Osservazioni sull'andamento termico erano state già svolte nelle conche carsiche delle Alpi, tuttavia le informazioni erano scarse o assenti per le doline dell'Appennino e in particolare nelle doline con substrato gessoso. Le prime analisi dei dati raccolti alla Spipola mostrano analogie ma anche importanti differenze con il comportamento termico delle conche carsiche studiate sulle Alpi. In particolare la differenza di temperatura tra Bordo e Fondo dolina si mantiene elevata anche nel periodo estivo alla Spipola dove si registra un andamento termico molto più regolare rispetto a quanto osservato nelle Doline alpine soggette a repentine e consistenti variazioni di temperatura. Lo studio mette in luce lo straordinario interesse conservazionistico delle cavità carsiche per alcune specie vegetali localizzate in situazioni con microclima totalmente diverso dalle zone circostanti.

Introduzione

“Dolina” è un termine derivante dalla parola slava “dol” che significa “valle” e costituisce una tipica morfologia carsica che, nel caso della Spipola, si è formata per lenta dissoluzione e disgregazione del Gesso ad opera dell'acqua piovana, benché nella genesi delle doline possano avere un ruolo importante anche fenomeni di crollo. Il Gesso è una roccia sedimentaria evaporitica costituita dal minerale solfato di calcio biidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), che caratterizza gran parte del Parco Regionale dei Gessi Bolognesi; si è formato nel Messiniano tra 5 e 6 milioni di anni fa quando il Me-

diterraneo si disseccò parzialmente in seguito all'interruzione del collegamento con l'Oceano Atlantico. A questo periodo risale la formazione di estesi banchi di rocce evaporitiche (derivanti dalla concentrazione dei sali minerali disciolti e infine dalla loro precipitazione sul fondale) tra cui, appunto, il gesso che affiora qua e là sul margine esterno della catena appenninica, anche nella nostra Regione e soprattutto nelle province di Bologna e Ravenna. La dolina della Spipola, in Comune di S. Lazzaro di Savena non lontano dalla città di Bologna, è situata ad una quota di circa 220 m s.l.m. (bordo dolina), ha la forma di un grande



Fig. 1 – La Dolina della Spipola in una giornata invernale (7 febbraio 2017); la nebbia rende evidente il cuscino di aria fredda sul fondo della dolina.

imbuto capovolto (Figura 1) con dimensioni ragguardevoli: oltre 600 metri il diametro, 90 metri circa la profondità; è la più grande dolina tra quelle che si possono trovare nella nostra regione e una delle maggiori in Italia su rocce

gessose. Sul fondo si apre l'omonima Grotta della Spipola, scoperta nel 1932 da Luigi Fantini; vi si accede da un ingresso artificiale a quota 135 m s.l.m. realizzato nel 1936 dal GSB (Gruppo Speleologico Bolognese) e situa-

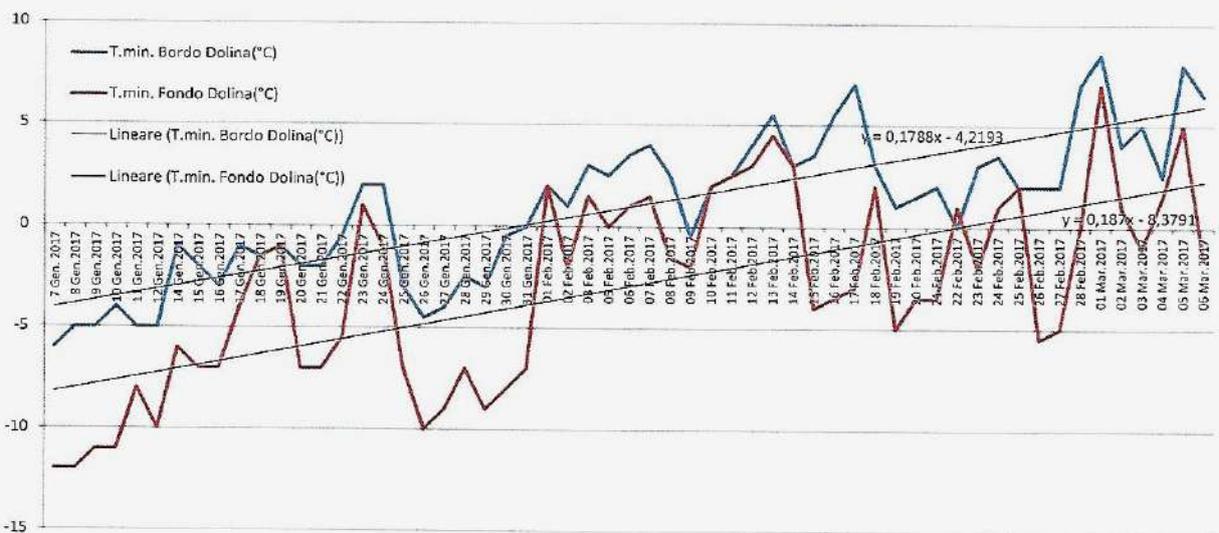


Fig. 2 – Andamento della temperatura minima dal 7 gennaio al 6 marzo 2017 sul bordo (linea blu) e sul fondo (linea rossa) della Dolina della Spipola. Ulteriori dettagli nel testo.

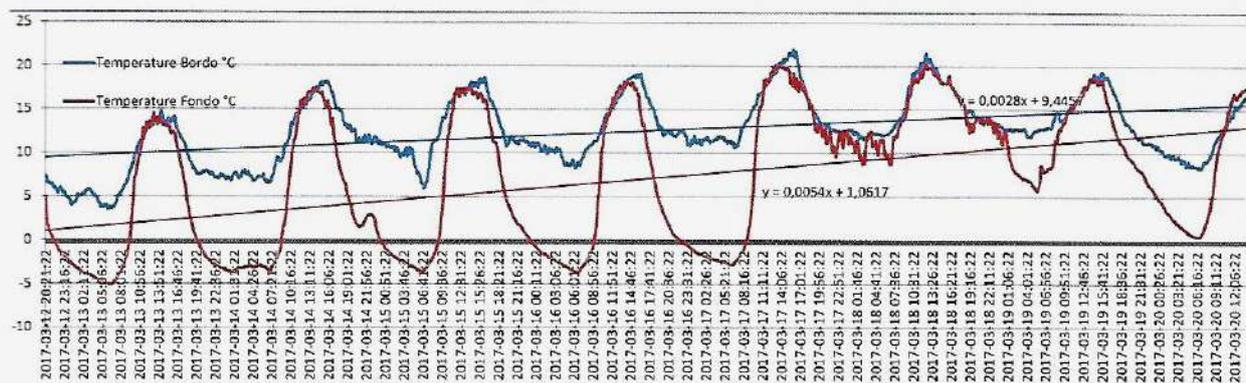


Fig. 3 – Andamento termico giornaliero dal 12 al 20 marzo 2017 sul bordo e sul fondo della dolina della Spipola. Ulteriori dettagli nel testo.

to poco più in basso dell'ingresso naturale che si apre a quota 165 m s.l.m., sul fondo di un inghiottitoio noto come "Buco del Calzolaio". L'intero complesso carsico della Spipola e della valle cieca dell'Acquafredda presenta straordinarie emergenze geomorfologiche, paesaggistiche, botaniche e faunistiche. Dopo un iter lungo e complesso, nel 1988 venne istituito il Parco Regionale dei Gessi Bolognesi e dei Calanchi dell'Abbadessa, che si proponeva la salvaguardia delle prime colline localizzate a sud-est di Bologna e in particolare di tutti gli affioramenti gessosi, pesantemente intaccati dalle cave. Il Parco si estende su circa 4800 ettari in provincia di Bologna e si sovrappone in gran parte (86%) al Sito di Interesse Comunitario (SIC) denominato "Gessi Bolognesi, Calanchi dell'Abbadessa" (codice: IT4050001).

Qui sono presenti oltre 200 grotte e un gran numero di doline e inghiottitoi di varie dimensioni oltre ad altre strutture legate al carsismo (candele, campi solcati, bolle di scollamento) che vanno a costituire un complesso unico, che si cerca di fare diventare sito UNESCO assieme alla Vena del Gesso Romagnola. Il presente contributo vuole rendere noti i primi risultati di una ricerca (ancora in svolgimento) sul clima della Dolina della Spipola che presenta aspetti del tutto sorprendenti.

Particolarità climatiche delle doline

Normalmente la temperatura dell'aria diminuisce con la quota di 0,65°C ogni 100 metri; questo significa che a 2000 metri di altezza

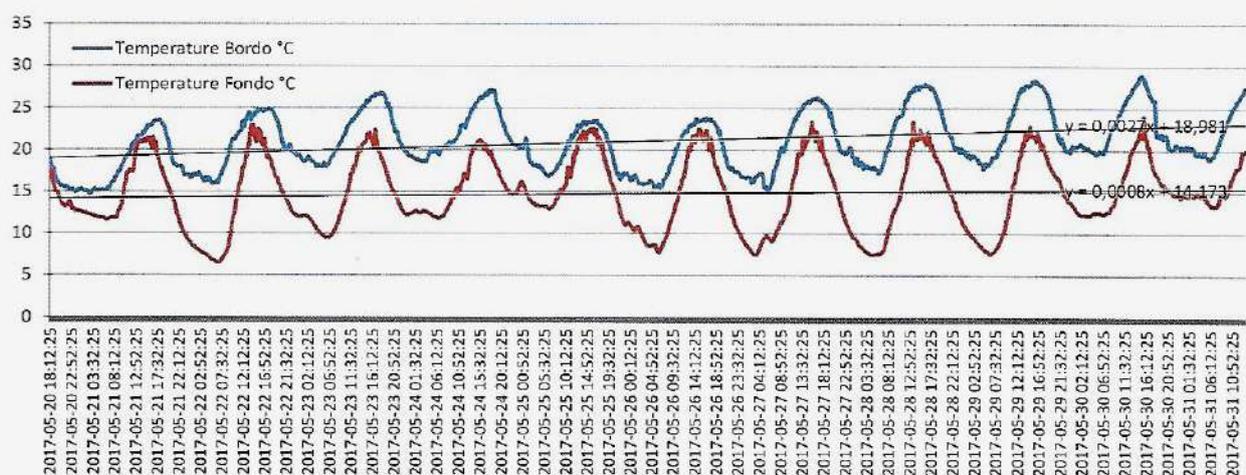


Fig. 4 – Andamento termico giornaliero dal 20 al 31 maggio 2017 sul bordo e sul fondo della Dolina della Spipola. Ulteriori dettagli nel testo.

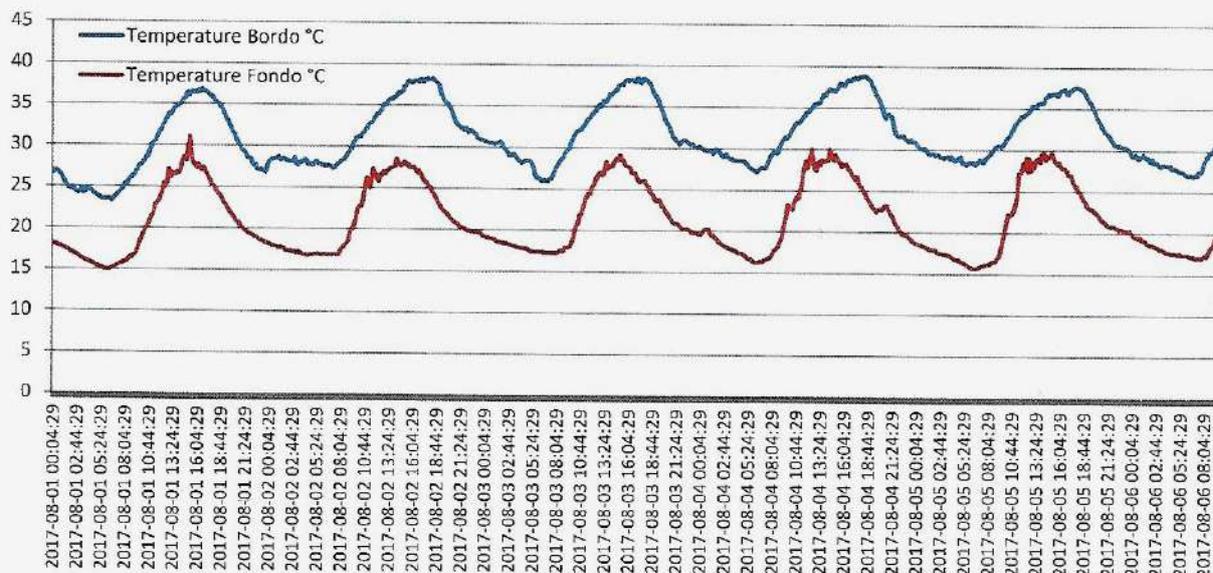


Fig. 5 – Andamento termico giornaliero sul bordo e sul fondo della dolina della Spipola nel corso di un'eccezionale ondata di calore che ha colpito la provincia di Bologna dal 1 al 6 agosto 2017.

za ci sono in media 13°C in meno rispetto alla temperatura registrata a livello del mare. La diminuzione della temperatura con la quota è dovuta al fatto che ci si allontana dalla fonte di riscaldamento dell'aria che non è il sole ma

il suolo (riscaldato dal sole).

Al contrario, scendendo in una dolina si osserva una progressiva diminuzione della temperatura almeno in condizioni di scarsa umidità atmosferica, calma di vento e soprattutto du-

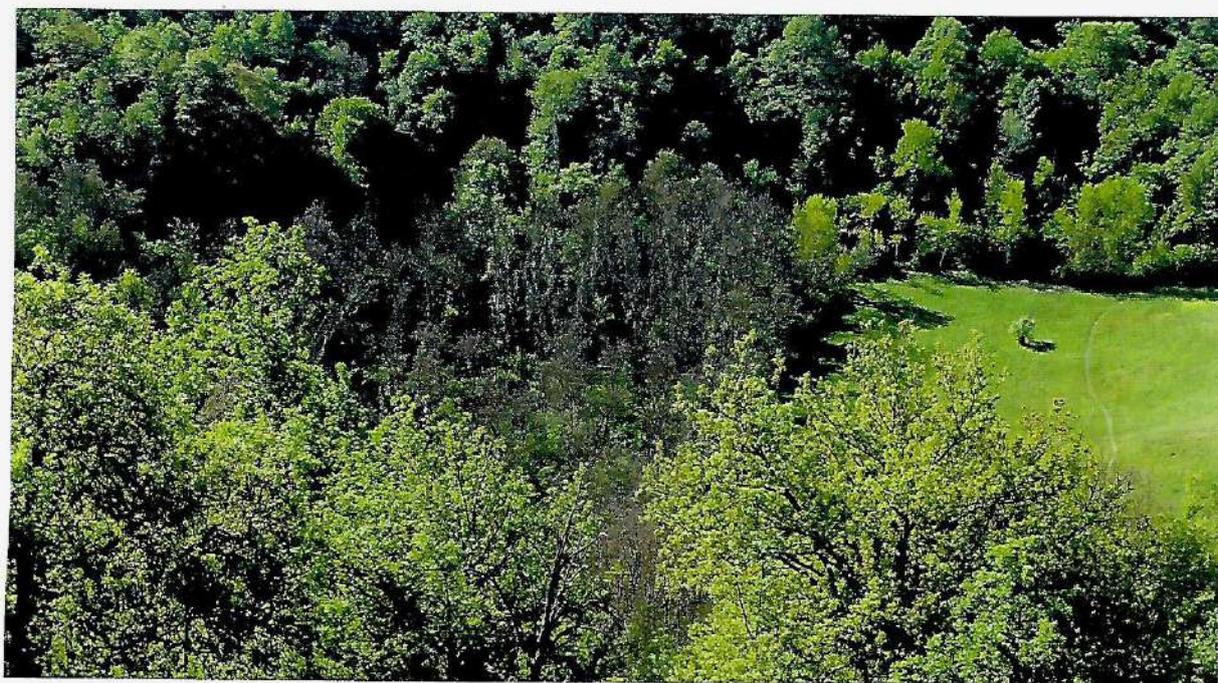


Fig. 5bis – Nella foto, scattata il 22 aprile 2017, risulta evidente il ritardo nell'emissione delle foglie delle specie arboree e arbustive sul fondo della dolina della Spipola a confronto delle zone situate sul bordo della dolina.



Fig. 6 – Suggestiva immagine della Spipola con il suolo gelato nella parte più profonda della dolina (25 gennaio 2017).

rante la notte; questo fenomeno è noto come “Inversione termica”.

L’inversione termica (anche in zone situate fuori dalle doline) è un fenomeno che di norma si genera in condizioni di cielo sereno e calma di vento durante le ore notturne ed è causato dal raffreddamento del terreno che rilascia calore per irraggiamento nella banda dell’infrarosso. L’emissione di onde infrarosse ha come conseguenza il repentino raffreddamento dello strato d’aria a contatto del suolo, che può avere uno spessore variabile da poche decine di cm fino a qualche centinaio di metri in particolari condizioni meteorologiche. Alzandoci di quota, all’interno di questo “cuscino freddo” generato dall’irraggiamento del suolo, la temperatura sale fino ad una quota di circa 300-350 m, per poi iniziare di nuovo a scendere; la parte superiore del “cuscino freddo” viene indicata come zona di “discontinuità termica” al di sotto della quale si possono avere fenomeni come la nebbia e l’accumulo di inquinanti.

Perché il raffreddamento del terreno avvenga in modo accentuato, sono necessarie tre condizioni principali:

- il cielo deve essere sereno poiché le nuvole provocano una specie di effetto serra al suolo limitando di fatto la dispersione del calore;
- non deve esserci vento, che provoca un rimescolamento della colonna d’aria;
- l’umidità dell’aria deve essere bassa perché il vapore acqueo intercetta la radiazione infrarossa limitando la perdita di calore per irraggiamento dal suolo.

Quando il terreno è coperto di neve (soprattutto se fresca) il fenomeno dell’inversione termica viene esaltato per questi motivi:

- l’albedo della neve è molto elevato (l’albedo è la capacità di riflessione della radiazione solare incidente);
- di giorno il suolo non può scaldarsi perché la maggior parte della radiazione solare viene riflessa dalla superficie bianca; in questo modo, quando tramonta il sole, la superficie



Fig. 7 – *Isopyrum thalictroides*, una bellissima e rara ranunculacea presente alla Spipola.

coperta di neve è già notevolmente fredda e continuerà a raffreddarsi durante la notte per irraggiamento;

- durante le ore notturne, soprattutto se l'aria è molto secca, i cristalli di neve e di ghiaccio sublimano, passano cioè dallo stato solido allo stato di vapore; il passaggio di stato comporta una notevole sottrazione di calore dall'atmosfera che pertanto si raffredda (questo calore prende il nome di "calore latente di sublimazione"); tale fenomeno si somma all'irraggiamento accentuandone gli effetti sul calo della temperatura dell'aria.

Per questi motivi nelle notti invernali nelle pianure coperte di neve si possono registrare temperature eccezionalmente basse; in Siberia, durante l'inverno, non è raro raggiungere e superare i -50°C . Tuttavia anche in dolina si possono creare le situazioni meteorologiche per temperature "siberiane" con valori che non si registrano neppure sulle cime più alte delle Alpi.

Quando i fenomeni appena descritti si verificano in uno spazio ristretto e chiuso, come ad esempio una dolina, gli effetti si amplificano

in maniera notevole perché l'aria fredda, che si forma per irraggiamento sui fianchi della dolina, tende a scivolare verso il basso andando a costituire un "cuscino di aria fredda" (Figura 1, Pag. 14) più o meno consistente e stabile a seconda di vari fattori (dimensioni e forma della dolina, quota, presenza e tipologia di vegetazione, condizioni meteorologiche). In altre parole l'aria fredda può formarsi per irraggiamento e per altri fenomeni che abbiamo descritto al di sopra di qualunque superficie terrestre soprattutto durante il periodo invernale e di notte, però sul fondo della dolina viene sottratta al normale rimescolamento dell'aria che avviene in zone aperte; è per questo che le condizioni termiche delle doline sono molto particolari e possiamo parlare di vere e proprie "fabbriche del freddo" (Renon, 2011). Su alcune zone delle Dolomiti e delle Prealpi venete, è attivo dal 2007 un monitoraggio del microclima delle conche carsiche svolto dal Centro Valanghe di Arabba e da ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto). Il 10-02-2013 nella conca denominata "Busa Fradusta" sull'alto-

piano delle Pale di S. Martino alla quota di 2607 m è stata registrata la temperatura più bassa del continente europeo negli ultimi 50 anni: $-49,6^{\circ}\text{C}$. In Lessinia sono state monitorate diverse conche carsiche in cui si sono raggiunti e superati i -30°C a quote relativamente modeste, intorno ai 1550 m (Menin e Vaona, 2010). Nel Carso triestino alcune doline, inghiottitoi, "burroni" e "baratri", sono stati oggetto di osservazioni sistematiche della temperatura e talora anche dell'umidità, correlandole alle particolarità floristiche e vegetazionali della zona (Polli S., 1961; Poldini e Toselli, 1979; Polli e Polli, 1989; Polli e Guidi, 1996). Le doline del Carso triestino sono per noi particolarmente interessanti perché, sul piano morfologico e del contesto climatico generale, sono più simili alla Spipola e ad altre cavità carsiche su gesso in Emilia-Romagna. La maggior parte delle osservazioni e analisi climatiche svolte nelle doline del Carso triestino si trovano in Polli S. (1961) le cui conclusioni possono essere così sintetizzate:

- la differenza della temperatura media annua tra fondo e bordo delle doline esaminate è di $-2,1^{\circ}\text{C}$;
- la differenza di temperatura media mensile tra fondo e bordo è massima nel mese di febbraio con $-4,0^{\circ}\text{C}$ e minima nel mese di agosto con $-0,5^{\circ}\text{C}$;
- la massima differenza di temperatura tra fondo e bordo di dolina sul Carso triestino è stata registrata da Polli S. (1961) con -15°C "in occasione di neve al suolo" e di particolari condizioni climatiche (cielo sereno, umidità relativa bassa).

I dati forniti da Polli S. (1961) riguardano "diverse doline situate a nord di Trieste, tra le località di Villa Opicina, Prosecco e Monrupino ad un'altezza media di 300 m..."; le doline esaminate presentavano una larghezza compresa tra i 100 e i 200 m e una profondità compresa tra i 20 e i 30 m; pochissime "raggiungono i 50 m". Vedremo che la Spipola presenta analogie ma anche significative differenze con le osservazioni di Polli.

Sull'Altopiano delle Pale di S. Martino a quote comprese tra i 2500 e i 2600 m sono stati rilevati andamenti termici molto diversi tra bordo e fondo in micro-doline di profondità inferiore al metro e del diametro di 4-6 metri; il dif-

ferente periodo e durata del disgelo (giugno-luglio) tra il bordo e il fondo, sembra abbia un ruolo nell'evoluzione della forma di queste micro-doline molto frequenti sull'Altopiano, di cui caratterizzano il paesaggio (Meneghel e Sauro, 2006). Nel "Buso del Valon", poco a est di S. Giorgio di Bosco Chiesanuova (Verona), a quota 1711, c'è una specie di pozzo cilindrico con un'imboccatura del diametro di circa 30 metri e una profondità di 56 metri; sul fondo permane un nevaio perenne, sfruttato nel passato come "cava di ghiaccio" nel periodo estivo (Menin e Vaona, 2010). Infine è noto che, durante la prima guerra mondiale, i soldati italiani e austriaci hanno usato spesso le doline per la conservazione delle vivande nel Carso triestino e in altre zone nelle Alpi Orientali.

Gli studi sull'andamento termico della Spipola e il metodo usato

Per quanto riguarda il clima non risulta che le doline e altre cavità carsiche su rocce gessose siano state investigate in modo sistematico analogamente a quanto è stato fatto sulle Alpi e Prealpi orientali in substrati calcarei. Rivalta e Donati (1993) hanno svolto osservazioni sulle temperature della dolina della Spipola e della Grotta, senza tuttavia prendere in considerazione il bordo della dolina come riferimento. Nel 2012 mettemmo sul fondo della Spipola un termometro a mercurio a minima-massima che, il 12 febbraio di quell'anno, registrò una temperatura minima di poco inferiore a -20°C (il terreno era coperto da oltre 50 cm di neve). Lo stesso giorno a Bologna Borgo Panigale la temperatura minima era di -7°C , con una differenza di temperatura di 13°C rispetto al fondo della Spipola. Ipotizzando la stessa differenza di temperatura da noi osservata nel 2012, quando nel 1966 a Borgo Panigale si registrarono $-18,8^{\circ}\text{C}$ (record del freddo per la città di Bologna), alla Spipola si sarebbe raggiunta la temperatura di $-31,8^{\circ}\text{C}$! Sorpresi e incuriositi, ci proponemmo uno studio sistematico in modo da comprendere meglio il fenomeno. Il 7 gennaio 2017 abbiamo collocato sul fondo dolina un termometro a minima-massima e la stessa cosa abbiamo fatto sul bordo; per due mesi ci siamo recati tutti i

giorni alla Spipola per annotare la temperatura minima e massima registrata sui due termometri. Il termometro sul fondo funzionava perfettamente, invece quello sul bordo riceveva talvolta un raggio di sole nel primo pomeriggio che “sporcava” la lettura, tanto che abbiamo deciso di non tenere conto dei valori di temperatura massima del bordo dolina per questo periodo.

Dal 7 marzo 2017 abbiamo cambiato le localizzazioni e integrato i termometri a mercurio con due termometri in grado di registrare la temperatura ogni 10 minuti e di trasferire le registrazioni a due data logger. Gli strumenti erano collocati a circa 1.5 m da terra in posizione opportuna e protetti dalle intemperie da un piccolo manufatto costruito in modo da rendere mimetico lo strumento; il data logger del fondo dolina era ad una distanza di circa 15 metri dall'ingresso artificiale della Grotta. Ogni 2-3 settimane i dati venivano scaricati su computer.

In questo contributo sono state considerate le osservazioni raccolte dal 7 gennaio al 27 novembre 2017 per un totale di 310 giorni (salvo che fra il 18 e il 24 luglio 2017 e in altre tre singole giornate) in cui sono state fatte e analizzate circa 85.000 registrazioni di temperatura singole e nei due termometri con data logger. Il monitoraggio delle temperature alla Spipola continuerà anche nel 2018.

Analisi dei dati sull'andamento termico

In Figura 2 (Pag. 14) viene rappresentato l'andamento termico della temperatura minima del fondo dolina rispetto al bordo nei mesi più freddi dell'anno; il valore più basso per le temperature minime è stato di -12°C nei giorni 7-8 gennaio 2017. La differenza tra la temperatura minima del bordo e quella del fondo (ΔT_{\min}) ha raggiunto il valore massimo il 17 febbraio ($\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$). Il ΔT_{\min} medio del periodo è stato di 4.0°C . Questo valore coincide con quello misurato da Polli S. (1961) nelle doline del Carso triestino. Il ΔT_{\min} risulta nullo soltanto in occasione di notti nebbiose o nuvolose (per esempio il 18 e 19 gennaio); in una giornata con nebbia fitta e persistente anche in quota

(22 febbraio) la temperatura minima del fondo risulta leggermente più alta rispetto al bordo. Nel complesso nei mesi più freddi dell'anno, soltanto nel 10% dei rilevamenti la temperatura minima del fondo è uguale o leggermente più alta rispetto al bordo.

Le rette di regressione per la temperatura minima per il bordo e il fondo della dolina (Figura 2) sono poco pendenti e quasi parallele indicando che, nel cuore dell'inverno, la temperatura minima aumenta lentamente e quasi allo stesso modo. Il terreno è rimasto ghiacciato per oltre un mese sul fondo della dolina (Figura 6, Pag. 17) sebbene non si sia trattato di un inverno particolarmente freddo. In Figura 3 (Pag. 15) è riportato il grafico dell'andamento della temperatura bordo-fondo dal 12 al 20 marzo 2017, con le registrazioni effettuate con data logger a partire dal 6 marzo. La lettura del grafico consente le seguenti osservazioni:

- l'andamento termico sul fondo dolina è molto diverso rispetto al bordo in tutto il periodo considerato e le differenze maggiori si verificano durante la notte; in particolari situazioni meteorologiche (nuvolosità persistente, precipitazioni, elevata umidità atmosferica, vento) le temperature bordo-fondo dolina sono poco diverse oppure uguali;
- in generale l'andamento termico giornaliero assomiglia molto a quello delle doline alpine nel periodo invernale (Renon, 2011);
- da notare che, sul fondo dolina della Spipola, non si registrano le improvvise e frequenti variazioni di temperatura osservate nelle doline alpine; soltanto nella notte tra il 17 e il 18 marzo il data logger del fondo Spipola registra improvvise e ripetute variazioni di temperatura di $1-2^{\circ}$ gradi; la notte considerata è stata ventosa e in queste condizioni il cuscino d'aria fredda si forma e si distrugge ripetutamente rendendo ragione dell'andamento termico anomalo osservato;
- alla Spipola le temperature massime sono poco diverse sul bordo e sul fondo dolina ($\Delta T_{\max} < 2^{\circ}\text{C}$) in tutto il periodo considerato (fine inverno); questo comportamento, relativamente a ΔT_{\max} , si protrae fino verso metà maggio.

In Figura 4 (Pag. 15) è riportato il grafico dell'andamento della temperatura bordo-fondo dolina nel periodo 20-31 maggio 2017, che

consente le seguenti valutazioni: il grafico di Figura 4 è diverso da quello di Figura 3: in questo periodo anche la temperatura massima comincia ad essere molto diversa sul bordo e sul fondo dolina con un ΔT_{\max} spesso superiore ai 5°C; fanno eccezione le giornate piovose, nuvolose o ventose quando non esiste differenza importante tra la temperatura del bordo e del fondo. Questo comportamento continua per tutto il periodo estivo con ΔT_{\max} anche superiore ai 10°C! L'andamento termico estivo, come vedremo, ha grande importanza per comprendere alcune presenze floristiche microterme localizzate esclusivamente sul fondo dolina.

Dal 20 al 31 maggio 2017 la tendenza generale non porta ad un aumento apprezzabile di temperatura sul fondo, a differenza di quella del bordo. Probabilmente, in questo periodo dell'anno, l'aria relativamente più fredda che esce dalla Grotta tende a ristagnare sul fondo dolina perché più densa, spiegando l'andamento termico osservato.

Infine è interessante analizzare l'andamento termico bordo-fondo dolina durante l'eccezionale ondata di calore verificatasi a Bologna nel periodo 1-6 agosto 2017 (Figura 5, Pag. 16). Sul bordo dolina tra il 4 e il 5 agosto la temperatura rimane superiore ai 30°C per oltre 20 ore (dalle 8 del mattino del 4 agosto alle 4.30 della notte del 5) sfiorando i 39°C verso le 17.30 nel pomeriggio del giorno 4. Sul fondo dolina, nello stesso periodo, la temperatura massima non supera i 30°C che vengono registrati soltanto per poche decine di minuti e le temperature minime sono più basse di circa 10°C rispetto al bordo durante l'intera ondata di calore.

L'analisi dei dati raccolti nel corso del 2017 consente tre osservazioni generali:

- la differenza massima tra le temperature registrate sul bordo rispetto al fondo della dolina (ΔT) è stata di 15.3°C (30.03.2017); questo valore è vicinissimo a quello misurato da Polli S. (1961) nelle doline del Carso triestino. Al contrario, nelle doline di alta quota si sono registrati, in singole giornate, ΔT molto più elevati e anche superiori a 30°C (Renon, 2011);
- il ΔT medio generale per tutte le misurazioni nel 2017 è di 5.3°C, più del doppio rispet-

to a quello misurato da Polli S. (1961) nelle doline del Carso triestino. Soltanto nelle giornate nebbiose, piovose, nevose o ventose le temperature del fondo e del bordo sono simili o uguali in tutte le stagioni ($\Delta T = 0^\circ\text{C}$);

- Il confronto tra l'andamento termico bordo-fondo della dolina è diverso durante l'Inverno (e l'inizio della primavera) rispetto a quello osservato da fine maggio a tutto settembre; durante l'inverno e l'inizio della primavera le temperature massime del fondo dolina sono simili a quelle del bordo (Figura 3). Al contrario, dalla seconda metà di maggio (Figura 4) fino alla fine di settembre anche le temperature massime giornaliere del fondo sono nettamente inferiori a quelle del bordo, soprattutto in occasione di ondate di calore (Figura 5).

Le osservazioni compiute nel corso di 11 mesi mettono in evidenza condizioni termiche molto particolari sul fondo della Spipola, come del resto è stato documentato per altre doline sulle Alpi. Tuttavia il comportamento della Spipola presenta importanti differenze rispetto alle conche carsiche in alta quota studiate sulle Alpi dove "Per quanto riguarda la media annuale delle temperature massime, le differenze con le zone non in dolina risultano quasi annullate" (Renon, 2011). Al contrario le nostre osservazioni mostrano un $\Delta T_{\text{Bordo-Fondo}}$ notevole anche per le temperature massime che risultano molto inferiori sul fondo dolina rispetto al bordo per gran parte dell'anno e soprattutto in estate; ciò è probabilmente dovuto al fatto che sul fondo della Spipola si apre l'ingresso di una grotta di grande sviluppo da cui esce aria a temperatura costante (12°C) che in tarda primavera-estate partecipa alla "costruzione" del cuscino d'aria fredda anche nelle ore diurne.

Per le doline dell'altopiano delle Pale di S. Martino, Renon (2011) osserva: "... nelle ore notturne gli incrementi di temperatura possono raggiungere i 10-20°C in 15 minuti e i 20-30°C in un'ora (in casi eccezionali anche 30°C in 30 minuti, come accaduto nel Buco del Ciglione)". Anche nelle doline dei Monti Lessini (VR) sono frequenti ampie oscillazioni di temperatura nell'arco di pochi minuti con un "andamento assolutamente schizofrenico" (Menin e

Vaona, 2010). In 11 mesi di registrazioni non abbiamo mai osservato niente di simile alla Spipola dove l'andamento termico appare molto regolare e le oscillazioni termiche, nell'arco di un'ora, raramente raggiungono i 3 °C. Quest'ultima differenza potrebbe essere dovuta al fatto che la Spipola è più grande rispetto alle doline alpine prese in considerazione e il cuscino d'aria fredda, una volta formato, risulta più stabile; presumibilmente anche la presenza del bosco, che ricopre oltre il 70% dei fianchi della Dolina della Spipola, ha un ruolo importante nel ridurre le oscillazioni termiche.

Resta da valutare il diverso albedo del gesso rispetto al calcare (in cui si aprono le doline studiate sulle Alpi) per comprendere meglio alcune differenze osservate.

Note floristico-vegetazionali per il fondo di doline e altre formazioni carsiche, vere "fabbriche" di biodiversità

Per le parti più basse delle doline nel Carso triestino è stata descritta un'associazione endemica, l'*Asaro-carpinetum betuli* (Lausi, 1964), successivamente studiata in modo più dettagliato da Poldini (1985) che, proprio per questa associazione precisa: "...nei confronti di tutte le associazioni del Carpinion illyricum fin qui note essa si differenzia per la presenza di *Isopyrum thalictroides*, *Mercurialis ovata* e *Scilla bifolia*". Favretto e Poldini (1986) hanno inoltre descritto le relazioni tra vegetazione, geomorfologia e microclima delle doline del Carso triestino sulla base di un modello ecologico. Polli E. ha compiuto osservazioni floristiche per oltre un trentennio sul Carso triestino precisando la distribuzione locale di specie microterme legate prevalentemente alle doline quali *Asplenium viride* (Polli E., 1990) e *Polystichum aculeatum* (Polli e Guidi, 1996). Per il fondo della dolina della Spipola, già da tempo sono state indicate diverse piante microterme localizzate prevalentemente sul fondo di doline e inghiottitoi (Corbetta e Corticelli, 1982). Nel 2017, nelle diverse stagioni, abbiamo annotato le specie erbacee sul fondo della Dolina della Spipola e di altre cavità carsiche

nel Parco dei Gessi Bolognesi, limitando l'indagine floristica della Spipola alla parte più bassa, sino alla quota di 150 m s.l.m., poco sopra l'ingresso artificiale della Grotta. Precisiamo che non esiste una flora caratteristica del substrato gessoso (Corbetta e Corticelli, 1982) e, al momento, non sono note piante esclusive del fondo delle cavità carsiche. In Tabella 1 viene riportato l'elenco delle specie erbacee osservate sul fondo della Dolina della Spipola e/o di altre cavità carsiche nel Parco dei Gessi; le specie erbacee infatti hanno risentito meno del disturbo antropico, in particolare della ceduzione, ampiamente praticata nel passato alla Spipola e in altre cavità. L'esame della Tabella 1 consente le seguenti valutazioni:

- le specie osservate nelle doline e altre cavità nei Gessi bolognesi (28 entità) si ritrovano con elevata frequenza (75%) anche nel fondo delle doline del Carso triestino, indicando che esiste un'affinità floristica (e presumibilmente ambientale) tra le due tipologie di cavità carsiche;
- l'elenco di Tabella 1 contiene 11 specie rare e/o protette; questo fatto indica l'importanza delle cavità carsiche per la conservazione della biodiversità, soprattutto della sua componente più rara e minacciata.

Osserviamo infine che le specie microterme richiedono soprattutto estati fresche: per queste piante non è importante il freddo che fa in inverno ma il fresco che fa in estate! Come abbiamo visto in precedenza (Figura 5) il fondo della Spipola si caratterizza proprio per avere temperature massime nettamente più basse durante l'estate (intorno ai -10°C durante le ondate di calore) rispetto alle zone circostanti; questo fatto può fare la differenza per la conservazione di specie microterme e soprattutto per i taxa che mantengono un apparato vegetativo efficiente anche durante l'estate. Ciò accade per diverse Felci *Polypodiales* quali: *Asplenium scolopendrium*, *Cystopteris fragilis*, *Dryopteris filix-mas*, *Polystichum aculeatum* che, non a caso, si trovano confinate quasi esclusivamente nelle cavità carsiche, almeno a bassa quota. Alcune altre piante geofite (piante erbacee con organi sotterranei permanenti) richiedono condizioni ambientali costantemente fresche e umide che si trovano

Tab. 1 – Elenco delle specie erbacee osservate sul fondo della dolina della Spipola e/o di altre cavità e strutture carsiche nei Gessi Bolognesi. Se non diversamente precisato le osservazioni sono dell'autore (2017). Per “fondo della Spipola” si intende la parte più bassa della conca. **Abbreviazioni:** DCtPoldini = presente anche nelle doline del Carso triestino sulla base dei rilievi utilizzati da Poldini (1985) per la descrizione dell'associazione *Asaro-Carpinetum betuli*; DCt Bonafede-Polli = presente anche nelle doline del Carso triestino sulla base di osservazioni personali oppure di comunicazioni o di segnalazioni floristiche di E. Polli.

Nome specie (NB: osservate nei Gessi Bolognesi)	Note per i Gessi Bolognesi	Presenza nelle Doline del Carso triestino
<i>Aegopodium podagraria</i>	Fondo della Spipola (abbondantissima) e altrove-	DCtPoldini DCtBonafede-Polli
<i>Allium ursinum</i>	Valle chiusa dell'Acquafredda, specie rara in zona	-
<i>Arum italicum</i>	Fondo della Spipola e altrove	-
<i>Anemonoides nemorosa</i>	Fondo della Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Anemonoides ranunculoides</i>	Fondo della Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Asplenium scolopendrium</i>	“Siberia” (risorgiva), ma qui forse scomparsa; Valle di Acquafredda; localmente in diminuzione; specie protetta	DCtPoldini DCtBonafede-Polli
<i>Asplenium trichomanes</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini DCtBonafede-Polli
<i>Corydalis cava</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Cyclamen hederifolium</i>	Spipola e altrove	-
<i>Cystopteris fragilis</i>	Fondo della Spipola; Acquafredda; in diminuzione; specie rara nella fascia collinare	DCtBonafede-Polli
<i>Dryopters filix-mas</i>	Buco dei Buoi (Spipola), valle dell'Acquafredda; un tempo presente anche alla “Siberia” (risorgiva) dove forse è scomparsa	DCtPoldini; DCtBonafede-Polli
<i>Eranthis hyemalis</i>	Spipola e altrove	-
<i>Erythronium dens-canis</i>	Spipola e altrove; specie protetta	DCtPoldini
<i>Gagea lutea</i>	Buca di Goibola (Marconi G. & Centurione N., 2002); specie rara in zona	DCtPoldini
<i>Galanthus nivalis</i>	Spipola; Acquafredda; Buca di Goibola; specie protetta	DCtPoldini
<i>Geranium robertianum</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Geum urbanum</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Hepatica nobilis</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Isopyrum thalictroides</i>	Fondo della Spipola; Buco delle Lumache (Spipola); Gessi di Zola Predosa (comunicaz. pers. M. Vignodelli) specie rarissima in tutta la Regione Emilia-Romagna	DCtPoldini
<i>Lilium bulbiferum subsp. croceum</i>	Spipola e altrove; specie protetta	DCtPoldini
<i>Lilium martagon</i>	Spipola e altrove; in diminuzione (comunicaz. pers. F. Candi); specie rara nella fascia collinare; protetta	-
<i>Mercurialis perennis</i>	Fondo della Spipola, Buco dei Buoi e altrove	DCtPoldini
<i>Polystichum aculeatum</i>	Siberia (risorgiva), ma qui scomparsa; dolina di Goibola (Marconi G. & Centurione N., 2002); specie rara nella fascia collinare	DCtBonafede-Polli
<i>Primula vulgaris</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini DCtBonafede-Polli
<i>Pulmonaria apennina</i>	Spipola e altrove ; nel Carso è segnalata <i>P. officinalis</i> con ecologia simile	-
<i>Ranunculus ficaria</i>	Spipola e altrove	DCtPoldini
<i>Scilla bifolia</i>	Spipola e altrove; specie protetta	DCtPoldini

soltanto sul fondo delle doline; un esempio di grande importanza conservazionistica è dato da *Isopyrum thalictroides* (Figura 7, Pag. 18) che presenta proprio ai Gessi Bolognesi una delle pochissime stazioni di crescita in Emi-

lia-Romagna.

Le considerazioni climatico-vegetazionali che abbiamo fatto per la Spipola possono valere per altre cavità carsiche e anche fuori dal Parco dei Gessi Bolognesi, soprattutto per cavità

sul cui fondo si apre l'ingresso di una grotta da cui fuoriesce aria relativamente fredda in estate. È noto che la temperatura condiziona moltissimo le fasi fenologiche delle piante (schiusa delle gemme, emissione delle foglie, fioritura, fruttificazione, caduta delle foglie). In Figura 5bis a pagina 16 (foto scattata il 22 aprile 2017) risulta evidente il ritardo nell'emissione delle foglie per le specie arboree e arbustive sul fondo rispetto al bordo dolina. Anche gli animali "rispondono" alle condizioni climatiche particolarissime che abbiamo documentato sul fondo dolina: le lucciole, piccoli coleotteri "luminosi" della famiglia dei Lampiridi, compaiono sul fondo della Spipola con oltre 3 settimane di ritardo.

Considerazioni conclusive

Lo studio che abbiamo iniziato nel gennaio 2017 sulle condizioni climatiche e floristico-vegetazionali del fondo della dolina della Spipola rendono evidente l'interesse conservazionistico delle cavità carsiche, vere "fabbriche del freddo" cui sono legate specie vegetali (e presumibilmente animali) spesso rare o rarissime nella fascia collinare; in questo senso le cavità carsiche diventano anche "fabbriche di biodiversità". Molte specie microterme, in questi luoghi limitati per estensione, trovano l'unica possibilità di sopravvivere soprattutto adesso, in una situazione generalizzata di aumento delle temperature. Altrettanto evidente è l'importanza di continuare gli studi soprattutto nelle cavità carsiche su gesso. Importante, inoltre, approfondire le conoscenze sia sulla flora che sulla vegetazione del fondo delle cavità carsiche dove sono certamente presenti *habitat* di interesse comunitario inquadrabili in 8210 (Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica) e, probabilmente, anche in altre tipologie.

Purtroppo le cavità carsiche raramente sono state riconosciute come "fabbriche di biodiversità" e molto spesso proprio le doline, gli inghiottitoi, le grotte sono state utilizzate come discariche (anche nel Carso triestino, non solo sui Gessi!). In molti casi le conche carsiche sono state del tutto private della vegetazione

originaria per far posto a coltivazioni o, semplicemente, per fare legna; è probabile che l'intensa ceduzione avvenuta nel passato sul fondo della dolina della Spipola abbia qui favorito la diffusione della robinia. Va detto che le minacce per questi ambienti sono costituite anche da una frequentazione che non tiene conto della loro fragilità. Anche l'accumulo di ramaglie può essere una seria minaccia per specie che crescono esclusivamente nei pochi metri quadrati del fondo dolina.

Fortunatamente nella Regione Emilia-Romagna le cavità carsiche sono in gran parte comprese in aree protette (Parco dei Gessi Bolognesi, Parco della Vena del Gesso Romagna e Parco nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano); tuttavia la reale tutela degli ambienti carsici può avvenire soltanto migliorando la vigilanza e, quando necessario, regolando la frequentazione. Infine è importante valutare attentamente gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria sulla base delle emergenze naturalistiche presenti; se l'impatto dell'intervento è insostenibile bisogna ridurlo al minimo oppure evitarlo del tutto.

Ringraziamenti

Questa ricerca, autogestita e autofinanziata, è stata possibile grazie all'aiuto di molte persone. Un grazie particolare a Alessandro Alessandrini, Davide Angelini, Bernardo Belvederi, Alessandro Bonafede, Franco Candi, Stefano Corticelli, Paolo Forti, Elio Polli, Luca Salvioi, Michele Sivelli, Michele Vignodelli.

Lectture consigliate

CORBETTA F., CORTICELLI S., 1982. *Commento alla Carta della vegetazione al Parco dei Gessi Bolognesi*. In: Atti del Convegno "Il Parco dei Gessi Bolognesi", Provincia di Bologna.

FAVRETTO D., L. POLDINI L., 1986. *The Vegetation in the Dolinas of the Karst Region near Trieste (Italy)*. *Studia Geobot.* 5: 5-17.

LAUSI D., 1964. *Vorläufiger Überblick über die Vegetation der Triester Karstdolinen*. *Acta Botanica Croatica* vol. extraord.

- MARCONI G., CENTURIONE N., 2002. *La Flora del Parco dei Gessi. Parchi e Riserve dell'Emilia-Romagna*.
- MENEQHEL M., SAURO U., 2006. *Dolines of karstic and periglacial origin in the high mountain karst of Pale di San Martino plateau (Dolomites)*. Zeitschr. Geomorph. N.F., 50: 63-76.
- MENINI F., VAONA C., 2010. *Singolarità climatiche in Lessinia: le doline*. In "La Lessinia ieri, oggi, domani" Quaderno culturale n. 33: 47-57.
- MONTANARI S., BONAFEDE F., VIGNODELLI M., ALESSANDRINI A., 2015. *Hemionitis Storie intorno alle felci della Vena del Gesso*. Centro Culturale "M. Guarducci", Zattaglia.
- POLDINI L., 1985. *L'Asaro-Carpinetum betuli Lausi '64 del Carso Nord Adriatico*. Studia Geobot., 5: 31-38.
- POLDINI L., TOSELLI E., 1979. *Osservazioni ecoclimatiche e floristiche in alcune cavità carsiche*. Atti del IV Convegno di Speleologia del Friuli Venezia Giulia. Pordenone, nov. 1979. Pordenone 1983: 229-242.
- POLLI E., 1990. *Asplenium viride* Huds. e *Saxifraga rotundifolia* L. nella Siroka Jama (127 VG) - Progressione 24, Anno XIII, N.2 (dic. 1990): 10-11.
- POLLI E., GUIDI P., 1996. *Variazioni vegetazionali in un sessantennio (1935-1995) nella Dolina della Grotta Ercole 6VG (Carso triestino)* - Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", vol. 55: 69.
- POLLI E., POLLI S., 1989. *Stratificazione microclimatica e vegetazionale in un tipico Baratro (Caverna a NW di Ferneti 4203VG) del Carso triestino* - Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", vol. 28: 39-49.
- POLLI S., 1961. *Il Clima delle Doline del Carso* - Atti XVIII Congr. Geogr. It., Trieste 1961. Vol.2: 127-135.
- RENON B., 2011. *Le fabbriche naturali del freddo*. Arpav (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto), pp. 1-44.
- RIVALTA G., DONATI C., 1993. *La distribuzione termica nella grotta della Spipola (Parco dei Gessi Bolognesi)*. In: *Le Grotte d'Italia - Atti XVI Congr. Naz. Spel. (4) XVI, 1992-1993: 347-374*.

Contatto Autore: fausto.bonafede@gmail.com