



# Atti XXIII Congresso Nazionale di Speleologia

“La melodia delle grotte”

2-5 giugno 2022 - Ormea (CN)

*In ricordo di Giovanni Badino*

Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia  
Atti XXIII Congresso Nazionale di Speleologia “La melodia delle grotte” 2-5 giugno 2022 - Ormea (CN)

*In ricordo di Giovanni Badino*



A cura di Davide Barberis, Jo De Waele, Bartolomeo Vigna, Raffaella Zerbetto



Serie II  
vol XLII - 2022



Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia  
Serie II, vol XLII - 2022

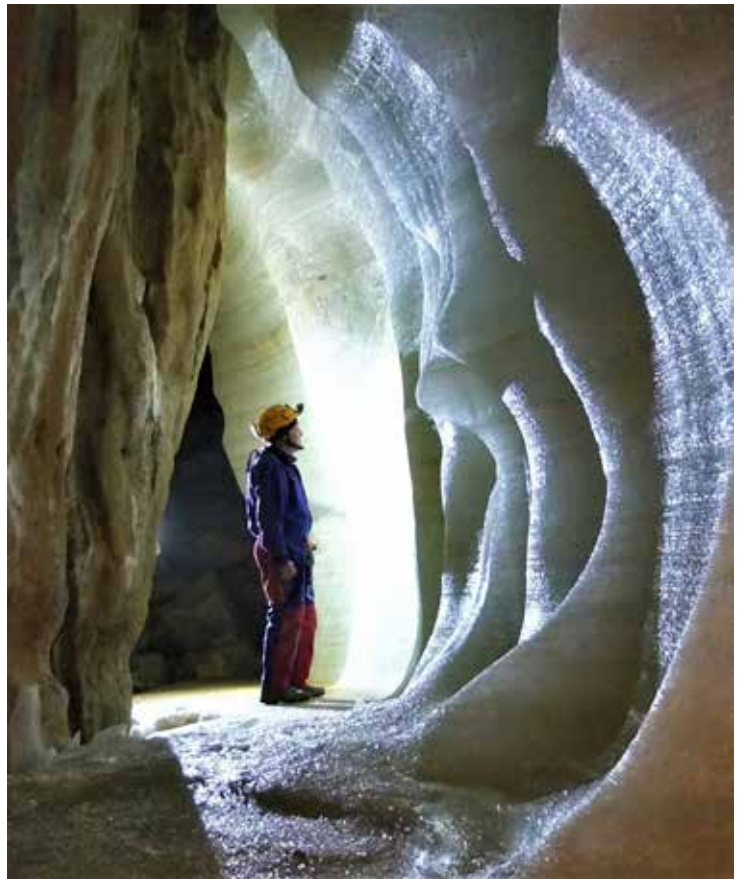
## In ricordo di Giovanni Badino

Quante cose si sono accalcate  
come ondeggiare  
di mare in tempesta  
incomprensibili  
ma qualcosa è continuato  
tranquillo

incedere di passi in una salita  
e attorno tutto che si sfalda  
e tu cammini  
cammini  
cammini  
l'aria si fa sottile  
non c'è più nessuno  
accanto  
non capisci  
ma intanto le montagne  
si schiacciano lente  
al suolo  
attorno a te  
nella luce lunare immobile

e tu sali  
quanta strada percorsa  
e tenebre varcate  
e la salita che continua  
leggera  
incomprensibile  
ma è tutto quel che esiste,  
ormai continua a salire  
con passo leggero  
un'orma dopo l'altra  
nella neve  
leggera

(Giovanni Badino, inedito,  
30/03/2013)



Giovanni nell'Abisso Rem del ghiaccio  
(14/7/2016)



Logo del XXIII Congresso nazionale di speleologia

organizzato da



Associazione  
Gruppi Speleologici Piemontesi



Speleo Club Tanaro

con il contributo di



Comune di Ormea



Aree protette  
Alpi Marittime



Sezione di Ormea



In copertina: Grotta di Costacalda (CN), (foto di Raffaella Zerbetto).

Stampato a Bologna da CASMA srl, maggio 2023.

Pubblicato da:

© Società Speleologica Italiana - Bologna

© Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi - Torino

ISBN: 978-88-89897-23-2



Atti  
XXIII Congresso Nazionale di Speleologia

“La melodia delle grotte”

2-5 giugno 2022 - Ormea (CN)

*In ricordo di Giovanni Badino*

A cura di Davide Barberis, Jo De Waele, Bartolomeo Vigna, Raffaella Zerbetto

## La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia

Nicolò Falgari <sup>(a)</sup>, Cristina Longhi <sup>(b)</sup>, Marco Redaelli <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Gruppo Speleologico Underland, [underlandweb@gmail.com](mailto:underlandweb@gmail.com)

<sup>(b)</sup> Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, [cristina.longhi@beniculturali.it](mailto:cristina.longhi@beniculturali.it)

<sup>(c)</sup> SAP s.r.l., [mail@archeologica.it](mailto:mail@archeologica.it)

**Parole chiave:** grotte archeologiche; preistoria, età Romana, Valli Brembiana e Seriana

**Keywords:** archaeological caves; prehistory; Roman age; Brembiana and Seriana valleys

La valle del Giongo è poco distante dalla città di Bergamo in direzione nord, posta trasversalmente tra l'imbocco delle Valli Brembana e Seriana; priva di insediamenti è dominata dal monte Canto Alto (in passato noto con il nome di Pizzidente).

La valle si trova in un'area carsica e dunque ha suscitato interessi di tipo speleologico vista la presenza di numerose cavità. Anche il Gruppo Speleologico Underland ha proceduto a riesplorare cavità già note e nell'occasione ha individuato nuove grotte che hanno evidenziato interesse non solo speleologico ma anche archeologico. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto ha supportato la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Bergamo e Brescia nelle attività di tutela e salvaguardia partecipando a una prima ricognizione dei siti archeologici.

La segnalazione dei primi ritrovamenti è dovuta a Nicolò Falgari del Gruppo Speleologico Underland e risale al 9 maggio 2020, quando nel corso di una

perlustrazione alla base della parete detta "Salt del Diaol" è stata individuata una cavità di notevoli dimensioni. Ad una prima ricognizione la grotta è subito apparsa di scarso interesse speleologico. Ad un'osservazione più accurata, dovuta alla riflessione che poteva essere idonea all'insediamento umano, furono individuati sulla superficie asciutta e polverosa numerosi frammenti di ceramica. Quanto avvenuto indica come una grotta che può sembrare di scarsa rilevanza per l'aspetto speleologico possa risultare invece rilevante in ambito archeologico; quindi è bene osservare un luogo con occhi diversi per trovare quello che altrimenti non saremmo in grado di vedere.

A seguito di questo primo ritrovamento si è potuto constatare che l'area di interesse archeologico era più ampia del previsto, poiché le grotte con frequentazione antica si sono rivelate numerose in tutta la valle.

Nel caso delle grotte della Valle del Giongo, particolarmente qualificata è stata la procedura messa in atto da



“Underland” che, a seguito dell’individuazione del materiale di interesse archeologico, ha interrotto l’esplorazione e avvisato la Soprintendenza, che è immediatamente intervenuta con una campagna di ricognizione, effettuando i primi accertamenti. I ritrovamenti e le connesse indagini archeologiche hanno interessato le cavità denominate Antroide, Binocolo, Geragni, Le Blanc e Linea 78 e le aree immediatamente adiacenti.

**Grotta “Antroide”:** la presenza di resti carboniosi da fuochi recenti e scritte sul soffitto mostrano un utilizzo della grotta come luogo di bivacco e come ricovero occasionale per animali, considerati i numerosi escrementi visibili sul piano di calpestio. Il deposito di spessore variabile tra i pochi centimetri e i 30 cm purtroppo risulta molto rimaneggiato: frammisti al terreno sono stati raccolti frammenti ossei animali e scarsi frammenti ceramici databili al periodo tardo romano e al periodo rinascimentale. La presenza di una scoria ferrosa e di alcuni frammenti di ceramica tardo romana sparsi lungo la cengia a nord dell’ingresso di “Antroide”, troppo esposta per costituire un luogo in cui svolgere attività di qualsiasi genere, purtroppo è indizio del fatto che la stratigrafia archeologica è stata in passato asportata dall’interno della camera e scaricata all’esterno. I frammenti ceramici di epoca romana, in via preliminare confrontabili con quelli ritrovati nel Bus di Cornei di Costa Cavallina, e l’assenza di resti umani, rimandano a una frequentazione occasionale come bivacco o riparo.

**Grotta “Binocolo”:** nella piccola sala sono stati rinvenuti un frammento ceramico ad impasto molto grossolano probabilmente di epoca preistorica o protostorica e due frammenti ossei, uno dei quali parrebbe una falange umana. Anche in questo caso la pre-



Figura 1 - Valle del Giongo, Grotta Antroide, frammenti ceramici (foto Marco Redaelli)



Figura 2 - Valle Giongo, Grotta Binocolo, ceramica e ossa (foto Marco Redaelli)

senza del frammento ceramico in superficie indica la compromissione della stratigrafia archeologica. Il frammento è scarsamente significativo e dunque è impossibile proporre una datazione. Se il frammento di falange dovesse risultare umano, potrebbe essere ipotizza-

to l'utilizzo funerario della piccola sala. **Grotta "Geragni"**: la presenza di impronte e di escrementi indica che la cavità è utilizzata come rifugio dai cinghiali, dunque il terreno risulta molto rimaneggiato. Tra il terreno smosso sono state raccolte schegge di selce di difficile datazione. Allo stato attuale delle indagini non è possibile affermare con certezza la frequentazione antica della cavità. Le schegge raccolte non recano chiare tracce di lavorazione intenzionale e, considerata la presenza di affioramenti di selce nell'area, la presenza potrebbe anche essere accidentale.

**Grotta "Le Blanc"**: all'ingresso tra il terreno smosso sono stati raccolti un frammento di ceramica preistorica, due lame di selce e un nucleo di selce che indicano una probabile frequentazione nel Neolitico antico. È stato raccolto anche un acciarino di selce di epoca moderna. Il deposito è di scarso spessore e sembra essere stato rimaneggiato totalmente. Per quanto scarsi, i reperti raccolti indicano che la grotta è stata frequentata forse come bivacco in una fase iniziale del Neolitico; purtroppo l'elevata compromissione del contesto non permette ulteriori considerazioni.

**Grotta "Linea 78"**: sul fondo dell'ampia sala appoggiati sulla superficie sono stati raccolti numerosi frammenti ceramici di epoca tardo romana riconducibili a una frequentazione la cui natura è ancora da definire.

L'esito delle prime ricognizioni all'interno di alcune cavità della Valle del Giongo, sebbene non sia molto confortante sotto il profilo dell'indagine archeologica poiché i contesti sono apparsi compromessi dall'azione dell'uomo o dalla frequentazione di animali, offre degli interessanti spunti di riflessione per quanto attiene la ricostruzione della storia del territorio, con particolare riferimento ai percorsi di collegamento



Figura 3 - Valle del Giongo, Grotta Le Blanc. Lama e nucleo di selce, frammento ceramico (foto Cristina Longhi)



Figura 4 - Valle del Giongo, Grotta Linea 78, frammenti ceramici (foto Cristina Longhi)

tra la pianura e la Valle Seriana con la Bassa Valle Brembana. Prima d'ora alcuni ritrovamenti di reperti preistorici lungo il versante sud-ovest del Canto Basso e il ritrovamento di molte cuspidi di freccia sul versante a sud dei Prati Parini, approssimativamente i limiti est e ovest della Valle, avevano già definito l'area come cruciale per il collegamento tra le Valli e la pianura ai piedi del colle di Bergamo nel corso della preistoria. Gli attuali ritrovamenti, che indicano una sicura frequentazione preistorica per la grotta "Binocolo" e per la grotta "Le Blanc" e di epoca romana per le grotte "Antroide" e "Linea 78", confermano una direttrice di collegamento

attiva almeno in questi due periodi. I sentieri che oggi l'attraversano e che sono presenti anche nelle cartografie ottocentesche potrebbero ricalcare gli antichi accessi alla bassa Valle Brembana. Lo sfruttamento della Valle del Giongo consentiva forse da un lato di evitare il percorso in sinistra idrografica del Brembo, che in questo punto è particolarmente impervio, dall'altro poteva essersi aperto come via di accesso per lo sfruttamento degli affioramenti selciferi della Maiolica, la cui importanza è testimoniata da una vasta area di lavorazione sul Monte Bastia di Villa d'Almè.

L'indagine archeologica è ancora all'inizio, sarà necessario procedere con nuove ricognizioni ed accertamenti archeologici per raccogliere ulteriori indizi utili a ricomporre il quadro della storia del più antico popolamento della Bassa Valle. La collaborazione tra gli archeologi della Soprintendenza e gli speleologi di Underland sarà determinante per continuare le ricerche nel modo più proficuo e completo, con l'obiettivo comune di preservare e far conoscere le testimonianze lasciate da coloro che hanno percorso le montagne prima di noi.

### **Riferimenti bibliografici**

Longhi C., Falgari N., Redaelli M. (2022), "Novità sulla storia più antica della bassa Valle Brembana". *Quaderni Brembani*, 20: 51-61.

Ceretti G., Ceretti R., Falgari N., Forcella C., Pozzo M., Suardi M. (2018), "Val Giongo: i nuovi labirinti alle porte di Bergamo". *Speleologia*, 79: 36-42.

Ceretti G., Ceretti R., Falgari N., Forcella C. (2019), "Aggiornamenti dal Val Giongo Project". *Speleologia*, 81: 5-6.



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

Cristina Longhi <sup>(a)</sup>, Massimo Pozzo <sup>(b)</sup>, Marco Tremari <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Soprintendenza ABAP per le province di Brescia e Bergamo,  
*cristina.longhi@beniculturali.it*

<sup>(b)</sup> Underland, *underlandweb@gmail.com*, *maximopozzo@gmail.com*

<sup>(c)</sup> SAP – Società Archeologica srl, Museo Archeologico del Barro,  
*marco.tremari@gmail.com*

**Parole Chiave:** Archeologia preistorica, Speleologia, Fotogrammetria  
Keywords: Prehistoric archaeology, Speleology, Photogrammetry

### Riassunto

L'articolo presenta i risultati dell'indagine archeologica e speleologica di una cavità sita in località Sant'Antonio del Comune di Grone (BG). L'ingresso è stato individuato da alcuni speleologi durante la ricerca di nuovi imbocchi al sistema carsico che caratterizza questo territorio.

Lo scavo archeologico, diretto dalla Soprintendenza ed effettuato da SAP Società Archeologica srl con il supporto degli speleologi di Progetto Sebino e di Underland, è stato effettuato con fondi ministeriali e dell'amministrazione locale e ha posto in luce un sito databile all'inizio del Bronzo Antico.

La documentazione di scavo è stata realizzata con un rilievo 3D di dettaglio, che oltre a costituire una banca dati sarà fondamentale per la valorizzazione del sito di non facile accesso.

Il comportamento virtuoso degli speleologi e le modalità di intervento hanno consentito di tutelare, studiare e valorizzare il sito, ponendo le basi per una proficua collaborazione sul territorio.

### La scoperta della grotta e le indagini archeologiche

La grotta Altro Pianet si trova in Comune di Grone in Val Cavallina, provincia di Bergamo.

La posizione della Valle, tra la pianura bergamasca e i valichi alpini della Valle Camonica, la rende una via di comunicazione privilegiata, mentre la presenza di cavità e di ecosistemi diversificati hanno favorito l'insediamento umano sin dal Paleolitico.

La cavità si apre a quota 877 m slm sul versante SW dei Colli di San Fermo, in uno dei numerosi impluvi che confluiscono nel torrente Secca, affluente del fiume Cherio, emissario del Lago di Endine.

Il ritrovamento è avvenuto nell'ambito della ricerca speleologica "Progetto Sebino", che ha interessato il Sebino Occidentale e ha individuato ed esplorato un esteso sistema carsico di oltre trenta chilometri. L'idea di trovare



Figura 1 - Il contesto territoriale (da Google Maps)

nuovi ingressi e collegamenti ipogei nel confinante territorio di Grone ha indotto gli speleologi ad esplorare le vallette presenti in località Sant'Antonio: in quell'occasione Massimo Pozzo, Gianni Rebusi e Maurizio Greppi hanno percepito un flusso d'aria uscire da una piccola cavità, indizio certo della sua prosecuzione nel sottosuolo.

La grotta, orientata NS con un'inclinazione di 12 gradi, si apre sul versante idrografico sinistro di un ruscello che si genera da una sorgente poco più a monte. L'ingresso è un ambiente quadrangolare di 8 m<sup>2</sup> ca. che si restringe verso l'interno. Un passaggio, lungo 2,50 m, largo in media 1,20 m e alto non più di 0,60 m, immette in una camera interna di 21 m<sup>2</sup> ca. con un'altezza massima di 4,25 m. Le pareti sono parzialmente concrezionate a causa dello stillicidio, soprattutto nella parte N/NW, dov'è presente una piccola nicchia. Verso S la camera si restringe in un cunicolo che risultava riempito da sedimenti che, per la presenza di reperti archeologici, sembrano provenire dalla camera principale, forse li confluiti a seguito di episodi alluvionali. L'esplorazione del cunicolo non è stata completata: è ignoto, dunque, se la cavità prosegue.

Lo scavo archeologico, effettuato in tre campagne tra il 2015 e il 2020, ha in-

dagato totalmente il deposito; un testimone è stato lasciato a ridosso della parete S della camera principale.

La stratigrafia archeologica è parzialmente sigillata da un unico livello alluvionale che ha ostruito l'ingresso; di spessore variabile – da 1,10 m, in prossimità dell'ingresso, per assottigliarsi fino quasi a scomparire all'interno della camera – è il risultato di una o più fasi di piena del torrente.

Il deposito antropico è un unico strato organico carbonioso, che in alcuni punti della camera interna è coperto da un sottile livello concrezionato, e si estende su tutta la superficie seguendo la naturale inclinazione degli strati calcarei. Nella camera interna la superficie era caratterizzata dalla presenza di una vasta area termo-combusta.

Nell'angolo NW era presente una concentrazione di pietre di medie e grandi dimensioni forse in parte intenzionale, dove sono stati rinvenuti frammenti ceramici e una discreta quantità di resti di fauna.

La frequentazione della grotta è riconducibile ad un unico orizzonte databile, sia sulla base dei dati archeologici (Perini, 1988, Poggiani Keller, 2000, Leonardi et al., 2015) che in cronologia assoluta, all'inizio del Bronzo Antico (3729±40 BP, cal.2σ– 2210 – 2022 a.C. 92%).

## Il rilievo fotogrammetrico e la creazione del modello 3D

Considerate le difficoltà di accesso – l'imbocco della grotta si trova su una parete a circa 4 metri di altezza dal piano di calpestio – la scarsa affidabilità del versante e l'ottimo stato di conservazione del sito, si è optato per la realizzazione di un modello 3D in modo da poter rinviare alcune considerazioni di dettaglio a un momento successivo allo scavo e poter rendere possibili visite virtuali al sito (Guidi et al., 2010; Russo et al., 2011; Forte, Campana, 2016).

La metodologia utilizzata è quella della fotogrammetria non calibrata *image-based*, che consente l'acquisizione di un oggetto o contesto e la sua trasposizione in modello tridimensionale realistico e metricamente corretto e si basa sull'estrapolazione della geometria tridimensionale del dato a partire da una serie d'immagini bidimensionali con un'ampia area di sovrapposizione (Torres et al., 2012), in questo caso ottenute con una camera reflex con riprese in HDRI.

L'ottenimento del modello 3D geometricamente corretto ha presupposto l'acquisizione di punti noti ottenuti internamente con Stazione Totale ed

esternamente con sistema GNSS topografico. Per la creazione del modello sono state elaborate circa 2000 riprese attraverso quattro fasi:

1. creazione di una nuvola di punti sparsa elaborando le immagini tramite algoritmi SFM (*Structure From Motion*);
2. creazione di una nuvola di punti densa georeferenziando i punti della nuvola sparsa con l'inserimento delle coordinate dei target;
3. passaggio dalla nuvola di punti densa al modello tridimensionale tramite triangolazione e ricostruzione geometrica della superficie;
4. applicazione di una *texture* fotografica.

Il modello tridimensionale digitale georeferenziato, creato e gestito utilizzando i software Agisoft Photoscan, CloudCompare, MeshLab e Blender, è stato realizzato per ogni fase di scavo.

## Il contesto archeologico

Sebbene siano già stati analizzati i reperti archeologici, alcuni resti botanici e una parte della fauna, allo stato attuale è difficile comprendere la natura del sito (Cappelozza, 2015; Redaelli, 2015; Tremari, 2017). L'apparente assenza di resti umani escluderebbe la

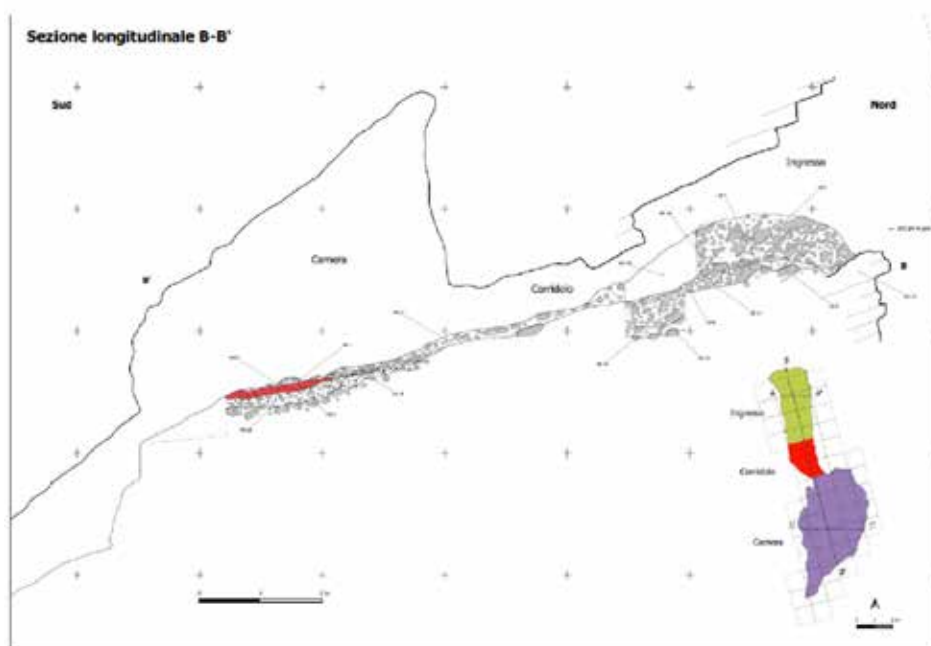


Figura 2 - Sezione e planimetria della grotta (elab. Marco Tremari).



Figura 3 - La superficie rubefatta del deposito archeologico (foto Marco Tremari).

grotta dal novero delle grotticelle sepolcrali conosciute nel territorio, mentre la presenza di ceramica e fauna e abbondanti resti di semi carbonizzati parrebbe rimandare a un insediamento occasionale. Desti però qualche perplessità la scarsità dei manufatti in selce e l'assenza di recipienti da stoccaggio o da cottura; oltre al boccale ansato venuto alla luce all'ingresso degli speleologi, anche tra la ceramica raccolta sono prevalenti i boccali, forme che rimandano al consumo e alla conservazione dei liquidi. Di qui l'ipotesi, ancora da verificare, che si tratti di un luogo di culto delle acque (Poggiani Keller, 1979), cui potrebbero ricollegarsi la vasta rubefazione forse determinata dall'accensione di ripetuti fuochi e la sistemazione intenzionale del punto di maggior stillicidio.

Il modello tridimensionale ottenuto sarà determinante per la prosecuzione degli studi, consentirà infatti di analizzare meglio le dinamiche deposizionali, di creare dei modelli in cui la dispersione dei reperti archeologici, dei resti botanici e faunistici potrebbero tracciare un eventuale utilizzo differenziato dello spazio.

### Riferimenti bibliografici

Cappelozza N. (2015), "Nota sull'indagine preliminare al deposito archeologico della grotta "Altro Pianet", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesag-

- gio per le Province di Bergamo e Brescia, *Nota preliminare*: 1
- Guidi G., Russo M., Beraldin J.A. (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*. Milano.
- Forte M., Campana S. (2016), *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Archaeology in the Age of Sensing*. Springer, Cham.
- Leonardi G., Baioni M., Cupitò M., Longhi C., Martinelli N. (2015), "Northern Italy around 2200 BC. From copper to early bronze age: continuity and/or discontinuity?", in Meller H., Arz H., Jung R., Risch R. (a cura di) *2200 BC – A climatic breakdown as a cause for the collapse of the old world?*, Halle, 283-304.
- Perini R. (1988), "Gli scavi nel *Lavagnone*. Sequenza e tipologia degli abitati dell'età del Bronzo", *Annali Benacensi*, 9: 109-154
- Poggiani Keller R. (1979), "Grotta Tomba dei Polacchi. Rota d'Imagna", *Annali benacensi*, 5: 173-182.
- Poggiani Keller R. (2000), "Lovere (Bergamo): una sequenza stratigrafica esemplare dal Neolitico Antico al Bronzo Finale in area prealpina", *Rivista di Scienze Preistoriche*, 50: 297-374.
- Redaelli M. (2015), "Grone, Altro Pianet, località Sant'Antonio – Indagine Preliminare", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, *Relazione Archeologica – Campagna 6-24 Novembre 2015*: 1-12.
- Russo M., Remondino F., Guidi G. (2011), "Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico", *Archeologia e Calcolatori*, 22: 169-198.
- Torres J.C., Arroyo G., Romo C., De Haro J. (2012), "3d digitization using Structure From Motion", in Navazo I., Patow G. (a cura di), *XXII Spanish Computer Graphics Conference, CEIG 2012* (Jaen, Spain, September 12-14, 2012): 1-10.
- Tremari M. (2017), "Grone, Altro Pianet, località Sant'Antonio – Indagine Archeologica", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, *Relazione Archeologica – Campagna 7-16 Giugno 2017*: 1-15.



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

Massimo Pozzo

Underland, *underlandweb@gmail.com; maximopozzo@gmail.com*

**Parole Chiave:** Speleologia; Esplorazione; Relazioni con enti locali

**Keywords:** Speleology; Exploration; Relations with local authorities

### **Un universo nuovo**

L'idea di dare inizio ad una ricerca sistematica nel Sebino Occidentale fu di Massimo Pozzo e Maurizio Aresi (GS Valle Imagna - anno 2000), in cerca di un'area geograficamente non lontana dalle proprie residenze. Nel 2006, dopo un anno di intensa ricerca sia a tavolino che esterna, Massimo Pozzo decise di allargare il progetto ad altri gruppi locali vista la vastità del territorio coinvolto, creando Progetto Sebino, a cui aderirono due gruppi bergamaschi (SC Lovere, GS Valle Imagna), e due bresciani, (SC Valtrompia, GS Montorfano), che poi ne uscirono dopo qualche anno: i rimasti si costituirono in un gruppo con il nome stesso del progetto e tutt'ora in essere.

Durante il primo decennio di questa gestione, l'exploit esplorativo ebbe una crescita vertiginosa grazie soprattutto alla generosità del fenomeno carsico locale, straordinario per il territorio bergamasco, ma anche alla caparbia, alla dedizione e alle intuizioni dei suoi esploratori più costanti, supportati da una attiva collaborazione e sostegno da diversi enti locali. Il periodo 2006-2017, di grande fulgore esplorativo, si chiude con una scissione drastica all'in-

terno del gruppo sebino e sempre su idea dell'autore nasce Underland, con gli obiettivi di ricerca originari ovvero l'individuazione del sistema carsico che alimenta la cospicua risorgenza locale: l'Acqua Sparsa di Grone (Bg).

Furono tre soci loveresi a individuare nella valle principale del paese di Fonteno (Bg) l'ingresso soffiante aria gelida (5 m/s) nel maggio 2006 (M. Finazzi, A. Poletti, F. Vezzoli), ma fu un altro il quartetto che ebbe la fortuna storica di violarlo: M. Pozzo, M. Aresi, C. Forcella e D. Magri. Da quel momento tutto cambiò per il Sebino, e si aprirono le porte di una nuova dimensione speleologica per la bergamasca (Pozzo, 2006, 2012). Il nuovo Abisso Bueno Fonteno in pochi mesi raggiunse l'incredibile sviluppo di 8 chilometri (record provinciale), con diramazioni aperte in ogni direzione, decine di corsi d'acqua interni e una profondità di 451 metri ferma sul limite di un tenebroso sifone: lo Smeraldo. Nel primo tragitto si scoprirono saloni superiori ai 100 metri, canyon sotterranei attivi alti anche 50 metri e nei livelli più bassi, gallerie freatiche con diametri superiori anche ai 5 metri. La notizia si diffuse rapidamente su media e quotidiani locali



e di fronte alla necessità di ben organizzare le ricerche in un territorio che comprende molti Comuni, il presidente fondatore dell'associazione si propose di riuscire a coinvolgerli attivamente e in concerto con altri enti locali.

Venne ufficializzato lo "Studio idrogeologico e speleologico del sistema carsico", con particolare riguardo all'individuazione delle disponibilità idriche ipogee per un eventuale utilizzo; la valutazione dell'impatto antropico sul sistema idrico e la tutela e salvaguardia dell'area carsica in esame. Si iniziò subito con nuovi ritrovamenti anche in valli adiacenti a Fonteno e con la revisione di tutte le cavità presenti nell'area aggiornandone la geolocalizzazione. In collaborazione con il compianto Dott. A. Bini (Dip. Scienze della Terra, UniMi), si diede inizio alla raccolta e al campionamento dei calcari presenti lungo tutto il dislivello ricoperto da Bueno Fonteno con il fine di ricostruire una carta geologica interna, mentre nell'intento di effettuare già un tracciamento delle acque, iniziarono prospezioni subacquee nel Lago d'Iseo alla ricerca di possibili sorgenti sublacustri. La presentazione del progetto sotto forma di serate divulgative al pubblico, richiamò l'attenzione della popolazione e quindi anche degli enti locali, accrescendone la credibilità e l'utilità sociale sugli scopi dello stesso, a cui venne riconosciuto un piano di bilancio spese sostenute e patrocinate dalla Provincia, le Comunità Montane locali e diversi Comuni vicini a Fonteno. Questo rese possibile la realizzazione di molti approfondimenti abbinati a esborsi economici e spese per acquisto di materiali atti al monitoraggio, altrimenti insormontabili. Bueno Fonteno continuò a crescere vertiginosamente sviluppandosi in una porzione cubica di territorio che non supera il chilometro e mezzo e con una media di circa 3,5 km nuovi annuali, raggiunse tre fondi

distinti e uno sviluppo di circa 20 chilometri.

Nel 2010, il tracciamento pilota effettuato nell'ambito del Progetto Integrato e denominato «Osservatorio delle aree carsiche lombarde», richiesto da Regione Lombardia alla Federazione Speleologica Lombarda, accertò per il Sebino il collegamento idrologico tra l'Abisso Bueno Fonteno e la risorgenza Milesi (La Ripiegata), presso Tavernola Bergamasca, posta a circa 5 km in linea d'aria dai sifoni di fondo. Rimasero però dubbi legati allo sviluppo generale e a collegamenti con altre risorgenze, tipo l'Acqua Sparsa di Grone, non monitorata a sufficienza per limiti tecnici legati al progetto pilota e distante in linea d'aria oltre 7 km.

Attorno all'area del Sebino Occidentale, sono presenti tre grosse risorgenze (Rino a Predore, Milesi a Tavernola B. e Acqua Sparsa a Grone), molto distanti tra loro e con ostacoli geologici che fanno supporre la presenza di tre complessi carsici molto articolati, con linee drenanti ben definite, legati a spartiacque geografici non collimanti con quelli sotterranei. In un carsismo così sviluppato non è da escludersi un collegamento sia idrologico che aereo tra i vari sistemi, per cui diventò prioritario nell'ambito di tale vastità, cercare di delimitarne i confini ricavandone dati certi al fine di ragionare e muoversi al suo interno con maggiore cognizione e con la minor dispersione di tempo, risorse ed energie. Nel 2012 un'immersione dello speleo sub L. Pedrali nel Sifone Smeraldo, confermò che per almeno mezzo chilometro a valle i livelli freatici di Bueno Fonteno sono tutti sommersi, quindi le ricerche a favore dello spostamento in pianta o per bypassare il sifone, si rivolsero a settori più a monte dell'abisso, con punte esplorative di molte ore di permanenza: nell'intento di trovare nuovi accessi proprio per i settori a monte, si scoprì

l'Abisso Nueva Vida (Pozzo, 2013) rivalutando una piccola cavità lasciata nel dimenticatoio. In brevissimo tempo raggiunse i 10 km di sviluppo per una profondità di 501 metri, aprendosi poco più alto in quota rispetto a Bueno Fonteno.

La presenza di queste due enormi cavità con sviluppi simili e molto ravvicinate tra loro, ampliò decisamente le ipotesi sulle possibilità di espansione in tutta l'area, che presenta nella Valle di Fonteno una media inusuale di circa 15 km di reticolo per ogni chilometro cubico. Anche i limiti del bacino di assorbimento iniziarono a vacillare, a causa della scoperta di bocche alitanti meteo alte a distanze sempre maggiori dai due abissi.

Per facilitare ancora di più la comprensione e l'eventuale estensione del sistema, nell'inverno del 2013 e in quello del 2015, si organizzarono proprio a Fonteno e assieme alla Federazione Speleologica Lombarda, due workshop dedicati alla "meteorologia ipogea per la ricerca speleologica" (Meteo Hypo 1 e 2), effettuando in contemporanea due test di tracciamento odoroso proprio nel sistema del Sebino Occidentale. Il tracciante venne immesso nei due abissi principali (meteo bassi), monitorando diversi ingressi meteo alti posizionati sia lungo le creste attorno alla Valle di Fonteno che oltre il limite geografico del bacino idrografico. I risultati permisero di ottenere risposte attese, ma anche informazioni solo follemente ipotizzate. Determinando infatti collegamenti anche con il Monte Torrezzo (maggior vetta dell'area) e ponendo quest'ultimo massiccio in una posizione di ipotetico spartiacque sotterraneo tra la risorgenza di Tavernola Bergamasca e quella di Grone, (Pozzo et al., 2015), i confini dell'area di assorbimento in pratica raddoppiarono.

Attraverso una metodica mappatura delle direzioni di flusso d'aria di tutte

le diramazioni dei due abissi, si individuò Contr'Aria, una stretta deviazione a flusso invertito (Pozzo, 2013) che dopo oltre un chilometro di lunga forra li unì in un unico grande colosso di quasi 30 chilometri. Nel 2016, F. dal Corso e M. Casaletti percorsero a nuoto una diramazione allagata stabilendo il collegamento tra due dei tre fondi di Bueno Fonteno (Hydrospeed con Salsa Rosa tramite Canal Grande). Nel 2017 lunghe esplorazioni a monte di Nueva Vida permisero di superare finalmente la soglia dei 30 km (Sala del Trentino, Pozzo M., Belotti N., Casaletti M.) e attraverso le risalite nel Ramo Eziokhane, si toccò il massimo dislivello del sistema: 672 metri (Pozzo, 2016).

La creazione di Underland nello stesso anno, avvenne proprio durante un secondo test di tracciamento delle acque, lautamente finanziato da enti e una società di gestione delle acque bergamasca. Con questa operazione, si confermò il risultato del precedente test accertando anche il collegamento tra l'Abisso Bueno Fonteno e la Sorgente Acquasparsa di Grone. La presenza di un importante spartiacque sotterraneo tra i due versanti dell'area fu la conferma di quanto ipotizzato sin dalla data della creazione del progetto di ricerca (Pozzo, 2011, 2012) e dall'autore.

Underland prosegue ora l'idea originaria dei due ideatori iniziali, concentrando soprattutto le attenzioni sul settore di Grone, alla ricerca del complesso parallelo collegato all'Acquasparsa ancora ignoto. Al nuovo progetto, denominato "Disperse Acquae" collabora il G.G. Brescia, il G.G. I Tassi e il G.G. Alto Garda Bresciano.

### **Situazione attuale e conclusioni**

Le ricerche relative al settore di Predore e la sua risorgenza del Rino sono ferme alle prime indagini del 2011, quindi ancora da approfondire (Pozzo, 2021). È particolare il ritrovamento

della cavità Maanepool Ragah (500 mt svil.) situata proprio nella parete opposta della forra in cui si trova la risorgenza prima del sistema, ora troncone fossile per erosione glaciale.

In relazione alla Valle di Fonteno si può affermare che le vie drenanti del sistema sono diverse e non tutte convergono verso un collettore unico: i fondi attivi di Nueva Vida, risultano fermi su prosecuzioni ignote (Pozzo, 2013), e se questa ricollegasse con Bueno Fonteno (Sifone Azzurro - Carretera), il circuito interno a valle del sistema conosciuto sarebbe risolto verso Tavernola Bergamasca. In caso contrario, se i fondi di Nueva avessero sviluppi indipendenti, diventerebbero nuove vie per superare l'ostacolo del Sifone Smeraldo, fondo attualmente conosciuto e accessibile solo tramite lunghe immersioni. I risultati del tracciamento 2017 confermano una perdita di portata importante del sistema, correlata ad una faglia impostata SO-NE, che ribassa i livelli interni e che dirige esattamente verso il settore di Grone e dell'Acqua Sparsa, regalando ipotesi su numeri di sviluppo del reticolo generale che possono superare i 100 km.

I recenti abissi scoperti da Underland, molto ventosi e ai limiti estremi dell'area di Grone (Monte di Grone) e Monasterolo del Castello, sembra abbiano buone carte in regola per diventare le porte di un nuovo grande settore sotterraneo del Sebino Occidentale, dando nuovi stimoli ad una ricerca che nonostante i grandi numeri, si presenta per incognite da svelare come uno studio ancora in fase embrionale.

### **Riferimenti bibliografici**

- Pozzo M. (2006), "Abisso Bueno Fonteno", *Speleologia*, 54: 66
- Pozzo M. et al (2009) - "Progetto Sebino e Abisso Bueno Fonteno", *Speleologia*, 61:65-66
- Pozzo M., Gatti F. (2011), "Studio Idrogeologico del complesso carsico

Bueno Fonteno (Sebino Occidentale - Bg)", *Approfondimento conoscitivo relativo agli acquiferi carsici lombardi/Osservatorio Aree Carsiche* - Regione Lombardia, Federazione Speleologica Lombarda

- Pozzo M., Gatti F. (2012), "Abisso Bueno Fonteno, vertigine senza tempo", *Speleologia*, 66: 18-27
- Pozzo M. (2013), "Giunzione Abissi Nueva Vida e Bueno Fonteno", *Speleologia*, 69:52.
- Pozzo M. (2013), "Prealpi Lombarde, Carta d'identità: Sebino", *Speleologia*, 68: 15.
- Pozzo M., Corengia D. (2013) "L'area carsica del Sebino Occidentale", *Il Grottesco*, 56: 94-101
- Pozzo M., Gatti F., Cella G.D. (2015), "Sistema carsico Bueno Fonteno-Nueva Vida: studio e tracciamento dei flussi d'aria", *Atti del XXII Congresso Nazionale di Speleologia, Pertosa Auletta (Sa)*, 486-491.
- Pozzo M. (2014), "Progetto Sebino: aggiornamenti 2014", *Speleologia*, 71: 5.
- Pozzo M., Gatti F. (2016), "Area carsica del Sebino Occidentale", *Il Catasto Speleologico Lombardo*, Vol. unico, Federazione Speleologica Lombarda), 339-349.
- Pozzo M. (2016), "Il sistema Bueno Fonteno-Nueva Vida supera i 30 Km", *Speleologia*, 75:6;
- Pozzo M. (2019), "Underland: nuovi abissi nel Sebino Occidentale (Gronehenge, Patagonia, Maneepool Ragah, la grotta dei cristalli)", *Speleologia*, 81: 6-7
- Pozzo M. (2021), *SOTTOMONDO N.1 - Carte di scorrimento delle acque nel Complesso Carsico del Sebino Occidentale* - Rivista monografica virtuale del gruppo Underland, pagine 74, scaricabile dal sito <https://underlandweb.wordpress.com/>

## **Droni e ricerca speleologica: tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio**

Massimo Pozzo <sup>(a)</sup>, Marco Tremari <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> Underland, *underlandweb@gmail.com*, *maximopozzo@gmail.com*

<sup>(b)</sup> SAP – Società Archeologica srl, Museo Archeologico del Barro,  
*marco.tremari@gmail.com*

**Parole Chiave:** Nuove tecnologie; Speleologia; Fotogrammetria; Rilievo 3D  
**Keywords:** New technologies; Speleology; Photogrammetry; 3D Survey

### **Riassunto**

Il contributo riprende l'argomento pubblicato sul N.81 dalla Rivista della SSI "Speleologia" (luglio, 2019), a firma di uno dei due autori.

I droni sono telecamere volanti, montate su un Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto (SAPR), guidate da terra tramite radiocomando e operatore. Sono soggetti alla regolamentazione del Codice della Navigazione Aerea dell'Ente Nazionale per la Navigazione Civile (ENAC), e necessitano di polizze assicurative RC verso terzi. L'utilizzo in campo professionale prevede un apposito iter formativo affiancato alle apposite autorizzazioni ad operare rilasciate dall'ENAC stessa.

La presentazione vuole andare oltre alla discussione sulla ripresa video fotografica documentaristica e considerare l'utilizzo tecnico che tali immagini possono fornire per la ricerca territoriale, in particolare per quella speleologica.

### **L'utilizzo dei droni nella ricerca speleologica**

Nella ricerca speleologica, l'uso più immediato del drone è quello di sorvolare porzioni di aree carsiche di difficile accesso per visionarle dall'alto o per studiare in via preliminare un percorso di avvicinamento da effettuare.

Con droni di fascia media, dotati di una comune camera RGB a risoluzione minima *full HD* e una buona autonomia, si possono ottenere ottime informazioni nelle ispezioni di versanti molto scoscesi o di pareti, evitando di cimentarsi inutilmente in impegnative calate o risalite in artificiale.

Scatti fotografici ad alte risoluzioni permettono ingrandimenti tali da po-

ter esplorare nel dettaglio le immagini acquisite anche da remoto, studiando e valutando poi il percorso di successive calate vincenti. Il sorvolo di aree ad alta densità di fenomeni carsici epigei, offre la possibilità di individuare discontinuità sicuramente più riconoscibili dall'alto rispetto alla ricerca spesso caotica e difficoltosa da terra.

L'utilizzo con approfondimenti più interessanti per le potenzialità di un drone è quello della fotogrammetria aerea che consente l'acquisizione e la ricostruzione 3D di ampie porzioni di territorio. Il rilievo aerofotogrammetrico con drone permette di effettuare voli molto più bassi rispetto a quelli effettuati con velivoli tradizionali e di otte-



*Figura 1 - Sorvolo di plateau calcareo (Mare in Burrasca - Presolana Bg) (Foto Max Pozzo)*



*Figura 2 - Individuazione in parete di ingressi (M. Ferrante Bg) (Foto Max Pozzo)*

nera una mappatura del terreno con un dettaglio enormemente superiore e a costi decisamente più contenuti.

### **Dalla fotogrammetria al modello 3D**

Attraverso la fotogrammetria è possibile ricostruire la forma geometrica di un contesto territoriale, urbano o architettonico, tramite un set di riprese fotografiche. La fotogrammetria può essere aerea o terrestre a seconda che la camera fotografica sia posta in stazione sul terreno oppure sia montata su un aeromobile: quella aerea è più diffusa perché utile per la realizzazione di carte geografiche tramite gli stereo restitutori analogici. Nell'ultimo decennio la fotogrammetria digitale ha assunto una propria connotazione grazie all'acquisizione di tecniche automatiche sviluppate nell'ambito della Computer Vision, che analizza e reinterpreta in

chiave informatica la geometria proiettiva della visione. Il recente sviluppo del mercato dei droni o SAPR ha permesso di allargare il potenziale di utilizzo della fotogrammetria e di portare questa tecnologia in ambiti anche non tradizionali. La pratica ha dimostrato che la precisione dei rilevamenti fotogrammetrici, non è inferiore a quella dei rilievi tradizionali alla medesima scala, con il vantaggio di ridurre notevolmente i tempi e le risorse impiegate per il rilievo sul campo, soprattutto rispetto all'impiego di *laser-scanner*.

Il risultato di un rilievo fotogrammetrico è in genere un modello 3D virtuale che riproduce in modo realistico e metricamente corretto, il contesto o l'oggetto originale del rilievo.

Per ottenerlo, è necessario vincolarlo all'acquisizione di alcuni punti fissi, materializzati sul terreno tramite target di riferimento, di cui si conosca



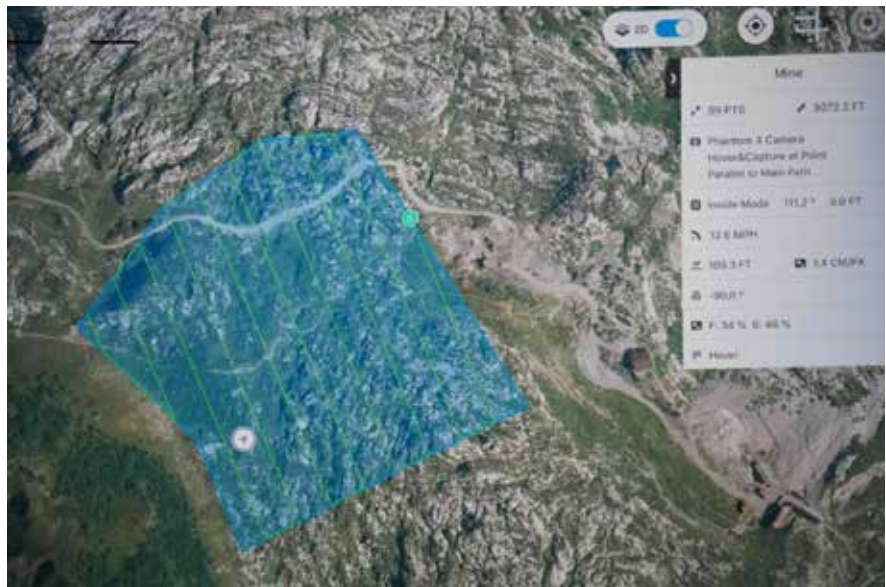


Figura 3 - Piano di volo per fotogrammetria aerea con prova di copertura di un'area di circa 100x100metri (Mare in Burrasca - Presolana Bg) (M. Pozzo)

la corretta posizione tridimensionale nello spazio mediante coordinate note. Senza l'appoggio dei punti di vincolo o GCP (*Ground Control Point*) non è possibile ottenere un modello metricamente corretto, ma solo una buona approssimazione dell'oggetto rilevato. Normalmente il rilievo si svolge attraverso l'acquisizione di uno o più set d'immagini, da terra o da drone a seconda del contesto, cui segue la battuta dei *target* sul terreno, per l'estrapolazione di una terna di coordinate note, tramite Stazione Totale e/o sistema GNSS topografico.

Una volta raccolto il set d'immagini l'elaborazione delle stesse avviene attraverso l'utilizzo di appositi *software* che si servono di algoritmi SFM (*Structure From Motion*). Questi applicativi consentono di estrarre i punti notevoli dalle singole foto, collimarli fra loro in modo automatico infine restituirli nelle corrette coordinate geometriche sotto forma di nuvola sparsa.

I passaggi successivi riguardano l'inserimento delle coordinate note relative ai *target* di ancoraggio o *Ground Control Points* e l'estrazione della nuvola di punti densa (*dense cloud*) che contiene in se già tutte le informazioni metriche corrette del contesto rilevato. Ulterio-

ri passaggi consistono nel passaggio dalla nuvola di punti densa al modello tridimensionale vero e proprio tramite triangolazione e ricostruzione geometrica della sua superficie e nella applicazione di *texture* fotografiche reali sulla geometria del modello ottenuto. Dal modello così elaborato contenente il dato geometrico e spaziale corretto è a questo punto possibile estrarre una serie di dati derivati che consistono soprattutto in ortofotopiani, piani quotati, DEM (*Digital Elevation Model*), DSM (*Digital Surface Model*), curve di livello e profili altimetrici di superfici o sezioni.

### **L'uso dei modelli 3D del territorio come supporto alla ricerca speleologica**

In ambito propriamente speleologico l'utilizzo della fotogrammetria e dell'aerofotogrammetria può avere due principali applicazioni, una rivolta ai rilievi *indoor* (all'interno delle cavità stesse per realizzare viaggi virtuali), e l'altro a livello territoriale, per la mappatura e l'individuazione degli accessi su interi versanti o ampi areali.

In questo secondo caso l'ottenimento di un corretto e dettagliato modello 3D del terreno risulta essere propedeutico



Figura 4 - Risultato grafico foto al 1600% (Mare in Burrasca - Presolana Bg) (M. Tremari)

alla ricerca.

Un altro utilizzo utile alla ricerca speleologica, è l'ottenimento di mappe termiche integrando il drone di un sistema che supporti una termo camera. Questo tipo di telecamera, molto costosa, è utilizzato professionalmente nel campo delle ispezioni e monitoraggi industriali. Per ottenere maggiori dettagli è preferibile usare una telecamera radiometrica, che permette di effettuare un'analisi termica precisa del punto in cui viene indirizzata e quindi può facilmente fornire indicazioni sulla presenza di eventuali bocche alitanti, restituendo una visione o comunque la registrazione della mappatura completa attraverso immagini termiche ad infrarosso, che vengono poi interpretate ed elaborate tramite software dedicato. Anche lungo zone costiere di laghi o fiumi, puntata verso l'acqua, la termo camera è in grado di rilevare le differenti temperature del liquido in superficie con la possibilità di individuare eventuali correnti di risorgenze subacquee o sub lacuali. In conclusione, l'argomento droni e speleologia è tutt'altro che concluso: è evidente che con fotogrammetria aerea e termografia, si possono ottenere informazioni di elevata precisione soprattutto

to cartografica, migliorando la qualità delle nostre ricerche e di conseguenza i risultati esplorativi.

### Riferimenti Bibliografici

- Fasi F., Fregonese L., Ackermann S., De Troia V. (2013), "Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas", ISPRS Workshop 3D-ARCH: 3D virtual reconstruction and visualization of complex architectures, 73-80.
- Paris L. (2012), "Fotogrammetria e/o foto modellazione", in Casale A. (ed), *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*, II, 63-84.
- Remondino F., Poli D. (2014) - "Back to the future. Il ritorno della fotogrammetria", in: *Geomedia*, 18(2), 6-8.
- Russo M., Remondino F., Guidi G. (2011), "Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico", *Archeologia e Calcolatori*, 22, 169-198.
- Santise M., Passoni D., Pagliari D. (2014), "Esperienze di fotogrammetria da UAV per il calcolo dei volumi", *Bollettino della Rivista italiana di fotogrammetria e topografia*, 43-51.
- Pozzo M. (2019), "L'utilizzo dei droni nella ricerca speleologica", *Speleologia*, 81: 60-63

## **Cariadeghe (Bs): ricerca di correlazioni tra "ingressi" tramite monitoraggio e analisi delle temperature**

Massimo Pozzo <sup>(b)</sup>, Maurizio Miragoli <sup>(b)</sup>, Vincenza Franchini <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Underland, [underlandweb@gmail.com](mailto:underlandweb@gmail.com), [maximopozzo@gmail.com](mailto:maximopozzo@gmail.com)

<sup>(b)</sup> Federazione Speleologica Lombarda, [federspeleolombarda@gmail.com](mailto:federspeleolombarda@gmail.com),  
[m.miragoli@wings4world.com](mailto:m.miragoli@wings4world.com)

<sup>(c)</sup> Gruppo Grotte Brescia, [ggb@ggb.it](mailto:ggb@ggb.it), [vikkybs@virgilio.it](mailto:vikkybs@virgilio.it)

**Parole chiave:** Meteorologia sotterranea; Speleologia; Ricerca prosecuzioni; Nuove tecnologie

**Keywords:** Underground meteorology; Speleology; Search for leads; New technologies

### **Riassunto**

Il presente lavoro si occupa della raccolta e analisi di dati di temperatura delle grotte dell'area carsica dell'Altopiano di Cariadeghe (Serle - Bs) (Vailati, 1982; Forti, Marchesi, 1991). I dati raccolti per un periodo di tempo di un anno, vengono elaborati alla luce delle variazioni termiche e di movimento delle arie, correlandoli tra loro per la ricerca di possibili connessioni tra i sistemi carsici sottostanti. Lo studio dettagliato sarà pubblicato nella Rivista della Federazione Speleologica Lombarda, "Lombardia Ipogea, n.1".

Vengono presentati in successione: un inquadramento geografico e geologico dell'area carsica, un approfondimento sulla circolazione dei flussi d'aria sotterranei riscontrati all'interno del complesso carsico, facente capo all'Omber en banda al Bùs del Zel (LoBs 247) e alle bocche alitanti presenti sul territorio, le motivazioni che hanno portato alla realizzazione del progetto denominato "Ariadeghe". Viene parimenti incluso un aggiornamento catastale di

tutte le cavità dell'area con tecniche moderne, una realizzazione del modello 3D generale ed una "Carta della circolazione dei flussi d'aria" (con mappatura interna e presso gli ingressi). La correlazione tra le variazioni di temperatura giornaliere e stagionali registrate in esterno è messa in relazione alle variazioni di temperatura registrate internamente per evidenziare le variazioni volumetriche di flusso. Questa metodologia evidenzia nuove informazioni utili per un approccio esplorativo che permetta di formulare strategie di ricerca prioritarie, visto il gran numero di bocche alitanti situate in un contesto territoriale sottoposto a norme di tutela da zona protetta, e la presenza di un reticolo sotterraneo di oltre 20 chilometri di sviluppo conosciuto.

Il presente monitoraggio delle variazioni di temperatura (esterno/interno) su base annua, forma la base di nuovi scenari che, attraverso test odorosi e monitoraggi specifici successivi con apparecchiature dedicate, dovranno essere confermati sul campo.

La strada da seguire è quindi quella di focalizzare le ricerche su un gruppo di bocche soffianti/aspiranti che si sono rivelate essere sede di marcate anomalie di temperatura nel confronto con le variazioni climatiche esterne.

### **Metodologia**

Dopo aver installato una serie di termometri di precisione (decimo di grado) a profondità opportuna affinché le variazioni di temperatura esterne non potessero influenzare le variazioni di temperatura della grotta in condizioni di stasi o di uscita del flusso delle arie, si è proceduto ad analizzare i dati rilevati secondo le seguenti modalità:

- Verifica dei parametri meteorologici esterni e analisi di consistenza tra i vari sistemi di misura
- Raggruppamento dei dati in funzione del loro stato (bocche fredde/calde), della temperatura e della posizione assoluta
- Analisi di reazione termica in funzione della profondità della grotta
- Analisi di Correlazione tempo reale e ritardata tra le temperature misurate: esterno/interno, interno/interno.
- Analisi in frequenza delle variazioni di temperatura per correlare le variazioni esterne/interne, interne/

- interne ed eventuali shift temporali
- Analisi dei modelli filtrativo e diffusivo, per verificare la "profondità" del carsismo correlato (Badino, 2004, 2014)
- Calcolo portata agli ingressi dedotta dalle misure in temperatura (Badino, 1995)
- Calcolo dei tempi e velocità di diffusione dell'onda termica nei vari modelli (Miragoli, 2020a, b)

### **Riferimenti Bibliografici**

- Badino G. (1995), "Fisica del clima sotterraneo". *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, II(7), 137 p.
- Badino, G. (2004), Cave temperatures and global climatic change. *International Journal of Speleology*, 33(1), 103-113.
- Badino G. (2014b), "Clouds in caves". *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 2(2): 1-2.
- Forti P., Marchesi G. (1991), "Studi speleologici nelle prealpi bresciane", Volume secondo, *Quaderni di sintesi* N.43, ASM Brescia, 149-183.
- Miragoli M. (2020a), La funzione di trasferimento e l'esplorazione delle cavità naturali. Relazione inedita.
- Miragoli M. (2020b), Alcune osservazioni sui dati di Lambda e Romina (M. Mongioie), Relazione inedita.
- Vailati D. (1982), L'Altopiano di Cariadeghe sopra Serle (Brescia, Prealpi Lombarde), *Speleologia*, 7: 19-21.