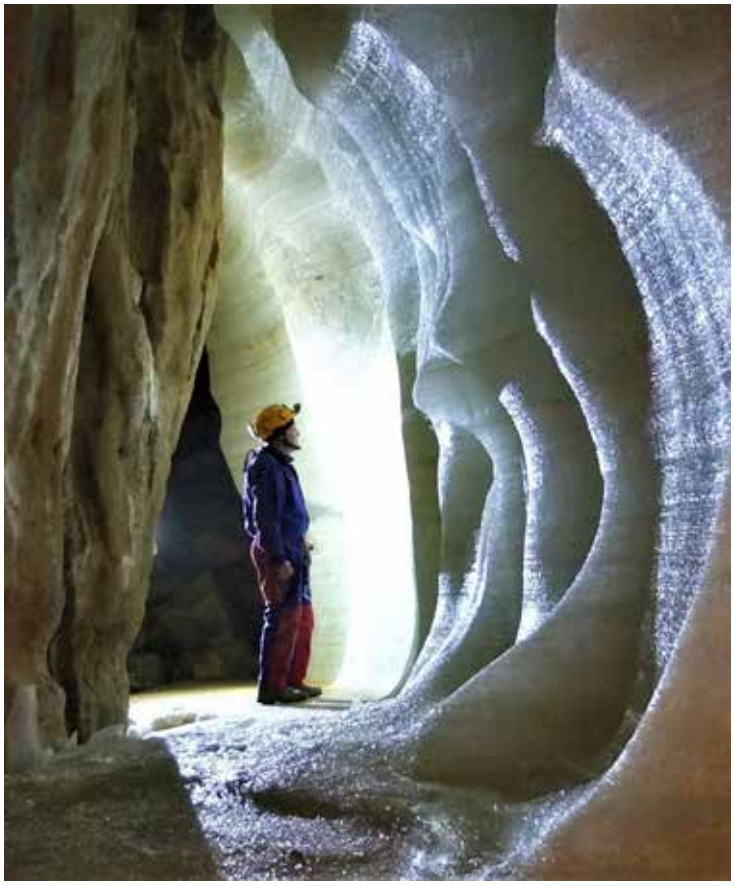
In ricordo di Giovanni Badino

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

Associazione Culturale
ULMETA

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

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

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
(in ricordo di Giovanni Badino)

Ormea (CN) 2-5 giugno 2022

Organizzato da:
Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi
Speleo Club Tanaro

con il contributo di:
Comune di Ormea
Aree Protette Alpi Marittime
Società Speleologica Italiana
CAI Sezione di Ormea
Associazione Culturale Ulmeta

e il patrocinio di:
Società Speleologica Italiana, Club Alpino Italiano, CAI Tutela Ambiente Montano Liguria Piemonte Valle d'Aosta, Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico, PROLOCO Ormea, Torre dei Saraceni Barchi, Associazione Nuovo Cinema Ormea

Responsabili scientifici
Jo De Waele - jo.dewaele@unibo.it
Bartolomeo Vigna - bartolomeo.vigna@polito.it

Referenti

Andrea Benassi - benassiandr@gmail.com
Michele Betti - mibetticca@gmail.com
Veronica Chiarini - veronica.chiarini3@gmail.com
Igor Cicconetti - cicco.igor@tiscali.it
Andrea Columbu - andrea.columbu@unipr.it
Marco Corvi - marco.corvi@gmail.com
Alice Crespi - alice.crespi@eurac.edu
Norma Damiano - normadamiano@libero.it
Filomena De Leo - filomena.deleo@unime.it
Ilenia M. D'Angeli - dangeli.ilenia89@gmail.com
Marc Faverjon - marc.faverjon@alice.it
Maria Luisa Garberi - durito58@gmail.com
Daniele Ghezzi - daniele.ghezzi3@unibo.it
Pier Mauro Giachino - p.maurogiachino@libero.it
Francesco Grazioli - francesco.grazioli@microvita.it
Ilaria Isola - ilaria.isola@ingv.it
Orlando Lacarbonara - orlandolacarbonara@gmail.com
Felice Larocca - felicelarocca1964@gmail.com
Enrico Massa - enrico.massa@deepmargua.eu
Marco Mecchia - m.mecchia@inail.it
Vincenza Messana - enzamessana@libero.it
Luca Palazzolo - luca.palazzolo@icloud.com
Claudio Pastore - claudio.speleo@gmail.com
Emma Petrella - emma.petrella@unipr.it
Elena Piano - elena.piano@unito.it
Leonardo Piccini - leonardo.piccini@unifi.it
Luca Pisani - lucapiso94@gmail.com
Riccardo Pozzo - riccardo.pozzobon@unipd.it
Eleonora Regattieri - eleonora.regattieri@igg.cnr.it
Natalino Russo - natalino.russo@gmail.com
Laura Sanna - laura.sanna@igag.cnr.it
Tommaso Santagata - tommy.san84@gmail.com
Francesco Sauro - cescosauro@gmail.com
Massimo Sciandra - massimo.sciandra@areeprotettealpimarittime.it
Fabrizio Serena - fabrizio_serena@hotmail.com
Ilaria Vaccarelli - vaccarelliilaria@gmail.com
Luca Zini - zini@units.it
Marta Zunino - martazunino@tiscali.it

Comitato Organizzatore
Davide Barberis (SCT), Juri Bertona (GGN), Lia Botta (GGN), Gian Domenico Cella (GGN), Fulvio Chionetti (SCT), Igor Cicconetti (GSP), Patrizia Conte (SCT), Manuela Cortese (SCT), Vittoria De Regibus (GGN), Valeria Di Siero (GGN), Iacopo Elia (GSAM), Alberto Gabutti (GSP), Gianluca Ghiglia (SCT), Matteo Ingrassia (SCT), Patrizia Marengo (GSP), Pier Franco Michelis (SCT), Arianna Paschetto (GSBi), Francesca Puccio (GGN), Ruben Ricupero (GSP), Enrico Salvatico (GSG), Massimo Sciandra (SCT), Bartolomeo Vigna (SCT), Franco Vivalda (SCT), Raffaella Zerbetto (SCT)

Segreteria: Davide Barberis, Arianna Paschetto

Tesoreria: Enrico Salvatico, Francesca Puccio

Comunicazioni e sito web: Fulvio Chionetti

Responsabile escursioni: Igor Cicconetti

Comitato redazione Atti
Redazione a cura di Jo De Waele, Bartolomeo Vigna, Raffaella Zerbetto;
logo e grafica del convegno a cura di Raffaella Zerbetto.

Scuola Forestale di Ormea IPSASR P. Barbero, sede della Cena conclusiva

ISCRITTI AL CONGRESSO

Marina	**Abisso**	*Gruppo Speleologico Ribaldone CAI TAM LPV*
Aldo	**Acquarone**	*Speleo Club Tanaro*
Rosangela	**Addesso**	*Fondazione MIdA, Università di Salerno, Gruppo Speleo Melandro*
Sergio	**Aicardi**	*Gruppo Grotte Savona, Gruppo Speleologico Savonese*
Alessandro	**Anderroni**	*Indipendente*
Giuliano	**Ardetti**	*CAI Società Alpina delle Giulie CGEB Trieste*
Igor	**Ardetti**	*Commissione Grotte Eugenio Boegan SAG-CAI*
Alma	**Armini**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Leonardo	**Augeri**	*CAI Altare*
Dario	**Augeri**	*Indipendente, ex Gruppo Speleologico Savonese*
Annalisa	**Azzola**	*Università di Genova*
Alessio	**Bado**	*Gruppo Speleologico Imperiese*
Simone	**Baglietto**	*Gruppo Grotte Borgio Verezzi*
Pier Giorgio	**Baldracco**	*Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico*
Valentina	**Balestra**	*Politecnico Torino, Biologia Sotterranea Piemonte, GSP CAI UGET*
Gianni	**Bandiera**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Mirko	**Baracco**	*Gruppo Grotte Borgio Verezzi*
Gloria	**Barale**	*Speleo Club Tanaro*
Davide	**Barberis**	*Speleo Club Tanaro*
Daniela	**Barbieri**	*Associazione La Venta Esplorazioni Geografiche*
Flavio	**Barroero**	*Speleo Club Tanaro*
Sandra	**Basilischi**	*Gruppo Speleologico CAI Pisa – Speleofotocontest*
Maurizio	**Bazzano**	*Gruppo Speleologico Savonese*
Vincenzo	**Bello**	*Indipendente*
Giovanni	**Belvederi**	*Gruppo Speleologico Bolognese/Unione Speleologica Bolognese APS*
Andrea	**Benassi**	*Gruppo Acheloos Geo Exploring*
Gianni	**Benedetti**	*Gruppo Triestino Speleologi APS*
Stefano	**Bergianti**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Gabriella	**Bernardi Giordani**	*Association Sportive du Marguareis et des Pre-Alpes de Grasse*
Juri	**Bertona**	*Gruppo Grotte Novara*
Michele	**Betti**	*Società Speleologica Italiana*
Carlo Nike	**Bianchi**	*Università degli Studi di Genova*
David	**Bianco**	*Ente Parchi Emilia Orientale*
Giovanna	**Bianconi**	*Università della Tuscia*
Fulvio	**Boano**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Stefano	**Bocchio**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Martina	**Bombetti**	*Gruppo Speleologico CAI Varese*
Fosca	**Bonacchi**	*Speleo Club Firenze*
Giuseppe	**Bosso**	*Shaka Zulu Club Subiaco*
Lia	**Botta**	*Gruppo Grotte Novara*
Mila	**Bottegal**	*Gruppo Triestino Speleologi APS – Società Speleologica Italiana*
Roberto	**Bozzo**	*Naturalisti Vicentini*
Fabrizio	**Buratta**	*Gruppo Speleologico CAI Perugia*
Gilberto	**Calandri**	*Gruppo Speleologico Imperiese*
Valter	**Calleris**	*Gruppo Speleologico Alpi Marittime*
Stefano	**Calleris**	*Gruppo Speleologico Alpi Marittime*
Corrado	**Camerini**	*Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico*
Maria Giovanna	**Campanella**	*Gruppo Speleologico CAI Conegliano SpeleoTeam*
Sebastiano	**Canella**	*Indipendente*
Francesco	**Canganella**	*Università della Tuscia*
Elena	**Capelli**	*Club Alpino Italiano*
Federica	**Capoccia**	*Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*
Cristina	**Carbone**	*Università di Genova*
Crespo	**Carlos Jose**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Alessandro	**Casadei Turroni**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Alberto	**Casagrande**	*Unione Speleologica Pordenonese CAI*
Giulia	**Casamento**	*Legambiente Sicilia*
Stefania	**Castellino**	*Gruppo Speleologico Cycnus Toirano*
Gabriele	**Catoni**	*Shaka Zulu club Subiaco*
Stefano	**Cattabriga**	*Gruppo Speleologico Bolognese/Unione Speleologica Bolognese APS*
Carlo	**Cavallo**	*Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*
Riccardo	**Cecere**	*Gruppo Speleologico Giavenese*
Gian Domenico	**Cella**	*Gruppo Grotte CAI Novara*
Michela	**Cerini**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Monia	**Cesari**	*Ente Parchi Emilia Orientale*
Chrystel	**Chandiou**	*CAI Aosta*
Agostino	**Chiesa**	*Gruppo Speleologico Cycnus Toirano*
Mauro	**Chiesi**	*Società Speleologica Italiana*
Roberto	**Chignola**	*Unione Speleologica Veronese*
Fulvio	**Chionetti**	*Speleo Club Tanaro*
Anne	**Cholin**	*Indipendente*
Maria Cristina	**Ciapparelli**	*CAI Legnano*

Igor	**Cicconetti**	*Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi*
Arrigo	**Cigna**	*Union Internationale Spéléologie, SSI, GG Milano CAI SEM*
Alberto	**Cina**	*Politecnico di Torino*
Giuseppina	**Cinquepalmi**	*Gruppo Speleo Vespertilio CAI Bari*
Daniela	**Cinus**	*Consiglio Nazionale delle Ricerche*
Agostino	**Cirillo**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Emanuel	**Cirillo**	*Indipendente*
Aldo	**Colombo**	*Gruppo Speleologico CAI Varese*
Franca Marina	**Colonna**	*Gruppo Grotte CAI Savona*
Maurizio	**Comar**	*Centro Ricerche Carsiche Carlo Seppenhofer Gorizia*
Mauro	**Consolandi**	*Gruppo Speleologico Biellese CAI*
Patrizia	**Conte**	*Speleo Club Tanaro*
Roberto	**Conti**	*Gruppo Grotte Busto Arsizio*
riccardo	**corazzi**	*Commissione Grotte Eugenio Boegan SAG-CAI Trieste*
Emanuela	**Cortese**	*Speleo Club Tanaro*
Martina	**Corvaia**	*Indipendente*
Marco	**Corvi**	*Speleo Club Gianni Ribaldone Genova*
Andrea	**Costa**	*Università di Genova*
Livia Susana	**Crespo**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Luca	**Dadà**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Luisa	**Dainelli**	*Gruppo Speleologico Archeologico Livornese*
Norma	**Damiano**	*Gruppo Speleologico CAI Napoli*
Ilenia	**D'Angeli**	*Società Speleologica Italiana*
Vittoria	**De Regibus**	*Gruppo Grotte CAI Novara*
Henry	**De Santis**	*Speleo Club Gianni Ribaldone Genova*
Jo	**De Waele**	*Università di Bologna*
Umberto	**Del Vecchio**	*Gruppo Speleologico CAI Napoli*
Giulio	**Della Croce**	*Gruppo Speleologico Archeologico Livornese*
Enrico	**Demartini**	*Indipendente*
Paolo	**Denegri**	*Gruppo Speleologico Imperiese*
Patrick	**Deriaz**	*Société Spéléologique Suisse*
Martina	**Di Lisi**	*Indipendente*
Valeria	**Di Siero**	*Gruppo Grotte CAI Novara*
Paolo	**Dogali**	*Gruppo Speleologico Savonese*
Sandro	**Edelvais**	*Gruppo Speleologico Ferrarese*
Jacopo	**Elia**	*Gruppo Speleologico Alpi Marittime*
Ezio	**Elia**	*Gruppo Speleologico Alpi Marittime*
Manuela	**Esposito**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Carmen	**Falanga**	*Indipendente*
Nicolò	**Falgari**	*Underland*
Marc	**Faverjon**	*Indipendente*
Angelica	**Ferracci**	*Shaka Zulu Club Subiaco*
Chiara	**Ferrando**	*Speleo Club Ribaldone Genova*
Graziano	**Ferrari**	*Associazione Cocceius Napoli*
Andrea	**Ferrario**	*Gruppo Grotte Saronno*
Alessandra	**Fiorenza**	*Gruppo Speleologico Ligure A. Issel*
Barbara	**Fioretti**	*Associazione Speleologi Romani*
Nicolò L.	**Fiori**	*Gruppo Speleologico Alpi Marittime – CAI Cuneo*
Adriano	**Fiorucci**	*Politecnico di Torino*
Paolo	**Forti**	*Istituto Italiano di Speleologia*
Luca	**Forti**	*Università degli Studi di Milano*
Barbaro	**Foschino**	*Associazione culturale Antros*
Vincenza	**Franchini**	*Gruppo Grotte Brescia*
Alberto	**Gabutti**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Luciano	**Galimberti**	*Gruppo Grotte Novara*
Yuri	**Galliano**	*Università degli Studi di Genova*
Maria Luisa	**Garberi**	*Gruppo Speleologico Bolognese/Unione Speleologica Bolognese APS*
Daniele	**Ghezzi**	*Università di Bologna*
Sandro	**Ghidelli**	*Gruppo Grotte CAI Busto Arsizio*
Gianluca	**Ghiglia**	*Speleo Club Tanaro*
Pier Mauro	**Giachino**	*World Biodiversity Association onlus*
Brozzo	**Gianpiero**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Alessandra	**Gilli**	*Indipendente*
Alessandra	**Giura**	*Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*
Massimo	**Goldoni**	*Indipendente*
Nives	**Grasso**	*Politecnico di Torino*
Federico	**Gregoretti**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Amedeo	**Griffoni**	*Gruppo Speleologico CAI Jesi*
Barbara	**Grillo**	*SpeleoTeam Cai Conegliano*
Pieri	**Gualandi**	*La Nottola Aps-Asd*
Ivana	**Guidone**	*Gruppo Speleologico Natura Esplora Summonte*
Gianni	**Guidotti**	*Gruppo Speleologico Fiorentino*
Angela	**Guiso**	*Speleo Club Nuoro*
Claudia	**Iacopozzi**	*Gruppo Speleologico Bolzaneto*

Mauro	**Inglese**	*Gruppo Grotte Milano CAI SEM*
Marco	**Innocenzi**	*Federazione Speleologica Toscana*
Cathy	**Lamboglia**	*Association Sportive du Marguareis et des Pre-Alpes de Grasse*
Orlando	**Lacarbonara**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Vito Alessio	**Lacirignola**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Enrico Lana	**Lana**	*Biologia Sotterranea Piemonte – Gruppo di Ricerca*
Rosanna	**Laragione**	*Indipendente*
Felice	**Larocca**	*Centro Regionale di Speleologia "Enzo dei Medici"*
Lamberto	**Laureti**	*Società Speleologica Italiana*
Simone Giovanni	**Lerma**	*MIC – Soprint. Archeologia Belle Arti e Paesaggio Alessandria, Asti e Cuneo*
Marta	**Liguori**	*Indipendente*
Cristina	**Longhi**	*Soprintendenza archeol., belle arti e paesaggio prov. Bergamo e Brescia*
Uberto	**Lovera**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Olga	**Lucherini**	*Gruppo Grotte Busto Arsizio*
Marta	**Lucia**	*Indipendente*
Mario Roberto	**Macciò**	*Ordine Regionale Geologi Liguria e CAI*
Maconi Andrea	**Maconi**	*Gruppo Grotte Milano CAI SEM*
Paolo	**Madonia**	*Commissione Nazionale Cavità Artificiali SSI*
Valter	**Maggi**	*Università di MIlano Bicocca*
Danilo	**Magnani**	*Gruppo Speleologico Archeologico Apuano*
Manuela	**Malavasi**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Fourniol	**Manon**	*Aven Club Valette-Revest*
Sauro	**Manzini**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Giuseppe	**Marella**	*Gruppo Speleo Vespertilio CAI Bari e Gruppo Speleologico Savonese*
Patrizia	**Marengo**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Fabio	**Mariani**	*Gruppo Speleologico Bolzaneto*
Marco	**Marovino**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Michele	**Marraffa**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Alessandro	**Marraffa**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Enrico	**Massa**	*Gruppo Speleologico Savonese*
Luca	**Massa**	*Indipendente*
Rossella	**Mastronardi**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Luisana	**Mastronardi**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Maria Grazia	**Mastronardi**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Roberto	**Mazzetta**	*Gruppo Grotte CAI Novara*
Marco	**Mecchia**	*Associazione La Venta Esplorazioni Geografiche*
Giovanni	**Mecchia**	*Speleo Club Roma*
Fabrizio	**Meloni**	*Gruppo Speleologico Valli Pinerolesi*
Marco	**Menichetti**	*Università degli Studi di Urbino*
Adriano	**Menin**	*Esplorazioni Speleologiche Cavità Artificiali -Padova Sotterranea*
Michele	**Merloni**	*Club Alpino Italiano Jesi*
Vincenza	**Messana**	*Riserva Naturale "Grotta di Entella", CAI Sicilia*
Lucia	**Messuti**	*Gruppo Speleologico Ferrarese*
Rinaldo	**Messutto**	*Gruppo Speleologico Savonese*
Gianluca	**Minieri**	*Gruppo Speleologico CAI Napoli*
Valter	**Miola**	*Gruppo Speleologico Mineralogico Valsesiano*
Monica	**Montefalcone**	*Università degli Studi di Genova*
Federica	**Morandi**	*Gruppo Speleologico Fiorentino CAI*
Simona	**Mordeglia**	*Gruppo Grotte Borgio Verezzi, Museo Archeologico del Finale*
Daniele	**Moretti**	*Indipendente*
Carla	**Morri**	*Indipendente*
Michele	**Motta**	*Università degli Studi di Torino / CAI UGET*
Giancarlo	**Mureddu**	*Club Alpino Italiano*
Roberto	**Mureddu**	*Gruppo Speleologico Imperiese*
Alessia	**Nannoni**	*Università di Firenze*
Giuseppe	**Nicolosi**	*Università degli Studi di Torino*
Laura	**Ochner**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Francesca	**Odetti**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Stefano	**Olivucci**	*Associazione Speleopolis Casola Valsenio*
Fabrizio	**Oneto**	*Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste*
Sergio	**Orsini**	*Società Speleologica Italiana*
Luca	**Palazzolo**	*Gruppo Grotte Gallarate*
Mauro	**Palumbo**	*Indipendente*
Raffaele	**Paolicelli**	*Associazione culturale Antros Matera*
Arianna	**Paschetto**	*Università degli Studi di Torino*
Andrea	**Pasqualini**	*Indipendente*
Alessandro	**Pastorelli**	*Speleo Club CAI Sanremo*
Alessio	**Pastorelli**	*Speleo Club SAI Sanremo*
Mauro Valerio	**Pastorino**	*Gruppo Speleologico Ligure A. Issel*
Marcel	**Paul**	*Aven Club Valette Revest*
Catherine	**Paul**	*Aven Club Valette Revest*
Aurelio	**Pavanello**	*Gruppo Speleologico Bolognese/Unione Speleologica Bolognese APS*
Andrea	**Pereswiet Soltan**	*Polish Academy of Sciences - Club Speleologico Proteo*
Arianna	**Peron**	*Commissione Grotte Eugenio Boegan S.A.G. - C.A.I.*

Cristina	**Pessina**	*Indipendente*
Emma	**Petrella**	*Università di Parma*
Elena Piano	**Piano**	*Università degli Studi di Torino*
Leonardo	**Piccini**	*Società Speleologica Italiana*
Silvio	**Pierini**	*Gruppo Speleologico Fiorentino CAI*
Luca	**Pieroni**	*Club Alpino Italiano Jesi*
Anna	**Piquet**	*Università degli Studi di Torino*
Maria	**Piro**	*Speleo Club Roma*
Marco	**Pirola**	*Gruppo Grotte Novara*
Chiara	**Pirola**	*Gruppo Speleologico Savonese, SSI, Club Alpino Italiano*
Luca	**Pisani**	*BSB/USB APS, Università degli Studi di Bologna*
Silvia	**Pomoni**	*Gruppo Grotte Novara*
Elisa	**Ponti**	*Indipendente*
Massimo	**Pozzo**	*Underland*
Clara	**Predieri**	*Gruppo Speleologico Paletnologico Gaetano Chierici Reggio Emilia*
Francesca	**Puccio**	*Gruppo Grotte Novara*
Stefano	**Ratti**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Ivan	**Re**	*Gruppo Speleologico Alpi Marittime*
Edoardo	**Reguzzoni**	*Indipendente*
Marco	**Repetto**	*Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*
Matteo	**Repetto**	*Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*
Davide Tullio	**Revetria**	*Speleo Club Tanaro*
Nadia	**Ricci**	*Gruppo Speleologico Archeologico Apuano*
Ruben	**Ricupero**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Attilia	**Rimondi**	*Association Sportive du Marguareis et des Pre-Alpes de Grasse*
Matteo	**Rivadossi**	*Gruppo Grotte Brescia*
Maurizio	**Rizzotto**	*Gruppo Speleologico E.A. Martel Genova*
Andrea	**Roccatagliata**	*Gruppo Speleologico Ligure A. Issel Genova*
Elena	**Rognoni**	*Indipendente*
Mario Federico	**Rolfo**	*Shaka Zulu Club Subiaco*
Reignier	**Romain**	*Aven Club Valette-Revest*
Roberto	**Romano**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Giacomo	**Rosa**	*Università degli Studi di Genova*
Luca	**Rossi**	*Associazione culturale SpeleoFotoContest*
Francesco	**Rubat Borel**	*Indipendente*
Enrico	**Salvatico**	*Gruppo Speleologico Giavenese*
Sebastiano	**Salvidio**	*Università degli Studi di Genova*
Andrea	**Sambado**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Tommaso	**Santagata**	*Associazione La Venta Esplorazioni Geografiche, Virtual Geographic Agency*
Leonardo	**Santoro**	*Indipendente*
Lia	**Sardo**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Giuseppina	**Sarrataro**	*Indipendente*
Maria Luigia	**Satta**	*Gruppo Speleologico Martinese*
Francesco	**Sauro**	*Associazione La Venta Esplorazioni Geografiche*
Claudio	**Schiavon**	*Gruppo Speleologico Carnico Michele Gortani CAI Tolmezzo*
Lorenzo	**Sciandra**	*Speleo Club Tanaro*
Massimo	**Sciandra**	*Speleo Club Tanaro*
Fabrizio	**Serena**	*Gruppo Speleologico Archeologico Livornese*
Luciano	**Serrato**	*Indipendente*
Marisa	**Siccardi**	*Gruppo Speleologico Savonese*
Daniele	**Sigismundi**	*Gruppo Speleologico Lunense*
Beatrice	**Simon**	*Gruppo Speleologico CAI Varese*
Francesco	**Sisti**	*Association Sportive du Marguareis et des Pre-Alpes de Grasse*
Michele	**Sivelli**	*Centro Italiano di Documentazione Speleologica "F. Anelli"*
Sandro	**Sorze'**	*Gruppo Speleologico CAI Conegliano Speleoteam*
Stefano	**Spagnolo**	*Indipendente*
Felicita	**Spreafico**	*Speleo Club CAI Erba*
Daniela	**Spring**	*Société Spéléologique Suisse*
Andrea	**Stagi**	*Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*
Bruno	**Steinberg**	*Speleo Club Garfagnana*
Fabio	**Suppini**	*Ente Parchi Emilia Orientale*
Luca	**Tassan-Viol**	*Indipendente*
Maurizio	**Tavagnutti**	*Centro Ricerche Carsiche Seppenhofer Gorizia*
Paolo	**Testa**	*Gruppo Speleologico CAI Varallo*
Milena	**Timossi**	*Gruppo Speleologico Imperiese*
Paola	**Tognini**	*Gruppo Grotte Milano CAI SEM; Progetto Speleologia Glaciale*
Marco	**Tolve**	*Università degli Studi di Torino*
Louis	**Torelli**	*Commissione Grotte Eugenio Boegan SAG CAI Trieste*
Enrico	**Troisi**	*Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET*
Denise	**Trombin**	*Biologia Sotterranea Piemonte - Gruppo di Ricerca*
Paolo	**Turrini**	*Università Roma Tre*
Margherita	**Uboldi**	*Gruppo Grotte Saronno*
Alessandro	**Uggeri**	*Gruppo Speleologico CAI Varese*
Franco	**Utili**	*Speleo Club Firenze*

Dante	**Vailati**	*Associazione Speleologica Bresciana*
Marco	**Vattano**	*Università di Palermo, ASN Le Taddarite Palermo*
Alessandro	**Vernassa**	*Speleo Club Gianni Ribaldone Genova*
Federica	**Vezzoso**	*Club Alpino Italiano Savona*
Bartolomeo	**Vigna**	*Speleo Club Tanaro*
Antonella	**Vinai**	*Associazione Speleologica Bresciana*
Daniele	**Vinai**	*Gruppo Grotte Borgio Verezzi*
Mario	**Vinai**	*Gruppo Grotte Brescia*
Luca	**Vinai**	*Speleo Club Tanaro*
Davide	**Viola**	*Gruppo Speleologico Archeologico Livornese*
Alessandra	**Virgilio**	*Indipendente*
Davide	**Vitale**	*Gruppo Speleologico CAI Varese*
Franco	**Vivalda**	*Speleo Club Tanaro*
Andrea	**Zanellati**	*Università degli Studi di Torino*
Raffaella	**Zerbetto**	*Speleo Club Tanaro*
Luca	**Zini**	*Università di Trieste*
Marta	**Zunino**	*Università degli Studi di Torino*

Svolgimento congresso

Giovedì pomeriggio 2 giugno 2022

Apertura del congresso

Prendono la parola il sindaco di Ormea Giorgio Ferraris, il Presidente delle Aree Protette Alpi Marittime Piermario Giordano, il Presidente della Società Speleologica Italiana Sergio Orsini per i saluti di rito e Giacomo Badino, che ricorda la figura di Giovanni.

***In ricordo di Giovanni Badino,* astrofisico e speleologo**

Raccontare la vita di Giovanni Badino è davvero arduo, si potrebbero usare tanti termini come speleologo, scienziato, esploratore, scrittore, amante delle cose belle, cuoco. Mille definizioni non sarebbero esaustive. La sua più grande passione era certamente la speleologia, l'esplorazione e lo studio del mondo sotterraneo. Un geografo del vuoto, lui si definiva così.
Nel 2017, a pochi giorni dalla sua scomparsa la comunità degli speleologi ha sentito il bisogno di riunirsi per ricordarlo. Come lui scrisse nel libro "Il Fondo di Piaggia Bella", questa è una necessità ancestrale "rivivere il compagno scomparso" raccontandosi l'uno altro i ricordi, mettendo insieme i pezzi di un vasto puzzle. Quella lunga notte, un centinaio di speleologi, intorno ad un fuoco e un videoproiettore ci hanno provato. Un rito che si è ripetuto ancora durante l'ultimo raduno internazionale di speleologia a Finale Ligure (Finalmentespeleo 2017).
Proprio a Finale Ligure il savonese G. Badino scopre da giovanissimo, la sua passione per la speleologia, partecipando nel luglio del 1970, come lui ricorda nel breve documentario sul progetto Carpeneam, ad una visita nella Grotta Pollera. Ne esce entusiasta, senza parole, li nasce Giovanni Badino, la firma che la speleologia conoscerà, prima italiana, poi europea e infine mondiale.
Giovanni infaticabile scrittore firma più di 750 articoli, libri, studi scientifici. Esplorerà e documenterà centinaia di km di grotte, avrà l'onore di studiare il mondo ipogeo più remoto e inaspettato. Dalle classiche grotte nel calcare, alle improbabili, ma esistenti, cavità nelle rocce quarzitiche, dalle grotte vulcaniche alle cavità nei ghiacciai. Di quest'ultime diventerà uno dei massimi esperti mondiali, esplorandole e soprattutto studiandole dal punto di vista strettamente scientifico. Dando forma alla glaciospeleologia e diventando in generale un esperto della fisica del clima sotterraneo. Una cavità in particolare l'aveva stregato: La Cueva de los Cristales, una sorta di geode con cristalli di gesso talmente grandi, che solo Jules Verne nel libro "Viaggio al Centro della Terra", era riuscito a immaginare. Una grotta messicana intercettata durante i lavori di scavo di una miniera di argento, la cui temperatura interna a 60°C e 90% di umidità ha richiesto l'invenzione, da parte di Giovanni, di nuove tute speleologiche in grado di garantire la sopravvivenza dell'esploratore.
Ogni esplorazione realizzata da Giovanni in tutto il mondo, generava nuove domande e la ricerca estenuante di risposte, non solo sulla cavità stessa, ma anche sulla creazione di innovative soluzioni tecniche, per muoversi in ambienti a noi umani, ostili.
Durante la trasmissione radiofonica Dante 7.5.0 di Radio 3, Giovanni parla della speleologia e di Dante, un'altra delle sue grandi passioni. Apparentemente un improbabile accostamento, che G. Bad. riesce a mescolare e a sovrapporre come con tutte le sue passioni, traendone nuove idee e punti di vista. Il suo intervento è una profonda riflessione su cosa significhi esplorare il mondo ipogeo. Giovanni paragona, "il folle volo" di Ulisse oltre le Colonne d'Ercole, alla follia dell'esplorazione, utilizza il versetto di Dante "Il loco d'ogne luce muto" per descrivere come l'uomo si adatti alla grotta "trasmutando" e come la grotta si adatti all'uomo che l'attraversa.

Giovanni era, per le sue grandi capacità, per la sua schiettezza e caparbietà, ma anche per la sua giovanile arroganza, non sempre amato da tutti. Nonostante questo, cercava nel confronto, a volte anche duro, di arrivare al dunque, al positivo risultato.
Giovanni cercava l'essenza dell'uomo, riconoscendo, nonostante le possibili differenze, le qualità dell'altro.
Discutere con lui significava dover prendere in considerazione ogni possibilità, mai soffermarsi su un solo ragionamento, questo penso derivasse anche dalla sua formazione accademica di fisico, una creatività, un modo di approcciarsi alle cose, che ha dato grande impulso all'esplorazione del "vuoto".
Grotte che per la speleologia "tradizionale" sembravano chiuse, in realtà grazie ai suoi insegnamenti, diventavano abissi tutti da esplorare. Bastava cambiare, spostare lo sguardo anche solo di poco.
La speleologia, come la fisica sono attività di gruppo, che spesso richiedono lo sforzo congiunto e coordinato, di decine se non centinaia di persone. Giovanni sapeva lavorare in equipe, coordinando l'intero gruppo o occupandosi singolarmente del compito specifico a lui assegnato. Una "prima donna", forse, che lo ha portato ad essere, tra i vari incarichi, Presidente del gruppo di ricerche geografiche più importanti al mondo (La Venta) e Presidente della Società Speleologica Italiana.
Badino, era un instancabile innovatore, guardava alle nuove scoperte e tecnologie con l'ottica di un possibile contributo allo sviluppo delle scienze e delle passioni che praticava. La speleologia, come dicevo, richiede un impegno di gruppo, il singolo può essere l'ispiratore, tal volta il motore, ma grandi risultati si ottengono con equipe ben organizzate e mosse da uno stesso obiettivo. Le esperienze ed i risultati devono trovare diffusione e divulgazione, essere volano per nuovi passi avanti, ispirando vecchi e nuovi esploratori.
Nei primi anni '90 del secolo scorso, nasce la posta elettronica, inizialmente sono poche le persone che hanno un indirizzo e-mail, normale oggi, quasi incomprensibile allora. Giovanni vede nella posta elettronica e in internet un potente strumento di coordinamento remoto e di divulgazione. Anche l'ambiente della ricerca fisica ha le stesse necessità di coordinamento e scambio immediato di idee, è infatti l'ambiente della fisica che tra i primi adotta l'uso delle email e proprio in quell'ambiente, al CERN di Ginevra, nasce il WEB, il potente ed innovativo strumento di divulgazione e pubblicazione, libero ed aperto a tutti. Sette speleologi italiani tra i primi nel mondo, sotto la spinta di Giovanni, iniziano a domandarsi come usare questi "futuristici" strumenti. Vede la luce così la lista SpeleoIT e poco tempo dopo la speleologia italiana è la prima nel mondo, contemporaneamente agli statunitensi, ad avere un sito internet. Gli sviluppi di questi strumenti informatici oggi li conosciamo tutti, ma all'epoca Giovanni li aveva intuiti immediatamente, permettendo alla speleologia italiana di essere al passo se non davanti a tutti.
Badino porta avanti, crea, sviluppa molteplici progetti contemporaneamente, non solo nella speleologia, ma anche come fisico. Riservava lo stesso approccio anche ad altri suoi amori: il vino, le donne, la storia, la lettura e la cucina, per altro non sempre in quest'ordine.
Un elemento trasversale che ci ha unito molto era il lavorare entrambi nel mondo della fisica. Lui docente di fisica e ricercatore associato nell' Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, io collaboratore tecnico dello stesso Ente. Ci trovavamo così a discutere della sovrapposizione culturali e antropologiche dei due mondi raccontandoci a vicenda le esperienze nei laboratori di ricerca. Parlavamo del CERN di Ginevra, del Gran Sasso, degli enormi e sofisticati laboratori dedicati alla ricerca nella fisica, quasi sorpresi dai punti in comune con la speleologia.
In entrambi i mondi ci sono persone con un enorme passione e curiosità, per le quali la ragione di essere lì, di scoprire, diventa il centro totale.
Complice forse il buon vino, si rifletteva su come la dimensione mentale del muoversi in grotta fosse simile allo stare, soprattutto nelle solitarie ore notturne, in quegli enormi laboratori, su come le esperienze fatte in un luogo tornassero utili nell'altro, come per

esempio la capacità di dosarsi e la spinta nel procedere caparbiamente.
Giovanni negli ultimi anni, nonostante una bellissima casa, scrigno di tutti i suoi viaggi, situata nel quartiere più multietnico di Torino, decide di comprare una piccola casa in una località delle alture savonesi: la casa di Monmartino, un rifugio nel bosco. A Giovanni piaceva dire che, come le grotte, anche la casa si era lasciata trovare.
In effetti si tratta di un luogo magico, che nel tempo diventò crocevia di amici e parenti (ma anche di Martina la volpe e del piccolo assiolo).
Arrivare era facile, bastava seguire la musica o il rumore di un motore a scoppio, lui era lì, prima ripetendo ogni volta "non potete parcheggiare li è proprietà privata andate via", poi ti accoglieva stringendoti in un forte abbraccio e: "guarda la novità… ho pensato a questa soluzione …. Sto scrivendo questo articolo … lì mettiamo l'osservatorio … la favelas è in ordine se volete fermarvi a dormire, … vi voglio far provare i formaggi più buoni dell'universo … ho comprato la piscina per i bambini così si divertono … questo coso cinese è fantastico……guardate queste mensole le ho progettate utilizzando la successione di Fibonacci … ho spianato il prato del noce magico, spero che si riempia di tende di amici….se volete possiamo andare a vedere le incisioni rupestri ho preso il punto con il gps, …, mangiamo fuori ho costruito un nuovo tavolo, un'enorme lastra unica in marmo … rimarrà qui per sempre!"

Fabio Siccardi

Giovanni all'ingresso dell'Abisso Rem del ghiaccio con il suo misuratore di velocità dell'aria (14 luglio 2016)

Giovedì pomeriggio, 2 giugno 2022

Tavola rotonda

La circolazione dell'acqua negli ammassi carbonatici

Referenti: Luca Zini e Emma Petrella

La tavola rotonda è stata organizzata in due parti introdotte dai moderatori che hanno presentato lo stato dell'arte sul tema.

Prima parte: modelli concettuali di funzionamento degli acquiferi carbonatici con le presentazioni dei lavori di:

1. Vigna Bartolomeo - *Gli eventi di piena nelle cavità*
2. Nannoni Alessia, Vigna Bartolomeo, Antonellini Marco, De Waele Jo - *Idrologia della zona insatura nel sistema carsico di Bossea.*
3. Nannoni Alessia, Antonellini Marco, Persiani Guglielmo, Vigna Bartolomeo, De Waele Jo - *Drenaggio e architettura del reticolo di fratture nel volume insaturo di un sistema carsico: l'esempio dello stillicidio Milano, Grotta di Bossea.*
4. Spreafico Felicita, Basiricò Stefano, Frattini Paolo, Crosta Giovanni Battista, Ferrario Andrea, Tognini Paola - *Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lecco).*
5. Tognini Paola, Pera Sebastian, Ferrario Andrea, Inglese Mauro, Testa Paolo, Uboldi Margherita - *Tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai Ghiacciai dei Forni e del Morteratsch (CH).*

Seconda parte: modalità di monitoraggio negli acquiferi carbonatici con le presentazioni dei lavori di:

1. Astori Antonella, Brun Clarissa, Cella Gian Domenico, Pascolini Daniele - *Progetto Rio Vaat: la falda acquifera del Monte Faeit (Prealpi Carniche, UD).*
2. Zannoni Jacopo, Degetto Massimo, Ronchi Chiara, Frizzo Francesco - *La qualità delle sorgenti della Valbrenta in Veneto: alcuni risultati del monitoraggio triennale 2019-2021*.
3. Balestra Valentina, Fiorucci Adriano - *Studio dei parametri chimico-fisici di sei sorgenti carsiche in Piemonte.*
4. Brozzo Gianpiero, Pastorino Mauro Valerio, Ratti Stefano, Roccatagliata Andrea - *"Cassana", "Ginepro" e "Faggiona": ipotesi di un unico sistema idrogeologico carsico collegato per tre cavità naturali della provincia di La Spezia.*
5. Grillo Barbara, Braitenberg Carla, Pastorutti Alberto, Nagy Ildikò - *Bus de la Genziana (Pian Cansiglio): 15 anni di monitoraggio geofisico e idrogeologico.*
6. Semeraro Rino, Valentinuz Federico, Klassen Eduardo, Pincin Mauro, Rejc Stefano, Russo Luciano, Soranzo Michele, Tavagnutti Maurizio - *Effetti delle maree del Mare Adriatico sull'acquifero del Carso Classico.*

Tavola rotonda

Geologia e processi carsici

Referenti: Ilenia Maria D'Angeli, Leonardo Piccini e Luca Pisani

La tematica della tavola rotonda viene introdotta da Leonardo Piccini e Luca Pisani.

Seguono poi le presentazioni orali di:

1. Ghidoni Giordano, Conti Roberto, Ghidelli Sandro - *Appunti sulla geologia del Monte Cich*.
2. Tomasi Giorgio - *Grotta 5 in Condotta: le forme del tempo*.
3. Audra Philippe, Columbu Andrea, Gàzquez Fernando, D'Angeli Ilenia Maria, Bigot Jean-Yves, Chiesa Roberto, Yu Tsai-Luen, Shen Chuan-Chou, Carbone Cristina, Nobécourt Jean-Claude, De Waele Jo - *Nuove conoscenze sull'evoluzione speleogenetica del sistema delle Grotte di Toirano (Liguria).*
4. Marraffa Alessandro, Santagata Tommaso, Del Vecchio Umberto, Damiano Norma, Ferrara Roberto, Sanna Laura, Fabbri Stefano, De Waele Jo - *Quantificazione di cambiamenti morfologici con modelli 3D da laser scanner: Lechuza (Atacama).*
5. De Waele Jo, Forti Paolo - *Perché le concrezioni di fosfati sono così rare?*

Sezione poster di:

1. D'Angeli Ilenia Maria, Parise Mario, Vattano Marco, Madonia Giuliana, Miller Ana Zelia, De Waele Jo - *Studio dei cambiamenti di peso di tavolette calcaree in grotte sulfuree del sud Italia*.
2. Fiori Nicolò Luigi - *Speleogenesi della Grotta Spirito (Vallone degli Alberghi, Palanfrè, CN).*
3. Forti Paolo, Gonzato Guido, Rossi Guido - *Le septarie della Grotta DeliNpero (Monti Lessini).*
4. Griffoni Amedeo, Piazza Antonio, Pieroni Luca - *Apertura di una condotta in frana tra la Grotta Bella e la Grotta del fiume. una possibilità ulteriore di studio della speleologenesi a Frasassi (Italia centrale).*
5. Guatelli Simone, Pisani Luca, Del Vecchio Umberto, Auler Augusto, De Waele Jo - *Indagini morfometriche di mesomorfologie parietali tramite laser scanner (Gruta da Lapinha, Brasile).*
6. Marraffa Alessandro, Fabbri Ivano, Poletti Katia, Pastore Claudio, Vandelli Wainer, Sivelli Michele, Cauli Etmond, De Waele Jo - *Le prime importanti grotte termali sulfuree dell'Albania (canyon di Holtas, Albania centrale).*
7. Piccini Leonardo, Nannoni Alessia, Costagliola Pilario, Paolieri Mario, Vigiani Chiara - *Struttura e composizione di croste e noduli fosfatici del sistema carsico del Monte Corchia, Alpi Apuane*.
8. Pisani Luca, Antonellini Marco, Bezerra Francisco Hilario R., Koltai Gabriella, Carbone Cristina, Auler Augusto S., Audra Philippe, La Bruna Vincenzo, Bertotti Giovanni, Balsamo Fabrizio, Pontes Cayo C., De Waele Jo - *Speleogenesi ipogenica profonda nei carbonati silicizzati del nord-est del Brasile*.
9. Sevil Jorge, Melis Maria Teresa, Pisani Luca, De Waele Jo - *Le grandi doline di crollo nel Plateau basaltico di Azrou (Marocco): un'analisi morfometrica.*
10. Vattano Marco, Madonia Giuliana, D'Angeli Ilenia Maria, Gasparo Morticelli Maurizio, Deininger Michael, Carbone Cristina, Valenti Pietro, Arriolabengoa Martin, Di Maggio Cipriano, De Waele Jo - *"Grotta che Parla": un esempio di cavità ipogenica nella Sicilia occidentale*.

Sessione speleologica

Speleologia in Cavità Artificiali

Referenti: Michele Betti e Maria Luisa Garberi

Presentazioni orali di:

1. Belvederi Giovanni, Garberi Maria Luisa - *Il rilievo per guidare la ri-esplorazione di due antiche miniere in Valle di Scalve (BG) attraverso la ricostruzione 3D.*
2. Ferrari Graziano, Lamagna Raffaella, Rognoni Elena - *Cavità costiere a Villa Rosebery (Napoli).*
3. Mordeglia Simona - *Le trasformazioni antropiche delle grotte in età storica: nuovi dati dal Finalese*.
4. Menin Adriano, Ciampalini Alberto - *Padova: mura, porte e bastioni. La conoscenza dei loro spazi epigei ed ipogei in due libri a distanza di quattro secoli*.
5. De Santis Henry, Chiozza Andrea, Corvi Marco, Romairone Alberto, Roccatagliata Andrea - *Nuove esplorazioni in tratti sotterranei dell'Acquedotto Storico di Genova.*
6. Belvederi Giovanni, Demaria Danilo, Garberi Maria Luisa, Marzucco Sandro, Preti Nevio - *Ipogei artificiali a confronto nel territorio di Sasso Marconi (BO).*
7. Menin Adriano - Padova: L'antico ipogeo di S. Eufemia – *Note illustrative, osservazioni su una scoperta particolare.*
8. Madonia Paolo - *Gli antichi sistemi di raccolta e smaltimento delle acque piovane del Castello di Sperlinga (EN).*
9. Grammatico Roberto, Bonventre Rosario, Fontana Luigi, Mazzeo Roberto, Caparotta Dario, Monteleone Giuseppe, Clemente Daniele - *Il complesso estrattivo in sotterraneo di C/da Madonna dell'Alto nel territorio di Marsala (TP)*
10. Foschino Francesco, Paolicelli Raffaele - *Le innovative modalità di catalogazione e censimento delle cavità naturali e artificiali del Comune di Matera.*
11. Trümper-Ritter Monika, Giglio Marco, Palumbo Mauro, Ruocco Marco, Cristiano Mario, Del Vecchio Umberto - *Rilievo laser tridimensionale alle Terme Stabiane nel sito archeologico di Pompei (NA).*

Sessione scientifica

Microbiologia in ambiente sotterraneo

Referenti: Ilaria Vaccarelli, Daniele Ghezzi e Filomena De Leo

Presentazioni orali di:

1. Ghezzi Daniele, Foschi Lisa, Lombardi Deborah Arcangela, Miller Ana Zelia, De Waele Jo, Cappelletti Martina - *La microbiologia dei moonmilk della Grotta Nera (Parco della Majella, Abruzzo).*
2. Addesso Rosangela - *Le vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta, un brulicare di forme di vita microbica estrema.*
3. Turrini Paolo, Tescari Marco, Visaggio Daniela, Pirolo Mattia, Lugli Gabriele Andrea, Ventura Marco, Frangipani Emanuela, Visca Paolo - *Studio di una comunità microbica nella grotta incontaminata di Yumugi River Cave in West Papua.*
4. Zanellati Andrea, Prigione Valeria Paola, Poli Anna, Varese Giovanna Cristina, Nicolosi Giuseppe, Piano Elena, Isaia Marco - *Il micobiota di due grotte con diverso impatto antropico a confronto*.
5. Azzola Annalisa, Bianchi Carlo Nike, Bianconi Giovanna, Canganella Francesco, Doni Lapo, Montefalcone Monica, Morri Carla, Olivieri Caterina, Peirano Aurora, Taviani Elisa, Vezzulli Luigi - *Microbial ecology across an oxic-anoxic interface in a sulphidic Blue Hole*.

Giovedì sera, 2 giugno 2022

Concerto con il gruppo "SNAEFFELS"

Proiezione dell'audiovisivo
Artropodofauna parietale delle gallerie di origine bellica delle Prealpi Vicentine, di Roberto Bozzo.

Venerdì mattina, 3 giugno 2022

Tavola rotonda

Meteorologia sotterranea

Referenti: Claudio Pastore, Luca Palazzolo e Alice Crespi

La tematica della tavola rotonda, suddivisa in più sezioni, viene introdotta da Luca Palazzolo.

Sezione sulla circolazione e temperature dell'aria con i lavori di:

1. Chignola Roberto - *Quella volta che Badino suonò il Corchia*.
2. Ardetti Igor, Venica Stefano - *Ascoltando l'abisso Davorjevo*.
3. Vigna Bartolomeo - *Relazioni tra velocità e direzione dell'aria nelle cavità e temperatura dell'aria in superficie*
4. Vigna Bartolomeo, Deregibus Claudio, Paro Luca - *Circolazione e temperatura dell'aria nelle cavità*.
5. Vigna Bartolomeo, Deregibus Claudio, Paro Luca, Coppa Graziano, Peano Guido - *Il centro di ricerche climatologiche "Giovanni Badino" della Grotta di Bossea.*
6. Menichetti Marco - *Microclima della Grotta di Monte Cucco*.
7. Menichetti Marco - *Microclima del sistema carsico del M.Corchia (Alpi Apuane)*
8. Menichetti Marco, Tamburini Andrea - Sistema carsico della Gola di Frasassi - *Grotta Grande del Vento, Grotta del Fiume, Buco Cattivo: analisi microclimatica.*

Sezione sulla CO_2 con i lavori di:

9. Cella Gian Domenico, Miragoli Maurizio - *Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica.*
10. Balestra Valentina, De Regibus Claudio, Fiorucci Adriano, Vigna Bartolomeo - *Il monitoraggio della concentrazione di CO_2 in aria nelle grotte.*

Sezione sui cambiamenti climatici con i lavori di:

11. Piquet Anna, Piano Elena, Isaia Marco, Acquaotta Fiorella - *Preliminary evidence of the recent temperature some caves in western Alps (2012-2021).*
12. Colucci Renato R., Guglielmine Mauro - *Abrupt permafrost degradation and ice melting in an alpine ice cave of the Julian Alps (Canin).*

Sezione sull'impatto antropico con i lavori di:

13. Chiesi Mauro, Murgia Francesco, Fancello Leo, Fronteddu Maria Grazia - *Grotta del Bue Marino, ramo nord (NU): prime considerazioni sul monitoraggio fisico.*
14. Cinus Daniela, Cossu Quirico Antonio, Arca Angelo, Ventura Andrea, Ferrara Roberto, Isaia Marco, Piano Elena, Duce Pierpaolo - *Osservazioni sull'impatto antropico in grotte turistiche della Sardegna*.

Sezione miscellanea con i lavori di:

15. Pozzo Massimo, Miragoli Maurizio, Franchini Vincenza - *Cariadeghe (Bs) ricerca di correlazioni tra ingressi tramite monitoraggio e analisi delle temperature*.
16. Cigna Arrigo - *Il rischio del Radon in grotta*.
17. Motta Luigi, Motta Michele - *Ruolo del moto ondoso nella meteorologia ipogea a Capo Noli (SV).*
18. Motta Luigi, Motta Michele - *La rappresentazione termica dell'Andrassa*.

Tavola rotonda

Raccolta di informazioni e dati durante le esplorazioni

Referenti: Laura Sanna, Francesco Sauro e Marco Mecchia

La tematica della tavola rotonda viene introdotta da Francesco Sauro.

Seguono le presentazioni orali di:

1. Bottegal Mila, Rodari Paola - *Speleologia: la scienza dal basso*.
2. Faverjon Marc, Pierini Silvio - *Temperature ipogee nel complesso della Carcaraia, analisi dei dati raccolti e ipotesi.*

Tavola rotonda

La documentazione attraverso le immagini

Referenti: Natalino Russo, Orlando Lacarbonara e Francesco Grazioli

La tematica della tavola rotonda viene introdotta da Orlando Lacarbonara.

Seguono le presentazioni orali di:

1. Balestra Valentina, Lana Enrico – *La macrofotografia naturalistica e le sue applicazioni nello studio della fauna ipogea.*
2. D'Elia Luigi, Cerini Michela - *Into Theatre Wild*.
3. Ferrario Andrea, Triacchini Luca, Annoni Piero, Castelnuovo Nicola - *Divulgare per tutelare: l'esempio del Museo delle Grigne (Esino Lario, LC).*

Infine viene aperta una discussione insieme agli ospiti: Alessandro Anderloni (Film Festival della Lessinia), Andrea Lona (SAT Lavis), Luca Massa (operatore), Luca Rossi (Speleo Foto Contest).

Sessione speleologica

Le esplorazioni dei grandi sistemi carsici

Referenti: Marc Faverjon e Andrea Benassi

La sessione viene introdotta da Andrea Benassi.

Seguono poi le presentazioni orali di:

1. Barberis Davide, Chiesa Roberto, Ghiglia Gianluca, Sciandra Massimo, Vigna Bartolomeo, Zerbetto Raffaella - *Nuove scoperte nel Sistema carsico di Borello*.
2. Ceradini Andrea, Tosadori Gabriele - *Ricerche sul Monte Baldo, Prealpi Venete*.
3. Guidotti Gianni, Crespo Susana, Faverjon Marc - *Il complesso carsico dell'Alta Valle dell'Acqua Bianca*.
4. Maconi Andrea, Corvi Marco, Merazzi Marzio, Spreafico Felicita - *Esplorazioni nel massiccio del Grignone (Lecco).*
5. Piccini Leonardo, Iannelli Salvatore - *Nuovi rilievi ed esplorazioni al Complesso Carsico del Monte Corchia (Alpi Apuane, Toscana).*
6. Pozzo Massimo - *Il sistema carsico del Sebino Occidentale risultato d'interazione tra speleologia di ricerca ed enti locali.*

Sessione speleologica

La ricerca di grotte e di prosecuzioni attraverso le nuove tecnologie

Referenti: Tommaso Santagata e Riccardo Pozzobon

La sessione viene introdotta da Tommaso Santagata.

Seguono poi le presentazioni orali di:

1. Bello Vincenzo, Gizzi Emanuele, Valli Arturo, Valli Ruggero - *Progetto di esplorazione Faglie del Lazio*.
2. Pisani Luca, De Waele Jo - Esplorare dall'alto. *La ricerca di nuove grotte tramite telerilevamento nella Cordillera de la Sal (Cile).*
3. Pozzo Massimo, Tremari Marco - *Droni e ricerca speleologica - tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio.*
4. Santagata Tommaso, Pozzobon Riccardo, Sauro Francesco, Vattano Marco - *Studio di nuove cavità vulcaniche attraverso droni e immagini termiche.*
5. Santagata Tommaso, Romeo Alessio, Sauro Francesco, Briod Adrien, Le Pivain Jeoffroy - *Esplorazione, documentazione e rilievo 3D di cavità glaciali attraverso droni e mobile scanner.*

Presentazioni dei poster di:

6. Cella Gian Domenico - *Tracciamento dei flussi sotterranei dell'aria: stato dell'arte e prospettive.*
7. Marraffa Alessandro, Pastore Claudio, Lacarbonara Orlando - *L'utilizzo del drone per individuare obiettivi celati. Il caso della Grotta delle Rondini (Shpella e Dallandysheve).*

Venerdì pomeriggio, 3 giugno 2022

Sessione scientifica

Le grotte come archivi archeologici

Referenti: Felice Larocca e Marta Zunino

Presentazioni orali di:

1. Conati Barbaro Cecilia, Forti Luca, Moscone Daniele, Carletti Elena, Chiarabba Emma, Marconi Nadia, Milli Salvatore - Grotta Battifratta (Poggio Nativo, Rieti). *Un nuovo progetto di ricerca archeologica e paleoambientale.*
2. De Santis Henry - *La tutela del patrimonio archeologico ipogeo: corrette procedure di segnalazione e protezione.*
3. Disantarosa Giacomo, Petruzzelli Marco, D'Onghia Francesco Marco, Cinquepalmi Giuseppina, Derossi Emanuela, Marella Giuseppe, Parise Mario, Greco Roberto - *Grotta della Regina (Bari - Torre a Mare, Puglia): grotta anonima, grotta "regale", grotta dimenticata.*
4. Ferracci Angelica, Bosso Giuseppe, Catoni Gabriele, Ceruleo Piero, Fierli Maria, Mariano Elia, Procaccianti Angelo, Rolfo Mario Federico - *…e io alla casa di Circe andavo; e molto il mio cuore nell'andare batteva (Odissea, Libro X).*
5. Larocca Felice - Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro). *Ventimila anni di sfruttamento minerario.*
6. Laureti Lamberto - *Le grotte ossifere sul versante italiano dell'arco alpino.*
7. Longhi Cristina, Pozzo Massimo, Tremari Marco - *La Grotta Altro Pianet (BG): tutela e valorizzazione del paesaggio archeologico sotterraneo.*
8. Mecozzi Beniamino, Forti Luca, Sardella Raffaele, Sigari Dario, Bona Fabio, Conti Jacopo, Iannucci Alessio, Lembo Giuseppe, Iurino Dawid Adam, Muttillo Brunella, Pieruccini Pierluigi, Mazzini Ilaria - *Grotta Romanelli (Castro, Puglia): conservazione e valorizzazione e di un sito chiave del Quaternario mediterraneo*.
9. Spiganti Federico, Todini Maurizio, Zoccoli Carlo - *Grotta Bella di Avigliano Umbro (TR), nuovo progetto di ricerca.*
10. Zunino Marta - *6 anni di ricerche nella Grotta della Bàsura (Toirano, SV).*

Presentazioni poster di:

11. De Santis Henry - *Ritrovamenti fortuiti di materiali archeologici in grotte liguri nel periodo 2015-2019*.
12. Falgari Nicolò, Longhi Cristina, Redaelli Marco - *La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia*.
13. Ferretti Marco Peter, Griffoni Amedeo, Merloni Michele - *Ritrovamento di nuovi resti di Ursus spelaeus nella Grotta del Mezzogiorno a Frasassi (Genga, Marche).*
14. Zunino Marta, Pavia Marco, Hohenstein Ursula Thun, Isaia Marco - *La valorizzazione del sito paleontologico della grotta di Valdemino (Borgio Verezzi, Savona).*

Sessione speleologica

Esplorazioni al Marguareis

Referenti: Igor Ciconetti e Enrico Massa

Presentazioni orali di:

1. Calandri Gilberto - *Il sistema Piaggiabella- Labassa (Marguareis, CN): Alcune potenzialità' esplorative.*
2. Calleris Stefano, Canavese Filippo, Pasquini Thomas - *Novità esplorative in Conca delle Carsene 2015-2021.*
3. Consolandi Mauro - *Modello 3D delle grotte della Conca delle Carsene*.
4. Fiori Nicolò Luigi - *Studio preliminare del Sistema carsico del Vallone degli Alberghi (Palanfrè, CN).*
5. Lamboglia Jo - *Il Complesso del Colle dei Signori e la Zona F.*
6. Pasquini Thomas, Cicconetti Igor, Benedettini Andrea - *Le esplorazioni nel complesso Piaggia Bella 2018-2021.*

Venerdì sera, 3 giugno 2022

Presentazione del libro di Francesco Sauro: Il Continente buio
Caverne, grotte e misteri sotterranei. Alla scoperta del mondo sotto i nostri piedi.

L'autore, Francesco Sauro, dialoga con Natalino Russo sul significato geografico e antropologico della speleologia lungo la via tracciata da Giovanni Badino.

Sabato mattina, 4 giugno 2022

Tavola rotonda

I rilievi delle grotte

Referenti: Marco Corvi e Norma Damiano

Presentazioni orali di:

1. Cina Alberto, Barberis Davide, Pisoni Isabella Nicole, Grasso Nives, Vigna Bartolomeo - *Rilievo speleologico e topografico delle grotte.*
2. Dabove Paolo, Grasso Nives, Piras Marco - *Modellazione 3D di strutture geomorfologiche tramite tecnica fotogrammetrica basata su immagini da smartphone*.
3. Dabove Paolo, Grasso Nives, Piras Marco - *L'uso della tecnologia SLAM in ambito geologico per navigazione indoor: il caso studio della Grotta di Bossea*.
4. Fiori Nicolò Luigi - *Tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): il futuro del rilievo ipogeo?*
5. Baglietto Simone, Maifredi Alessandro - *Topografia Ipogea con Lidar su smartphone*.

Sessione scientifica

Le grotte come archivi di cambiamento

Referenti: Andrea Columbu, Ilaria Isola e Eleonora Regattieri

Presentazioni orali di:

1. Calleris Valter - *Regressione del ghiacciaio sotterraneo di Scarson: sublimazione inversa e cambiamenti climatici.*
2. De Waele Jo, Chiarini Veronica, Columbu Andrea, Pisani Luca - *"Evolgyps": valorizzazione scientifica delle grotte nei Parchi gessosi dell'Emilia-Romagna.*
3. Ferrario Andrea, Tognini Paola, Inglese Mauro, Testa Paolo - *Grotte glaciali e mutamenti recenti dei ghiacciai.*
4. Forti Luca, Regattieri Eleonora, Shen Chuan-Chou, Hu Hsun Ming, Isola Ilaria, Bonacossi Daniele Morandi, Conati Barbaro Cecilia, Koliński Rafał, Zerboni Andrea - *Speleotemi del tardo Quaternario per la ricostruzione paleoclimatica nel Kurdistan iracheno.*
5. Isola Ilaria, Zanchetta Giovanni, Regattieri Eleonora, Vigna Bartolomeo, Drysdale Russell N., Hellstrom John C., Magrì Federico - *Studio paleoclimatico di speleotemi Tardo Pleistocenici ed Olocenici della grotta di Bossea.*
6. Piccini Leonardo - *Riduzione dei depositi di neve e ghiaccio documentata dai rilievi di grotta: il caso delle Alpi Apuane.*
7. Vigna Bartolomeo, Paro Luca - *Depositi di ghiaccio nelle cavità e cambiamenti climatici: alcuni esempi nelle Alpi Liguri e Cozie.*

Presentazione poster di:

8. Columbu Andrea, Chiarini Veronica, Hu Hsun Ming, De Waele Jo, Spötl Christoph, Benazzi Stefano, Hellstrom John, Shen Chuan-Chou, Cheng Hai - *Prima ricostruzione climatica dell'era glaciale da speleotemi italiani e implicazioni sulla scomparsa dei Neanderthal*.
9. Menichetti Marco, Mancini Giuseppe, Beribè Antonio, Franceschini Evelin, Gianvanni Marco, Pala Laura, Russino Andrea - *Abisso Revel nella Alpi Apuane, microclima e cambiamenti climatici*.

Tavola rotonda

Parchi, siti protetti e speleologia

Referenti: Veronica Chiarini, Massimo Sciandra e Vincenza Messana

La tematica della tavola rotonda viene introdotta da Massimo Sciandra.

Seguono le presentazioni orali di:

1. Abisso Marina, Zerbetto Raffaella - *Parchi e speleologia: amicizia e dintorni*.
2. Bianco David, Cesari Monia - *Patrimonio carsico-speleologico= habitat fragile: l'esperienza del Parco regionale dei Gessi Bolognesi per una fruizione basata su principi di tutela.*
3. Casamento Giulia, Messana Vincenza - *Le grotte protette della Sicilia: opportunità e criticità.*
4. Gualandi Piero - *Le grotte tra fragilità e turismo. Le esperienze in Romagna*.
5. Ancona Cristina Comasia, Cavalieri Vincenzo, Lacirignola Vito Alessio - *Ricerca e divulgazione speleologica nelle Murge Orientali e nella Terra delle Gravine.*
6. Elia Ezio, Calleris Valter - *Il Marguareis: laboratorio di collaborazione tra speleologia e aree protette.*

Presentazione poster di:

7. Caffo Salvatore, Priolo Giuseppe - *Quando la Speleologia si fa patrimonio dell'UNESCO, andare in grotta nel Parco dell'Etna.*
8. Capitanio Roberta, Derossi Emanuela, Didonna Ferdinando, Messina Fedele, Vilardi Rosa - *Speleologia ad impatto minimo: caso di studio della Grotta Sant 'Angelo di Ostuni.*
9. Chiarini Veronica, Costa Massimiliano, Zani Oscar, Liberatoscioli Elena, Spera Mariano, Carafa Marco, Di Martino Luciano, De Waele Jo - *Il progetto Adriaticaves: speleologia e turismo nelle aree carsiche della regione adriatica.*
10. D'Orilia Francescantonio, Addesso Rosangela - *Fondazione MIdA, verso la gestione sostenibile del turismo in grotta.*
11. Ercolani Massimo, Forti Paolo - *Le aree carsiche nelle evaporiti dell'Emilia-Romagna candidate a World Heritage dell'UNESCO per il 2023*.

La tavola rotonda si conclude con una discussione generale sui diversi argomenti trattati.

Sessione scientifica

Biospeleologia

Referenti: Pier Mauro Giachino, Elena Piano e Fabrizio Serena

Presentazioni orali di:

1. Addesso Rosangela, Baldantoni Daniela, De Waele Jo, Miller Ana Zelia - *The lampenflora disease in show caves: testing the efficacy of the most used methods to control microbial growth*.
2. Giachino Pier Mauro, Lana Enrico - *Dati bionomici preliminari su alcune specie di Duvalius del Piemonte (Coleoptera, Carabidae, Trechini).*
3. Mastronardi Maria Grazia, Lacirignola Vito Alessio, Pastore Marianna, Casale Achille, Giachino Pier Mauro - *Prime indagini biospeleologiche nella Shpella Shtares, Vrana e Madhe (Alpi albanesi).*
4. Nicolosi Giuseppe, Piano Elena, Isaia Marco - *Niche segregation in Meta spiders (Araneae, Tetragnathidae) on Mount Etna (Sicily, Italy).*
5. Piano Elena, Nicolosi Giuseppe, Isaia Marco - *A light in the darkness: environmental drivers of lampenflora proliferation in Italian show caves*.

Presentazione poster di:

6. Balestra Valentina, Lana Enrico, Carbone Cristina, De Waele Jo, Manenti Raoul, Galli Loris - *Valutazione della dinamica distributiva degli invertebrati ipogei.*
7. Dainelli Luisa, Serra Valentina, Serena Fabrizio, Petroni Giulio - *Studio preliminare dell'ecosistema ipogeo della "Buca dei Ladri" Agnano (Pi), Italia.*
8. Montefalcone Monica, Azzola Annalisa, Bianchi Carlo Nike, Morri Carla, Oprandi Alice - *Biospeleology of the Ligurian marine caves: a synthesis of current knowledge.*
9. Oneto Fabrizio, Ferrario Andrea, Torretta Marco, Spada Martina, Mazzaracca Stefania, Rossi Elisabetta Maria, de Carli Elisabetta, Comini Bruna - *Piano di azione per i Chirotteri in Lombardia: un processo partecipato.*
10. Pereswiet-Soltan Andrea - *Cenni sulla presenza dei rinolofidi (Chiroptera: Rhinolophidae) nei Lessini Vicentini (Veneto, Italia).*
11. Pereswiet-Soltan Andrea - *Il disturbo dei Chirotteri negli ambienti ipogei*.
12. Peron Arianna, Fiorini Raffaele, Palumbo Vincenzo, Fedel Aldo, Corazzi Riccardo, Torelli Louis - *Lab in Cave: quando la scuola incontra la ricerca. Indagini microbiologiche e climattiche nel contesto della Grotta Gigante (FVG – Italia).*
13. Piano Elena, Cinus Daniela, Nicolosi Giuseppe, Cossu Quirico Antonio, Duce Pierpaolo, Isaia Marco - *Towards a sustainable touristic use of show caves: a case study from Sardinia.*
14. Rosa Giacomo, Costa Andrea, Oneto Fabrizio, Salvidio Sebastiano - *Stima dell'abbondanza dei geotritoni in grotta attraverso il metodo del doppio osservatore.*
15. Tolve Marco, Giachino Pier Mauro, Piano Elena, Isaia Marco - *Habitat suitability of Duvalius carantii (Sella 1874) (Coleoptera, Carabidae: Trechini).*
16. Trombin Denise, Lana Enrico - *Ricerche sulla fauna ipogea della Valle Strona*.

Sabato pomeriggio, 4 giugno 2022

Sabato pomeriggio è stata dedicata ad una serie di visite guidate con uscite riguardanti le diverse tematiche trattate durante il congresso.

I laboratori sotterranei della Grotta di Bossea

L'escursione è stata finalizzata a visitare i laboratori sotterranei installati nella cavità turistica di Bossea installati per lo studio idrogeologico, meteorologico e della radioattività naturale e gestiti dal Politecnico di Torino e dal Comitato scientifico del CAI. In particolare sono state mostrate le strumentazioni del Centro di ricerca climatologica "Giovanni Badino". Ovviamente non è manca la visita di questa particolare cavità che è in parte scavata nelle rocce quarzitiche e vulcaniche permiane (referente Bartolomeo Vigna).

Le sorgenti carsiche che alimentano il fiume il Tanaro

L'escursione ha riguardato l'area della Gola delle Fascette dove sono ubicate una serie di emergenze alimentate dall'importante sistema carsico del Marguareis sud (Complessi di Piaggia Bella-La Bassa-Colle dei Signori). Da questo fronte sorgivo nasce il Fiume Tanaro che secondo Giovanni Badino, in un interessante articolo di alcuni anni fa, è da considerarsi il fiume più lungo d'Italia. L'itinerario si snoda lungo la strada che collega i paesi di Viozene ed Upega e da dove è stato possibile osservare il fronte sorgivo delle Vene-Fuse, un importante inghiottitoio e la sorgente di troppo-pieno del Garbo della Foce. In tale zona è stata illustrata la singolare situazione idrogeologica che caratterizza la Gola delle Fascette (Referenti Massimo Sciandra, Aldo Acquarone).

Gli effetti della corrosione nel sistema carsico Grotta della Bàsura-Grotta di S. Lucia inferiore

Le grotte turistiche della Bàsura e di S. Lucia inferiore, collegate tra loro attraverso una galleria artificiale, sono caratterizzate dalla presenza di speleotemi molto particolari e differenti tra le due cavità. L'escursione è stata finalizzata a mostrare le particolari forme di corrosione legate alla condensazione e alle correnti d'aria che interessano sia le concrezioni che l'ammasso roccioso. In tali cavità è stato possibile vedere anche il sistema di monitoraggio di temperature aria-anidride carbonica installato dal Politecnico di Torino (Referente Jo De Waele)

I depositi paleontologici e le impronte della Grotta della Bàsura

La grotta turistica della Bàsura, collegata con la grotta di Santa Lucia attraverso una galleria artificiale, è caratterizzata dalla presenza di importanti testimonianze archeologiche e paleontologiche. L'escursione è stata finalizzata a mostrare le centinaia di orme umane impresse sul suolo argilloso della grotta e riferibili a un piccolo gruppo di 5 persone, tra cui 3 bambini, che esplorò la grotta 14.400 anni fa lasciando anche innumerevoli tracce di carbone sulle pareti, incisioni e tracciati digitali. Nella parte più profonda della grotta della Bàsura è stato possibile osservare un importantissimo deposito paleontologico con ossa di orso delle caverne che frequentò la grotta tra i 50.000 e i 28.000 anni da oggi (Referente Marta Zunino).

La biologia sotterranea della grotta della Dronera
Visita in una grotta, di facile accesso, che si apre in un ameno paesaggio tra le colline della Valle Ermetta, a sud di Vicoforte Mondovì finalizzata ad osservare l'abbondante fauna parietale costituita da numerose cavallette del genere *Dolichopoda*, grilli del genere *Petaloptila*, ragni, crostacei, chilopodi, diplopodi e altri artropodi con adattamenti più o meno pronunciati alla vita in ambiente ipogeo. (Referente Enrico Lana).

Dimostrazione dell'uso dei droni e rilievi topografici nella grotta dell'Orso di Ponte di Nava
La visita tecnica è stata finalizzata a mostrare l'utilizzo di metodologie innovative per eseguire rilievi e raccolta di dati in superficie ed in cavità. Si è iniziato dall'area presso la segreteria del congresso per mostrare l'impiego di droni per riprese di superficie, per poi spostarsi alla grotta dell'Orso di Ponte di Nava (caratterizzata da una serie di gallerie orizzontali che raggiungono una lunghezza complessiva di 150 m) per eseguire rilievi con laser scanner portatili e confrontare queste strumentazioni con il Distox ed altre apparecchiature per rilievi speleologici (Referenti Tommaso Santagata, Nives Grasso).

Test con traccianti aerei e misure di pressione ad ingresso della grotta di Costacalda

La grotta di Costacalda è percorsa da una notevole corrente d'aria soffiante nella stagione estiva. La visita tecnica è stata finalizzata a misurare la pressione interna della colonna di aria uscente che, associata ai dati meteo di contorno raccolti sul campo, hanno permesso di stimare la quota degli ingressi superiori, non ancora noti. In parallelo è stato effettuato un test dimostrativo di tracciamento aereo con D-limonene. (Referente Gian Domenico Cella)

Fotografare nella grotta del Gazzano
La grotta del Gazzano è una piccola cavità caratterizzata da una galleria orizzontale di 100 m di sviluppo percorsa da un rivolo d'acqua che termina su un camino di 30 m di altezza con una grossa concrezione che si sviluppa a fianco di una cascatella. In questo particolare ambiente sono state eseguite dai partecipanti una serie di fotografie con utilizzo di diverse tipologie di illuminazione e di tempi di esposizione. (Referente Luca Rossi)

Sabato sera, 4 giugno 2022

Polentata, organizzata dallo Speleo Club Tanaro, presso la Scuola Forestale di Ormea

Domenica mattina, 5 giugno 2022

Tavola rotonda

Il congresso di Ormea e il prossimo congresso

Referenti: Raffaella Zerbetto, Bartolomeo Vigna e Jo De Waele

Dopo l'introduzione da pare dei referenti sulle tematiche e sulla organizzazione del presente congresso si è discusso, insieme ai partecipanti, di come potrebbero essere impostati i prossimi congressi di speleologia cercando di cambiare l'impostazione dei futuri incontri attraverso un rapporto più diretto con gli speleologi.

Stand e mostre

Nei locali presso la segreteria ed in un capannone vicino sono stati allestiti una serie di stand e mostre:

- Società Speleologica Italiana
- Biblioteca della Società Svizzera di Speleologia
- Repetto Sport
- Tute elastiche Steinberg
- Federazione Speleologica Toscana
- Speleofotocontest.

Manifestazioni collaterali

Speleofotocontest (Luca Rossi)

Da concorso fotografico a premio sentinella

Qual è lo scopo di chi fa speleologia? Esplorare, vedere, cercare, mettersi alla prova, sperimentare, studiare. Queste sicuramente sono in primis le principali motivazioni che spingono una persona a cimentarsi in questa attività, ma poi subentra qualcos'altro. Arriva il momento in cui, vuoi per caso vuoi per effettiva necessità o anche semplicemente per auto celebrarsi, ognuno di noi sente la necessità di "raccontare" quanto visto là sotto.
Noi lo chiamiamo "Portare fuori la grotta", in senso figurato s'intende, e la consideriamo una vera e propria missione, una sorta di dovere morale che ogni speleologo in quanto privilegiato dal poter andare e vedere direttamente certi luoghi, ha nei confronti del Resto del mondo, inteso sia come restante pare dell'umanità sia come resto del pianeta che ci ospita e che necessita sempre più di essere tutelato. E per fare questo occorre appunto Portare fuori la grotta, sotto forma di ricerche, documentazioni, esplorazioni, rilievi e, quindi, fotografie e filmati.
SpeleoFotoContest ha sempre coniugato alla perfezione questi aspetti unendoli alla passione per la fotografia che da sempre accomuna tutti coloro che hanno a vario titolo contribuito alla sua nascita, crescita e sviluppo fono ad oggi. Le prime edizioni (2005-2006-2007) furono quasi una cavalcata, un susseguirsi di eventi ed emozioni che portò inesorabilmente al bisogno di una fisiologica pausa, la successiva prematura scomparsa di Marco Ottalevi ha ovviamente contribuito al prolungarsi di questa pausa, era difficile far ripartire tutto sapendo che uno dei fondatori non c'era più.
Tutto questo fino al 2018 quando si riuscì ad allestire la prima edizione dell'era "Social", e da lì avanti con altre iniziative e con il germogliare di una nuova embrionale idea di concorso, non più legato alla vincita di premi materiali ma ad un qualcosa di simbolico, e l'occasione perfetta si presentò con la proposta di organizzare la quinta edizione in concomitanza con il previsto XXIII° Congresso nazionale di Speleologia ad Ormea del 2020. Forse era ancora un po' prematuro, difficile dirlo, sta di fatto che l'arrivo della pandemia ha travolto tutti e tutto modificando radicalmente le nostre vite oltre che i nostri piani.
Ma anche la tempesta più impetuosa è destinata prima o poi a placarsi e nel 2021 si iniziò a parlare di riorganizzare il Congresso per il 2023 e con esso ovviamente anche SpeleoFotoContest. Adesso si che i tempi erano maturi per un primo salto di qualità, a partire da una sperimentale suddivisione in categorie, Acqua Aria Terra e Fuoco che avrebbe dato anche il nome al concorso "I 4 Elementi", passando per una giuria tecnica per la prima volta completamente esterna ed indipendente dal comitato organizzatore, per arrivare al Premio.
Per onestà occorre ammettere che questa suddivisione in categorie, pur rimanendo una buona idea, in questa edizione non è stata messa in pratica in modo da poterne sfruttare tutte le potenzialità, l'aver lasciato ai concorrenti totale libertà di interpretazione delle categorie senza porre alcun limite o dare linee guida ha creato un po' di confusione, ma è anche e soprattutto dai piccoli passi falsi che si impara ad andare avanti più spediti.
La giuria di contro, presieduta da Giampietro Marchesi e composta da Massimo Max Goldoni, Francesco Franz Maurano, Natalino Russo, Giampaolo Zaniboni,

ha svolto ugualmente il compito assegnato con serietà e professionalità, ed il verdetto ufficiale è stato fatto pervenire al Presidente di SpeleoFotoContest per poter essere annunciato la sera di Sabato 4 Giugno durante la festa alla Scuola Forestale di Ormea, trasformando la serata in una sorta di scherzoso Galà dove sono stati annunciati i vincitori delle varie categorie e soprattutto del "***Premio Sentinella Miglior foto SFC22***"

La giuria presieduta da Giampietro Marchesi e composta da Massimo Max Goldoni, Francesco "Franz" Maurano, Natalino Russo e Giampaolo Zaniboni si è dapprima trovata un po'in difficoltà a suddividere le fotografie per "elementi" (Aria, Terra, Fuoco ed Acqua). Dopo questa prima fase si è passati ad una analisi più approfondita e i giurati si sono trovati d'accordo nel considerare che le opere presentate si potevano dividere in due grandi gruppi: foto frutto di scatti improvvisati, con talvolta risultati apprezzabili, ma anche con immagini tecnicamente insufficienti o anche non precisamente comprensibili; scatti pensati e progettati per raggiungere un risultato cercato e voluto.
Tra questi ultimi scatti, taluni fanno riflettere, perché tendono a usare in modo eccessivo la luce, il colore e le altre possibilità offerte dal digitale. L'effetto, non di rado, prevale sul racconto, la descrizione dell'ambiente o della progressione.
Il digitale, le prestazioni degli apparati fotografici e il miglioramento dei sistemi di illuminazione hanno facilitato la vita dei fotografi speleo, e non solo, ma non possono supplire a una consapevole cultura dell'immagine.
Alla luce di queste considerazioni, la giuria ha operato scelte conseguenti:

*I vincitori per "**I quattro elementi**" sono:*
Acqua**: vincitore **Boaz Langford** con **The large hall of the hypojenic Ayalon Cave
Aria**: vincitore **uPIX** con **Sotto il cielo stellato
Terra**: vincitore **William Nix** con **The depths of Turbary pot
Fuoco**: vincitore **Garet Howen** con **Brewery shaft
Le foto presentate da questi autori traducono precise intenzioni, non eccedono nella ricerca di effetti, sono esteticamente piacevoli, tecnicamente corrette e documentano ambienti e situazioni di indubbio fascino e interesse.
Per quanto riguarda il primo premio assoluto, Speleofotocontest 2022 SFC.2.2 la giuria ha deciso di assegnarlo ex aequo a:
Boaz Langford** con **The large hall of the hypojenic Ayalon Cave
e a
William Nix** con **The depths of Turbary pot
La foto di Langford presenta un'inquadratura particolare, che colpisce e si ricorda. La morfologia dell'ambiente e le dimensioni dello stesso sono rappresentate con notevole efficacia. William Nix ci emoziona mostrando la profondità, ma anche l'umidità e lo stillicidio nel vuoto verticale del pozzo. La scelta stilistica del bianco e nero esalta la geometria della composizione.
La qualità delle due immagini, molto differenti per stile, tecnica e soggetto ha quasi naturalmente portato verso l'ex aequo. La giuria e il presidente della stessa ringraziano indistintamente tutti gli autori che hanno partecipato al concorso. La loro partecipazione ha reso possibile il buon esito del contest e permesso alcune considerazioni sulla documentazione fotografica, che ha grande valore nella rappresentazione del mondo sotterraneo.
Il Presidente di Giuria Giampietro Marchesi
I Giurati Massimo Max Goldoni, Francesco Franz Maurano, Natalino Russo, Giampaolo Zaniboni
Ormea, 4 giugno 2022

Il tutto è stato anche trasmesso in diretta live e seguito da molti utenti attraverso la pagina Facebook di SpeleoFotoContest, riscuotendo consensi anche oltreoceano. La cerimonia di premiazione è stata anche l'occasione di presentare il primo prototipo del premio sentinella, il premio che da ora in avanti sarà il segno distintivo del concorso.

Facendo un passo in dietro, durante le fasi organizzative nei mesi precedenti al concorso, fu affrontata nuovamente la questione "premi", il processo di evoluzione intrapreso doveva giocoforza passare anche e soprattutto dalla nuova idea di premio, non più oggetti materiali o attrezzature, sicuramente utili, si doveva trovare un qualcosa di simbolico che potesse rappresentare allo stesso tempo l'eccellenza nel proprio campo di chi lo riceve e la millenaria fragile delicata bellezza dell'ambiente sotterraneo.
Guardandoci intorno ci siamo accorti che avevamo già il soggetto perfetto proprio nel simbolo dell'associazione: ***La Sentinella***, una iconica concrezione che si trova a guardia della "Sala del Tesoro" in cima alle risalite dei Lucchesi nell'Antro del Corchia, Stazzema (LU).
Grazie alla fondamentale collaborazione di Daniele Pagli e Paolo Billeri del Gruppo Speleologico Torrentistico Speleologico di Fucecchio (FI), si è creato un gruppo di lavoro che ha ideato, studiato e messo in pratica un metodo per effettuare un rilievo fotogrammetrico per poter successivamente stampare in resina un modello 3D il più possibile fedele all'originale.
Il risultato è stato ben più soddisfacente delle più rosee aspettative, una riproduzione di poco più di 10 cm di altezza ma assolutamente rispondente alla vera sentinella, il bianco della resina è quasi totalmente rispondente al perfetto candore della concrezione, le infiorescenze al centro, essendo troppo piccole per essere rilevate con precisione dalla fotogrammetria, sono state aggiunte in post produzione attraverso l'utilizzo di programmi di grafica 3D.
In futuro non escludiamo di poter provare ad effettuare nuovi rilievi e nuove prove di stampa quando l'innovazione tecnologica renderà disponibile più sofisticate tecniche a costi accessibili, nel frattempo però possiamo godere di quello che, pur correndo il rischio di esagerare, vogliamo iniziare a considerare una sorta di "Oscar" della speleologia.

Premiazione SpeleoFotoContest

Marguareis, il parco e le sue grotte

Nell'ambito del congresso è stato realizzato un filmato dal titolo "Marguareis, il parco e le sue grotte" destinato ad un vasto pubblico, non solo speleologico, per far conoscere l'attività speleologica e le cavità presenti nell'area del Parco Alpi Marittime ed in alcune riserve naturali ad esso associate. Il documentario, della durata complessiva di 20 minuti è diviso in 4 sezioni: Marguareis: camminare in una montagna che respira, Le grandi esplorazioni, I fiumi della notte, La Grotta di Bossea: turismo e ricerca. Esso è reperibile al seguente indirizzo youtube: https://youtu.be/EKmGq4yeKZc.
Di seguito riportiamo una breve presentazione redatta dal regista Alessandro Ingaria.

Uno sguardo e tre dimensioni: il cielo, la terra, il sottosuolo. Filmare nel Parco Alpi Marittime non è altro che questo. Un luogo dove la prospettiva perde significato: dall'alto e dal basso, radente, verticale, abissale, subacqueo. Ogni inquadratura genera emozioni: e cos'è un video se non la possibilità di far vivere un'emozione a chi non c'era nel momento in cui è stata vissuta?
Tuttavia, cercare di restituire l'esperienza visiva nel Parco delle Alpi Marittime non è immediato, perché manca il vento che lambisce la pelle, il profumo in cui immergersi, gli sbalzi di temperatura che ti sferzano.
Un mondo in cui si può essere escursionista, sportivo, scalatore, esploratore, scienziato. Perché, a pochi chilometri dai confortevoli centri urbani, si può sperimentare al contempo la natura selvaggia, la sensazione di sbarcare sulla luna, il calarsi nelle viscere della terra.
E in quest'ultima missione vi sono gli Speleo, coraggiosi esploratori e moderni pionieri dello sconosciuto perché, nonostante ogni angolo del mondo di sopra sia stato raggiunto, esistono ancora luoghi sotterranei inesplorati, dove incontrare il limite dell'umano.
Un viaggio che viene narrato dalle parole degli speleologi, particolarmente emozionanti quando colte nel momento della loro riemersione dalle viscere della terra.
Un racconto che è ancora agli esordi, e che verrà continuato da quanti sono innamorati e si innamoreranno della speleologia.

Ormea

Biospeleologia

di Pier Mauro GIACHINO, Elena PIANO e Fabrizio SERENA

La biodiversità dell'ecosistema sotterraneo e l'impatto antropico sulla fauna delle grotte, con particolare attenzione alle cavità turistiche, sono argomenti che interessano da sempre non solo i biologi ma anche molti appassionati speleologi. Più recentemente il problema della conservazione della biodiversità degli ecosistemi del nostro pianeta è diventato un tema ricorrente nei dibattiti politici, seguito con grande attenzione dai media.
A partire dal 2010, molti paesi, fra i quali anche l'Italia, ispirandosi alla Convenzione sulla Diversità Biologica (CDB) di Rio de Janeiro del 1992, si sono dotati di una Strategia Nazionale per la Biodiversità (SNB). Nell'ottica di garantire il benessere umano, la Strategia rappresenta uno strumento di integrazione tra le esigenze legate alla protezione della biodiversità e le diverse politiche di settore, con l'obiettivo di promuovere e rafforzare la conservazione della natura e l'uso sostenibile delle risorse.
Nel nostro Paese la SNB è articolata in tre tematiche principali (Biodiversità e servizi ecosistemici, Biodiversità e cambiamenti climatici, Biodiversità e politiche economiche), alle quali corrispondono altrettanti Obiettivi Strategici (Garantire la conservazione della biodiversità, Ridurre l'impatto dei cambiamenti climatici sulla biodiversità, Integrare la conservazione della biodiversità nelle politiche economiche).
Operativamente la SNB è dotata di organismi funzionali quali il Comitato Paritetico, l'Osservatorio Nazionale per la Biodiversità e un Tavolo di consultazione. L'Osservatorio Nazionale per la Biodiversità, posto a supporto del Compitato Paritetico, ha il compito di fornire il necessario apporto scientifico multidisciplinare. Questo è il punto dove la speleologia italiana, per il tramite della Società Speleologica Italiana (SSI), può, e deve, fornire il proprio contributo. Ricordiamo come questo contributo possa essere di particolare importanza, considerato che nella SNB manca un esplicito riferimento alle specie e agli ecosistemi sotterranei. In questo senso esiste già un precedente virtuoso, quando, nel 2010, Anno della Biodiversità, la SSI fu chiamata a fornire il proprio contributo rappresentando il poco considerato mondo sotterraneo. Ambiente misconosciuto ai più, ma che rappresenta un tassello importantissimo nel mosaico degli ecosistemi del pianeta, fondamentale nel garantire una serie di processi vitali per il funzionamento degli altri ecosistemi e per la sopravvivenza stessa dell'uomo.
Fin qui la Biospeleologia dal punto di vista politico-organizzativo, ma la Biospeleologia (o forse più correttamente la Speleobiologia visto che ci stiamo occupando di grotte) è fatta di esseri umani, con i loro pregi e i loro difetti. È fatta di speleologi che raccolgono materiali biologici durante le punte esplorative e di biologi e naturalisti trascinati in grotta, loro malgrado, dalla sete di conoscenza.
Come tutte le attività umane affidate al libero arbitrio, anche lo studio biologico della grotte è caratterizzato da un andamento altalenante. A periodi di grande fermento e attività si alternano periodi meno propizi, spesso caratterizzati da grandi allarmi e nutrite lamentele sulla probabile morte di questa o quella branca della biologia sotterranea. Malgrado ciò ci sembra che la Biospeleologia italiana goda, tutto sommato, di ottima salute, anzi, a partire dagli albori del secolo scorso si è evoluta, la Biospeleologia; poco alla volta sta prendendo coscienza

di essere in realtà sempre più speleobiologia. Da un concetto di tipo speleocentrico, dove la grotta rappresenta il cuore dell'ambiente sotterraneo e il reticolo di fessure della roccia madre un semplice ambiente collaterale dove la fauna si "rifugia" in caso di necessità, si è passati ad un concetto di ambiente sotterraneo "esteso" dove il cuore dell'ambiente è il reticolo di fessure e la grotta solo una fessura più grande dove lo speleologo può entrare ed esplorare.
E proprio parlando di esplorazioni biologiche ci piace ricordare che i confini tracciati dalle nostre topografie sotterranee, alle quali diamo un numero catastale per dare loro una individualità inventariale, altro non sono che l'espressione grafica dei nostri limiti esplorativi e mentali, al di là dei quali un mondo immenso, costituito dal reticolo di micro-fessure, estende a dismisura l'ambiente da indagare.

Biospeleology

by Pier Mauro GIACHINO, Elena PIANO and Fabrizio SERENA

The biodiversity of the underground ecosystem and the anthropogenic impact on the cave fauna, with particular attention to the tourist caves, are topics that have always been of interest not only to biologists but also to many passionate speleologists. More recently, the problem of conserving the biodiversity of our planet's ecosystems has become a recurring theme in political debates, followed with great attention by the media.
Since 2010, many countries, including Italy, inspired by the 1992 Rio de Janeiro Convention on Biological Diversity (CDB), have adopted a National Biodiversity Strategy (NBS). With a view to guaranteeing human well-being, the Strategy represents an integration tool between the needs related to the protection of biodiversity and the various sector policies, with the aim of promoting and strengthening the conservation of nature and the sustainable use of resources.
In our country, the NBS is divided into three main themes (Biodiversity and ecosystem services, Biodiversity and climate change, Biodiversity and economic policies), to which correspond as many Strategic Objectives (Ensuring the conservation of biodiversity, Reducing the impact of climate change on biodiversity , Integrate the conservation of biodiversity into economic policies).
Operationally, the NBS is equipped with functional bodies such as the Joint Committee, the National Observatory for Biodiversity and a Consultation Table. The National Observatory for Biodiversity, set up in support of the Joint Committee, has the task of providing the necessary multidisciplinary scientific contribution. This is the point where Italian speleology, through the Italian Speleological Society (SSI), can, and must, make its contribution. We recall how this contribution can be of particular importance, considering that the NBS lacks an explicit reference to species and underground ecosystems. In this sense, a virtuous precedent already exists, when, in 2010, the Year of Biodiversity, the SSI was called upon to provide its contribution by representing the little-considered underground world. An environment unknown to most, but which represents a very important piece in the mosaic of the planet's ecosystems, fundamental in guaranteeing a series of vital processes for the functioning of other ecosystems and for the very survival of man.
So far concerning the political-organizational point of view, but Biospeleology (or perhaps more correctly Speleobiology since we are dealing with caves) is made of human beings, with their strengths and weaknesses. It is made of speleologists who collect biological materials during exploratory trips and of biologists and naturalists dragged into the cave, in spite of themselves, by the thirst for knowledge.
Like all human activities entrusted to free will, also the biological study of the cave is characterized by a fluctuating trend. Periods of great ferment and activity alternate with less propitious periods, often characterized by great alarms and nourished complaints about the probable death of this or that branch of underground biology. In spite of this, it seems to us that Italian Biospeleology is, all in all, in excellent health, indeed, since the dawn of the last century, Biospeleology has evolved; little by little it is becoming aware that it is actually more and more speleobiology. From a speleocentric concept, where the cave represents the he-

art of the underground environment and the network of cracks in the mother rock a simple collateral environment where the fauna "takes refuge" in case of need, we have passed to an underground environment concept "Extended" where the heart of the environment is the network of cracks and the cave is just a larger crack where the speleologist can enter and explore.
And speaking of biological explorations, we like to remember that the boundaries drawn by our underground topographies, by which we put our caves in inventories, are nothing more than the graphic expression of our exploratory and mental limits, beyond which there is an immense world, made up of a network of micro-cracks, dramatically extending the environment to be investigated.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

The lampenflora disease in show caves: testing the efficacy of the most used methods to control microbial growth

Rosangela Addesso ([a*]), Daniela Baldantoni ([a]),
Jo De Waele ([b]), Ana Z. Miller ([c])

([a]) Department of Chemistry and Biology "Adolfo Zambelli", University of Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132, 84084 Fisciano (SA), Italy, *raddesso@unisa.it addros04@gmail.com*
([b]) Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, University of Bologna, Via Zamboni, 67, 40126 Bologna, Italy
([c]) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, IRNAS-CSIC, Av. Reina Mercedes, 10, 41012 Sevilla, Spain

Parole chiave: Lampenflora; Biodeterioramento; Conservazione delle grotte; Grotte turistiche
Keywords: Lampenflora; Biodeterioration; Cave conservation; Show caves

Abstract
The development of complex photosynthetic communities in underground environments equipped with artificial lighting, the so-called lampenflora, represents a serious problem for show caves. In particular, the proliferation of biofilms composed by photosynthetic microorganisms causes aesthetical, physical and chemical changes on the colonized rock substrates. Understanding its physiology and the efficacy of the most used methods for controlling lampenflora is now an urgency for a sustainable management of tourism in caves. Reflectance analysis on lampenflora from Pertosa-Auletta limestone Cave (Italy) revealed its capacity to absorb all frequencies of visible light, reflecting only the near-infrared, probably due to the production of secondary accessory pigments and to the mixotrophic metabolic regimes. The biofilm matrix is mainly composed of filamentous organisms tangled with mineral grains. This biofilm promotes rock corrosion processes, as well as the precipitation of secondary minerals. When testing the most used lampenflora removal techniques in Pertosa-Auletta Cave, NaClO (bleaching agent) exhibited long-term efficacy in disinfecting the colonized surfaces. Conversely, the surfaces treated with H_2O_2 (oxidizing agent) showed a rapid recovery of the biofilms after three months from the treatment. Yet, both chemical treatments were efficient on the elimination of photoautotrophs, but ineffective against the bacterial phyla *Proteobacteria* and *Bacteroidetes*, and *Apicomplexa* and *Cercozoa* among the Eukaryotes. UVC lighting showed no biofilm alterations with the protocols used in the experimental plan of this research.

Riassunto
La crescita di biofilm fotoautotrofi che si sviluppano in ambienti sotterranei a seguito dell'illuminazione artificiale rappresenta un serio problema per le grotte turistiche, a causa delle diverse alterazioni estetiche, fisiche e chimiche che induce sui substrati colonizzati. Comprendere la sua fisiologia e l'efficacia dei metodi di controllo della crescita più utilizzati è ormai una necessità per una gestione sostenibile del turismo speleologico. Analisi di riflettanza sui biofilm fotosintetizzanti delle Grotte di Pertosa-Auletta (Italia) hanno rivelato la sua capacità di assorbire la totalità dello spettro del visibile, riflettendo solo l'infrarosso vicino, probabilmente a causa della produzione di pigmenti accessori secondari e di regimi metabolici mixotrofi. La matrice dei biofilm è principalmente costituita da organismi filamentosi aggrovigliati ai minerali, che attivano processi di corrosione e precipitazione di minerali secondari. Testando le tecniche di rimozione della lampenflora più utilizzate, NaClO (sotto forma di candeggina) mostra una notevole efficacia nella disinfezione delle superfici per lungo tempo. Al contrario, le superfici trattate con H_2O_2 mostrano un recupero dei biofilm già dopo tre mesi dal trattamento. Entrambi i trattamenti chimici mostrano efficacia nell'eliminazione dei fotoautotrofi con la resistenza dei phyla batterici *Proteobacteria* e *Bacteroidetes* e, tra gli Eucarioti, dei phyla *Apicomplexa* e *Cercozoa*. L'UVC, con il protocollo usato nel piano sperimentale di questa ricerca, non ha determinato alcun effetto.

The green disease of show caves
The touristic use of subterranean systems requires the installation of artificial lighting both to guarantee the safety of visitors and for exhibition purposes. However, being caves naturally dark environments, the light affects their ecological equilibrium, in particular by promoting the growth of green biofilms on the lithic surfaces (Fig. 1), composed of photoautotrophic organisms (Mulec, 2019). These biofilms represent the main component of the photosynthetic communities growing in caves equipped with artificial light, the so-called lampenflora. Their growth represents one of the most important challenges for show cave managers, due to the aesthetic change, and physicochemical alterations they induce on the afflicted substrates (Baquedano Estévez et al., 2019). Some of these changes include: i) green patinas covering walls and speleothems; ii) chemical biodeterioration of the surfaces caused by organic acids excreted by the microbial cells; iii) mechanical pressure (physical biodeterioration) caused by the penetration and growth of cells in the porous system; iv) ecological alterations, due to a considerable organic matter input changing the normally oligotrophic cave environment. From the 70s up to the present, several cleaning and growth control methods of lampenflora have been used. Despite being harmful for the ecosystem, the commercial bleach is the most employed due to its efficiency and low-price. Recently, the H_2O_2 and the germicidal UVC lamp were proposed as "green" methods, not producing re-

Figure 1 – Lampenflora from Pertosa-Auletta Cave

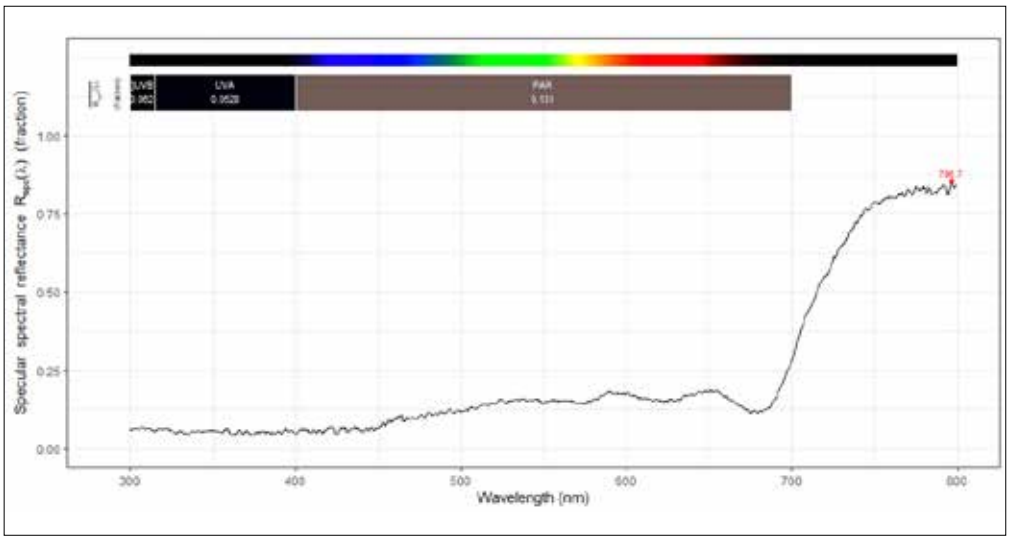


Figure 2 – Example of a reflectance spectrum on lampenflora from Pertosa-Auletta Cave

action by-products (Baquedano Estévez et al., 2019). Nevertheless, there is currently no consensus on the best removal strategy and the available studies on lampenflora removal were not standardized, thus hampering a proper definition of their actual efficacy and sustainability. Therefore, our work provides a comprehensive study on the lampenflora natural features, as well as on the effectiveness of the most employed growth control methods focusing on the induced alterations on their physiology and taxonomic composition.

Characterization of lampenflora from Pertosa-Auletta Cave

By analyzing the physiological features of lampenflora from Pertosa-Auletta Cave, a diverse behavior emerged respect to that of common photosynthetic communities. In fact, the reflectance spectra (Fig. 2) showed the complete absorption of the visible light (~ 400-700 nm), reflecting the near infrared (~ 700-800 nm). This can be related to the species composing the community that produce accessory pigments or have metabolic pathways different from photoautotrophy: mixotrophy and/or heterotrophy (Mulec, 2019). This observation demonstrated that working on light wavelengths to control biofilm growth could be useless, due to the capacity of lampenflora of adapting to diverse lighting conditions and wavelengths. The analysis of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m, variable fluorescence/maximal fluorescence), representing a proxy of the photosynthetic activity of the community, displayed values ranging from 0.62 to 0.72, proving a good physiological activity of lampenflora, also with low PAR (from 1.85 to 4.01 μmol m^{-2} sec^{-1}). Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) images (Fig. 3) showed the presence of cyanobacteria-like filaments, and green algae, as well as diatoms, tangled to the mineral grains. These latter showed several cor-

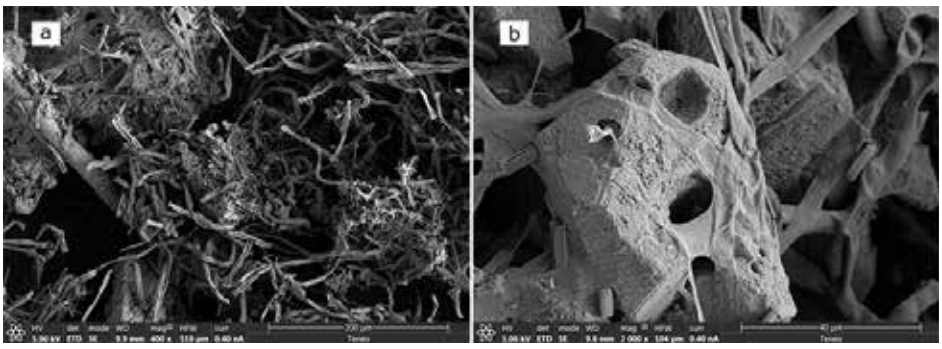


Figure 3 – FE-SEM images of lampenflora from Pertosa-Auletta Cave. Filamentous organisms and biogenic calcite rods (a), diatoms, corrosion shapes and trapped minerals (b) are shown.

rosion features and secondary minerals (calcite rods) resulting from precipitation processes mediated by microorganisms.

Efficacy of the most used lampenflora growth control methods

In the tourist trail section of Pertosa-Auletta Cave, 8 areas (50 x 50 cm) covered by lampenflora (4 bare surfaces and 4 with vermiculations) were treated once a month, with chemical (15% H_2O_2 and commercial NaClO) and physical (8 hours during the night UVC irradiation) growth-control methods. Two untreated areas (controls) were used for each surface typology.

Before and after each treatment, we carried out *in situ* non-destructive measures of chlorophyll fluorescence. At time 0, all the surfaces displayed F_v/F_m mean values equal to 0.69 and 0.74, respectively for bare limestone and the surface with vermiculations. After the H_2O_2 and NaClO treatments, they decreased to 0, indicating the cessation of biological activity. After the lockdown due to the Covid19 pandemic (the cave was closed for 3 months), there was a development of lampenflora on surfaces treated with H_2O_2, suggesting that this treatment does not eliminate the death biomass, favouring biofilm recovery and other opportunistic microorganisms. Considering the bare surface control, *Next-Generation Sequencing* (NGS) of 16S and 18S rRNA genes showed that *Cyanobacteria* was the most abundant phylum among Prokaryotes, being represented by *Brasilonema angustatum* species. The untreated surface with vermiculations showed a very low presence of photoautotrophs (< 1%), composed of bacterial phyla commonly found in caves (Tomczyk-Żak, Zielenkiewicz, 2016). The Eukaryotes from both the untreated surface types were mostly composed of *Ephemerum spinulosum*. After both H_2O_2 and NaClO treatments on bare surfaces, photoautotrophs were eliminated. However, *Proteobacteria* and *Bacteroidetes* persisted on vermiculated surfaces treated with H_2O_2, whereas the surfaces treated with NaClO were solely composed of *Proteobacteria*. The H_2O_2 treatment showed greater efficacy than NaClO in eliminating *Streptophyta* phylum (Eukaryotes), with a residual presence of *Apicomplexa* and *Cercozoa* phyla and other unclassified groups. No effect was detected on surfaces treated with UVC lamp for both the typologies of surfaces, displaying similar tendency of the control areas.

Acknowledgements

The authors are grateful to the MIdA Foundation, manager of Pertosa-Auletta Cave, the speleo-guide Vincenzo Manisera and all the MIdA staff, the Melandro, the Castel di Lepre, the CAI Napoli, and the Vespertilio Caving Groups, and the Sa.Gest. srl, for facilitating all the field activities with their technical and logistical support. This work received support from the Spanish Ministry of Science and Innovation (MCIN) under the research project PID2019-108672RJ-I00 (TUBOLAN) funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033, and the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) under the MICROCENO Project (PTDC/CTA-AMB/0608/2020).

References

Mulec, J. (2019) "Lampenflora" in: White W.B., Culver D.C., Pipan T. (a cura di), Encyclopedia of Caves, Elsevier, 635–641.

Baquedano Estévez, C., Moreno Merino, L., de la Losa Román, A., Durán Valsero, J.J. (2019) "The lampenflora in show caves and its treatment: an emerging ecological problem." International Journal of Speleology, 48 (3): 249-277.

Tomczyk-Żak K., Zielenkiewicz U. (2015), "Microbial Diversity in Caves", Geomicrobiology Journal, 33: 1-20.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Valutazione della dinamica distributiva degli invertebrati ipogei

Valentina Balestra ([a,b]), Enrico Lana ([b]), Cristina Carbone ([b,c]), Jo De Waele ([d]), Raoul Manenti ([e]), Loris Galli ([c])

([a]) DIATI – Politecnico di Torino, *valentina.balestra@polito.it*
([b]) Biologia Sotterranea Piemonte – Gruppo di Ricerca, *enrlana@libero.it*
([c]) DISTAV – Università degli Studi di Genova, *cristina.carbone@unige.it, loris.galli@unige.it*
([d]) BIGEA – Università di Bologna, *jo.dewaele@unibo.it*
([e]) DESP – Università di Milano, *Raoul.Manenti@unimi.it*

Parole chiave: biospeleologia; dinamiche ecologiche; monitoraggio; grotte
Keywords: subterranean biology; ecological dynamics; monitoring; caves

Riassunto
In questo studio sono state valutate le dinamiche annuali e la fruizione degli ambienti terrestri e parietali di una comunità sotterranea, con l'obiettivo di capire se gli organismi che vivono in grotta hanno una distribuzione simile negli ambienti terrestri e parietali, e di scoprire quali tra le diverse caratteristiche microambientali influenzano tale distribuzione. Mediante osservazione diretta con il metodo di campionamento dei quadrati sul terreno e transetti sulle pareti, sono state valutate mensilmente la ricchezza e l'abbondanza di 62 specie ipogee in una grotta del Piemonte. Durante ogni sessione di monitoraggio sono stati misurati anche fattori ambientali quali l'intensità della luce, la temperatura, l'umidità relativa e la composizione mineralogica dei substrati, evidenziandone l'influenza sulla distribuzione della comunità. È stato possibile osservare differenze significative tra i microhabitat terrestri e parietali e un gradiente di variazione delle comunità di specie dall'ingresso verso le aree interne della cavità, tuttavia, viene sottolineato anche che le dinamiche delle pareti sono molto diverse rispetto a quelle al suolo, indipendente dalla distanza dall'ingresso. Gli indici di biodiversità hanno evidenziato una diversità di specie nelle aree di campionamento e una discreta biodiversità totale della fauna, con i valori più alti riscontrati vicino all'ingresso e più bassi nella parte interna.

Introduzione

Diversi fattori ambientali hanno un effetto diretto sugli ecosistemi ipogei e una profonda influenza sulla fauna sotterranea, come l'assenza di luce, l'umidità relativa, la temperatura, la morfologia della grotta, la litologia, l'acqua e la circolazione dell'aria (Culver, Pipan, 2010). L'insieme degli organismi sotterranei, con gradi di adattamento differenti, è suscettibile a formare un gradiente dall'ingresso ai settori più profondi della grotta (Mammola, 2019) che, sebbene complesso, dovrebbe condurre a dinamiche ecologiche piuttosto semplici rispetto alle comunità di superficie; tuttavia, gli studi biologici sulle comunità sotterranee sono scarsi, soprattutto a causa delle difficoltà e degli impedimenti legati a questo ambiente estremo. La ricerca sugli organismi sotterranei ha una lunga storia di studi focalizzati su singole specie o gruppi, che raramente considerano l'habitat sotterraneo come un ambiente tridimensionale, collegato a un'intricata rete di fessure non direttamente accessibili all'uomo (Giachino, Vailati, 2010). La stagionalità legata all'esterno e l'abbondanza di materia organica o delle prede nei settori meno profondi delle grotte sembrano influenzare la presenza, l'abbondanza e le interazioni delle specie troglofile (specie facoltative) (Mammola et al., 2017). Al contrario, per le comunità composte principalmente da troglobi (specie obbligate) le condizioni microclimatiche locali sembrano avere l'importanza maggiore (Kozel et al., 2019, Balestra et al., 2022).

Nella presente ricerca, si ipotizza che i fattori ambientali influenzino le comunità della grotta, indipendentemente dalla singola specie e dai diversi gradi di adattamento alla vita sotterranea, e che la composizione mineralogica del substrato svolga un ruolo importante nella distribuzione delle comunità sotterranee. Inoltre, si ipotizza che, se vi è un principale gradiente di adattamento delle comunità di grotta dall'ingresso verso le aree interne, i diversi settori della grotta (habitat terrestri e parietali) mostrino una diversa composizione della fauna a seconda della loro distanza dall'ingresso.

Materiali e metodi

Le indagini sono state effettuate nella grotta del Baraccone (PI309, 1040 m s.l.m., Bagnasco (CN), Piemonte, Italia), che si sviluppa in un'area composta da un'alternanza di calcari e dolomie. La grotta ha una lunghezza di circa 40 m e una profondità di 8. È ricca di materiale organico in decomposizione proveniente per lo più dall'ingresso e ospita diversi microhabitat. L'ingresso, stretto e ripido, favorisce la caduta di detriti vegetali che vengono poi trasportati in tutta la grotta. Dal 1928 al 2013, diversi campionamenti faunistici sono stati effettuati in questa cavità, segnalando la presenza di 17 specie di invertebrati, di cui due troglobie e otto troglofile.

Alcune specie ipogee hanno microhabitat preferenziali e diversi autori concordano sul fatto che una combinazione di metodi differenti sia essenziale per indagare le comunità sotterranee (Bichuette et al., 2015, Kozel et al., 2017), per cui, in questo lavoro, è stata utilizzata una combinazione di metodi di campionamento e monitoraggio: metodo dei quadrati con campionamento stratificato(1x1 m, fissati con chiodi e corde) per la conta superficiale degli invertebrati sul terreno, e transetti di 2 m per il conteggio degli invertebrati in parete. Prevalutazioni in situ (si veda Balestra et al. 2021) hanno permesso di stabilire otto aree di campionamento degli invertebrati, al fine di evidenziare i diversi microhabitat della grotta, tenendo in considerazione temperatura (T), umidità relativa

(RH%), intensità luminosa (LI), tipo di substrato, presenza e abbondanza di macrofunghi, feci e materia organica in decomposizione, presenza, posizione e forma di pietre, rocce e minerali sul terreno, presenza di acqua e fratture. Sette aree includono un quadrato di campionamento e un transetto, mentre una comprende unicamente un transetto. Non sono state utilizzate trappole, e le indagini sono state effettuate mensilmente per un anno, con conta visiva diretta, supportata dall'acquisizione di macrofotografie delle specie osservate. Le indagini visive richiedono a priori conoscenze biologiche dei taxa osservati per l'identificazione e non consentono una corretta determinazione a livello specifico di tutti i taxa osservati. I campioni prelevati per la determinazione delle specie incerte sono stati collocati direttamente in etanolo 96% e sono stati determinati dagli specialisti di riferimento. Gli individui osservati sono stati raccolti in un contenitore per evitare conteggi ripetuti e, alla fine della valutazione, rilasciati. Gli esemplari morti non sono stati conteggiati. Per ogni area di campionamento, sono state effettuate sessioni di conteggio di 15 minuti, allo stesso orario (h 10:00-16:00), da parte degli stessi due ricercatori. T e RH% sono state misurate con un termoigrometro HD 2101.1 Delta Ohm equipaggiato con sonda Pt100 T e RH% HP 472AC. Grazie all'estensione della sonda (2,5 m) è stato possibile registrare i dati senza l'influenza degli operatori. Un luxmetro HD 2302.0 Delta Ohm con sonda fotometrica LP471PHOT è stato utilizzato per la misurazione dell'intensità luminosa. Le fotografie degli esemplari sono state scattate da VB utilizzando una Canon EOS 70D reflex camera con obiettivo EF 100 mm 1:2.8 USM Macro e flash integrato. I campioni mineralogici sono stati raccolti esclusivamente da speleotemi già fratturati e sono stati caratterizzati mediante un difrattometro a Raggi X (XRD) Philips PW3710. Il software PAST, versione 4.02 (Hammer et al., 2001) è stato utilizzato per eseguire le seguenti analisi statistiche: 1) Canonical Correspondence Analysis, al fine di valutare i rapporti tra fattori ambientali, substrato minerale e taxa rilevati a livello di classe e ordini principali. 2) Test ANOSIM e analisi SIMPER, per evidenziare le differenze tra le comunità faunistici dei diversi siti di campionamento e, se presenti, il contributo di ciascun taxon a tali differenze. Sono stati adottati l'indice di similarità di Jaccard e la correzione di Bonferroni. Un clustering UPGMA basato sull'indice di somiglianza di Jaccard (1000 repliche bootstrap) sui dati cumulati di ciascun punto di campionamento è stato realizzato per una rappresentazione grafica delle relazioni similarità/distanza tra le comunità. 3) Indice di Equitabilità (indice di Pielou) (J), Dominanza (indice 1-Simpson) (D) e diversità di Shannon (H), calcolati per ogni punto di campionamento e per ogni mese, al fine di confrontare la biodiversità delle comunità nelle diverse zone della grotta e di delineare l'andamento mensile della diversità faunistica. 4) Analisi di rarefazione, per verificare la completezza della ricchezza di specie osservata.

Risultati

Nella Grotta del Baraccone, grazie al monitoraggio standardizzato mediante l'utilizzo di diversi metodi e l'incremento dei siti di campionamento considerando diversi habitat, sono state osservate 62 specie di invertebrati, di cui almeno 20 troglofile e 5 troglobie. Il numero totale di individui censiti è stato di 3630. I risultati (per i risultati si veda Balestra et al. 2021) evidenziano che le condizioni ambientali sembrano influenzare la presenza e l'abbondanza della maggior parte dei taxa che compongono le comunità sotterranee, indi-

pendentemente dal loro grado di adattamento alla vita in ambiente ipogeo. In particolare, l'umidità e i livelli di luce sembrano influenzare la maggior parte degli organismi con alcune eccezioni. La temperatura si stabilizza man mano che si procede verso le aree interne della grotta, influenzando soprattutto la fauna terrestre. Non possiamo affermare che la composizione mineralogica dei substrati in parete e sul terreno sia un fattore determinante per la presenza delle comunità sotterranee all'interno dello stesso sito di campionamento, poiché abbiamo riscontrato una bassa variabilità mineralogica tra i diversi microhabitat campionati; tuttavia, alcuni organismi hanno mostrato una preferenza per particolari tipologie di substrato. Viene registrata una forte differenza tra i gruppi di specie che si rinvengono a livello del suolo rispetto a quelli che si incontrano lungo le pareti, e una notevole variazione tra microhabitat terrestri di diverse aree della grotta. La fauna parietale risulta piuttosto omogenea nell'intera grotta. I taxa responsabili delle differenze evidenziate sono stati osservati soprattutto nelle aree di campionamento più influenzate dalle variazioni climatiche esterne e dalla luce. I valori più alti di biodiversità sono stati riscontrati vicino all'ingresso, mentre i più bassi nella parte interna della cavità. Da un lato, i risultati confermano l'idea generale di un gradiente di variazione che si verifica dall'ingresso verso le aree interne, ma dall'altro, dimostrano anche che le dinamiche delle pareti possono essere molto diverse da quelle che si verificano al suolo, indipendentemente dalla distanza dalla superficie.

Riferimenti bibliografici

Balestra V., Lana E., Vanin S. (2022), "Observations on the habitat and feeding behaviour of the hypogean genus Eukoenenia (Palpigradi, Eukoeneniidae) in the Western Italian Alps", *Subterranean Biology*, 42: 23-41

Balestra V., Lana E., Carbone C., De Waele J., Manenti R., Galli L. (2021), "Don't forget the vertical dimension: assessment of distributional dynamics of cave-dwelling invertebrates in both ground and parietal microhabitats", *Subterranean Biology*, 40: 43-63

Bichuette M.E., Simões L.B., von Schimonsky D.M., Gallão J.E. (2015), "Effectiveness of quadrat sampling on terrestrial cave fauna survey-a case study in a Neotropical cave", *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 37 (3): 345-351

Culver D.C., Pipan T. (2010), "Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life", *Acta carsologica*, 39 (3)

Giachino P., Vailati D. (2010), "The subterranean environment. Hypogean life, concepts and collecting techniques.". WBA Handbooks: 130.

Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. (2001), "PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis", *Palaeontologia electronica*, 4 (1): 9

Kozel P., Pipan T., Šajna N., Polak S., Novak T. (2017), "Mitigating the conflict between pitfall-trap sampling and conservation of terrestrial subterranean communities in caves", *International Journal of Speleology*, 46 (3): 359-368

Kozel P., Pipan T., Mammola S., Culver D.C., Novak T. (2019), "Distributional dynamics of a specialized subterranean community oppose the classical understanding of the preferred subterranean habitats", *Invertebrate Biology*, 138 (3): e12254

Mammola S. (2019), "Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White", *Ecography*, 42 (7): 1331-1351

Mammola S., Piano E., Giachino P.M., Isaia M. (2017), "An ecological survey of the invertebrate community at the epigean/hypogean interface", *Subterranean Biology*, 24: 27-52

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio preliminare dell'ecosistema ipogeo della "Buca dei Ladri" Agnano (Pi), Italia

Luisa Dainelli[a,b,*], Valentina Serra[b], Fabrizio Serena[a], Giulio Petroni[b].

[a] Gruppo Speleologico Archeologico Livornese
[b] Università degli Studi di Pisa, *l.dainelli@studenti.unipi.it*

Parole chiave: pipistrelli; rete trofica; guano
Keywords: bats; trophic web; guano

Riassunto
Il presente lavoro è uno studio preliminare sull'ecosistema ipogeo della grotta "Buca dei Ladri" in località Agnano (Pisa, Toscana, Italia). In particolare, è stata fatta una prima ricostruzione della rete trofica strettamente legata ai consistenti depositi di guano dovuti a una importante popolazione di pipistrelli. È stata effettuata una ricerca sistematica, tramite osservazione diretta e campionamenti, degli organismi che colonizzano il guano e le pareti della grotta, cercando di spiegare eventuali rapporti e interazioni che tra loro esistono. Dove possibile i taxa campionati sono stati determinati a livello di specie, compresi gli Eucarioti unicellulari. Tenendo conto di tutto ciò, è stato formulato un modello preliminare di rete trofica, che, pur nella sua iniziale espressione, fornisce di fatto un'informazione importante sulle relazioni trofiche e sulle varie nicchie ecologiche esistenti.

Introduzione

La grotta, al pari degli altri ambienti naturali, costituisce un habitat che risponde alle leggi che regolano l'equilibrio degli ecosistemi. La progressiva riduzione della luce col procedere verso l'interno, l'elevata umidità e la stabilità termica sono le principali caratteristiche di questo ambiente limite. Considerando i popolamenti vegetali, limitati all'area di ingresso e quelli animali, la grotta mostra specifiche zone di confinamento (Serena, Meluzzi, 1997). Di conseguenza, gli organismi che colonizzano questo ecosistema instaurano tra loro rapporti trofici specifici con una significativa riduzione del numero di interazioni nella rete trofica, così da ottimizzare l'energia trasferita. A differenza delle comunità epigee, l'input energetico è fornito dai processi di ossidoriduzione dei minerali delle argille ad opera di eventuali batteri chemioautotrofi o dal materiale organico giunto dall'esterno e utilizzato da batteri eterotrofi (Mammola, 2018). In questi ambienti la presenza di abbondanti comunità di chirotteri può determinare una situazione molto particolare capace di generare una specifica associazione definita guanobia. Questa associazione si sviluppa in presenza di depositi di guano, localmente anche ingenti, ricchi di nutrienti quali carbonio

(C), azoto (N) e fosforo (P), in grado di fornire ampie riserve di materia organica ideale per la crescita e lo sviluppo di batteri, che a loro volta permettono la sopravvivenza di invertebrati detritivori e, a seguire, dei predatori.

Materiali e metodi

La grotta in questione ha una profondità massima di 34 m, a cui si aggiungono gli 11 m del bacino lacustre situato al livello della falda freatica sotterranea (Bianucci, 1980) (Fig. 1). Su tutto il profilo della grotta, dalla zona di ingresso fino alle parti più profonde, sono stati registrati i valori di temperatura e l'incidenza della luce, che dalla base del pozzo in poi risulta comunque azzerata (Fig. 2, stazione V).

Gli accumuli di guano, presenti sul pavimento della sala interna, presentano un diverso spessore in relazione ai siti di stazionamento dei pipistrelli. Nelle zone più significative sono state posizionate un totale di 9 stazioni di campionamento (Fig. 2). In ognuna di esse, utilizzando una provetta Falcon da 50 ml, sono stati raccolti circa 20 ml di materiale (acqua e/o guano). In laboratorio parte di ogni campione originale è stata trasferita in una capsula Petri per le successive osservazioni e poi è stata conservata in una camera umida all'interno di un cellone termostatato, alla temperatura costante di 19°C e con illuminazione artificiale per 12 ore al giorno, secondo il protocollo standard del laboratorio. Le osservazioni, effettuate tramite un microscopio binoculare Leica Wild M3C, sono state ripetute più volte da due operatori diversi nel corso di circa due settimane al fine di verificare il popolamento di microrganismi presente. In parallelo, nelle medesime 9 stazioni, sono stati rilevati i valori di temperatura e umidità e osservati gli invertebrati che al momento erano presenti, evitando così il posizionamento di trappole.

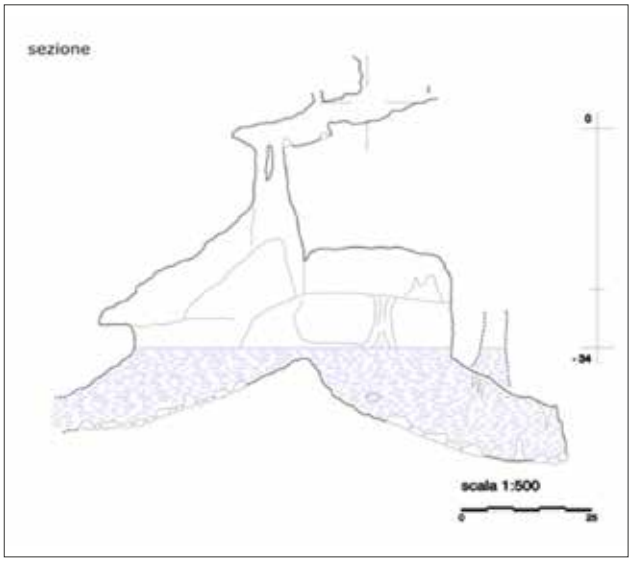


Figura 1 - Sezione longitudinale della grotta.

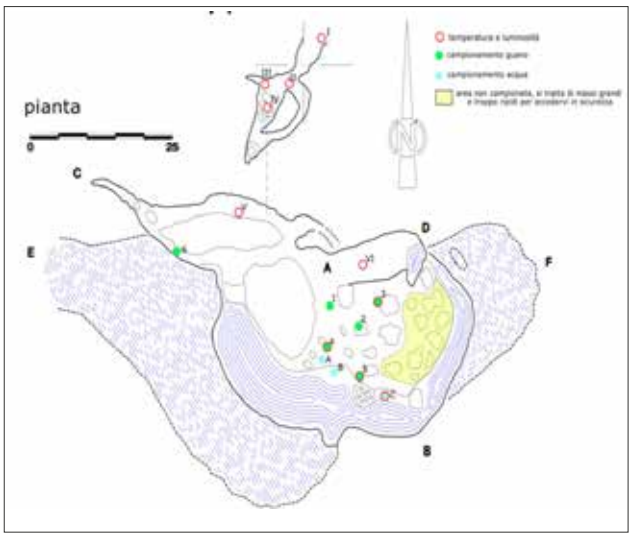


Figura 2 - Posizionamento delle stazioni di campionamento.

Risultati

Sono state identificate almeno 25 specie appartenenti a 8 diversi phyla ordinati secondo WoRMS (2022). In alcuni casi non è stato possibile arrivare alla determinazione della specie; pertanto, alcuni organismi sono rimasti indicati a livelli sistematici superiori.

Tabella 1 (nella pagina accanto, in alto) - Elenco degli organismi identificati a livello massimo possibile e loro abitudini alimentari.

Regno	Phylum	Classe	Sottoclasse	Ordine	Famiglia	Specie	Feeding	Associazione
Animalia	Arthropoda	Arachnida	Acarina				Predatori, detritivori	Guanobia
				Araneae	Nemesidae	*Nemesia* sp.	Insetti	Parietale
					Nesticidae	*Kryptonesticus eremita*	Insetti	Guanobia
					Pholcidae	*Pholcus* sp.	Insetti	Parietale
				Pseudoscorpionida	Chthoniidae	*Chthonius* sp.	Predatori	Guanobia
		Chilopoda		Scolopendromorpha	Cryptopidae	*Cryptops* sp.	Saprofago	Guanobia
				Scutigeromorpha	Scutigeridae	*Scutigera coleoptrata*	Insetti, aracnidi	Parietale
		Collembola		Entomobryomorpha	Entomobryidae	*Heteromurus nitidus*	Saprofagi, necrofagi	Guanobia
				Poduromorpha			Saprofagi, necrofagi	Guanobia
		Diplopoda		Polydesmida	Polydesmidae	*Polydesmus* cf. *troglobius*	Saprofago	Guanobia
		Insecta		Diptera	Culicidae	*Culex* cf. *pipiens*	Ematofago	Parietale
					Limoniidae	*Limonia nubecolosa*	Ematofago	Parietale
		Malacostraca		Isopoda	Philosciidae	*Chaetophiloscila cellaria*	Onnivoro	Guanobia
					Porcellionidae	*Porcellio dilatatus*	Onnivoro	Guanobia, parietale
					Trichonoscidae	*Androniscus dentiger*	Onnivoro	Guanobia
	Chordata	Mammalia		Chiroptera	Rhinolophidae	*Rhinolophus euryale*	Insetti	
						Rhinolophus ferrumequinum	Insetti	
					Vespertilionidae	*Myotis myotis vel blythii*	Insetti	
	Mollusca	Gastropoda		Stylommatophora	Oxychilidae	*Oxychilus draparnaudi*	Onnivoro	Guanobia
	Nematoda	Chromadorea		Rhabditida			Predatori	
	Rotifera	Monogonta		Ploima	Notommatidae	*Cephalodella* sp.	Onnivori	
Chromista	Cercozoa	Imbricatea		Euglíphida	Euglíphidae	*Trinema* sp.	Batterivori	
	Ciliophora	Oligohymenophorea	Hymenostomatia	Tetrahymenida	Tetrahymenidae	*Tetrahymena pyriformis*	Batterivori(filtratori)	
						Tetrahymena cf. *paravorax*	Batterivori(filtratori)	
						Unknown	Batterivori(filtratori)	
			Scuticociliatia	Pleuronamatida	Cyclidiidae	*Cyclidium* sp.	Batterivori(filtratori)	
		Prostomatea		Prorodontida	Colepidae	*Coleps* sp.	Batterivori(filtratori)	
		Spirotrichea	Stichotrichia	Stichotrichida	Amphisiellidae	*Pormphisiella caudata* like	Batterivori(filtratori)	
Protozoa	Amoebozoa	Tubulinea		Arcellinida	Cryptodifflugiidae	*Cryptodifflugia* sp.	Batterivori	

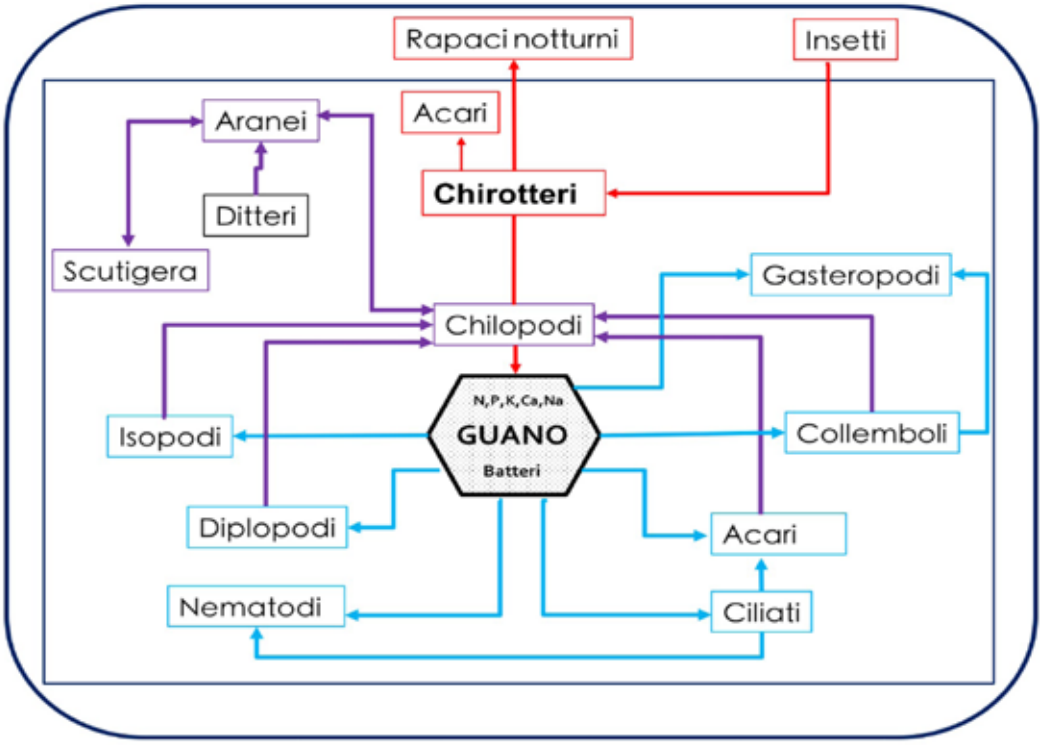


Figura 3 - Modello trofico semplificato della grotta Buca dei Ladri. Gli organismi presenti nei rettangoli azzurri traggono nutrimento direttamente dal guano, sfruttando, a seconda dei casi, i nutrienti o la materia organica in decomposizione (in cui rientrano anche i cadaveri della stessa comunità ipogea, compresi i pipistrelli) o la componente batterica. In viola i predatori. In rosso, i rapporti diretti con l'esterno.

Discussione

Sulla base di quanto osservato, sono stati ipotizzati i rapporti trofici esistenti tra i vari organismi. I rapporti trofici pensati per l'associazione guanobia della "Buca dei Ladri" sono stati organizzati in un modello trofico qualitativo che in questa fase assume solo valore locale, per il momento non esportabile in altre realtà. Per i vari gruppi tassonomici sono stati utilizzati box colorati con collegamenti vettoriali che rappresentano gli eventuali flussi energetici coinvolti (Fig. 3).

Conclusioni

I dati e le informazioni raccolte per questo studio trovano parziale riscontro in altri lavori, i quali però, per la quasi totalità, sono relativi a grotte extraeuropee. Infatti, i livelli trofici e i phyla identificati in questo studio risultano confrontabili con quanto riscontrato in studi simili, anche se ciò non risulta valido per quanto riguarda le specie (Mc Clure et al., 1967; Ferreira, 1999; Moulds 2005a, b). Infine, questo contributo, benché preliminare, può essere considerato come una prima esperienza che ha analizzato la componente degli Eucarioti unicellulari e ne ha identificato alcuni (i.e., Ciliophora, Amoebozoa, Cercozoa) in questo ambiente limite. Il modello costituisce un importante base di partenza che mira a quantizzare i rapporti trofici esistenti tramite l'interpretazione dei collegamenti vettoriali, espressione diretta dei probabili flussi energetici.

Riferimenti bibliografici

Bianucci G. (1980), "Ricerche speleologiche alla buca dei ladri", *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali*, Memorie, Serie A, 87:261-274.

Ferreira R., Parentoni Martins R. (1999), "Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves", *Tropical Zoology*, 12: 231-252.

Mammola S. (2019), "Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White", *Ecography*, 42: 1331–1351.

McClure H.E., Lim B., Winn S.E. (1967), "Fauna of the Dark Cave, Batu Caves, Kuala Lumpur", *Pacific insects*, 9 (3): 299-428.

Moulds T.A. (2005a), "Diversity and Biogeography of Subterranean Guano Arthropod Communities of the Flinders Ranges, South Australia", *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 126: 125-132.

Moulds T.A. (2005b), "Guanophilic invertebrate ecology and conservation in caves", ACKMA Conference, Westport, NZ., 1-7.

Serena F., Meluzzi C. (1997), "Species assemblages and light trend in the zoning of Tana di Casteltendine (Lucca-Italy) entrance", *Mémoires de Biospéologie*, 24: 183-190.

WoRMS Editorial Board (2022), *World Register of Marine Species*. Available from https://www.marinespecies.org at VLIZ. Accessed 2022-04-09. doi:10.14284/170

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Dati bionomici preliminari su alcune specie di *Duvalius* del Piemonte (Coleoptera, Carabidae, Trechini)

Pier Mauro Giachino ([a]), Enrico Lana ([b])

([a]) World Biodiversity Association onlus. Privato: Via della Trinità 13, I-10010 San Martino Canavese (TO), Italia, *p.maurogiachino@libero.it*
([b]) Biologia Sotterranea Piemonte - Gruppo di Ricerca. Privato: Corso Nizza 34, 12011 Borgo San Dalmazzo (CN), Italia, *enrlana@libero.it*

Parole chiave: Temperatura, umidità relativa dell'aria, metamorfosi, etologia.
Keywords: Temperature, relative air humidity, metamorphosis, ethology.

Riassunto
Vengono forniti dati microambientali, di temperatura e umidità relativa dell'aria di alcune aree piemontesi che ospitano specie diverse di *Duvalius.* Inoltre, vengono riportate informazioni sulla metamorfosi, sulle fasi di maturazione degli adulti neosfarfallati e sulla etologia di *Duvalius lanai* Casale, Giachino, 2010.

Introduzione

Il Piemonte è una regione nella quale la componente faunistica legata all'ambiente sotterraneo può dirsi ormai ben conosciuta (Lana et al., 2021). Alcuni gruppi zoologici, in particolare, sono stati ben indagati soprattutto dal punto di vista tassonomico e corologico. Fra questi occupano un posto di rilievo le specie di Coleotteri Carabidi appartenenti al genere *Duvalius* Delarouzée, 1859 oggetto, anche recentemente, di contributi inerenti la descrizione di specie nuove del Piemonte (Casale, Giachino, 2010; Casale et al., 2019; Casale et al., 2022). Se dal punto di vista tassonomico e distributivo i *Duvalius* del Piemonte possono essere considerati ben conosciuti, non altrettanto può essere detto dal punto di vista ecologico e bionomico in generale.

L'individuazione, nel corso del 2020, anno tendenzialmente caldo e siccitoso, di un microambiente sotterraneo dove alcune specie paiono numericamente più abbondanti ci ha spinto ad approfondire ulteriormente le ricerche.

Materiali e metodi

Il presente contributo trae le proprie origini da una serie di osservazioni in campo, condotte in modo più o meno occasionale e non finalizzate a priori all'ottenimento di dati quantitativi, utilizzabili statisticamente. I dati presentati devono quindi essere considerati strettamente qualitativi. In campo si è proceduto, in modo standardizzato, alla misurazione della temperatura (°C) e dell'umidità relativa dell'aria

(UR) mediante un termoigrometro digitale HD 2101.1 Delta Ohm con sonda combinata HP 472AC %RH e temperatura Pt100 posizionata nell'area di rinvenimento dei *Duvalius* in attività. La sonda veniva lasciata in sito per il tempo necessario alla completa stabilizzazione dei due parametri da misurare.
I dati relativi allo sviluppo larvale e ai tempi di maturazione degli adulti neo-sfarfallati sono stati ottenuti da esemplari allevati in frigorifero, alla temperatura di 7,5-9,0 °C, in barattoli di vetro contenenti terriccio proveniente dalla località di cattura.

Risultati

Lo spunto per la stesura di questo contributo ci è stato fornito dall'aver osservato che alcune specie di *Duvalius* (*carantii* (Sella, 1874); *pecoudi* Jeannel, 1937; *lanai* Casale & Giachino, 2010; *occitanus* Casale & Vigna Taglianti, 1993; *morisii* Vigna Taglianti & Casale, 1973; *chestai* Casale, Giachino & Lana, 2019; *meovignai* Casale, Giachino, Lana & Magrini, 2022) prediligono, nei mesi di giugno-agosto, soggiornare presso l'entrata delle cavità, ove tendono a penetrare fra gli sfasciumi di roccia misti ad argilla. In questo particolare microambiente, riconducibile a un vero Ambiente Sotterraneo Superficiale (o M.S.S. degli Autori francesi), queste specie possono essere rinvenute in quantità non in superficie ma bensì, mediante scavo, a una profondità variabile fra pochi centimetri e mezzo metro. Questo mentre, contemporaneamente, le stesse specie scarseggiano nelle parti interne della cavità. I dati di temperatura e umidità relativa dell'aria ottenuti con misurazioni effettuate in contemporanea con la cattura delle diverse specie sono riportati in Tab. 1.
Contemporaneamente, la cattura di un esemplare immaturo di *D. lanai* nella grotta della Navonera e di alcune larve della stessa specie al Pozzo Innominato ci hanno consentito, oltre che di descrivere la larva e fotografare la pupa, finora sconosciute, di questa specie, di misurare i tempi di metamorfosi e di maturazione dell'adulto e di osservarne l'etologia.

Discussione

Temperatura e umidità relativa
Come si può evincere dall'analisi della Tab. 1 i dati disponibili non sono sufficienti per l'esecuzione di analisi statistiche approfondite. In particolare, sono pressoché totalmente assenti i dati di temperatura e umidità relativa delle stazioni in assenza di esemplari. Non si nota infine, se non a grandi linee, una correlazione fra altitudine della stazione di reperimento e temperatura, con una presenza di dati di *praeferendum* apparentemente anomali rispetto alla quota.

Sviluppo
La cattura di larve ed esemplari adulti immaturi di *D. lanai* ha permesso di osservare per la prima volta le diverse fasi della metamorfosi che possono essere così riassunte:
- Larva. Un esemplare al primo stadio di sviluppo è stato raccolto al Pozzo Congiuntivite il 29/11/2019; un esemplare al secondo stadio di sviluppo è stato raccolto al Pozzo del Rospo il 29/06/2020; esemplari maturi, al terzo stadio di sviluppo, sono stati raccolti ai Pozzi di Indiana Jones il 20/06/2020 e al Pozzo Innominato il 21/07/2020. Sempre in questa stessa grotta, il 13/08/2021, è stata rinvenuta una larva irrigidita nella tipica posizione prepupale. Questa stessa larva dopo 2

Tabella 1 - Temperature e umidità relative dell'aria nelle stazioni di raccolta dei Duvalius *piemontesi*

Grotta Specie	Quota m s.l.m.	T °C	UR %
Duvalius carantii			
CAPI n.c. - Sotterranei Forte Opera 7 "Fontana Founs"	690	8,7	94,1
PI1003 - Grotta occidentale del Bandito	714	9,1	96,1
CAPI n.c. - Sotterranei Forte Opera 9 "Tetti Cialombard" Andonno	754	9,1	92,4
CAPI n.c. - Sotterranei Forte Opera 11 "Tetto Ruinas" Vernante	800	9,3	95,3
PI1153 - Grotta di Andonno	840	12,5	92,8
CAPI7084 - Cava di Valle Sofranin	880	9,7	95,6
PI1030 - Buco o "Grotta del Drai" di Pradleves	1000	9,7	95,6
PI1214 - "Barôn Litrôn" o Maissa 6	1050	6,9	95,5
PI105 - Grotta delle Camoscere	1100	9,8	98,6
PI1006 - "Buco del Dré" o Buco di Tetti Rey	1110	9,1	94,3
PI250 - Grotta delle Camoscere superiore	1140	7,7	97,5
PI175 - Tana del Bergamino	1175	9,7	94,4
PI967 - Buco B di Roccia Bianca	1508	9,7	94,8
PI286 - "Grotta dei Partigiani" della Tura	1757	7,6	97,2
PI1120 - Buco di Varirosa	2195	5,5	95,9
MEDIA		**8,94 ±1,5883**	**95,34 ±1,6625**
Duvalius lanai			
n.c. - Pozzo della Cisa o "Antro di Morgul"	870	9,1	96
PI201 - Pozzo della Rivoera o "Pozzo Congiuntivite"	1015	12,1	98,5
PI3015 - Grotta o "Pozzo del Rospo"	1027	12,1	97,3
n.c. - Pozzo "Innominato"	1070	9,4	98
PI893 - Pozzi di Indiana Jones	1390	3,7	95
PI894 - Grotta della Navonera	1430	6,4	94
MEDIA		**8,80 ±3,2863**	**96,47 ±1,7682**
Duvalius chestai			
PI599 - Grotta Oggeri	720	10,7	96
Duvalius meovignai			
PI3173 - Grotta "Ribes"	1528	5,1	96,3
Duvalius morisii			
PI884 - Grotta di Rio dei Corvi (base 2° pozzo -30 m)	800	10	92,4
PI115 - Tana delle Turbiglie	983	5,6	95,1
Duvalius pecoudi			
CAPI7055 - "Buco di Napoleone"	1475	9,9	94,1
PI1132 - G-6 di Costa Lausea	1525	8,6	97
PI1131 - G-5 di Costa Lausea	1530	8,5	96,8
PI1130 - G-4 di Costa Lausea	1535	8	96,4
PI1233 - "Grotta dei Vecchietti" o G-7 di Costa Lausea	1540	10	96,4
Duvalius occitanus			
PI1056 - Grotta della Chiesa di Valloriate	770	11	95,6
PI1346 - Pozzo "L'Angiulin"	920	8,8	96,9
CAPI n.c. - Sotterranei Forte Opera 9 "Colle di Valloriate"	1274	11,2	96,3
n.c. - Barma del Duvalius o del Sorbo	1985	10,1	95,7
Duvalius vaccae			
Grotta della "Besta" (Tende, France)	910	8,8	95
PI3416 - Inghiottitoio fossile del Rio "La Mastra"	1460	6,1	95,7
Duvalius gentilei			
PI494 - Grotta della "Visitazione"	743	8	96,7
PI939 - Grotta del "Cinghiale"	1040	9,6	96

giorni (il 15/8/2021) si era trasformata in pupa. Da questa pupa, il 1/10/2021 è sfarfallato un adulto che è stato seguito nelle fasi di maturazione fino al 9/11/2021, quando un *blackout* elettrico ne ha provocato la morte. L'osservazione delle prime fasi di maturazione di questo adulto ci ha permesso, per comparazione del grado di maturità basato sul colore, di datare l'età dell'esemplare immaturo catturato alla Grotta della Navonera (stimata in circa 10 giorni) e tenuto in cattività per circa un anno. Questo ci consente di stimare in circa 8 mesi il tempo necessario per la maturazione completa di un esemplare appena sfarfallato.

Etologia

L'allevamento in cattività di *D. lanai* ci ha permesso di osservarne il comportamento alimentare, predatorio in particolare ai danni di Isopoda (*Trichoniscus voltai* e *Buddelundiella zimmeri*), ma anche caratterizzato da alcuni aspetti al momento poco comprensibili. Diverse volte abbiamo, infatti, osservato gli esemplari immaturi masticare lungamente grumi di argilla molto umida presenti sulle pareti del contenitore di allevamento. Non è chiaro se questo comportamento sia da ritenersi alimentare o se serva invece a idratarsi.

Conclusioni

I dati forniti portano ulteriori conoscenze sulla bionomia di alcune specie di *Duvalius* del Piemonte, ma devono essere considerati come assolutamente preliminari, necessitando di ulteriori approfondimenti in un ambito che lascia ancora ampi spazi di indagine.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare Michelangelo (Mike) Chesta ci ha accompagnato in molte delle escursioni che hanno portato dati a questo contributo. Un ringraziamento particolare a Gianni Allegro e Achille Casale per gli utili suggerimenti al testo originale.

Riferimenti bibliografici

Casale A., Giachino P.M. (2010), "Due nuovi Coleotteri ipogei delle Alpi occidentali: *Duvalius* (*Duvalius*) *lanai* n. sp. (Carabidae: Trechini) e *Archeoboldoria sturanii* n. sp. (Cholevidae: Leptodirinae) (Coleoptera)", *Rivista piemontese di Storia naturale*, 31: 213-240.

Casale A., Giachino P.M., Lana E. (2019), "Note sul genere *Duvalius* nelle Alpi occidentali e nell'Appennino Ligure, con descrizione di due nuovi taxa ipogei del Piemonte: *Duvalius* (*Duvalius*) *chestai* n. sp. e *Duvalius* (*Duvalius*) *gestroi cristianae* n. ssp. (Coleoptera, Carabidae: Trechini)", *Rivista piemontese di Storia naturale*, 40: 317-353.

Casale A., Giachino P. M., Lana E., Magrini P. (2022), "Note su alcune specie di *Duvalius* Delarouzée delle Alpi occidentali, con descrizione di *D.* (*Duvalius*) *meovignai* n. sp., nuovi dati corologici su *D. lanai* Casale & Giachino, e rivalutazione specifica di *D. waillyi* Giordan & Raffaldi (Coleoptera, Carabidae: Trechini)", *Rivista piemontese di Storia naturale*, 43: 99-116.

Lana E., Giachino P.M., Casale A. (2021), *Fauna Hypogaea Pedemontana. Grotte e ambienti sotterranei del Piemonte e della Valle d'Aosta*, WBA Monographs 6, WBA Project Ed., Verona, 1044 pp.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Prime indagini biospeleologiche nella Shpella Shtares, Vrana e Madhe (Alpi albanesi)

Maria Grazia Mastronardi ([a]), Vito Alessio Lacirignola ([a]), Marianna Pastore ([a]), Achille Casale ([b]), Pier Mauro Giachino ([c])

([a]) Gruppo Speleologico Martinese, *gsmartinese@gmail.com*
([b]) Università degli Studi di Sassari (Zoologia)
([c]) World Biodiversity Association onlus

Parole chiave: biospeleologia; campionamento; esplorazione; Albania
Keywords: biospeleology; sampling; exploration; Albania

Riassunto
Ad agosto 2019 si è svolta la terza spedizione speleologica nella località di Vrana e Madhe, nel Parco naturale regionale Nikaj Mërtur, nell'Albania settentrionale. La spedizione si è svolta per proseguire le esplorazioni speleologiche, in particolare nella *shpella* (grotta) Shtares. La grotta si è rivelata di grande interesse speleologico, ma altrettanto dal punto di vista della diversità di invertebrati terrestri con adattamenti alla vita sotterranea. Sono state svolte indagini biospeleologiche nella cavità, per disporre di un quadro conoscitivo più ampio sulla biologia ipogea delle grotte in quest'area di Albania. In particolare, sono in fase di descrizione tre specie di Coleoptera Leiodidae Leptodirini: due specie nuove appartenenti ai generi *Kircheria* e *Anthroherpon*, e un genere completamente nuovo. Inoltre, sono stati riconosciuti tre gruppi ipogei (tricotteri, ditteri e chirotteri), e altri sono ipogei altamente specializzati (coleotteri e aracnidi).

Introduzione

Nel 2017 il Gruppo Speleologico Martinese (GSM) in collaborazione con il Gruppo Speleologico Bolognese (GSB – USB), l'Associazione di esplorazioni geografiche La Venta e il Gruppo Speleologico Faentino ha iniziato l'esplorazione di una nuova grotta nelle Alpi albanesi, la Shpella Shtares. La grotta si apre a 1500 m s.l.m., ai piedi del monte Shtrezes che borda un anfiteatro glacio-carsico nella località di Vrana e Madhe (Parco naturale regionale Nikaj Mërtur, Albania settentrionale). La grotta si è rivelata di grande interesse speleologico, sia per le sue morfologie che per la sua estensione, attualmente si estende per 4,6 km su un dislivello totale di 129 m (Pastore et al., 2019). Nel 2018 a circa 2 km dall'ingresso principale della cavità furono osservati diversi coleotteri muoversi sulle pareti della grotta.

Per disporre quindi di un quadro conoscitivo più ampio sulla biologia ipogea delle grotte in quest'area di Albania, ad agosto 2019, durante la terza spedizione del GSM alla Shtares,

assieme al progredire delle esplorazioni sono stati previsti i campionamenti della fauna ipogea.

Materiali e metodi

La Shpella Shtares si apre con un ampio ingresso sub orizzontale alla base della parete rocciosa e ha un forte flusso di aria fredda in uscita (23 m/s il 25/08/2019). La temperatura rilevata nei punti di campionamento, è risultata compresa tra i 3,2 e i 4°C.

I campionamenti in grotta sono stati effettuati principalmente in tre giorni, il 20-23-27 agosto 2019 e sono avvenuti a vista. I campioni prelevati sono stati contrassegnati con codice progressivo C (C1, C2, etc.) (Fig. 1, Tab. 2). Gli esemplari raccolti sono stati conservati in apposite provette in alcol assoluto, per consentire estrazioni di DNA. Per ognuno è stato annotato data, luogo di cattura e comportamenti osservati sul posto.

Risultati e discussione

Gli pseudoscorpioni (C11-C12) sono stati identificati come *Neobisium (Blothrus)* cf *latellai* Gardini, 2018, un maschio e i resti di una femmina, probabilmente predata da un ragno. *N. latellai* è stato descritto di una grotta distante 16 km dalla Shpella Shtares ma gli esemplari in esame presentano adattamenti alla vita sotterranea leggermente meno evidenti di *latellai* anche se le due popolazioni sono decisamente affini (Gardini, 2018).

I due esemplari di ragni raccolti (C3-C8) risultano essere 1 maschio e 1 *juvenile* di *Troglohyphantes pretneri* Deeleman-Reinhold, 1978, una specie endemica dei Balcani della famiglia dei Linyphiidae. Per questa specie le uniche segnalazioni sono in Montenegro (Deeleman-Reinhold, 1978) e Albania, Distretto di Shkodër (Deltshev et al., 2011).

Per quanto riguarda i tricotteri si tratta di due maschi di *Micropterna wageneri* Malicky, 1971 della famiglia Limnephilidae, una specie considerata trans-adriatica descritta dell'Appennino settentrionale e segnalata anche nella Croazia meridionale anche se gli esemplari dei Balcani potrebbero in realtà riferirsi ad una nuova specie non ancora descritta (Kučinić et al., 2017).

Le tre specie nuove di Coleotteri Leiodidae (C2-C14-C15-C16, Fig.4) presentano affinità nei confronti di taxa già conosciuti di altre aree della Penisola Balcanica (Giachino et al., 2016; Pavićević, Perreau, 2008; Giachino, Vailati, 2006) ma sono localizzati in un settore isolato e ben differenziato, dove potrebbero essere reperite ulteriori specie nuove per la scienza.

Gli acari, i ditteri e gli anellidi (Fig. 3) non sono stati identificati per difficoltà

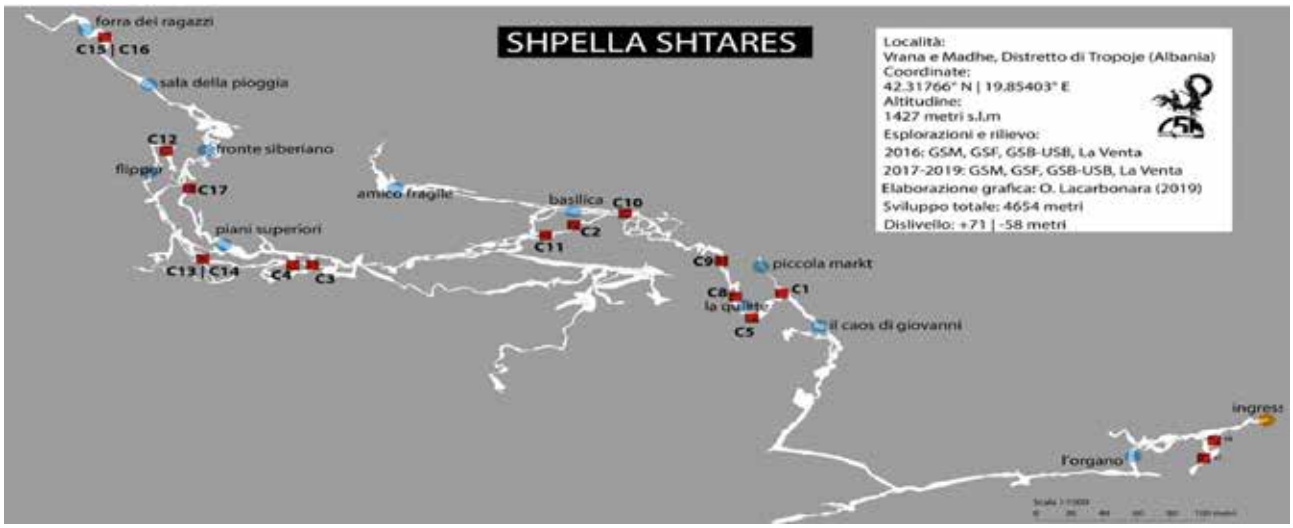


Figura 1 – Rilievo della shpella Shtares con riportati i punti di campionamento.

ID	Esemplare	Identificazione	Data
C4	Anellide	Non identificato	20/08/2019
C13	Anellide	Non identificato	23/08/2019
C1	Acaro	Non identificato	20/08/2019
C5	Acaro	Non identificato	20/08/2019
C9	Acaro	Non identificato	23/08/2019
C11	Pseudoscorpione	*Neobisium (Blothrus)* cf *latellai* Gardini, 2018	23/08/2019
C12	Pseudoscorpione	*Neobisium (Blothrus)* cf *latellai* Gardini, 2018	23/08/2019
C3	Ragno Linyphiidae	*Troglohyphantes pretneri* Deeleman-Reinhold, 1978	20/08/2019
C8	Ragno Linyphiidae	*Troglohyphantes pretneri* Deeleman-Reinhold, 1978	23/08/2019
C6	Tricottero Limnephilidae	*Micropterna wageneri* Malicky, 1971	21/08/2019
C7	Tricottero Limnephilidae	*Micropterna wageneri* Malicky, 1971	23/08/2019
C10	Dittero	Non identificato	23/08/2019
C17	Dittero	Non identificato	27/08/2019
C2	Coleottero Leiodidae	*Kircheria* sp.	20/08/2019
C14	Coleottero Leiodidae	*Anthroherpon* sp.	23/08/2019
C15	Coleottero Leiodidae	*Kircheria* sp.	23/08/2019
C16	Coleottero Leiodidae	Genere e specie nuovi	23/08/2019

Tabella 1: Campioni prelevati

Figura 3 (sinistra) - Anellide osservato sulle pareti rocciose interne (Foto N. Damiano)
Figura 4 (destra) - Esemplare di Kircheria *sp. su velo d'acqua (Foto F. Semeraro).*

riscontrate nel contattare gli specialisti di settore.

Conclusioni

I risultati dei campionamenti si sono rivelati di grande interesse per le specie animali altamente specializzate che sono state rinvenute. Tutte gli esemplari osservati, eccezion fatta per tricotteri e ragni, sono stati campionati in ambienti ricchi di acqua. La rete trofica all'interno della grotta vede tra i produttori primari i microrganismi (batteri e funghi), seguiti da una catena di detritivori o filtratori (coleotteri e lombrichi) e una catena di predatori (ragni e pseudoscorpioni).

Questo studio preliminare ha permes-

so il campionamento e l'identificazione di una parte della fauna ipogea nella shpella Shtares. La comunità rinvenuta, in particolare quella dei coleotteri, risulta essere diversa rispetto a quella di altri studi condotti in altre cavità dell'area balcanica. A tal proposito un articolo riguardante le nuove specie sarà pubblicato a breve. Ciò dimostra la necessità di un'indagine più approfondita in modo da ottenere una checklist delle specie presenti in questa grotta. Prolungare il periodo di studio potrebbe permettere un maggiore successo nelle catture, anche con l'applicazione di alcune esche. Questo renderebbe possibile una migliore conoscenza della comunità presente nella Shpella Shtares e della sua ecologia.

Ringraziamenti

Sinceri ringraziamenti vanno ai soci del Gruppo Speleologico Martinese e ai gruppi che hanno preso parte alla spedizione, che con competenza, passione, supporto tecnico e logistico hanno reso possibile questo lavoro. Si ringraziano il Dr. Ignacio Ribera† dell'Istituto di Biologia Evolutiva di Barcellona per il sequenziamento del DNA dei coleotteri, il Dr. P. Pantini e Dr. M. Valle per l'identificazione degli Aracnidi e dei Tricotteri, il Dr. G. Gardini per la determinazione degli pseudoscorpioni. Un ringraziamento speciale va alla comunità albanese per l'ospitalità e il supporto, e al Dr. Perikli Qirjazi.

Riferimenti bibliografici

Deeleman-Reinhold C.L. (1978), "Revision of the cave-dwelling and related spiders of the genus *Troglohyphantes* Joseph (Linyphiidae), with special reference to the Yugoslav species", *Slovenska Akademija Znanosti in Umetnosti, Razred za Prirodoslovne Vede, Classis IV, Historia Naturalis* (Prirod. Vede) 23: 1-220.

Deltshev C., Vrenozi B., Blagoev G., Lazarov S. (2011), "Spiders of Albania – faunistic and zoogeographical review (Arachnida: Araneae)", *Acta Zoologica Bulgarica*, 63(2): 125-144.

Gardini G. (2018), "Subterranean *Neobisium* (Pseudoscorpiones: Neobisiidae) from Albania", *Revue suisse de Zoologie*, 125(1): 189-200.

Giachino P. M., Vailati D., Casale A. (2016), "Revision of the genus *Albanodirus* Giachino & Vailati, 1998, with description of two new species from Northern Albania (Coleoptera, Cholevidae, Leptodirini)", *Entomologische Blätter und Coleoptera*, Ent. Bl. Col. 112 (1): 137-148.

Giachino P. M., Vailati D. (2006), "*Kircheria beroni*, a new genus and new species of subterranean hygropetricolous Leptodirinae from Albania (Coleoptera, Cholevidae)", *Subterranean Biology*, 4: 103-116.

Kučinić M., Ćukušić A., Žalac S., Podnar M., Kambarovich Akhmetov K., Akimbekova N., Moldazhanovna Zhumadina S., Vučković I. (2017), "First DNA barcoding and new records of the Mediterranean caddisfly species *Micropterna wageneri* Mal. (Trichoptera, Limnephilidae) in Croatia with note on DNA barcoding and diversity of genus Micropterna in Croatia", *Natura Croatica*, 26 (1), 81–98

Pavićević D., Perreau M. (a cura di) (2008), "Advances in the studies of the fauna of the Balkan Peninsula", *Institute for Nature Conservation of Serbia*, Monograph 22, 564.

Pastore C., Pastore M., Marraffa M., Marraffa A., Romano R., Crespo S., Fabbri I., Santagata T. (2019), "Tra le (R) Rughe albanesi. Racconti di esplorazioni condivise", *Speleologia*, 81: 27-32.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Biospeleology of the Ligurian marine caves: a synthesis of current knowledge

Monica Montefalcone ([a,*]), Annalisa Azzola ([a]), Carlo Nike Bianchi ([a]), Carla Morri ([a]), Alice Oprandi ([a])

([a]) Università di Genova, DiSTAV (Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita), Genova, Italia, *monica.montefalcone@unige.it*

Parole chiave: Grotte marine; informazione biologica; specie protette; Mar Ligure
Keywords: Marine caves; biological information; protected species; Ligurian Sea

Abstract
Marine caves are priority coastal habitats according to EU Directives. This contribution reviews the existing knowledge on biological information of marine caves in Liguria, an administrative region of NW Italy. While data about the geological, morphological, and topographical aspects are available for 77 Ligurian caves, gaps of knowledge about their biotic communities still occur as it is available only for 13 caves (17%). Floro-faunistic lists of the most frequent species can be found for only 5 caves (6%), and for 3 of them historical series of data are also available. Many species protected under European directives occur in Ligurian marine caves, thus highlighting the need to properly manage and conserve these unique habitats.

Riassunto
Le grotte marine sono habitat costieri prioritari secondo le Direttive dell'UE. Questo contributo riassume le conoscenze biologiche esistenti sulle grotte marine della Liguria, una regione amministrativa dell'Italia nordoccidentale. Mentre informazioni sugli aspetti geologici, morfologici e topografici sono disponibili per 77 grotte liguri, vi sono ancora lacune nelle conoscenze delle comunità biotiche associate, poiché tale informazione è disponibile solo per 13 grotte (17%). Elenchi floro-faunistici delle specie più frequenti sono disponibili solo per 5 grotte (6%), e per 3 di queste grotte sono inoltre disponibili serie storiche di dati. Molte specie protette dalle direttive europee si ritrovano nelle grotte marine liguri, evidenziando così la necessità di gestire e conservare adeguatamente questi habitat unici.

Introduction

Submerged marine caves are priority habitats according to EU Directives (Pergent et al., 2015). Notwithstanding the growing scientific interest for these unique habitats, complete and updated information about their biota is seldom available. This contribution aims to provide a synthesis of the current knowledge of the biodiversity of marine caves in Liguria, an administrative region of NW Italy, collected from regional archives, grey literature, scientific publications, and records by divers.

About 77 marine caves are known to exist along the Ligurian coast, whose information on geological, morphological, and topographical aspects has been recently implemented on a GIS platform (Canessa et al., 2014). Among them, 21 caves are located in the Western Ligurian Riviera and 56 in the Eastern Riviera; only 20 marine caves exhibit a significant submerged portion, some reaching a maximum depth of 40 m, while 51 caves are semi-submerged and 6 are undefined due to lack of information. There are, however, gaps of knowledge about their biodiversity for almost all cavities (Bianchi, Morri, 1994). A description, sometimes rough, of the biological communities inhabiting Ligurian caves is available for only 13 caves (17%): Grotta Grande di Marina dé La Rocca, Grotta Piccola di Marina dé La Rocca, Grotta di Punta Falconara, Grotta delle Sirene, Grotta Marina di Bergeggi, Grotta dei Gamberi, Grotta della Colombara (or Grotta Tortonese), Grotta dell'Armato, Grotta Marcante, Grotta del Presepe, Grotta del Castello di Paraggi, Grotta Perora, and Grotta del Tinetto (Fig. 1).

Floro-faunistic checklists of the most frequent species are available for only 5 Ligurian caves (6%): functional and structural aspects of the benthic communities have been investigated in Grotta Grande and Grotta Piccola

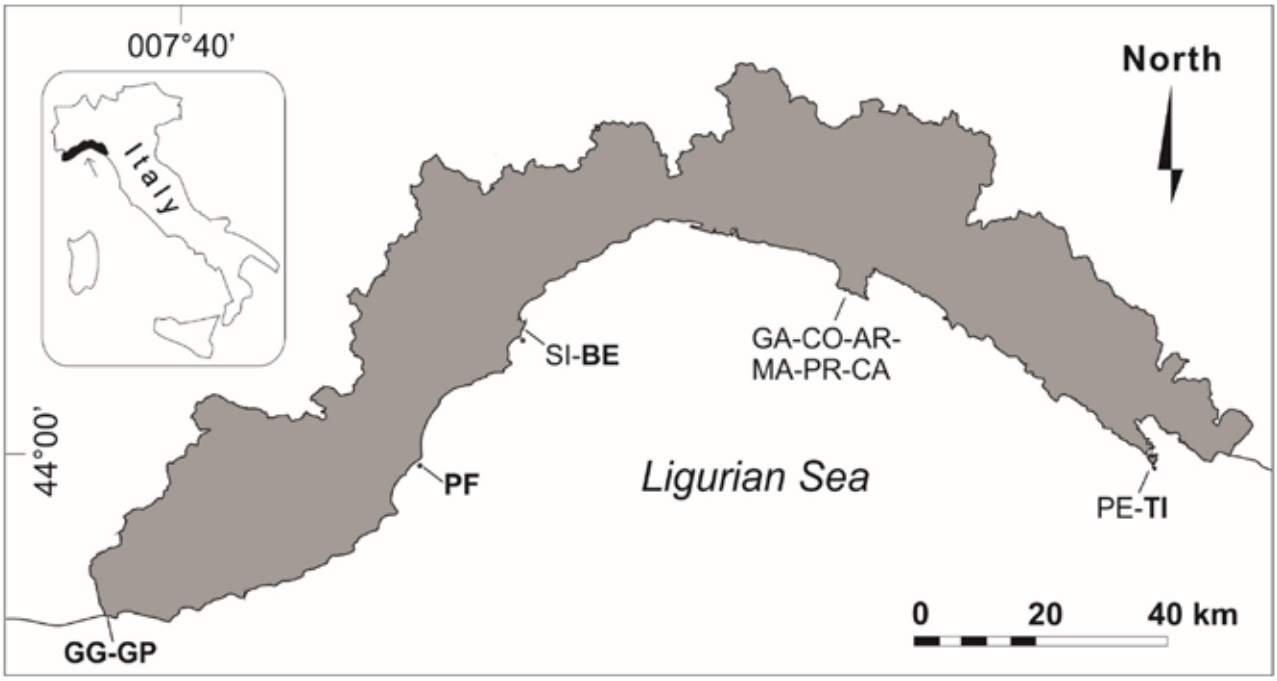


Figure 1 - 13 marine caves in Liguria where biological information is available. GG=Grotta Grande di Marina dé La Rocca, GP=Grotta Piccola di Marina dé La Rocca, PF=Grotta di Punta Falconara, SI=Grotta delle Sirene, BE=Grotta Marina di Bergeggi, GA=Grotta dei Gamberi, CO=Grotta della Colombara (or Grotta Tortonese), AR=Grotta dell'Armato, MA=Grotta Marcante, PR=Grotta del Presepe, CA=Grotta del Castello di Paraggi, PE=Grotta Perora, and TI=Grotta del Tinetto. The 5 caves with floro-faunistic checklists are in bold.

Species	EU legislations
Aplysina cavernicola	BE, ASPIM
Corallium rubrum	BE, ASPIM, HD
Homarus gammarus	BE, ASPIM
Lithophaga lithophaga	BE, ASPIM, HD
Luria lurida	BE, ASPIM
Palinurus elephas	BE, ASPIM
Paracentrotus lividus	BE, ASPIM
Petrobiona massiliana	BE, ASPIM
Sciaena umbra	BE, ASPIM
Scyllarides latus	BE, ASPIM, HD
Scyllarus arctus	BE, ASPIM
Spongia lamella	BE, ASPIM
Spongia officinalis	BE, ASPIM

Table 1 - Main protected species by European legislations (BE=Berna Convention, ASPIM=Barcelona Convention, HD=Habitat Directive) that have been found in the Ligurian marine caves.

di Marina dé La Rocca (Nepote et al., 2017); Grotta di Punta Falconara has a detailed list of the scleractinian species (Morri, Pessani, 2003); Grotta Marina di Bergeggi counts the highest numbers of bibliographic references and has the richest and the most complete list (Bianchi et al., 1988; Sgorbini et al., 1988; Morri et al., 1994; Parravicini et al., 2010; Montefalcone et al., 2018), with a detail on decapods (Bianchi et al., 2022); and Grotta del Tinetto benefits of information on environmental gradients and on the zonation of the main benthic taxa (Ugolini et al., 2003) (Fig. 1). For only 3 caves historical series of quantitative data (substratum cover from wire-frame photographs) on the sessile communities exist: Grotta Grande di Marina dé La Rocca and Grotta Piccola di Marina dé La Rocca since 2010, and Grotta Marina di Bergeggi since 1986 (Fig. 1). These series allowed evaluating change due to seawater warming and to the impact caused by the construction of coastal infrastructures (e.g., touristic and commercial harbours).

A not exhaustive list of the most frequent species protected by European legislations observed within Ligurian marine caves is provided in Table 1, according to the ASPIM Annex II and III of the Barcelona Convention, to the Appendix 2 and 3 of the Berna Convention, and to the Annex II and IV and of the Habitat Directive. Based on the data retrieved from literature, Ligurian marine caves host 14 protected species.

The Ligurian Region has a record of excellence in the actions undertaken to protect its priority coastal habitats, e.g., *Posidonia oceanica* seagrass meadows and coralligenous reefs, whereas marine caves have not received yet the adequate attention. Investigations to fill the gaps in the biological information will be indispensable to assess the ecological status of marine caves in Liguria and to enforce protection measures. Surveys should be planned in those caves where no data are available, which represent 83% of the total marine caves described in Liguria, and regular monitoring activities should be carried out in those caves where historical information is available to obtain data series that will highlight change in the cave ecosystem following global and local impacts.

References

Bianchi C.N., Cevasco M.G., Diviacco G., Morri C. (1986), "Primi risultati di una ricerca ecologica sulla grotta marina di Bergeggi (Savona)", *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*, 52 suppl.: 267-293.

Bianchi C.N., Gerovasileiou V., Morri C., Froglia C. (2022), "Distribution and ecology of crustacean decapods in Mediterranean marine caves: a review", *Diversity*, 14(3): 176.

Bianchi C.N., Morri C. (1994), "Studio bionomico comparativo di alcune grotte marine sommerse: definizione di una

scala di confinamento", *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, serie II, 6: 107-123.

Canessa M., Montefalcone M., Canovas Molina A., Coppo S., Diviacco G., Bavestrello G., Morri C., Bianchi C.N. (2014), "Submerged marine caves of Liguria: updating the knowledge", in Langar H., Bouafif C., Ouerghi A. (a cura di), *Proceedings of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of dark habitats*, UNEP/MAP–RAC/SPA, Tunis, 27-32.

Morri C., Bianchi C.N., Degl'innocenti F., Diviacco G., Forti S., Maccarone M., Niccolai I., Sgorbini I., Tucci S. (1994), "Gradienti fisico-chimici e ricoprimento biologico nella Grotta Marina di Bergeggi (Mar Ligure)". *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, 6(2): 85-94.

Morri C., Pessani D. (2003), "Madreporari", in Cicogna F., Bianchi C.N., Ferrari G., Forti P. (a cura di), *Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma, 163-168.

Nepote E., Bianchi C.N., Morri C., Ferrari M., Montefalcone M. (2017), "Impact of a harbour construction on the benthic community of two shallow marine caves", *Marine Pollution Bulletin*, 114 (1): 35-45.

Parravicini V., Guidetti P., Morri C., Montefalcone M., Donato M., Bianchi C.N. (2010), "Consequences of sea water temperature anomalies on a Mediterranean submarine cave ecosystem". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86 (2): 276-282.

Pergent G., Aguilar R., Ballesteros E., Bazairi H., Bianchi C.N., Bitar G., Borg J., Chevaldonne P., Daniel B., Gerovasileiou V., Harmelin J.G. (2015), "*Action Plan for the conservation of habitats and species associated with seamounts, underwater caves and canyons, aphotic hard beds and chemo-synthetic phenomena in the Mediterranean Sea*". Dark Habitats Action Plan: 40 pp.

Sgorbini S., Bianchi C.N., Degl'innocenti F., Diviacco G., Forti S., Morri C., Niccolai I. (1988), "Méthodologie d'une étude hydrobiologique dans la grotte marine de Bergeggi (mer Ligure)". *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 31 (2): 119.

Ugolini U., Ferdeghini F., Sara G., Morri C., Bianchi C.N. (2003), "Indagine ecologica sulla grotta sottomarina dell'Isola del Tinetto (Golfo di La Spezia, Mar Ligure orientale): dati preliminari". *Biologia Marina Mediterranea*, 10 (2): 48-57.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Niche segregation in *Meta* spiders (Araneae, Tetragnathidae) on Mount Etna (Sicily, Italy)

Giuseppe Nicolosi ([a]), Elena Piano ([b]), Marco Isaia ([c])

([a]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123, Torino, *giuseppe.nicolosi@unito.it*
([b]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123, Torino, *elena.piano@unito.it*
([c]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123, Torino, *marco.isaia@unito.it*

Parole chiave: ragni sotterranei; gradienti altitudinali; conservazione; grotte laviche; riscaldamento globale.
Keywords: cave-dwelling spider; ecological niche; lava caves; global warming

Abstract
The genus *Meta* (Araneae: Tetragnathidae) includes two of the most widespread inhabitants of the twilight zone of hypogean sites across Europe: *Meta menardi* (Latreille) and *M. bourneti* Simon. Both species show broad distribution ranges, which can be explained in light of their life cycle, encompassing an epigean dispersive and a sedentary hypogean phase. Recent observations pointed out the presence of both species in volcanic caves of Mount Etna (Sicily), with *M. menardi* occurring in a small number of sites at higher elevations, where *M. bourneti* is absent. On the basis of the field investigations conducted in 2020-2021, we analyzed the ecological drivers of niche segregation of the two species along an altitudinal gradient ranging from sea level to 2,300 m a.s.l. Results underline a dominant effect of temperature variation in determining the exclusive segregation of the two species along the examined gradient. Despite having an important role for both species, other factors such as the age of the lava in which the cave develops and habitat type outside the cave do not have a differential influence on the species choice. Due to the ongoing increase of global temperatures, the observed segregation pattern of the two species will likely be significantly altered, with possible detrimental effects on the survival of *M. menardi* in this area.

Riassunto
Il genere *Meta* (Araneae: Tetragnathidae) comprende due specie tipiche della zona crepuscolare della maggior parte dei siti ipogei del continente europeo:

Meta menardi (Latreille) e *Meta bourneti* Simon. Entrambe le specie mostrano areali di distribuzione molto ampi dovuti alle peculiari caratteristiche del loro ciclo vitale, che comprende una fase dispersiva epigea e una sedentaria ipogea. Recenti osservazioni in grotte vulcaniche dell'Etna (Sicilia) hanno evidenziato la presenza di entrambe le specie, con *M. menardi* presente in un numero limitato di grotte a quote elevate in cui *M. bourneti* è assente. Sulla base di indagini di campo condotte negli anni 2020-2021, abbiamo analizzato la segregazione della nicchia ecologica delle due specie lungo un gradiente altimetrico compreso tra 0 e 2,300 m s.l.m. I risultati mostrano un effetto significativo della temperatura sulla segregazione esclusiva delle due specie lungo il gradiente altimetrico. Sebbene rappresentino fattori determinanti nel permettere la colonizzazione di una grotta da parte di entrambe le specie, l'età del substrato lavico e l'habitat esterno della grotta non sembrano avere un effetto diverso per le due specie, che invece segregano unicamente sulla base della temperatura. Nell'attuale scenario di riscaldamento globale appare probabile che le due specie possano facilmente entrare in contatto, a discapito della sopravvivenza delle già esigue popolazioni di *M. menardi* in quest'area.

Introduction

Subterranean ecosystems —and the species living therein— are considered extremely stable (Poulson, White, 1969) and often show pronounced sensitivity to small environmental changes (Mammola et al., 2019). In view of their sensitivity and their poor dispersal capacity, most specialized subterranean species with a high degree of adaptation to the subterranean life may not be able to physiologically adapt to climate change or to shift their distributional range. In consequence of that, these organisms have been regarded as vulnerable to extinction (Mammola, Isaia, 2018). Conversely, cave-dwelling invertebrates with poor subterranean adaptations have retained the ability to disperse effectively outside the caves in some phases of their development. This is well-exemplified by the troglophile cave-dwelling spiders *Meta menardi* (Latreille) and *M. bourneti* Simon (Araneae: Tetragnathidae), ubiquitous inhabitants of the twilight zone of most hypogean sites across Europe. These species show broad ranges of distribution compared to most specialized subterranean spiders which can be explained in the light of their life cycle (Mammola, Isaia, 2014). Although the ecological requirements of *M. menardi* and *M. bourneti* are very similar, it has been demonstrated that when microclimatic conditions in a cave are favorable for *M. menardi* —narrow ranges of low temperature and high humidity— *M. bourneti* is excluded by conditional differentiation of the niche (Mammola, Isaia, 2014). On the contrary, a possible increase in temperature can instead favor the expansion of *M. bourneti* (Mammola, Isaia, 2017).

Recent observations in Sicily in the Etna volcanic caves pointed out the presence of both species on the island, with *M. menardi* being present in a limited number of caves at higher altitudes. In order to fill the gaps of knowledge on the species local distribution and on the ecological patterns behind niche segregation of the two species, field investigations were conducted over one year on Mount Etna.

Materials and methods

The field activities were set up in the Etna Regional Park. The distribution of *M. bourneti* in Sicily is well documented

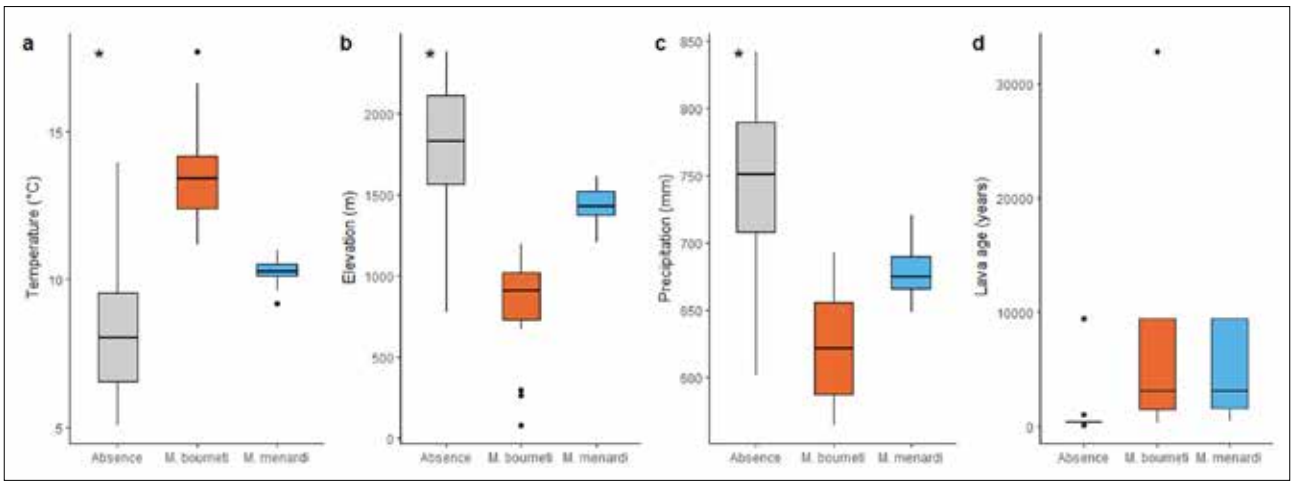


*Figure 1 – Boxplots representing species preferences in term of temperature (a), elevation (b), amount of precipitation (c) and lava age (d) in volcanic caves on Mount Etna. Asterisks indicate statistical significance of difference using one-way ANOVA statistic test with ***-p < 0.05.*

(e.g., Caruso, 1995), whereas Mount Etna represents the only known record of *M. menardi* in Sicily (Nicolosi et al., 2021). In this work, we selected forty caves and other subterranean habitats on both the Northern and Southern slope of the volcano. The presence of the species at each site was verified through visual census. Sampling activities were performed twice to cover a full year of monitoring, starting from December 2020 until December 2021. Bioclimatic factors were obtained from WorldClim 2.1 (https://www.worldclim.org/; Fick, Hijmans, 2017), which are derived from climate data averaged across the years 1970-2000. Bioclimatic factors represent 'biologically meaningful climatic variables', which reflects a more realistic relationship with species-specific physiological constrains than simple monthly averages (Hijmans et al., 2005). Analogous data layers at the same spatial resolution were obtained for land use from "Sistema Informativo Territoriale Regionale" of Regione Sicilia (https://www.sitr.regione.sicilia.it/). The age of the lava, roughly corresponding to the age of the opening of the cave, was obtained from the Etna Geological map (Branca et al., 2011). Data on the distribution and environmental preference of the two species were elaborated with one-way ANOVA in R environment (R Core Team, 2021).

Results and discussion

Our field activities led to the discovery of several new occurrences of both species on the Etna volcano. Results demonstrate a significant effect of altitude (N = 40, P <0.001, F = 28.96) and temperature (N = 40, P <0.001, F = 26.91) on the separation of the two species, with sites of co-occurrence. Accordingly, *M. menardi* colonizes caves approximately above 1,200 meters a.s.l. (mean±SD = 1,430±110 m) while *M. bourneti* generally occurs at lower altitude (800±330 m) (Fig. 1). None of the species occurred over 1,600 meters.

When considering cave temperature, *M. menardi* preferred colder sites (mean±SD = 10.1±0.7°C) and higher precipitation (680±22 mm) compared to *M. bourneti,* being present in sites with higher temperature (13.7±1.9°C) and lower precipitations (614±34 mm). Sites not colonized by *Meta* spiders were generally colder than 8.0°C and characterized by higher precipitations

(748±68 mm). Difference on average precipitation was statistically-significant (N = 40, P <0.001, F = 23.05). Both species seems to colonize caves formed by old lava terrain (over 1,000 years). These generally correspond to caves located in areas with a very well-developed vegetation, such as woods or shrubs. Difference on average age was statistically-significant (N = 40, P <0.001, F = 3.34) although a Tukey post-hoc test revealed a non-significant difference between *M. menardi* and *M. bourneti* (p > 0.05).

Although they share similar ecological requirements, our results demonstrate a significant effect of the microclimate on the segregation of the two species, with *M. menardi* being able to exclude *M. bourneti* from caves at lower temperature and higher altitude.

In light of the recent global warming dynamics, a possible increase in temperature could favor the upshift of *M. bourneti* on Mount Etna, determining on one hand a possible interaction —of unknown outcome— of the two species and, on the other hand, a possible upshift of *M. menardi* towards upper areas subjected to high volcanic risk. As a consequence, the relict Sicilian population of *M. menardi* is likely destined to be replaced by *M. bourneti*, causing its local extinction in Sicily.

References

Branca S., Coltelli M., Groppelli G., Lentini F. (2011), "Geological map of Etna volcano", 1:50,000 scale. *Italian Journal of Geosciences*, 130 (3): 265-291.

Caruso D. (1995), "L'attuale stato delle conoscenze sulla fauna delle grotte di Sicilia (Ricerche faunistiche ed ecologiche sulle grotte di Sicilia". *Atti del I Convegno Regionale di Speleologia della Sicilia*, II: 349-378.

Fick S.E., Hijmans R.J. (2017), "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas". *International journal of Climatology*, 37(12): 4302-4315.

Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. (2005), "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas". *International Journal of Climatology*, 25(15): 1965-1978.

Mammola S., Isaia M. (2014), "Niche differentiation in *Meta bourneti* and *M. menardi* (Araneae, Tetragnathidae) with notes on the life history". *International Journal of Speleology*, 43: 343–353.

Mammola S., Isaia M. (2017), "Spiders in caves". *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284: 20170193.

Mammola S., Goodacre S. L., Isaia M. (2018), "Climate change may drive cave spiders to extinction". *Ecography*, 41(1): 233-243.

Mammola S., Piano E., Malard F., Vernon P., Isaia M. (2019), "Extending Janzen's hypothesis to temperate regions: a test using subterranean ecosystems". *Functional Ecology*, 33(9): 1638-1650.

Nicolosi G., Piano E., Isaia M. (2021), "Future shifts of cave-dwelling *Meta*. *32nd European Congress of Arachnology*, 23-26 August 2021, virtual event.

Poulson T.L., White W.B. (1969), "The cave environment". *Science* 165: 971–981.

Rittmann A. L. (1976), *I vulcani*. Istituto Geografico De Agostini. Novara.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Piano di azione per i Chirotteri in Lombardia: un processo partecipato

Fabrizio Oneto ([a]), Andrea Ferrario ([b]), Marco Torretta ([a]), Martina Spada ([c]), Stefania Mazzaracca ([c]), Elisabetta Maria Rossi ([d]), Elisabetta de Carli ([d]), Bruna Comini ([a])

([a]) Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, *oneto.lifegestire2020@gmail.com*
([b]) Federazione Speleologica Lombarda, *fanatura14@gmail.com*
([c]) Istituto Oikos s.r.l., *martina.spada@istituto-oikos.org*
([d]) Regione Lombardia, *Elisabetta_De_Carli@regione.lombardia.it*

Parole chiave: Chirotteri; Life; conservazione; Piano di Azione
Keywords: Bats; Life; conservation; Prioritised Action Framework

Riassunto
Il Life IP Gestire2020 (www.naturachevale.it) è un progetto life integrato che mira alla conservazione della biodiversità sul territorio lombardo sia attraverso la crescita di una consapevolezza istituzionale ma anche civile, sia della *capacity building* degli enti territoriali interessati. Il Life prevede specifiche azioni che hanno come obiettivo la conservazione dei Chirotteri, e prioritariamente lo sviluppo di uno specifico Piano di Azione attraverso la partecipazione e i contributi di diversi soggetti, fra cui Associazioni di categoria quali la Federazione Speleologica Lombarda, che ha permesso di elaborare una strategia complessiva e unitaria di conservazione, definita attraverso specifici incontri e workshop in cui sono state evidenziate esigenze del territorio e possibili misure di convergenza. Il Piano è stato formalmente approvato con delibera del Consiglio Regionale n. 1028 del 17/12/2018, ed è subito diventato riferimento settoriale all'interno di strumenti di Pianificazione regionali quali il PTR (Piano Territoriale Regionale) e il RET (Regolamento Edilizio Tipo). Inoltre, il percorso e le conoscenze confluite nel Piano d'Azione, sono stati fondamentali per la redazione del nuovo PAF (*Prioritised Action Framework*) approvato da Regione Lombardia con delibera 5028 del 12 luglio 2021. Un esempio concreto di attuazione del Piano è stata la realizzazione di alcuni interventi concreti sul territorio finanziati con il "Programma regionale per interventi territoriali a salvaguardia della biodiversità – Life Gestire 2020" (D.g.r. 21 settembre 2020 - n. XI/3583), fra cui il Progetto Sos.Chiro (Sostituzione cancelli per la Chirotterofauna), realizzato dal Parco Regionale Campo dei Fiori nel 2021.

Descrizione

Regione Lombardia è capofila di uno dei primi progetti Life integrati attivati dalla Comunità europea: il Life IP Gestire2020. Il Progetto mira alla conservazione della biodiversità sul territorio lombardo ed ha l'ambizione di promuovere la biodiversità a vari livelli, istituzionale ma anche civile, creare una nuova coscienza rivolta alla sostenibilità delle attività umane e accrescere le conoscenze e le capacità dei soggetti direttamente interessati dalla gestione del territorio. Maggiori informazioni sono inoltre presenti sul sito web di progetto www.naturachevale.it.

Il progetto prevede specifiche azioni che hanno come obiettivo la conservazione dei Chirotteri e degli habitat utilizzati durante il proprio ciclo vitale sul territorio lombardo. A tale scopo è stato prioritariamente redatto uno specifico Piano di Azione, che rappresenta il primo passo verso la realizzazione di attività concrete per la conservazione dei Chirotteri sul territorio lombardo. Il Piano raccoglie le conoscenze sulla chirotterofauna della Lombardia, individua le criticità e gli obiettivi tematici da raggiungere nel medio-lungo termine per garantire la conservazione, in particolare di 18 specie target, il cui status è considerato critico, inadeguato o sconosciuto.

Il Piano di Azione è il risultato di un processo *bottom up* in cui la partecipazione e i contributi di diversi soggetti ha permesso di elaborare una strategia complessiva e unitaria di conservazione, definita attraverso specifici incontri e workshop in cui sono state evidenziate esigenze del territorio e possibili misure di convergenza.

Il ruolo del mondo speleologico e delle Associazioni di categoria (Federazione Speleologica Lombarda in primis) ha rappresentato un esempio concreto di questo processo che ha portato all'individuazione e definizione di specifiche Azioni di Piano: attivare percorsi di formazione per gli speleologi, redigere manuali tecnici per il riconoscimento dei chirotteri e la loro gestione, integrare le informazioni sulle grotte presenti nel Catasto regionale con dati inerenti la biodiversità, adeguare la normativa esistente e i regolamenti locali sulla fruizione degli ambienti ipogei, realizzare un regolamento delle attività speleologiche nelle Aree Natura2000.

Nel corso dell'iter di redazione del Piano, sono stati svolti 3 incontri, sia pubblici sia tecnici ristretti, nelle aree di maggior interesse speleologico della Lombardia e che hanno coinvolto circa 50 speleologi e loro rappresentanti.

Risultato principale è stata quindi la creazione di una strategia regionale per la gestione e la conservazione dei pipistrelli con azioni specifiche volte a raggiungere gli obiettivi prefissati.

Formalmente approvato con delibera del Consiglio Regionale n. 1028 del 17/12/2018, il Piano di Azione è attualmente il riferimento regionale per la gestione delle popolazioni di pipistrelli e dei loro habitat, nonché per la pianificazione di attività che favoriscano o tengano conto delle esigenze di conservazione dei pipistrelli.

Gli indirizzi contenuti nel Piano sono stati quasi immediatamente recepiti all'interno del PTR (Piano Territoriale Regionale) della Regione Lombardia con uno specifico riferimento al Piano e l'inserimento fra gli Obiettivi Tematici del PTR TM 1.9 "Tutelare e aumentare la biodiversità, con particolare attenzione per la flora e la fauna minacciate (ob. PTR 14, 17, 19)" il seguente punto: "Tutelare e favorire la presenza in ambito urbano di specie animali protette e minacciate di estinzione". A seguire, inoltre le buone pratiche per la conservazione dei Chirotteri sono confluite nell'aggiornamento del Regolamento Edilizio Tipo (RET).

Infine, il Piano è stato uno dei princi-

Figura 1 – Grotta di Cima Paradiso, confronto del cancello d'ingresso prima e dopo l'intervento (foto Andrea Ferrario)

pali strumenti per definire le esigenze e la quantificazione dei costi delle Azioni a favore della chirotterofauna e degli habitat utilizzati, informazioni indispensabili inserite nel PAF (*Prioritised Action Framework*) approvato da Regione Lombardia con delibera 5028 del 12 luglio 2021. Il PAF è uno strumento strategico di pianificazione pluriennale, che fornisce una panoramica generale delle misure necessarie per attuare la rete Natura 2000 dell'Unione Europea (UE) e la relativa infrastruttura verde, specificando il fabbisogno finanziario per tali misure e individuando le possibili fonti di finanziamento.

All'interno del Piano sono inoltre stati individuati alcuni degli interventi prioritari in aree specifiche del territorio lombardo. Anche in questo caso fondamentale è stata la messa a sistema delle informazioni derivanti dalle conoscenze pregresse di esperti, volontari ed Enti gestori delle aree protette lombarde per poter definire una priorità e localizzazione degli interventi. Le indicazioni così raccolte sono state fondamentali per indirizzare le fonti di finanziamento, fra cui soprattutto il "Programma regionale per interventi territoriali a salvaguardia della biodiversità – Life Gestire 2020", decretato con D.g.r. 21 settembre 2020 - n. XI/3583, che ha messo a disposizione oltre 2 milioni di euro a favore della biodiversità, fra cui 180.000 euro a favore della chirotterofauna.

Fra gli interventi finanziati e portati a termine vi è il Progetto Sos.Chiro (Sostituzione cancelli per la Chirotterofauna), realizzato dal Parco Regionale Campo dei Fiori. Il progetto, portato a termine nel 2021, ha avuto lo scopo di sostituire cancelli preesistenti per incrementare o consentire il passaggio dei Chirotteri presso l'ingresso di quat-

tro grotte naturali che presentavano strutture inadeguate per il loro passaggio (Fig. 1).Con questo intervento sono stati realizzati nuovi cancelli su misura e il rifacimento di staccionate perimetrali per le seguenti grotte: Grotta di Cima Paradiso, Büs del Remeron, Grotta XXV Aprile e Grotta Totò il Magnifico. Tutte le grotte considerate sono localizzate all'interno della ZSC Grotte del Campo dei Fiori (IT2010004), gestita dall'ente Parco.

Il monitoraggio dei Chirotteri nelle grotte di Cima Paradiso e Totò il Magnifico, in cui le precedenti cancellate impedivano l'attraversamento degli esemplari, ha permesso di verificare, in poche settimane, il passaggio delle specie target grazie ai nuovi cancelli, nonostante queste cavità siano rimaste inutilizzate da molto tempo (nel caso della Grotta di Cima Paradiso da oltre 50 anni).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il disturbo dei Chirotteri negli ambienti ipogei

Andrea Pereswiet-Soltan ([a-b])

([a]) Institute of Systematics and Evolution of Animals, Polish Academy of Sciences, *pereswiet_soltan@yahoo.it*
([b]) Club Speleologico Proteo, Vicenza

Parole chiave: grotte; ibernazione; riproduzione; disturbo; metabolismo
Keywords: caves; hibernation; reproduction; disturbance; metabolism

Introduzione

Durante le esplorazioni e le visite speleologiche, si instaura un'interazione, spesso inconsapevole, tra l'uomo e la fauna sotterranea, sia invertebrata che vertebrata, con conseguente responsabilità da parte dei fruitori degli ambienti sotterranei di tutelare questi organismi. Tra i vertebrati ci sono i Chirotteri che sono gli unici mammiferi capaci di volo attivo e, dopo i roditori, sono l'ordine di mammiferi con più specie (Wilson, Reeder, 2005). Oltre a presentare peculiari adattamenti come la capacità di volo e l'uso dell'ecolocalizzazione per l'orientamento, i Chirotteri presentano, in aree temperate, un particolare ciclo biologico durante il quale sfruttano gli ambienti ipogei come rifugi sia per le colonie di riproduzione (*nursery*) sia per lo svernamento (*hibernacula*) (Lanza, 2012). La presenza antropica in questi habitat può rappresentare una fonte di disturbo per i chirotteri tale da provocarne la morte o indurli ad abbandonare il sito con conseguenze imprevedibili.

Materiali e metodi

Sono stati analizzati alcuni articoli (Stebbings, 1969; Racey, Speakman, 1987, Speakman et al., 1991, Speakman, Rowland, 1999, Koteja et al., 2001), in relazione anche alle proprie esperienze personali, riguardanti il problema del disturbo dei chirotteri in grotta durante i vari momenti del loro ciclo biologico.

Risultati e discussione

Vari studi hanno dimostrato la realtà del pericolo causato dal disturbo antropico nelle colonie e che la sua conoscenza ci permette di attuare delle azioni di tutela verso questi animali. Il disturbo può avvenire soprattutto in estate se nella grotta vi è una *nursery* (colonia di riproduzione dove le femmine partoriscono, allevano e svezzano i piccoli) e in inverno negli *hibernacula* (sito dove i pipistrelli passano l'inverno in ibernazione). Il disturbo delle *nursery* è molto più evidente agli occhi di un inesperto, poiché i pipistrelli formano dei gruppi molto numerosi, anche di alcune centinaia o migliaia di esemplari, in determinati punti della grotta e il disturbo arrecato comporta che gli esemplari si spaventino emettendo rumorosi "squittii" udibili all'orecchio umano. Il risultato è l'involo agitato da parte delle madri e la caduta a terra dei piccoli, i quali se hanno poche settimane di vita non sanno volare e non

sono ancora così abili nè per stare appesi con le zampe posteriori nè per arrampicarsi di nuovo nella colonia. Visto che i pipistrelli partoriscono solo 1 o 2 piccoli all'anno, la morte arrecata per cause antropiche e non naturali ha un effetto molto impattante sulla loro conservazione. Invece il disturbo durante il riposo invernale è meno evidente, poiché spesso il visitatore non ne coglie le conseguenze. I rinolofidi, ad esempio, mostrano la loro inquietudine piegando solamente le ginocchia nel sonno, ma stanno ancora fermi. Infatti, per risvegliarsi dal sonno ibernante e reagire allo stimolo di un potenziale pericolo involandosi e quindi aumentare il metabolismo, serve loro del tempo (fig.1) e un dispendio energetico (fig.2). Allo stesso modo consumano energie una volta passato il presunto pericolo, per riabbassare il metabolismo e rientrare in ibernazione. Considerando che il pipistrello non disturbato consuma durante l'ibernazione il 20-30% del suo peso e circa l'80% (fig.3) della massa grassa, si intuisce come inappropriati risvegli lo portino a consumare una maggiore massa grassa, compromettendo la sua capacità di sopravvivenza. Infatti, l'ibernazione serve al pipistrello per risparmiare energia e superare l'inverno; più a lungo dura il periodo di riposo, maggiore è il risparmio energetico (fig.4). Sicuramente per favorire la presenza in grotta dei pipistrelli bisognerebbe limitare il numero delle visite nelle grotte più importanti per loro (fig.5), come *hibernacula* e/o *nursery*.

Riferimenti bibliografici

Koteja P., Jurczyszyn M., Wołoszyn B.W. (2001), "Energy balance of hibernating mouse-eared bat *Myotis myotis*: a study with TOBEC instrument". *Acta Theriologica* 46: 1-12.

Lanza B. (2012), *Fauna d'Italia Mammalia V: Chiroptera*, Calderini, Milano, pp. 786.

Racey P. A., Speakman J. R. (1987), "The energetics of pregnancy and lactation in heterothermic bats". *Symposium of the Zoological Society of London*, 57: 10

Speakman J. R., Webb P. I., Racey P. A. (1991), "Effects of disturbance on the energy expenditure of hibernating bats". *Journal of Applied Ecology*, 28: 1087-1104.

Speakman J. R., Rowland A. (1999), "Preparing for inactivity: how insectivorous bats deposit a fat store for hibernation". *Proceedings of Nutrition Society*, 58: 123-131.

Stebbings R.E., (1969), "Observer influence on bat behaviour". *Lynx*, Praha n.s.10: 93-100.

Wilson D. E., Reeder D. M. (a cura di) (2005), *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* (Vol. 1). John Hopkins University Press.

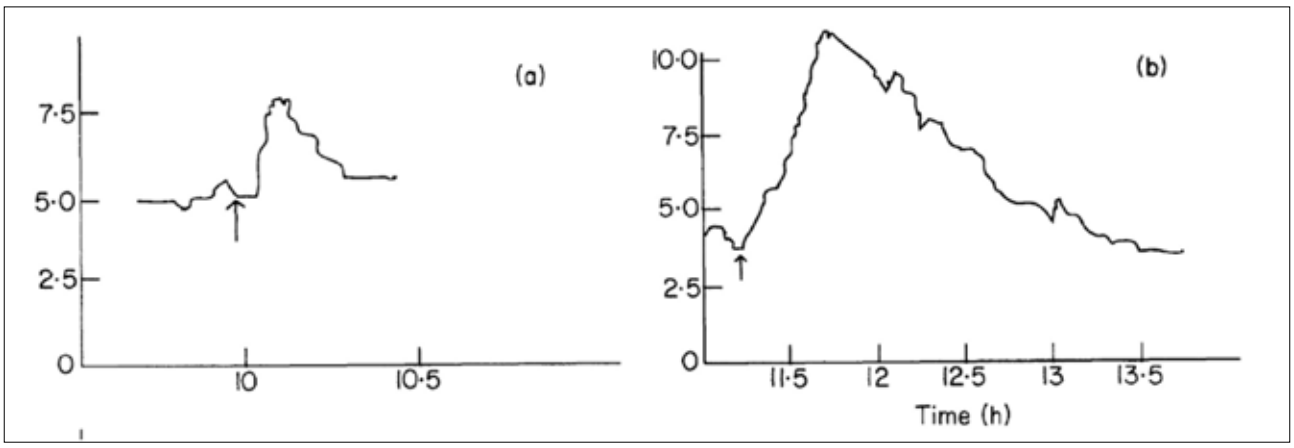


Figura 1 - Tempo di reazione (asse x, in ore) al disturbo (freccia) sulla base dell'aumento del consumo di energia (asse y): (a) illuminazione con una torcia, (b) aumento di temperatura (da Speakman et al., 1991).

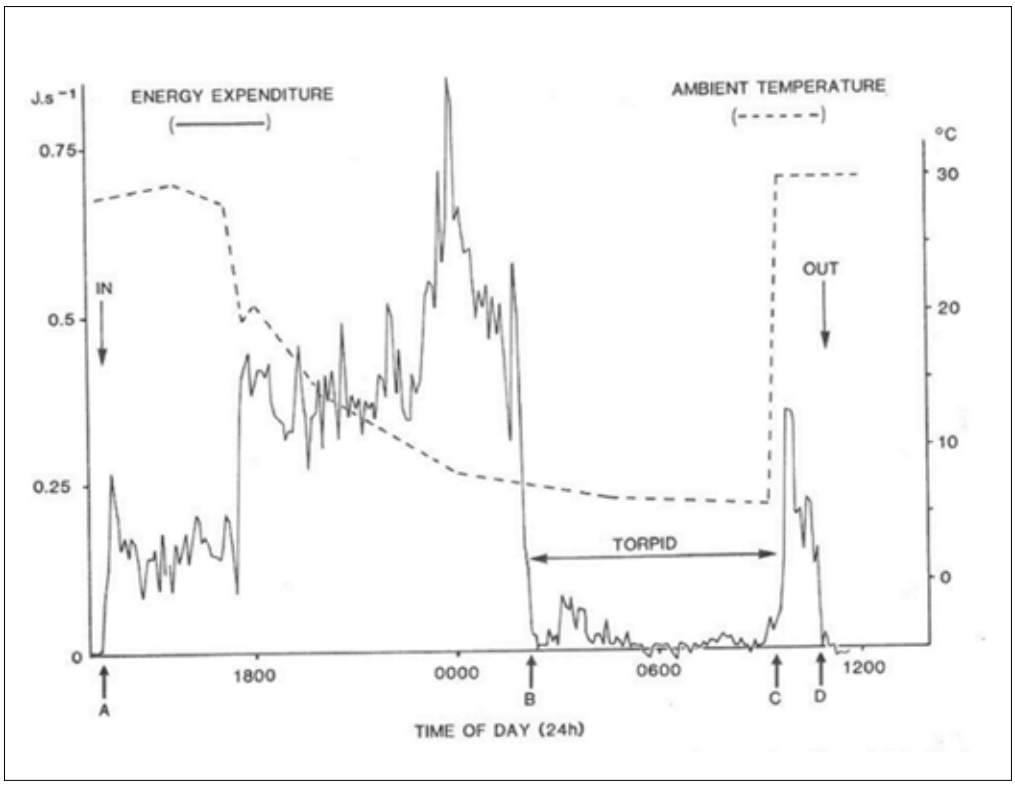


Figura 2 - consumo di energia da parte di Pipistrellus pipistrellus *durante l'arco delle 24 ore al di fuori del periodo di ibernazione (da Racey, Speakman, 1987).*

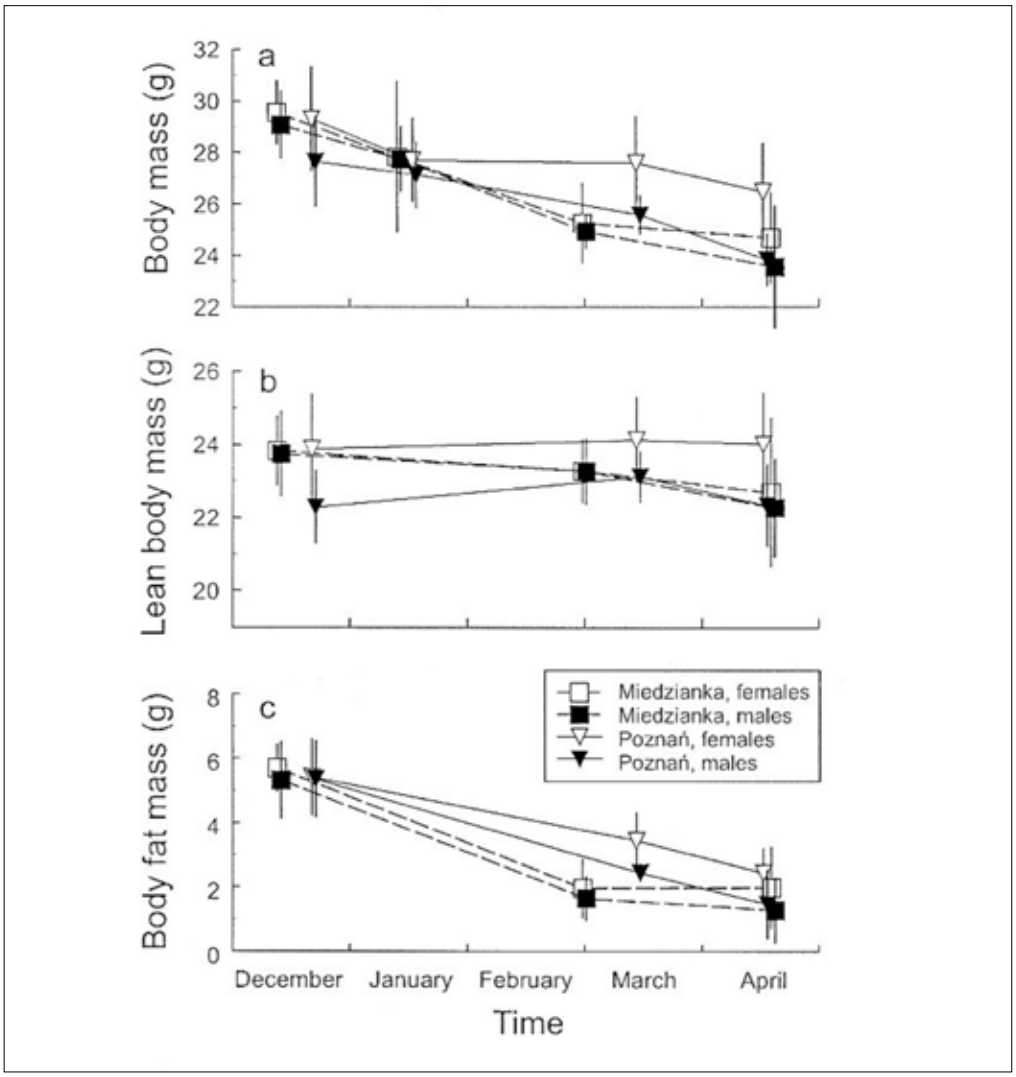


Figura 3 - Diminuzione della massa e delle varie tipologie di grasso in Myotis myotis *durante l'ibernazione in due hibernacula in Polonia (Miedzianka e Poznań) (da Koteja et al., 2001).*

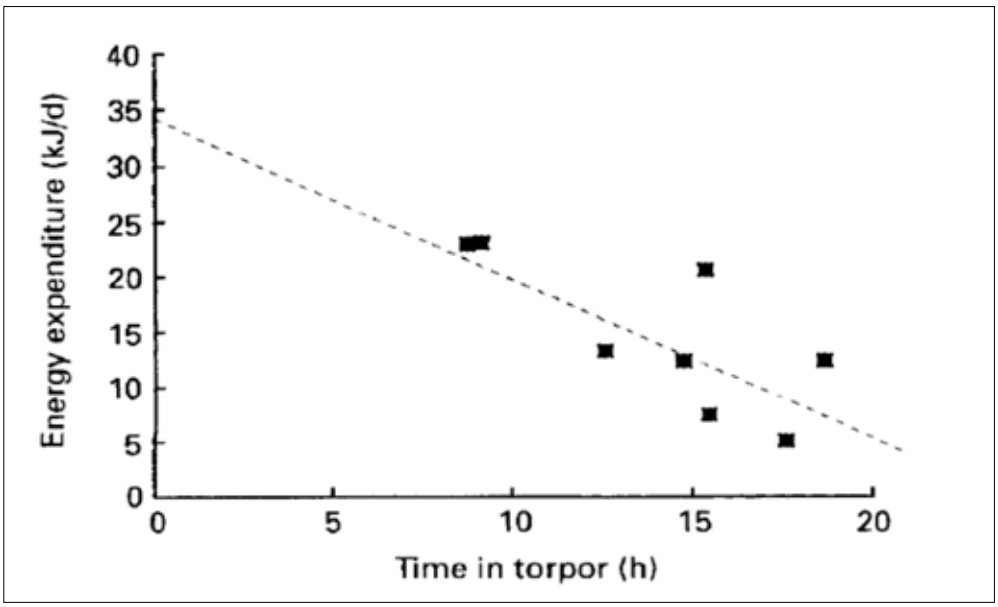


Figura 4 - Rapporto risparmio energetico/durata del torpore in un pipistrello all'inizio della fase di riposo (da Speakman, Rowland, 1999).

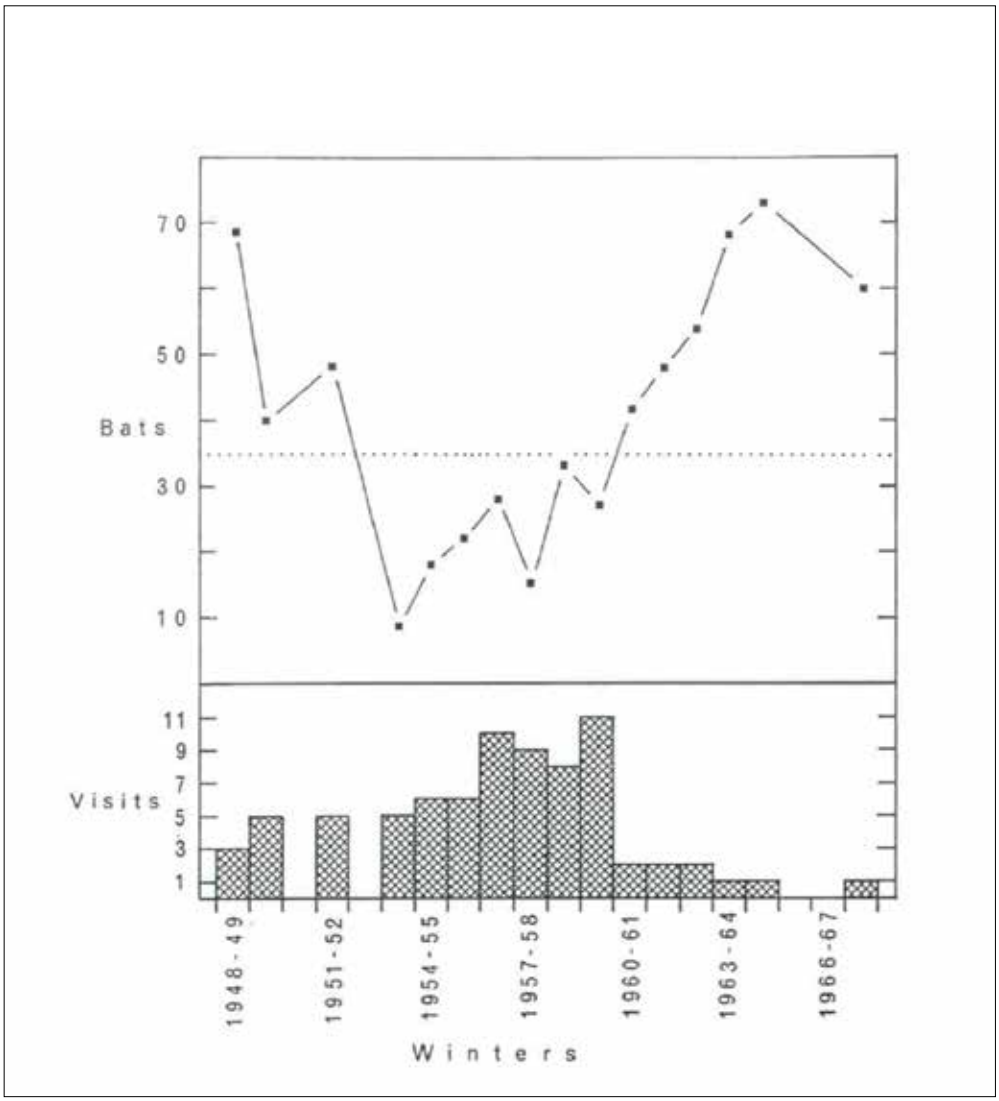


Figura 5 – Aumento della presenza di pipistrelli ibernanti (grafico superiore) in una cavità ipogea a Suffolk in Gran Bretagna al diminuire delle visite umane (grafico inferiore) (da Stebbings, 1969).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Cenni sulla presenza dei rinolofidi (Chiroptera: Rhinolophidae) nei Lessini Vicentini (Veneto, Italia)

Andrea Pereswiet-Soltan ([a-b])

([a]) Institute of Systematics and Evolution of Animals, Polish Academy of Sciences, *pereswiet_soltan@yahoo.it*
([b]) Club Speleologico Proteo, Vicenza

Parole chiave: grotte; *Rhinolophus ferrumequinum*; *Rhinolophus hipposideros*
Keywords: Caves; *Rhinolophus ferrumequinum*; *Rhinolophus hipposideros*

Riassunto
Nel seguente lavoro vengono esposti una parte dei risultati ottenuti durante il progetto "Ruolo ecologico - funzionale delle principali cavità dei Lessini Vicentini per la chirotterofauna", finanziato dalla Federazione Speleologica Veneta e svoltosi nel triennio 2009-2011. L'analisi si concentra sulla presenza invernale e sull'attività notturna da aprile a novembre di *Rhinolophus ferrumequinum* e di *Rhinolophus hipposideros* in 8 delle maggiori grotte nei Lessini Vicentini. I risultati mostrano una suddivisione di attività notturna delle due specie tra le grotte presenti all'interno del bosco e quelle in ambiente semi-aperto ed aperto. Il Buso della Pisatela è risultata la grotta più importante per i Chirotteri anche durante il periodo invernale essendo stati trovati al suo interno numerosi esemplari in ibernazione ed attualmente è uno dei maggiori ibernacola del Veneto. Questi primi risultati pongono le basi per progetti futuri a più ampio spettro per la tutela delle grotte e dei Chirotteri.

Introduzione

I Chirotteri appartenenti al genere *Rhinolophus* sono tra le specie che più facilmente si possono osservare in grotta e tra le più sensibili al disturbo antropico. Infatti, stando appesi liberamente al soffitto completamente avvolti nelle ali, sono molto visibili, ed essendo stenotermi, risentono particolarmente dell'aumento di temperatura, ad es. causato dalla presenza umana e dall'illuminazione (Rehak, Gaisler, 1999). Per questo motivo tendono ad ibernare in profondità nelle grotte, dove le variazioni di temperatura sono minori, e utilizzando le zone più miti e con elevata umidità, generalmente preferiscono temperature tra 7 e 10°C (Lanza, 2012). Le specie maggiormente diffuse sono il rinolofo maggiore, *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) e il rinolofo minore, *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800). In Veneto si può notare un incremento della presenza in grotta di *R. hipposideros* nella parte settentrionale della regione (Pereswiet-Soltan, Filippin, 2020). Nelle zone centrali della regione, come i Colli Berici, vi è una netta predominanza di *R. ferrumequinum*, mentre sui Lessi-

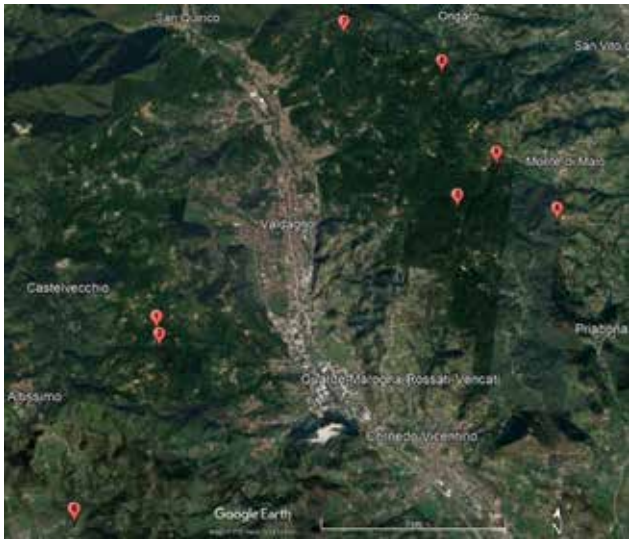


Figura 1 - Posizione delle grotte studiate.

N	GROTTA	NUMERO CATASTO	QUOTA m. s.l.m.	SVILUPPO SPAZIALE metri	DISLIVELLO TOTALE metri
1	Buso delle Anguane	0518 V Vi	500	427	6
2	Grotta dei Partigiani	1783 V Vi	475	502	11
3	Buso della Pisatela	1707 V VI	649	7510	132
4	Buso della Rana	0040 V Vi	361	29350	274
5	Buco del Soglio	0172 V VI	606	462	38
6	Grotta della Stria	0021 V Vi	430	502	12
7	Tana del Tasso	0557 V Vi	570	600	17
8	Buso del Vento	0954 V VI	495	3530	70

Tabella 1 - numero catastale e dati delle grotte oggetto dello studio.

ni sono presenti con buona frequenza entrambe le specie (Pereswiet-Soltan et al., 2016). Queste due specie sono state oggetto di numerosi studi, in particolare riguardanti l'alimentazione e gli areali di foraggiamento, a seguito di una riduzione della loro presenza, secondo i dati riportati nella IUCN Red List (https://www.iucnredlist.org). Oltre a essere molto sensibili al disturbo antropico all'interno dei rifugi, la loro presenza è molto influenzata anche dai cambiamenti del paesaggio, come il disboscamento e la diffusione delle monocolture. Sebbene prediligano gli ambienti sotterranei non disdegnano, durante i parti e lo svezzamento dei piccoli, ambienti caldi come i sottotetti degli edifici. In questo studio, è stata valutata la loro presenza e l'attività notturna in alcune grotte dei Lessini Vicentini in relazione alla loro ubicazione. Infatti, i Chirotteri non utilizzano le grotte solo per riposare durante il giorno o ibernare, ma anche durante la notte con attività di volo, di foraggiamento e d'interazione sociale presso (Kohyt et al., 2016).

Materiali e metodi

Si sono scelte alcune delle maggiori grotte (tab. 1) attorno all'Altopiano Fa-edo-Casaron (fig.1). Sono state adottate principalmente tre metodologie di studio: catture tramite reti *mist-nets*, monitoraggio bioacustico e controllo visivo all'interno delle grotte. In questo studio vengono presentati alcuni risultati ricavati dalle ultime due metodologie. Il monitoraggio bioacustico è stato svolto utilizzando il *bat detector* Pettersson D500x, dal tramonto a mezzanotte nei mesi di aprile e di giugno e dal tramonto all'alba a luglio e a novembre. Il *bat detector* è stato impostato in automatico, con una durata di registrazione di 5 secondi per ogni attivazione. La presenza di almeno 3 impulsi di ecolocalizzazione in un sonogramma di 5 secondi, viene valutata come 1 contatto di presenza per ognuna delle due specie, sommandoli per tutte le ore di registrazione. I controlli delle grotte sono stati effettuati in modo random. Il Buso della Pisatela, la Grotta dei Partigiani, il Buso del Vento e la Tana del Tasso, hanno entrate piccole, ubicate all'interno di boschi di tipo ceduo, ma con la presenza anche di alberi di grandi dimensioni. La Grotta della Stria ha un'entrata a fessura verticale, ubicata poco all'interno del limite della fascia boschiva che lascia spazio ad ambienti prativi aperti. Anche il Buco del Soglio è posizionato al limitare del bosco, con 4 ingressi che si aprono sul versante del rilievo. Il Buso della Rana ha un grande ingresso di parecchi metri di altezza e largehzza e si affaccia verso una zona molto aperta. È una grotta soggetta ad

MESE	GROTTA	POSIZIONE INGRESSO	*Rhinolophus ferrumequinum*	*Rhinolophus hipposideros*	Fascia oraria
APRILE (2ª metà)	Buso delle Anguane	bosco	3	5	tramonto -> mezzanotte
	Grotta dei Partigiani	bosco	0	4	
	Buso della Pisatela	bosco	35	575	
	Buso della Pisatela	bosco	8	21	
	Buso della Rana	aperto	23	2	
	Buso della Rana	aperto	19	7	
	Buso del Soglio	semi-aperto	5	3	
	Grotta della Stria	semi-aperto	2	34	
	Tana del Tasso	bosco	9	30	
	Buso del Vento	bosco	17	240	
GIUGNO	Buso delle Anguane	bosco	3	8	
	Grotta dei Partigiani	bosco	16	96	
	Buso della Pisatela	bosco	0	97	
	Buso della Rana	aperto	2	65	
	Grotta della Stria	semi-aperto	1	2	
	Buso del Soglio	semi-aperto	12	34	
LUGLIO	Buso delle Anguane	bosco	0	15	tramonto -> alba
	Grotta dei Partigiani	bosco	11	236	
	Buso della Pisatela	bosco	188	576	
	Buso della Rana	aperto	67	32	
	Grotta della Stria	semi-aperto	2	17	
	Tana del Tasso	bosco	86	402	
	Tana del Tasso	bosco	0	694	
	Buso del Vento	bosco	3	402	
NOVEMBRE (1ª metà)	Grotta dei Partigiani	bosco	2	5	
	Buso della Pisatela	bosco	0	21	
	Buso vicino Pisatela	bosco	3	50	
	Buso della Rana	aperto	5	1	
	Buso del Soglio	semi-aperto	12	8	
	Grotta della Stria	semi-aperto	1	0	
	Tana del Tasso	bosco	1	6	
	Buso del Vento	bosco	40	15	
	Buso del Vento	bosco	0	4	

Tabella 2 - indice di attività notturna dei Chirotteri presso l'entrata delle varie grotte studiate, effettuato tramite monitoraggio bioacustico nell'anno 2011.

una forte pressione antropica essendo molto frequentata sia da speleologi che da escursionisti.

Risultati e discussione

Le analisi derivanti dal monitoraggio bioacustico mostrano come ci sia una netta disuguaglianza di attività notturna presso alcune grotte rispetto ad altre, sopratutto nei mesi estivi (tab. 2). Al Buso della Rana è stata riscontrata una maggiore attività di *R. ferrumequinum* e durante i vari controlli effettuati all'interno, sono sempre stati notati esemplari appesi di quest'ultima specie, mentre gli avvistamenti di *R. hipposideros* si sono dimostrati molto sporadici. *Rhinolophus hipposideros* ha dimostrato una netta predominanza di attività notturna presso le grotte all'interno del bosco, suo prediletto ambiente di foraggiamento (Bontadina et al., 2002). Nonostante questa grande attività notturna, in tre di queste grotte, Grotta dei Partigiani, Tana del Tasso e Buso del Vento, non sembra esserci una corrispondenza di presenza così abbondante, sia per il riposo diurno che per l'ibernazione, avendo riscontrato solo pochi esemplari durante i controlli all'interno delle grotte. Particolare si è dimostrata la bassa attività alla Grotta della Stria e al Buso delle Anguane. Sopratutto per quest'ultima, visto che è situata nella stessa valletta e poco distante alla Grotta dei Partigiani. Il

DATA	*Rhinolophus ferrumequinum*	*Rhinolophus hipposideros*
05.11.2010	8	1
09.11.2010	9	0
12.11.2010	6	1
26.12.2010	5	0
04.09.2011	4	0
09.10.2012	3	2
28.12.2012	3	1
23.12.2014	8	2
28.12.2015	1	1
21.09.2016	2	6
18.02.2018	3	9
02.12.2018	2	6
26.12.2021	7	3

Tabella 3 - presenza dei Chirotteri all'interno del Buco del Soglio.

Buco del Soglio, nonostante la poca attività notturna, ha mostrato un'alternanza di presenza abbastanza costante delle due specie anche se il numero degli individui si mantiene attorno ai 10 esemplari. Risulta quindi una grotta relativamente importante per l'ibernazione dei pipistrelli (tab.3). Resta da valutare se l'agevolazione dell'accesso per i visitatori, attraverso i lavori di sistemazione del sentiero di accesso e la messa in sicurezza dell'interno della grotta stessa, svoltisi per il centenario della Prima Guerra Mondiale (la grotta è stata utilizzata durante la guerra per scopi difensivi), possa comportare una diminuzione dei pipistrelli presenti. La grotta più importante per la chirotterofauna è risultata il Buso della Pisatela. Qui troviamo sia un'intensa attività notturna durante l'estate, sia numerosi chirotteri ibernanti durante l'inverno. Ad esempio durante uno degli ultimi controlli, svoltosi il 7 marzo 2020, sono stati contati 4 *R. ferrumequinum* e 67 *R. hipposideros*. Si ipotizza che questo sia dovuto alla morfologia molto articolata della cavità, la quale permette ai pipistrelli di trovare numerosi microambienti e zone adatte all'ibernazione. Nelle registrazioni effettuate durante tutta la notte nel mese di luglio, si è notato che i 2/3 dell'attività dei Chirotteri avveniva tra il tramonto e la mezzanotte, spesso con la presenza di vari esemplari. Il motivo di questo è ancora sconosciuto, poiché non è dovuto solamente all'involo serale per il foraggiamento, ma anche a interazioni sociali, riposo temporaneo, abbeveramento all'interno della grotta o cattura di prede sulle pareti.

Riferimenti bibliografici

Bontadina F., Schofield H., Naef-Daenzer B. (2002), "Radio-tracking reveals that lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*) forage in woodland". *Journal of Zoology*, 258: 281-290.

Lanza B. (2012), *Fauna d'Italia Mammalia V: Chiroptera*, Calderini, Milano, pp. 786.

Kohyt J., Rozik A., Kozakiewicz K., Pereswiet-Soltan A., Gubała W. J. (2016), "Cellulose decomposed faster in fallow bat (Vespertilionidae, Chiroptera) swarming population indicate the exact time of male mating effort", *Mammal Research*, 61(4): 383-389.

Pereswiet-Soltan A., Piras G., Fassina C. (2016). "Risultati del monitoraggio della chirotterofauna di alcuni siti ipogei del Veneto (Italia nord-orientale)". Atti 7° Convegno dei Faunisti Veneti. *Bollettino del Museo di Storia Naturale di Venezia*, 66 (suppl.): 242-245.

Pereswiet-Soltan A., Filippin G. (2020), "I pipistrelli (Chiroptera) della Valbelluna: il Rinolofo minore (*Rhinolophus hipposideros*, Bechstein, 1800)". *Gruppo Natura Bellunese – Notiziario*, 2020: 39-52.

Rehak Z. Gaisler J. (1999), "Long-term changes in the number of bats in the large man-made hibernaculum of the Czech Republic". *Acta Chiropterologica*, 1: 113-123.

Reiter G., Hüttmeir U., Krainer K., Smole-Wiener K., Jerabek M. (2008), "Emergence behaviour of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*): intracolony variation in time and space (Carinthia and Salzburg, Austria)". Ber. Nat. Med. V. Innsbr. 95, 81–93.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Lab in Cave: quando la scuola incontra la ricerca. Indagini microbiologiche e climatiche nel contesto della Grotta Gigante (FVG – Italia)

Arianna Peron ([a]), Raffaele Fiorini ([b]), Vincenzo Palumbo ([b]), Aldo Fedel ([c]), Riccardo Corazzi ([c]), Louis Torelli ([c])

([a]) Institute of Atmospheric and Cryospheric Sciences, University of Innsbruck-UIBK, Innrain 52f, 6020 Innsbruck, Austria, *arianna.peron@uibk.ac.at*
([b]) ISIS Galileo Galilei - ISIS G.G, Bolzano, Italia
([c]) Commissione Grotte E. Boegan - CGEB, Trieste, Italia

Parole chiave: Scuola secondaria superiore, microbiologia, climatologia
Keywords: High School, microbiology, climatology

Riassunto
Il progetto presentato in questo contributo 'Lab in Cave', iniziato nel 2018, supportato dalla CGEB in collaborazione con l'UIBK e lSIS G.G., ha due obiettivi: il primo, di tipo didattico, prevede l'avvicinamento dei ragazzi al mondo della speleologia, attraverso attività didattiche quali lezioni, laboratori, e visita in Grotta Gigante, con annessa raccolta dati.
Il secondo obiettivo, di carattere scientifico, riguarda l'analisi della comunità microbiologica e la raccolta di dati climatici, nel tentativo di identificare eventuali variazioni di entrambi i parametri legate alla presenza di attività turistica nella grotta.

Introduzione

Al fine di cercare di comprendere come l'impatto antropico, inteso come fruizione turistica, possa agire sull'ambiente naturale grotta, nel 2018 si è attivato il progetto 'Lab in Cave'. Questo studio ha preso in esame come casi studio la Grotta Gigante e la Grotta Impossibile, entrambe situate nel territorio del Carso Triestino, in Italia.
La Grotta Gigante, famosa in tutto il mondo per la sua bellezza e le sue dimensioni, è stata scoperta, con la prima esplorazione conosciuta, nel 1840. Dal 1908 in poi, la grotta fu aperta al pubblico, con l'impiego di diverse tecnologie e l'attuazione di molteplici opere, per rendere, con gli anni, l'accesso alla grotta sempre più disponibile ai numerosi turisti. La Grotta Gigante è costituita in parte da una cavità del volume di 365.000 metri cubi, la Grande Caverna, le cui misure sono: altezza 98,5 m, lunghezza 167,6 m e larghezza 76,3 m. La temperatura interna è costante e pari a 11°C. Il punto più profondo raggiunto dal percorso turistico si trova a 101,10 metri di profondità rispetto all'ingresso.
Nel novembre 2004, durante i lavori

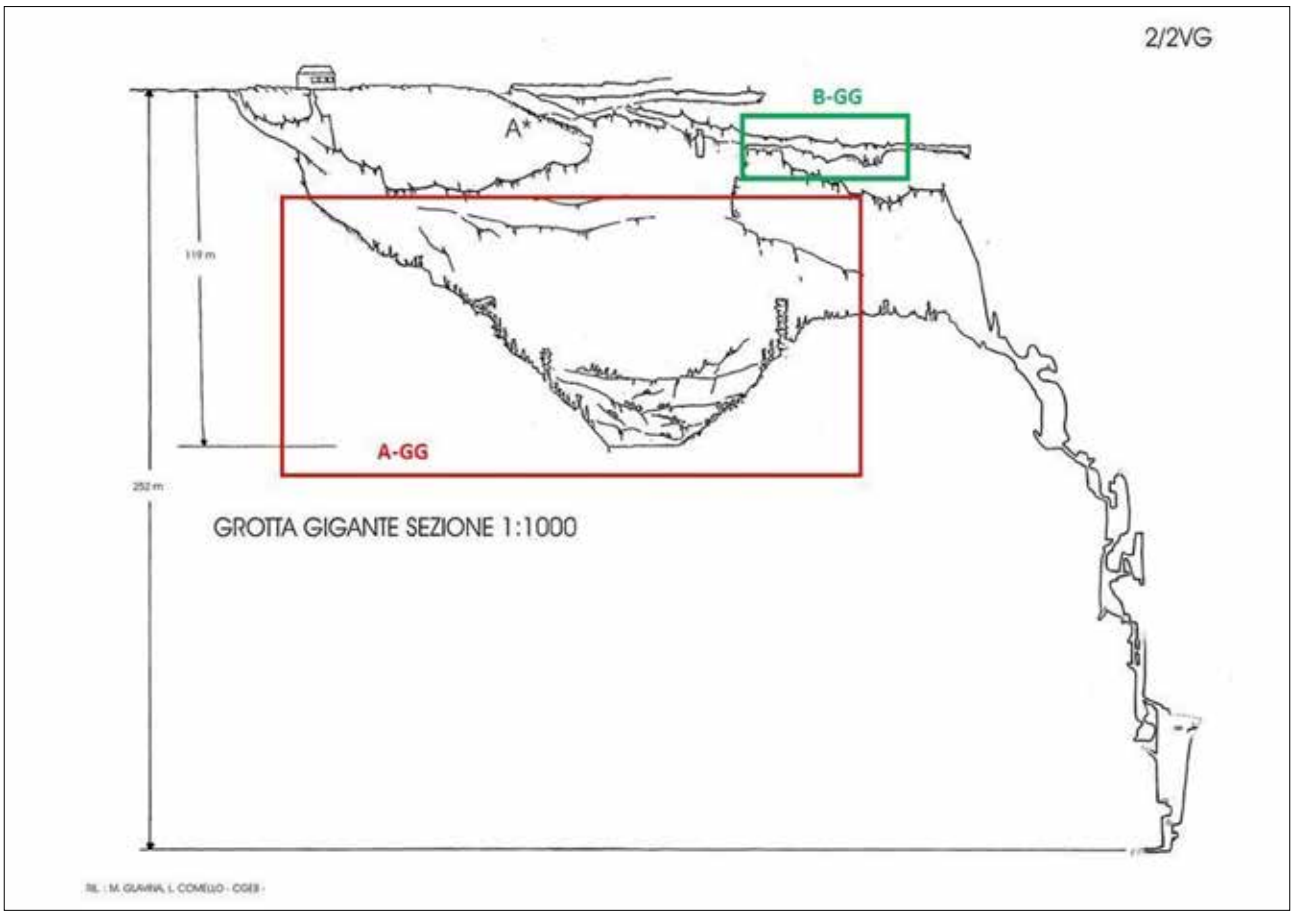


Figura 1 – Rilievo Grotta Gigante: in rosso il settore A-GG, in verde il settore B-BB

di scavo per la costruzione di un'opera stradale, è stato scoperto un ramo della grotta, ribattezzata poi Impossibile (No. 6800/6300VG). La cavità non era stata notata durante le indagini geologiche e geofisiche condotte per la costruzione dei tunnel, aprendosi in un settore che, fino a quel momento, non era stato considerato come un luogo possibile per trovare una grotta di tali dimensioni. La Grotta Impossibile differisce dai modelli teorici di grotta per il Carso classico e questo è il motivo del suo nome.

La scelta di lavorare in queste due grotte ha permesso di confrontare le variazioni dei parametri presi in esame, ovvero la comunità microbica e le condizioni microclimatiche, rispetto alla frequentazione turistica, che è elevata per quanto riguarda la Grotta Gigante, circa 42.000 visitatori nel 2021 e nel periodo pre-pandemico intorno ai 100.000 visitatori annui. Presenza umana che invece è estremamente bassa in Grotta Impossibile, essendo l'accesso consentito solo a una ristretta cerchia di gruppi, dove si attesta intorno alle 100 presenze all'anno.

Il progetto ha previsto il coinvolgimento dell'Istituto di Istruzione Secondaria Superiore Galileo Galilei di Bolzano. La collaborazione con un istituto scolastico superiore ha permesso di aggiungere al progetto anche una componente didattica, grazie alla quale, nel corso dei due anni, gli studenti sono stati avvicinati al mondo della speleologia, tendenzialmente estraneo alla geografia presente sul territorio altoatesino. Gli studenti hanno partecipato attivamente al progetto, occupandosi dell'analisi dei campioni microbiologici, e andando a visitare la Grotta Gigante.

Le analisi effettuate nelle due cavità, hanno avuto lo scopo di determinare le comunità microbiologiche presenti, e di vedere come esse varino in base alla frequentazione turistica. A tal proposito, nella Grotta Gigante, sono stati effettuati campionamenti durante il biennio 2018-2019, sia nella zona accessibile al pubblico (Fig. 1 area A), sia nella parte interdetta al pubblico (Fig. 1 area B), al fine di verificare eventuali variazioni nella comunità microbica.
I dati sono poi stati confrontati con quelli raccolti nello stesso periodo temporale, presso la Grotta Impossibile.
Anche nel caso della Grotta Impossibile, sono stati analizzati due settori della stessa, il settore A (Fig. 2 area A) che collega l'ingresso principale della grotta al tunnel realizzato nel 2004, e il settore B (Fig. 2 area B) il quale non presenta un accesso con il tunnel, quindi considerabile non affetto da influenze antropiche legate al traffico veicolare.
Nel corso del 2018 si è svolta una serie di campionamenti atti alla realizzazione di un protocollo di campionamento, che è stato attuato poi nel corso del 2019.
In ogni sito di campionamento individuato nella prima fase del progetto, sono state posizionate tre piastre, due per il campionamento batterico relativo a temperature di habitat a 36°C e 21°C, ed una per il campionamento

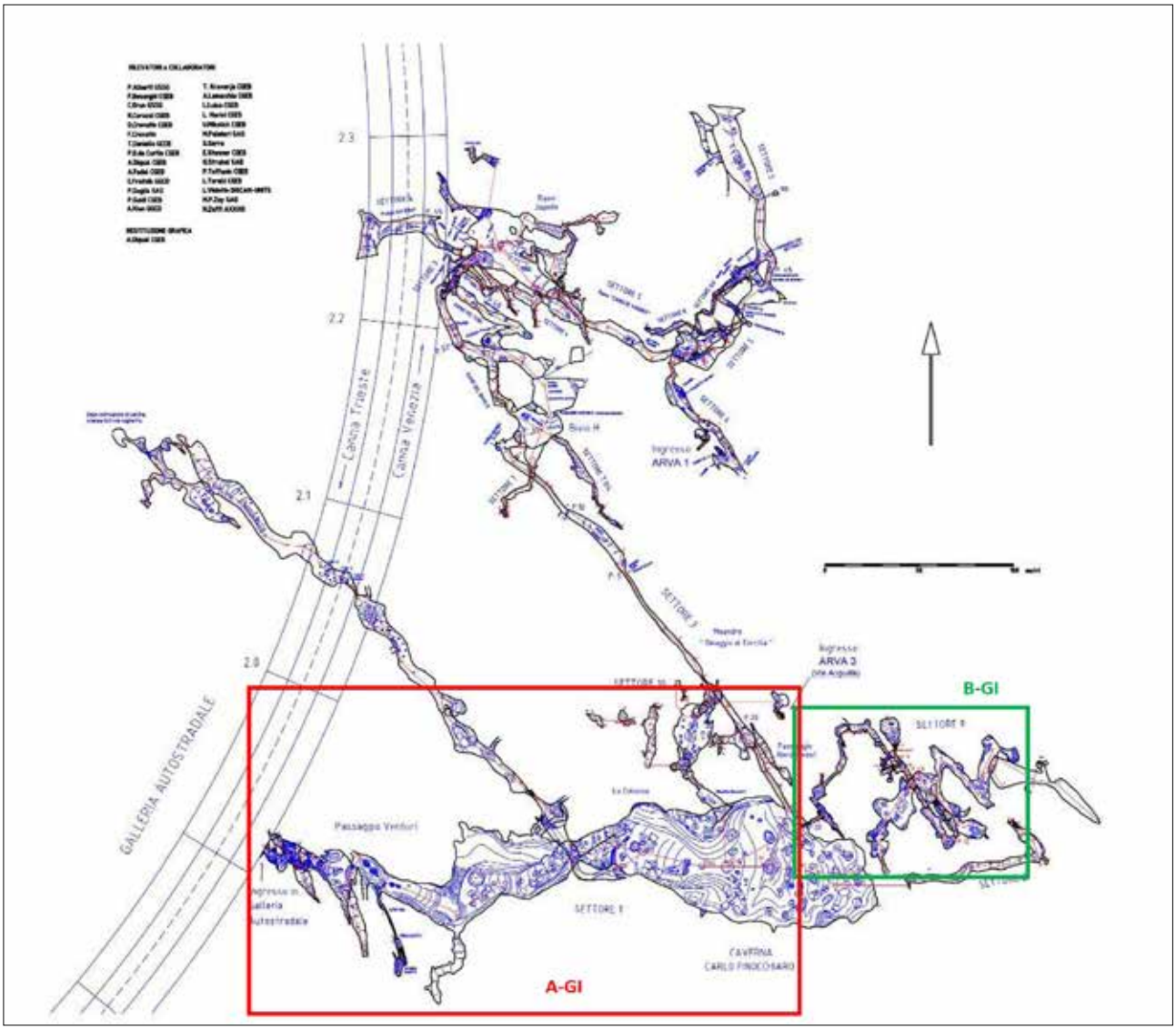


Figura 2 –Grotta Impossibile: in rosso il settore A-GI, in verde il settore B-GI

della componente fungina. Le piastre batteriche sono state esposte per 24 ore. Una volta tornati in laboratorio, la piastra utile per il campionamento dei funghi é stata esposta ad una temperatura 22°C, per favorire la coltivazione degli individui raccolti.
Per ridurre al minimo il possibile impatto antropico, la Grotta Impossibile è stata sottoposta ad un fermo, dove la frequentazione è stata impedita per circa sei mesi nel corso del 2018. Al termine dei sei mesi, è stato effettuato un campionamento microbiologico.
Dal punto di vista della comunità microbiologica, per quanto riguarda le colonie batteriche e quelle fungine, si è visto come la Grotta Impossibile presenti una maggiore presenza di CFU (unità formante colonia) rispetto alla Grotta Gigante, specialmente nel primo tratto analizzato, quello a contatto con la galleria artificiale, mentre le comunità erano presenti in numero ridotto nel secondo tratto, comunque superiori a quanto riscontrato in Grotta Gigante.
In merito alla Grotta Gigante, nel tratto frequentato dai turisti, dalle piastre si riscontra il minor numero di colonie batterie e di muffe, sia paragonato alla Grotta Impossibile, sia paragonato al tratto considerato "bianco" in Grotta Gigante, cioè non accessibile ai turisti.
Oltre a questo, da inizio 2019, sono stati installati dei datalogger per il campionamento in continuo di temperatura e umidità ed è in fase di studio la variazione di tali parametri in confronto con quelli esterni.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

A light in the darkness: environmental drivers of lampenflora proliferation in Italian show caves

Elena Piano ([a]), Giuseppe Nicolosi ([a]), Marco Isaia ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123, Torino, *elena.piano@unito.it*

Parole chiave: turismo in grotta, clorofilla-a, speleotemi, intensità della luce
Keywords: cave tourism, chlorophyll-a, speleothems, light intensity

Riassunto
Una luce nell'oscurità: i fattori ambientali che determinano la crescita della lampenflora nelle grotte turistiche italiane
Gli ambienti sotterranei sono naturalmente privi di luce, caratteristica che impedisce la crescita di organismi fotosintetici al loro interno. Tuttavia, quando le grotte sono convertite in attrazioni turistiche, l'installazione di luci artificiali permette la crescita della cosiddetta *lampenflora*, ovvero una comunità di organismi vegetali alieni all'ecosistema sotterraneo. Questa comunità fotosintetica è principalmente composta da microorganismi epilitici eucarioti e procarioti che creano biofilm estesi sulle pareti e sugli speleotemi delle grotte, causando danni estetici, fisici e chimici. Una profonda comprensione dei fattori ambientali che determinano la proliferazione della *lampenflora* è quindi necessaria per fornire linee guida per il contenimento di questo fenomeno. Per raggiungere quest'obiettivo, abbiamo raccolto dati relativi alla concentrazione dei tre principali gruppi di microorganismi che costituiscono la *lampenflora*, ovvero cianobatteri, diatomee e alghe verdi, in nove grotte turistiche italiane. Mediante modelli statistici, abbiamo quindi testato la loro risposta rispetto a diversi parametri ambientali che potenzialmente favoriscono la loro crescita. I risultati ottenuti dimostrano come l'intensità della luce sia il principale *driver* di crescita della *lampenflora*. Un ruolo chiave è svolto anche dall'umidità delle pareti che favorisce la crescita soprattutto delle diatomee, mentre la concentrazione dei cianobatteri diminuisce all'aumentare della distanza dall'ingresso della grotta. In conclusione, i risultati ottenuti dimostrano come ridurre l'intensità della luce possa aiutare a contenere la crescita della *lampenflora*.

Abstract
Subterranean habitats are naturally dark environments, and the lack of light prevents the growth of photosynthetic organisms. However, when caves are converted into tourist attractions (i.e., show caves), the installation of artificial lights allows the proliferation of phototrophs alien to the cave ecosystem, the so-called *lampenflora*. This photobiota is mainly composed by epilithic prokary-

otic and eukaryotic microorganisms that create extended biofilms on cave walls and speleothems, causing physical, chemical, and aesthetic damage. A thorough knowledge of the environmental factors determining the *lampenflora* proliferation is therefore essential to provide suggestions to control this phenomenon. To achieve this aim, we collected data relative to the concentration of the three main microorganism groups composing *lampenflora*, namely cyanobacteria, diatoms and green algae, in nine Italian show caves. We then modelled their concentrations against multiple environmental factors possibly favoring their proliferation. Our results showed that light intensity is the most important driver of *lampenflora* growth. The presence of water on cave walls also plays a key role in determining the proliferation of diatoms, whereas cyanobacteria concentration declines at increasing distance from the cave entrance. Overall, our results point out that reducing light intensity may contribute to the reduction of *lampenflora* proliferation.

Introduction

The conversion of wild caves into tourist sites poses serious threats to the subterranean environment, among which the extensive growth of photosynthetic organisms is of particular concern (Cigna, 2016). The installation of artificial lights in a naturally dark ecosystem creates new ecological niches where extensive photosynthetic organisms alien to the cave, the so-called *lampenflora*, become established (Mulec, 2019). These assemblages are mainly composed of microorganisms, dominated by cyanobacteria, diatoms and green algae, which are able to generate extensive biofilms on the cave walls. These patinas cause substantial aesthetic damage, jeopardizing the touristic value of show caves and their chemical reactions with the underlying carbonate rocks can also be responsible for chemical damage (Baquedano Estevez et al., 2019). In light of this, disentangling the environmental drivers enhancing the *lampenflora* proliferation represents the baseline upon which proper management activities can be set up to guarantee a sustainable touristic use of show caves.

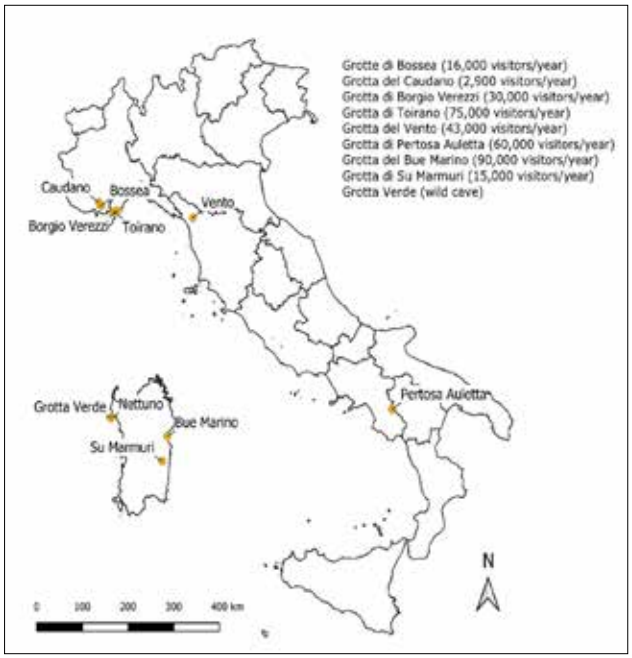


Figure 1 – Map of the caves where the lampenflora monitoring was performed with their annual tourist flux

To achieve this aim, in the framework of the Project of Relevant National Interest (PRIN) "SHOWCAVE", we collected data relative to the concentration of the three main microorganism groups composing *lampenflora*, namely cyanobacteria, diatoms and green algae, in nine Italian show caves experiencing different touristic fluxes (Fig. 1) and we performed an overall evaluation of the main drivers of the *lampenflora* growth.

Materials and methods

In all show caves, we selected one illuminated cave wall or speleothem on average every 50 m from the cave entrance along the touristic path for a to-

tal of 211 sampling plots. Each sampling plot consisted in a circle of 20 cm diameter where we measured three replicates of chlorophyll-a concentration for cyanobacteria, green algae and diatoms. These measurements were performed with the BenthoTorch®, developed by BBE Moldaenke GmbH (Schwentinental, Germany). BenthoTorch® is a Pulse Amplitude Modulated (PAM) fluorimeter that, thanks to an inbuilt algorithm, calculates an instantaneous and in situ measure of the chl-a density of the three benthic photosynthetic organisms composing the biofilm (µg chl-a/cm^2). To test for the possible effect of other environmental variables, in each plot we also measured light intensity with a DELTA OHM S.r.l. LP 471 PHOT probe and the distance from the lamp with a tape meter. To test for the possible effect of other environmental variables, we evaluated the wall moisture by assigning 0 at dry plots, 1 to humid plots and 2 to plots with seeping water on their surface. The distance from the cave entrance and from the tourist path was measured with a laser distance meter Disto Leica D110 BT (precision ± 1.5 mm; reach 0.2-60 m). We then modelled the response of the chl-a density of each photosynthetic group against the environmental variables by means of Generalized Linear Mixed Models (GLMMs) with a Gamma distribution in the R environment. The cave identity was used as a random factor to keep into account the spatial autocorrelation of data.

Results and discussion

By combining the data obtained from all the examined show caves, we showed that light parameters are among the most important drivers of *lampenflora* growth. In particular, we evidenced a positive effect of light intensity (Fig. 2) for all the three examined groups (cyanobacteria: t = 4.15, P < 0.001; diatoms: t = 2.00, P = 0.044; green algae: z = 3.17, P = 0.002), similarly to what observed in literature (Piano et al., 2015; Falasco et al., 2015). Seeping water showed a significant positive effect on diatoms (t = 4.35, P < 0.001), while cyanobacteria were negatively affected by the distance from the cave entrance (t = -2.33, P = 0.020), suggesting that they are vehiculated by the water seeping into the caves and by air circulation respectively. The distance from the tourist path did not affect any of the examined group pointing out that propagules carried out by visitors have a minor role in the dissemination of *lampenflora* within show caves, contrary to what observed for other microbial groups, such as fungi (Mammola et al., 2017).

Overall, our results point out that reducing light intensity may contribute to the reduction of *lampenflora* proliferation, especially on cave walls with seeping water and close to the cave entrance. Despite we could demonstrate that light modulation could help in reducing the growth of photosynthetic organisms in show caves, it should be pointed out that a proper eradication of *lampenflora* cannot be achieved without an active removal by adopting environmentally-friendly chemical methods (Cigna, 2016).

References

Baquedano Estevez C., Moreno Merino L., de la Losa Román A., Duran Valsero J.J. (2019), "The lampenflora in show caves and its treatment: an emerging ecological problem", *International Journal of Speleol*ogy, 48(3): 249-277

Cigna A. A. (2016), "Tourism and show caves", *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementary Issues, 60(2): 217-233

Falasco E., Bona F., Isaia M., Piano E., Wetzel C.E., Hoffmann L., Ector L. (2015), "*Nupela troglophila* sp. nov., an aerophilous diatom (Bacillariophyta) from the Bossea cave (NW Italy), with notes on its ecology", *Fottea*, 15: 1-9

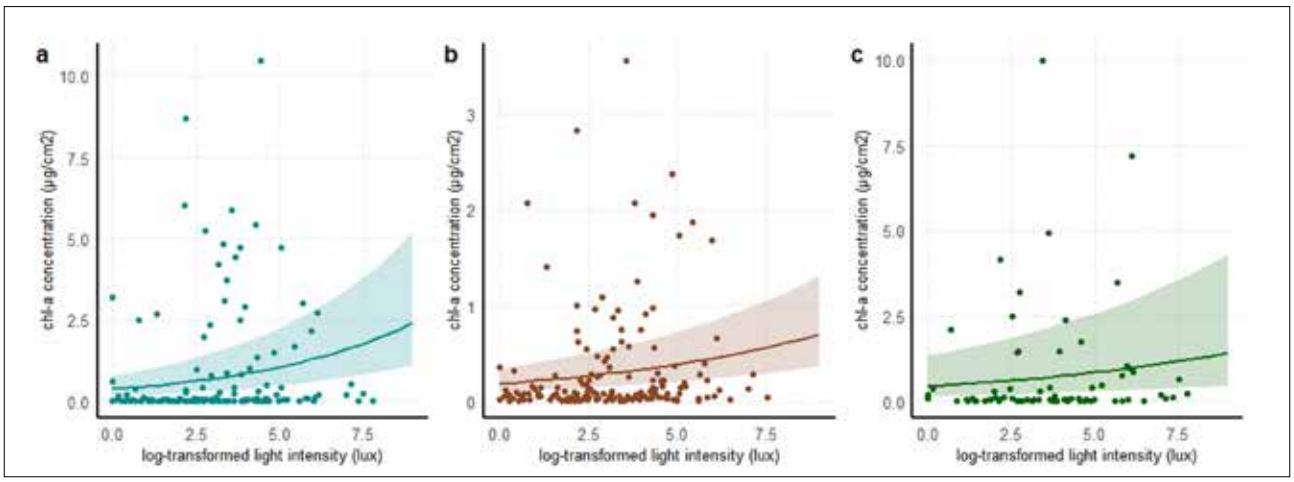


Figure 2 – Predicted values and confidence intervals for the chl-a concentration of a) cyanobacteria, b) diatoms and c) green algae modelled against log-transformed light intensity.

Mammola S., Di Piazza S., Zotti M., Badino G., Isaia M. (2017), "Human-induced alterations of the cave mycobiota in an Alpine Show Cave (Italy, SW-Alps)". *Acta Carsologica*, 46: 111–123

Mulec J. (2019), "Lampenflora". In: White W.B., Culver D.C., Pipan T. (a cura di), *Encyclopedia of Caves*, 3rd Edition, Academic Press, Elsevier, London, UK, pp 635-640

Piano E., Nicolosi G., Isaia M. (2021), "Modulating lighting regime favours a sustainable use of show caves: a case study in NW-Italy", *Journal for Nature Conservation*, 64: 126075

Piano E., Bona F., Falasco E., La Morgia V., Badino G., Isaia M. (2015), "Environmental drivers of phototrophic biofilms in an Alpine show cave (SW-Italian Alps)". *Science of the Total Environment*, 536: 1007-1018

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Towards a sustainable touristic use of show caves: a case study from Sardinia

Elena Piano([a]), Daniela Cinus ([b]), Giuseppe Nicolosi ([a]),
Quirico Antonio Cossu ([b]), Pierpaolo Duce ([b]), Marco Isaia ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123, Torino,
elena.piano@unito.it
([b]) CNR-IBE, Traversa La Crucca 3, Localita' Baldinca, Li Punti, 07100, Sassari,
daniela.cinus@ibe.cnr.it

Parole chiave: *lampenflora,* Grotta Verde, Grotta di Nettuno, modelli predittivi
Keywords: *lampenflora,* Grotta Verde, Nettuno show cave, predictive models

Riassunto
La conversione delle grotte in attrazioni turistiche provoca molteplici alterazioni dell'ecosistema sotterraneo, tra cui la crescita estensiva di organismi fotosintetici, la cosiddetta *lampenflora*. Al fine di fornire strategie di gestione che garantiscano una fruizione turistica sostenibile, abbiamo studiato i pattern di crescita della *lampenflora* in una grotta non turistica, la Grotta Verde, che sarà convertita in un sito turistico nel prossimo futuro, e nella vicina grotta turistica di Nettuno (Sardegna). In primo luogo, abbiamo dimostrato che la presenza di luci artificiali nella grotta di Nettuno favorisce la proliferazione di *lampenflora* anche nelle parti più profonde, mentre nella Grotta Verde la concentrazione di *lampenflora* diminuisce all'aumentare della profondità della grotta, parallelamente ad una riduzione dell'intensità luminosa. Simulando i valori attesi di concentrazione di *lampenflora* in assenza di luci artificiali, abbiamo previsto una drastica riduzione dei valori, fino quasi a 0 μg/cm^2, nella grotta di Nettuno. Viceversa, simulando un aumento dell'intensità luminosa dovuto all'installazione di lampade artificiali, abbiamo previsto un aumento di 0,5 μg/cm^2 di concentrazione di *lampenflora* nella Grotta Verde. Alla luce di questi risultati, vengono fornite alcune pratiche gestionali per valorizzare la fruizione turistica sostenibile delle due grotte studiate.

Abstract
The conversion of caves into tourist attractions causes multiple alterations of the subterranean ecosystem, including the extensive growth of photosynthetic organisms alien to the cave, the so-called *lampenflora*. In order to provide management strategies that would guarantee a sustainable touristic use, we here evaluated the patterns of *lampenflora* growth in a non touristic cave, Grotta

Verde, which will be converted into a tourist site in the next future, and in the geographically close Nettuno show cave. First, we demonstrated that the presence of artificial lights in the Nettuno show cave favours a uniform proliferation of *lampenflora* even in the deepest parts, whereas the *lampenflora* concentration shows a declining pattern with increasing cave depth, in parallel with a reduction of light intensity. By simulating the expected values of *lampenflora* concentration in absence of artificial lights, we predicted a two-fold reduction in the Nettuno show cave under natural light conditions. Vice versa, by simulating an increase of light intensity due to the installation of artificial lamps, we predicted an increase of 0.5 μg/cm^2 of *lampenflora* concentration in Grotta Verde. In light of these results, some management practices are provided to enhance the sustainable touristic use of the two examined caves.

Introduction

Since the early 1980s, the conversion of caves into touristic attractions, the so-called "show caves", impose multiple ecological pressures on the subterranean environment, among which the growth of photosynthetic organisms next to artificial lamps, the so-called *lampenflora*, is of particular concern (Mulec, 2019). Understanding the consequences of the installation of artificial lights represents a key prerequisite to ultimately guarantee a sustainable touristic use of show caves when converting wild caves into tourist attractions. In the framework of the Project of Relevant National Interest (PRIN) "SHOWCAVE", we here compared the values of *lampenflora* concentration in the Nettuno show cave with those observed in the geographically close wild cave, Grotta Verde, which is going to be converted into a show cave in the next future. By modelling the observed values of *lampenflora* concentration against light intensity and cave depth, we predicted their values under natural conditions for the Nettuno show cave and under artificial light exposure for the Grotta Verde.

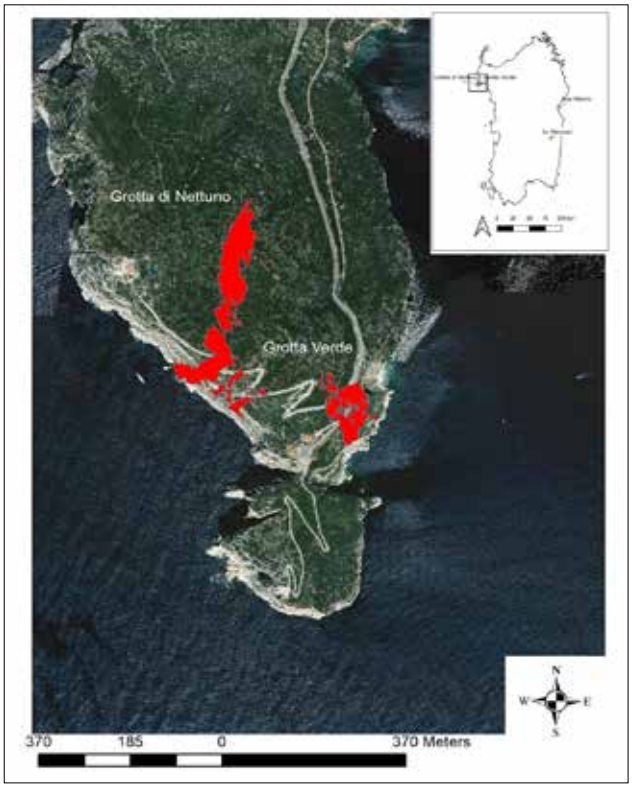


Figure 1 – Map of the Sardinian caves involved in the PRIN SHOWCAVE project with a detailed view of Grotta Verde and Nettuno show cave

Materials and methods

The two caves are located at Capo Caccia (SS, Sardinia), at 20 m a.s.l., with a deep underwater development, but without any connection between the two caves (Fig. 1). Their mean temperatures are in equilibrium with the average annual external temperature and with the sea temperature. In both caves, we selected one illuminated cave wall or speleothem on average every 50 m from the cave entrance along the main route for a total of 13 sampling plots in the Nettuno show cave and 10 sampling plots in the Grotta

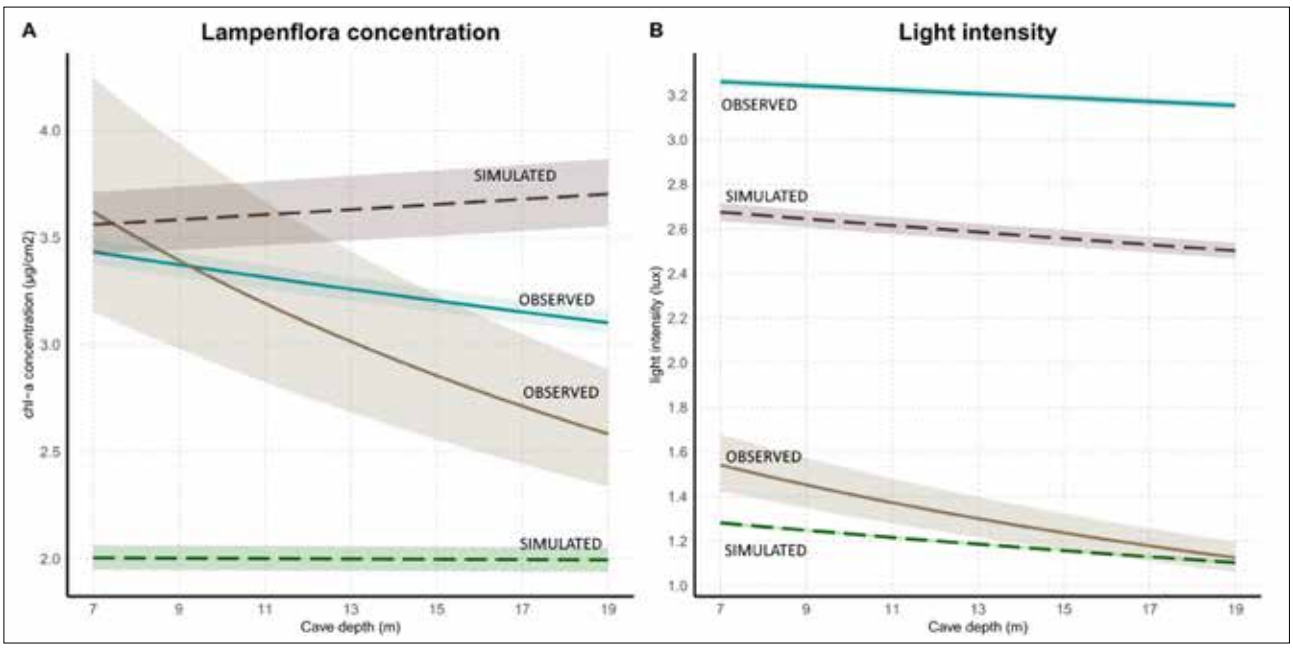


Figure 2 – Regression lines representing the relationship between cave depth with total chl-a concentration (A) and light intensity (B) for observed values (continuous lines) and simulated values (dashed lines) in the Nettuno show cave (blue and green lines) and in the Grotta Verde (brown and grey lines). Plotted lines are referred to the cave depth sampled in the Grotta Verde for a better visualization.

Verde. Each sampling plot consisted in a circle of 20 cm diameter where we measured three replicates of chlorophyll-a concentration with the Bentho-Torch®, developed by BBE Moldaenke GmbH (Schwentinental, Germany), which is a Pulse Amplitude Modulated (PAM) fluorimeter. For each sampling plot, we also measured light intensity with a DELTA OHM S.r.l. LP 471 PHOT probe and the distance from the cave entrance with a laser distance meter Disto Leica D110 BT (precision ± 1.5 mm; reach 0.2-60 m). In the Nettuno show cave, we separately measured the light intensity of the natural light from the light intensity generated by the artificial lamps. We focused only on light intensity because evidence in literature suggests that this is the main driver of *lampenflora* growth (Piano et al., 2015, 2021).

We modelled the response of the total chl-a and the light intensity against the cave depth by means of Generalized Linear Models (GLMs) with a Gamma distribution in the R environment. In a first step, we modelled the response of the total chl-a, artificial light intensity and natural light intensity in the Nettuno show cave. We then modelled the response of the total chl-a against the artificial light intensity and then used the model to predict the total chl-a values with the natural light intensity. Regarding the Grotta Verde, we first modelled the response of total chl-a and natural light intensity against the cave depth. We then modelled the response of total chl-a to the natural light intensity and used the model to predict the values of total chl-a hypothesizing the installation of artificial lights providing an increase of 2.0 lux in light intensity, which represents the average increase in light intensity observed in the Nettuno show cave.

Results and Discussion

The obtained results showed that total chl-a (β-est = -0.007, t = -1.06, p = 0.313, Fig. 2A) and artificial light

intensity (β-est = 0.001, t = 0.347, p = 0.736, Fig. 2B) were not influenced by the cave depth in the Nettuno show cave, while the natural light significantly declined with increasing distance from the cave entrance (β-est = -0.018, t = -3.38, p = 0.007, Fig. 2B). These results point out that the installation of artificial lights favours a uniform illumination of the whole cave with consequent proliferation of *lampenflora* in the deepest parts (Mulec, 2019). Conversely, total chl-a significant declined with increasing cave depth in Grotta Verde (β-est = -0.061, t = -5.58, p < 0.001, Fig. 2A), which paralleled the progressive reduction of light intensity at increasing distance from the cave entrance (β-est = -0.024, t = -4.47, p = 0.002, Fig. 2B).

When simulating chl-a data assuming that artificial lights were removed in the Nettuno show cave, we predicted a two-fold reduction of *lampenflora* concentration based on the intensity of natural light recorded in the cave (Fig. 2A). By assuming that the installation of artificial lights in the Grotta Verde could cause an average increase of 10 lux in each sampling plot, we predicted an average increase of 0.5 μg/cm^2 in the total chl-a concentration (Fig. 2A).

Overall, our results point out that the presence of artificial lamps in the Nettuno show cave significantly enhances the proliferation of *lampenflora* compared to the expected values under conditions of natural light. Although a complete removal of photosynthetic organisms can only be achieved with chemical methods (Baquedano Estevez et al., 2019), reducing the intensity of artificial lights at the Nettuno show cave could still represent an important step forward its sustainable touristic use. Regarding Grotta Verde, the installation of artificial lamps could further enhance the proliferation of the *lampenflora*, which is already supported by the high intensity of the natural light that enters the cave. Equipping the Grotta Verde with artificial lamps is therefore discouraged and providing flashlights to tourists would guarantee the sustainable touristic use of this cave (Baquedano Estevez et al., 2019).

References

Baquedano Estevez C., Moreno Merino L., de la Losa Román A., Duran Valsero J.J. (2019), "The lampenflora in show caves and its treatment: an emerging ecological problem", *International Journal of Speleol*ogy, 48(3): 249-277

Cigna A. A. (2016), "Tourism and show caves", *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementary Issues, 60(2): 217-233

Mulec J. (2019), "Lampenflora". In: White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (a cura di), *Encyclopedia of Caves*, 3rd Edition, Academic Press, Elsevier, London, UK, pp 635-640

Piano E., Nicolosi G., Isaia M. (2021), "Modulating lighting regime favours a sustainable use of show caves: a case study in NW-Italy" *Journal for Nature Conservation*, 64: 126075

Piano E., Bona F., Falasco E., La Morgia V., Badino G., Isaia M. (2015), "Environmental drivers of phototrophic biofilms in an Alpine show cave (SW-Italian Alps)". *Science of the Total Environment*, 536: 1007-1018

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Stima dell'abbondanza dei geotritoni in grotta attraverso il metodo del doppio osservatore

Giacomo Rosa ([a]), Andrea Costa ([a]), Fabrizio Oneto ([a],[b]), Sebastiano Salvidio ([a],[b])

([a]) DISTAV, Università degli Studi di Genova, *andrea-costa-@hotmail.it*, *giacomorosa@live.it*, *sebastiano.salvidio@unige.it*
([b]) Gruppo Speleologico Ligure Arturo Issel, *oneto.fabrizio@alice.it*

Parole chiave: doppio osservatore; modelli gerarchici; modelli *N-mixture* multinomiali; stima dell'abbondanza
Keywords: abundance estimation; double observer; hierarchical modelling; multinomial *N-mixture* models

Riassunto
Per pianificare correttamente la conservazione e la gestione delle popolazioni animali, è fondamentale ottenere informazioni affidabili sulla loro demografia e sui costi del monitoraggio. Nel caso di piccoli vertebrati terrestri, la cattura-marcatura-ricattura, la rimozione e il conteggio ripetuto di individui non marcati (i.e. modelli *N-mixture* binomiali) sono stati spesso utilizzati con successo anche in ambiente ipogeo. Nel presente studio, abbiamo applicato un approccio basato su modelli *N-mixture* multinomiali, ottenuto attraverso un protocollo a doppio osservatore, per stimare l'abbondanza di tre popolazioni di *Speleomantes ambrosii*. Data la facilità di applicazione e l'economicità del protocollo del doppio osservatore, ne incoraggiamo l'impiego per il monitoraggio a lungo termine e la pianificazione della conservazione dei geotritoni e della fauna ipogea.

Introduzione

In ambiente sotterraneo, l'abbondanza assoluta delle popolazioni animali è un parametro importante dal punto di vista ecologico, gestionale e conservazionistico. In molti casi, come ad esempio per le popolazioni di chirotteri, le stime di abbondanza sono realizzate tramite conteggi di individui ripetuti nel tempo (Dambly et al., 2021); tale metodo però non tiene conto dell'osservabilità, che può variare temporalmente e spazialmente, rendendo poco affidabili i risultati (Schmidt, 2003). Spesso vengono anche utilizzate la cattura, marcatura e ricattura (CMR) e/o la rimozione degli individui, procedure che permettono di calcolare l'osservabilità degli animali e che producono stime precise e affidabili (Salvidio, Pastorino, 2002; Lunghi et al., 2019).
Questi metodi necessitano però di elevate risorse di tempo e personale, oltre ai permessi di cattura e la manipolazione delle specie studiate. Recentemente, sono stati sviluppati una serie

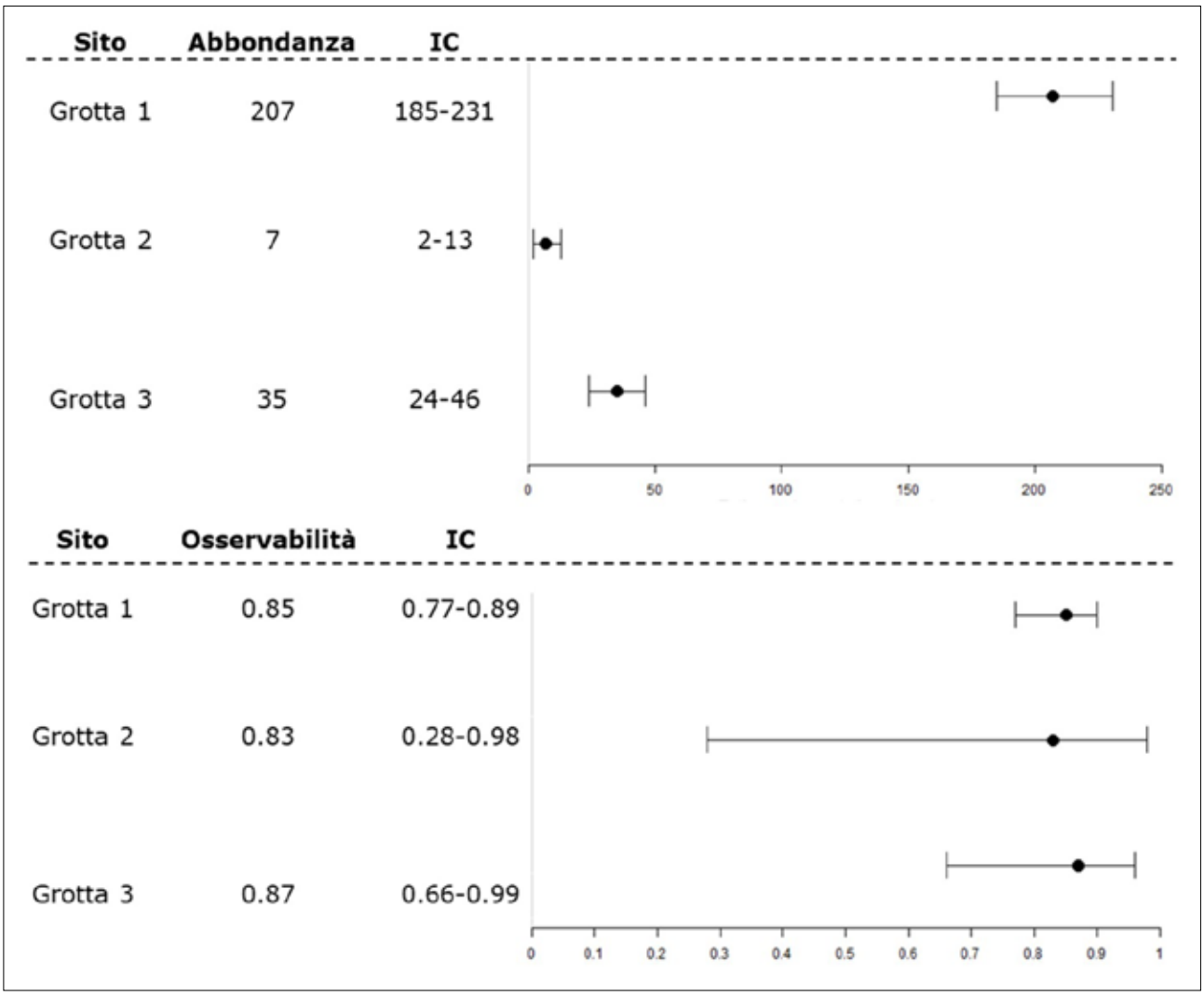


Figura 1 – Stime dell'abbondanza e della probabilità di osservazione, con gli intervalli di confidenza al 95% (IC), per i tre siti sotterranei

di modelli chiamati *N-mixture* multinomiali, che, oltre a non richiedere il riconoscimento individuale degli animali studiati, producono per ogni singolo individuo osservato una storia di cattura e ricattura simile a quella ottenuta tramite CMR (Royle, 2004; Ficetola et al., 2018).

Questi metodi, applicati utilizzando un protocollo con due o più osservatori, si sono rivelati essere molto affidabili per la stima dell'abbondanza di popolazione di animali di piccole dimensioni e criptici, come anfibi e rettili (Ficetola et al., 2018; Costa et al., 2020; Rosa et al., 2022).

In questo contesto, abbiamo applicato un protocollo di campionamento tramite doppio osservatore dipendente (vedi Nichols et al., 2000) su tre popolazioni ipogee di geotritone di Ambrosi (*Speleomantes ambrosii*), anfibio endemico italiano e classificato come prossimo alla minaccia di estinzione (NT) dalla *IUCN*.

Le informazioni ottenute potrebbero essere utili per definire le strategie di monitoraggio e di conservazione della fauna ipogea.

Materiali e Metodi

I siti studiati sono tre grotte naturali situate nella provincia della Spezia e si estendono nel sottosuolo rispettivamente di 15, 27 e 39 m. Ogni grotta è stata suddivisa mediante un metro

a nastro in sezioni lineari di un metro, estendendosi su entrambe le pareti laterali e il soffitto. Le sezioni da un metro sono state utilizzate come repliche spaziali per l'applicazione dei modelli *N-mixture* multinomiali. Le stime di abbondanza delle popolazioni (*N-hat*), assieme agli intervalli di confidenza al 95%, sono state ottenute assumendo che la probabilità di osservazione (*detection probability*) fosse la stessa per i due operatori (Kery, Royle, 2016).

Risultati

Abbiamo contato un totale di 202, 7 e 34 geotritoni, rispettivamente nella grotta 1, 2 e 3. Le probabilità di osservazione sono risultate essere molto simili tra i siti e tutte > 0.80 (Fig. 1). Le abbondanze stimate sono state N-hat^1 = 207 (95% IC 185–231), N-hat^2 = 7 (95% IC 2–13) e N-hat^3 = 35 (95% IC 24–46).

Nonostante la grande differenza tra le abbondanze stimate, le probabilità di rilevamento erano elevate e molto simili nei tre siti di studio. Questi risultati soddisfano quelli ottenuti con altre specie congeneri di *Speleomantes*, le cui probabilità di osservazione in ambienti sotterranei sono generalmente > 0.50 (Lunghi et al., 2018; Costa et al., 2020).

Discussione

Il metodo del doppio osservatore applicato nell'ambito dei modelli *N-mixture* multinomiali si è rivelato un metodo facilmente applicabile e molto economico, dato che non prevede l'impiego di attrezzature particolari e necessita di un solo sopralluogo a sito, al contrario della CMR e del metodo di rimozione che ne prevedono almeno tre. Quest'ultime metodologie richiedono inoltre la manipolazione degli animali che comporta un maggior rischio di diffusione di agenti patogeni degli anfibi, come la chitridiomicosi, e la richiesta al Ministero dell'Ambiente italiano o agli enti locali di permessi ufficiali, la cui procedura può richiedere molto tempo. Pertanto, vista l'affidabilità, l'economicità e la facile applicazione, riteniamo che il protocollo di campionamento impiegato in questo studio possa essere applicato non solo sulle popolazioni, ipogee e non, del genere *Speleomantes*, ma anche su altri taxa della fauna del sottosuolo (e.g., chirotteri e invertebrati ipogei) al fine di ottenere stime di abbondanza affidabili e utilizzabili per la loro conservazione.

Ringraziamenti

L'autorizzazione per le ricerche sui geotritoni è stata fornita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (n° 0039130 del 15/04/2021).

Riferimenti bibliografici

Costa A., Romano A., Salvidio S. (2020), "Reliability of multinomial N-mixture models for estimating abundance of small terrestrial vertebrates", *Biodiversity and Conservation*, 29: 2951–2965.

Dambly L.I., Jones K.E., Boughey K.L., Isaac N.J.B. (2021), "Observer retention, site selection and population dynamics interact to bias abundance trends in bats", *Journal of Applied Ecology,* 58: 236– 247.

Ficetola G.F., Pennati R., Manenti R. (2013), "Spatial segregation among age classes in cave salamanders: Habitat selection or social interactions?" *Population Ecology*, 55: 217–226.

Ficetola G.F., Barzaghi B., Melotto A., Muraro M., Lunghi E., Canedoli C., Carretero M.A. (2018), "N-mixture models reliably estimate the abundance of small vertebrates", *Scientific Reports*, 8: 10357.

Kéry M., Royle J.A. (2016), *Applied hierarchical modelling in ecology*. Academic Press, Cambridge.

Lunghi E., Manenti R., Mulargia M., Veith M., Corti C., Ficetola G.F. (2018), "Environmental suitability models predict population density, performance and

body condition for microendemic salamanders", *Scientific Reports*, 8, 7527.
Lunghi E., Romeo D., Mulargia M., Cogoni R., Manenti R., Corti C., Ficetola G.F., Veith M. (2019), "On the stability of the dorsal pattern of European cave salamanders (genus *Hydromantes*)", *Herpetozoa*, 32: 249-253.
Nichols J.D., Hines J.E., Sauer J.R., Fallon F., Fallon J., Heglund P.J. (2000), "A double-observer approach for estimating detection probability and abundance from avian point counts", *The Auk*, 117: 393–408.
Rosa G., Salvidio S., Trombini E., Costa A. (2022), "Estimating density of terrestrial reptiles in forest habitats: The importance of considering availability in distance sampling protocols". *Trees, Forests and People*, 7: 100184.
Royle J.A. (2004), "N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts", *Biometrics*, 60:108–115.
Salvidio, S., Pastorino, M.V. (2002), "Spatial segregation in the European plethodontid salamander *Speleomantes strinatii* in relation to age and sex", *Amphibia-Reptilia*, 23: 505–510.
Schmidt, B.R. (2003), "Count data, detection probabilities, and the demography, dynamics, distribution, and decline of amphibians", *Comptes Rendus Biologies*, 326: 119–124.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Habitat suitability of *Duvalius carantii* (Sella 1874) (Coleoptera, Carabidae: Trechini)

Marco Tolve ([a]), Pier Mauro Giachino ([b]), Elena Piano ([a]), Marco Isaia ([a])

([a]) Università degli Studi di Torino, *marco.tolve@edu.unito.it*
([b]) Word Biodiversity Association onlus, *p.maurogiachino@libero.it*

Parole chiave: modelli di distribuzione di specie; variabilità intraspecifica; coleotteri ipogei; Alpi sud-occidentali.
Keywords: Species distribution models; intraspecific variability; cave dwelling beetles; SW-Alps.

Abstract
Species distribution models (SDMs) are one of the most important tools to investigate ecological, biogeographical, evolutive and conservation biology issues. Here, we studied the habitat suitability of *Duvalius carantii* (Sella 1874), a subterranean endemic cave beetle whose distribution is centred in the SW-Alps. Annual Mean Temperature, Mean Diurnal Temperature Range, Precipitation Seasonality and distance from the Last Glacial Maximum glaciers resulted the most important factors explaining the distribution of *D. carantii*. The predictive performance of the statistical model was high, showing a high reliability of the model prediction. The area predicted by the model overlaps the range of other subterranean species of beetles endemic of small sectors of the Western Alps, suggesting high ecological vicariance. Specific taxonomic and morphological studies on the variability of *D. carantii* are needed to shed light on uncovered patterns of intraspecific variability of this species.

Riassunto
I modelli di distribuzione delle specie (SDM) sono uno degli strumenti più importanti utilizzati per indagare aspetti ecologici, biogeografici, evolutivi e conservazionistici. In questo lavoro si è determinata l'idoneità bioclimatica di *Duvalius carantii* (Sella 1874) una specie endemica di coleottero sotterraneo la cui distribuzione è incentrata nelle Alpi sud-occidentali. La temperatura media annuale, l'escursione termica media diurna, la stagionalità delle precipitazioni e la distanza dalle masse glaciali pleistoceniche sono risultati i fattori più importanti nello spiegare la distribuzione attuale di questa specie. Le prestazioni predittive del modello sono risultate molto elevate, dimostrando un'elevata affidabilità della previsione. L'area prevista dal modello si sovrappone all'areale di altre specie di coleotteri sotterranei endemici di piccoli settori delle Alpi occidentali, suggerendo una elevata vicarianza ecologica. I risultati del modello aprono interessanti linee di ricerca volte in particolare ad approfondire la variabilità intraspecifica di *D. carantii*.

Introduction

Species distribution models (SDMs) are one of the most important tools used to investigate questions about ecology, biogeography, evolution and conservation biology. In the last years publications related to SDMs have exponentially increased, and numerous algorithms to predict habitat suitability are currently available (Mammola, Leroy, 2018).

Owing to their stable environmental conditions and highly specialised organisms inhabiting them, subterranean habitats have been regarded as ideal systems for eco-evolutionary studies (Mammola, 2019). In this context, SDMs related to subterranean arthropods have lagged behind relative to epigean ones and only few examples are present in literature (Mammola, Isaia, 2017; Mammola et al., 2018).

By means of SDM, we here studied the habitat suitability of *Duvalius carantii* (Sella 1874) (Coleoptera, Carabidae, Trechinae), a subterranean endemic species whose distribution is centred in the SW-Alps (Casale et al., 2019) (Fig. 1).

Materials and methods

To predict habitat suitability of *Duvalius carantii* we used *MaxEnt* (Phillips et al., 2006). We gathered 31 occurrences from literature data (Lana et al., 2021), that we georeferenced by means of the Speleological Piedmontese Cadastre (AGSP, access date December 2021). We used 19 bioclimatic variables and elevation data downloaded from the *WorldClim* website (Fick et al., 2017). Moreover, we used the distance from glacial masses during Last Glacial Maximum (ca. 21,000 years ago) obtained

Figure 1 - A specimen of Duvalius carantii *photographed at his type locality (Sotterranei di Vernante, Province of Cuneo). (Credit: Francesco Tomasinelli)*

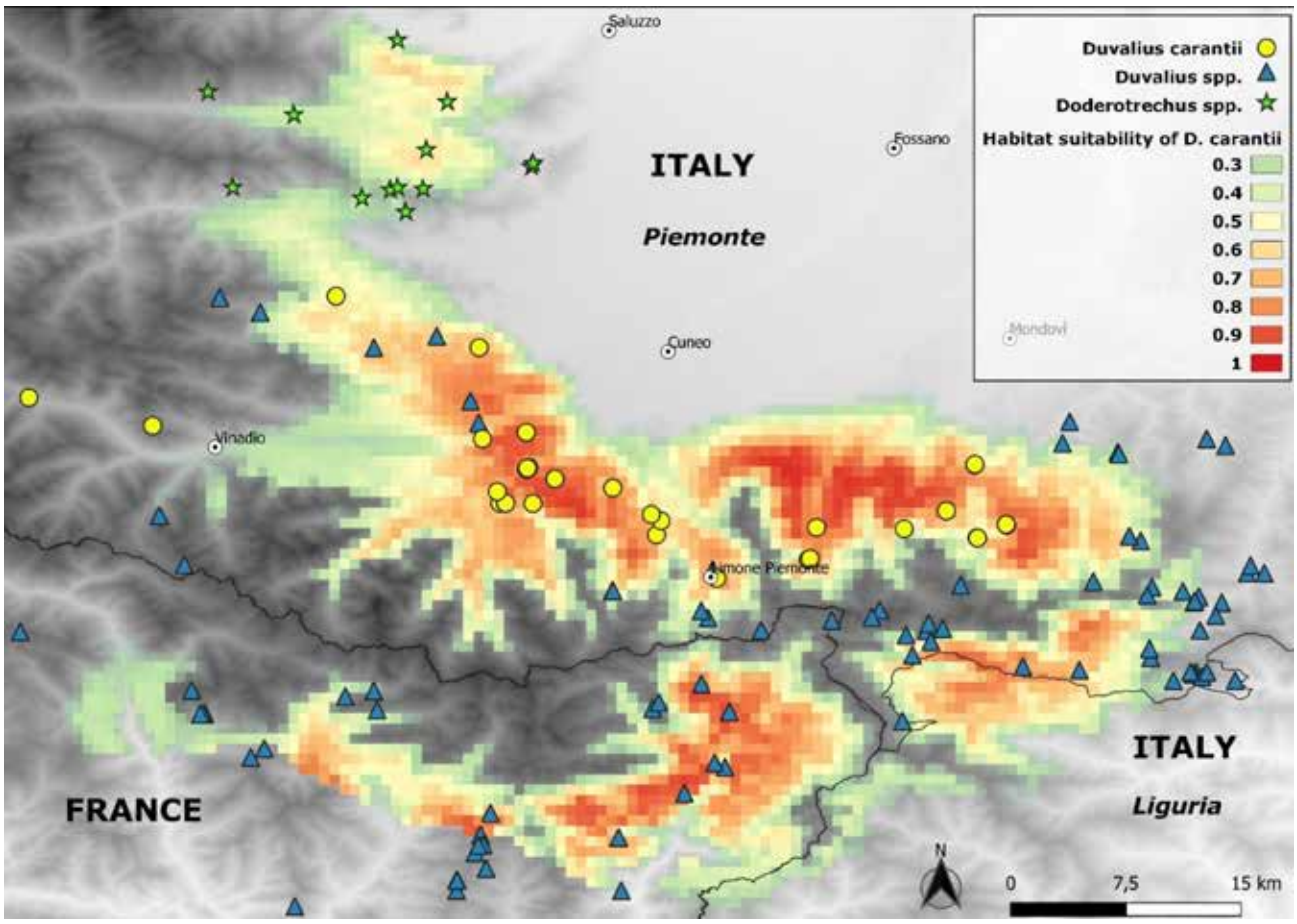


Figure 2 - Occurrences and habitat suitability of Duvalius carantii *(shades from green to red represents increasing suitability). Occurrences of other species of* Duvalius *and* Doderotrechus spp. *are also reported.*

by buffering the Pleistocenic glaciers reconstruction by Ehlers et al. (2011), with distance rings of 1 km. All variables were at a resolution 30''. SDM was calibrated within the accessible area - **M** area - (Barve et al., 2011). **M** area for *D. carantii* was constructed buffering the occurrence records by a radius of 30 km and combining all circles in a final shape. *MaxEnt* model was fitted with default parameters except for *maximum iterations*, increased to 3,000, to avoid underestimation about calculation ability of the model. To generate the model distribution, we ran 10 bootstrap replicates of the model and Selected the average output. For each bootstrap replicate a random partition of 30% of the occurrence points was used for model validation. We generated the final model of the species using the same parameters and calibrated the resulting model with the complete occurrence dataset of the species.

Results and discussion

Annual Mean Temperature, Mean Diurnal Temperature Range, Precipitation Seasonality and distance from the Pleistocenic glaciers resulted the most important factors explaining the distribution of *D. carantii*, with permutation importance of 38.6%, 17.5%, 3.7% and 40.1%, respectively. The predictive performance of *MaxEnt* model was high (mean AUC ± SD = 0.907 ± 0.013), showing a high reliability of the model prediction. Overall, the distance from the Pleistocenic glaciers and Annual Mean Temperature explained nearly 80% of the habitat suitability of *D. carantii*. Accordingly, Annual Mean

Temperature represents an almost ideal approximation of the thermal condition found in most deep subterranean habitats (Badino, 2010). Regarding the ancient glacial influence, it is well documented how past climatic transitions had a profound influence on the subterranean fauna (Culver, Pipan, 2010) driving the subterranean colonization and shaping their current distribution patterns.

Interestingly, the area predicted by the model exceeds the documented distribution of the species (Fig. 2). Specifically, it overlaps the range of other species of *Duvalius* in Italy and France and, in the Northern sector of the range it overlaps the range of *Doderotrechus* spp., another subterranean species of beetle endemic of small sectors of the Western Alps. Such bioclimatic niche overlap suggests high geographical vicariance in *Duvalius* and *Doderotrechus* species, whose range has been profoundly shaped by glacial dynamics during the Pleistocene. Besides, the two westernmost localities are not within the predicted suitable area for the species. These issues open up to new studies about the dynamics that shaped the current range of *D. carantii*, and in particular its relations with the nearby ecologically vicariant species. Besides, specific taxonomic and morphological studies on the variability of *D. carantii* are needed to shed light on uncovered patterns of intraspecific variability of this species.

References

Badino G. (2010), "Underground meteorology, What's the weather underground?", *Acta Carsologica*, 39 (3): 427-448

Barve N., Barve V., Jiménez-Valverde A., Lira-Noriega A., Maher S. P., Peterson A. T., Villalobos F. (2011), "The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modelling", *Ecological Modelling*, 222: 1810-1819

Casale A., Giachino P. M., Lana E. (2019), "Note sul genere *Duvalius* nelle Alpi occidentali e nell'Appennino Ligure, con descrizione di due nuovi taxa ipogei del Piemonte: *Duvalius* (*Duvalius*) *chestai* n. sp. e *Duvalius* (*Duvalius*) *gestroi cristianae* n. ssp. (Coleoptera, Carabidae: Trechini)", *Rivista piemontese di Storia naturale*, 40: 317-353

Culver D. C., Pipan, T. (2010), "Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life", *Acta Carsologica*, 39: 577-586

Ehlers J., Gibbard P. L., Hughes P. D. (2011), *Quaternary glaciations-extent and chronology: a closer look* (Vol. 15), Elsevier

Fick S.E., Hijmans, R.J. (2017), "WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, 37 (12): 4302-4315

Lana E., Giachino P. M., Casale A. (2021), *Fauna Hypogaea Pedemontana*, WBA project, Verona

Mammola S. (2019), "Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White", *Ecography*, 42(7): 1331-1351

Mammola S., Isaia M. (2017), "Rapid poleward distributional shifts in the European cave-dwelling *Meta* spiders under the influence of competition dynamics", *Journal of Biogeography*, 44(12): 2789-2797

Mammola S., Goodacre S. L., Isaia M. (2018), "Climate change may drive cave spiders to extinction", *Ecography*, 41(1): 233-243

Mammola S., Leroy B. (2018), "Applying species distribution models to caves and other subterranean habitats", *Ecography*, 41 (7): 1194-1208

Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. (2006), "Maximum entropy modeling of species geographic distributions", *Ecological modelling*, 190(3-4): 231-259

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ricerche sulla fauna ipogea della Valle Strona

Denise Trombin ([a]), Enrico Lana ([b])

([a]) Biologia Sotterranea Piemonte - Gruppo di Ricerca. Università degli Studi di Torino – Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi. Privato: Via Buonviaggio 47, 19125 La Spezia (SP), Italia, *denise.trombin@libero.it*
([b]) Biologia Sotterranea Piemonte - Gruppo di Ricerca. Privato: Corso Nizza 34, 12011 Borgo San Dalmazzo (CN), Italia, *enrlana@libero.it*

Parole chiave: fauna ipogea; Nord Piemonte; Valle Strona; glaciazioni
Keywords: hypogean fauna; Northern Piedmont; Strona Valley; glaciations

Riassunto
La fauna sotterranea dell'area della Valle Strona è stata fortemente condizionata dagli eventi climatici del passato. Sono state condotte ricerche e osservazioni faunistiche in 12 cavità naturali della zona. La fauna risulta caratterizzata da pochi elementi specializzati (*Alpioniscus*, *Niphargus*, *Oroposoma*), mentre sono assenti i Coleotteri specializzati Trechini e Leptodirini presenti in altre aree vicine e nel resto del Piemonte. La discontinuità degli areali distributivi è, molto probabilmente, dovuta alla storia geologica e geomorfologica dell'area di studio.

Introduzione

La Valle Strona è situata nella Provincia del Verbano-Cusio-Ossola tra la Val d'Ossola (a Nord), la Val Corcera (a Nord-Est) e la Valsesia (a sud) ed è caratterizzata da un solco scavato nella formazione kinzigitica. Si trovano inoltre delle lenti calcaree lunghe alcuni chilometri ma larghe poche centinaia di metri. In uno di questi banchi si apre la Caverna delle Streghe di Sambughetto (Cella, Ricci, 1985), una delle cavità di maggiore interesse faunistico dell'area.

Sporadiche registrazioni faunistiche sono state pubblicate durante il secolo scorso; nel 2016 è stata realizzata un'escursione di ricerca della fauna che ha permesso di ampliare le conoscenze; i dati sono riassunti in Lana *et al*. (2021), mentre i risultati delle successive ricerche sono riportati in Lana & Trombin (2022). Durante ulteriori ricerche sono stati trovati alcuni elementi specializzati (generi *Alpioniscus, Niphargus*, *Oroposoma*), mentre non sono stati mai rilevati i Coleotteri Leptodirini che risultano presenti in zone limitrofe del Piemonte settentrionale. In questo lavoro viene quindi fornita una preliminare caratterizzazione della fauna sotterranea presente in Valle Strona.

Materiali e metodi

La fauna sotterranea è stata rilevata mediante il metodo della ricerca diretta a vista all'interno delle cavità e

nei pressi degli ingressi. Gli organismi sono stati fotografati e identificati in loco quando possibile, per i generi e le specie più rare sono stati raccolti campioni successivamente affidati agli specialisti.
Le cavità oggetto di studio sono 12: Caverna delle Streghe (PI2501), Grotta dell'Alpe Ravinella (PI2676), Balm del Diaulin (PI2836), Balm del Diau (PI2696), Grotte 1-6 del Torrente Bagnone (PI2825, PI2826, PI2827, PI2828, PI2829, PI2830), Bocc dal Faij (PI2677) e Grotta Cadente (PI2678) (rif. Catasto speleologico online: http://catastogrotte-piemonte.net/).

Risultati

Le ricerche svolte nell'area di studio hanno permesso di stilare un elenco faunistico delle 12 cavità. Gli elenchi sono stati confrontati e integrati con i dati del passato disponibili in bibliografia (Lana *et al*., 2021). L'elenco include organismi appartenenti a 3 diversi *Phyla*: Arthropoda, Chordata e Mollusca. Rispettivamente si contano: 7 classi per gli Artropodi, 2 per i Cordati e 1 per i Molluschi. Gli Artropodi risultano essere il *Phylum* con il maggior numero di ordini (16), famiglie (29), generi (37) e specie (26). I Cordati presentano nelle 2 classi un totale di 2 ordini, 3 famiglie, 3 generi e 3 specie; i Molluschi, nella loro unica classe, sono presenti con 2 ordini, 7 famiglie, 8 generi e 7 specie (Tab. 1).

Grazie alle indagini condotte a partire dal 2016, le entità conosciute sono state triplicate ed è stata confermata la presenza di elementi di notevole interesse biologico. L'ultimo contributo è stato apportato dagli autori del presente lavoro in tempi recenti (Lana, Trombin, 2022), in totale sono stati identificati 46 *taxa* almeno a livello di genere e, raramente, di famiglia; sono invece 36 le entità identificate a livello di specie; in particolare per questa cavità sono da segnalare la specie *Alpioniscus feneriensis* (Parona, 1880) e i generi *Niphargus* Schiödte, 1849 e *Oroposoma* Verhoeff, 1936. Il genere *Oroposoma* è stato riscontrato anche presso la Grotta dell'Alpe Ravinella, mentre *A. feneriensis* si trova anche alla grotta Böcc dal Faij e nella grotta del Rio Bagnone 5. Il genere *Niphargus*, di una specie non ancora identificata, è presente solo nella Caverna delle Streghe (Lana *et al*., 2021); nella stessa cavità sono stati per la prima volta segnalati Stafilinidi Pselafini in ambiente ipogeo appartenenti alle specie *Bryaxis collaris* (Baudi di Selve, 1859), *B. kruegeri* (Machulka, 1832) e *Pselaphogenius quadricostatus* (Reitter, 1885) (Lana, Trombin, 2022). Un'ulteriore osservazione degna di nota è la presenza di *Ischyropsalis carli* Lessert, 1905 presso la Caverna delle Streghe e di *Ischryropsalis dentipalpis* Canestrini, 1872 presso la grotta dell'Alpe Ravinella. Osservazioni di *Trechus lepontinus* Ganglbauer, 1891 sono state effettuate nei pressi della Caverna delle Streghe e nella grotta del Rio Bagnone 2; non sono stati invece rinvenuti Carabidi Trechini fortemente specializzati. Risultano per ora assenti in Valle Strona i Leiodidi Leptodirini, presenti nelle zone della Valle Sesia, del Biellese, della bassa Valle d'Aosta e del Torinese, fra cui i generi *Archeoboldoria*, *Canavesiella*, *Dellabeffaella* (Lana *et al*. 2021).

Discussione e conclusioni

Prendendo in esame la carta (GK500-LGM), disponibile *online* e preparata da Schlüchter (2009) che mostra la massima estensione dei ghiacciai in Svizzera e anche in parte del territorio italiano durante l'ultima epoca glaciale, si nota che l'area da noi considerata non era coperta dal ghiaccio (circa 24.000 anni fa).
Secondo Motta (2014) invece, l'area mostra i segni della copertura glaciale

Phylum	Classe	Ordine	Famiglia	Genere/Specie
Arthropoda	Arachnida	Opiliones	Ischyropsalididae	*Ischyropsalis carli*
				Ischyropsalis dentipalpis
		Pseudoscorpio-nida	Chthoniidae	*Chthonius* sp.
			Neobisiidae	*Neobisium carcinoides*
				Roncus sp.
		Araneae	Linyphiidae	*Porrhomma convexum*
				Troglohyphantes lucifuga
			Nesticidae	*Kryptonesticus eremita*
	Crustacea, Malacostraca	Isopoda	Trichoniscidae	*Alpioniscus feneriensis*
		Amphipoda	Niphargidae	*Niphargus* sp.
	Diplopoda	Chordeumatida	Craspedosomati-dae	*Oroposoma* sp.
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	*Trechus lepontinus*
				Trichotichnus laevicollis
				Sphodropsis ghilianii caprai
			Leiodidae Cholevinae	*Catops subfuscus*
				Sciodrepoides watsoni
			Staphylinidae Pselaphinae	*Bryaxis collaris*
				Bryaxis kruegeri
				Pselaphogenius quadricostatus
		Lepidoptera	Erebidae	*Hypena rostralis*
				Scoliopteryx libatrix

Tabella 1- Elenco faunistico degli organismi biologicamente più rilevanti riscontrati in Valle Strona (l'elenco esaustivo è consultabile in Lana & Trombin, 2022)

durante il Pleistocene, nettamente in contrasto con i dati riportati dalla cartografia svizzera. Cella & Ricci (1985) segnalano che nei pressi dell'ingresso della Caverna delle Streghe di Sambughetto sono rinvenibili grossi ciottoli di probabile trasporto glaciale.

Secondo la classica teoria del cosiddetto "effetto Pleistocenico" (Barr, Holsinger, 1985) forme ancestrali avrebbero trovato rifugio negli ambienti stabili e umidi delle grotte durante i periodi di condizioni superficiali sfavorevoli. L'isolamento che ne è derivato avrebbe poi favorito fortemente le dinamiche di speciazione andando a caratterizzare le attuali biocenosi ipogee in termini di rarità, endemicità, genetica e troglomorfia (Isaia *et al*., 2006).

Un intenso effetto dei periodi glaciali

durante il Pleistocene potrebbe spiegare la totale mancanza di elementi specializzati appartenenti ai Leptodirini (generi *Archeoboldoria*, *Canavesiella*, *Dellabeffaella*) presenti invece in zone limitrofe. L'ipotesi più probabile è che nell'area sia sussistita una pressione climatica che ha modificato la distribuzione di questi organismi. Tale ipotesi potrebbe spiegare anche la totale mancanza di Trechini specializzati (generi *Doderotrechus* e *Duvalius*) che popolano invece le valli centro-meridionali del Piemonte e che ricompaiono poi in provincia di Varese (Lombardia) con il genere *Duvalius* (Casale, Vigna Taglianti, 1993). In particolare, per il sito di Sambughetto, è probabile che diversi fattori abbiano agito sinergicamente nel tempo sulle popolazioni di organismi sotterranei. Per questo motivo si ritiene che le ricerche dovranno proseguire qui e nelle altre cavità della Valle Strona con lo scopo di caratterizzare la fauna sotterranea con un maggior grado di dettaglio e nel tentativo di contribuire alla ricostruzione della storia geologica della Caverna delle Streghe di Sambughetto.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare Arianna Paschetto e Gian Domenico Cella che ci hanno accompagnato in alcune delle escursioni che hanno apportato dati a questo contributo. Un ringraziamento particolare a Roberto Poggi, conservatore onorario a vita del Museo di Genova per la determinazione degli Pselafini.

Riferimenti bibliografici

Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi (A.G.S.P.) (2010), *Atlante delle aree carsiche piemontesi*, Regione Piemonte, Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, Ed. "La Grafica Nuova", Torino, volume 1: 1-296, volume 2: 1-462

Barr T.C., Holsinger J.R. (1985), "Speciation in cave faunas", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16: 313-337

Casale A., Vigna Taglianti A. (1993), "I Coleotteri Carabidi delle Alpi occidentali e centro-occidentali (Coleoptera, Carabidae)", in AA.VV. (a cura di), "*Il popolamento delle Alpi occidentali*", *Lavori della Società italiana di Biogeografia*, 16: 331-399

Cella G.D., Ricci M. (1985), "La Caverna delle Streghe", *Labirinti, Bollettino del Gruppo "Grotte" C.A.I. Novara*, 5: 18-33

Cella G.D., Ricci M. (2004), *Le grotte delle province di Novara e del Verbano-Cusio-Ossola*, *Parte 1 – le formazioni a Sud della Linea Insubrica*, Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, Ed. "La Grafica Nuova", Torino, 1: 1-296

Isaia M., Lana E., Bona F., Badino G. (2006), "Studio ecologico delle araneocenosi delle grotte piemontesi", XVI Congresso della Società Italiana di Ecologia, 19-22 settembre 2006 Viterbo/Civitavecchia

Lana E., Giachino P.M., Casale A. (2021), *Fauna Hypogaea Pedemontana. Grotte e ambienti sotterranei del Piemonte e della Valle d'Aosta*, WBA Monographs 6, WBA Project Ed., Verona, 1044 pp.

Lana E., Trombin D. (2022), "Fauna della Caverna delle Streghe di Sambughetto (PI2501)", *Labirinti*, 39, in stampa

Motta M. (2014), "The definition of the extension of Quaternary Glaciers within Alpine Valleys, and his Application to Study of Troglobites", QUAESTI, The 2nd Virtual Multidisciplinary Conference, EDIS - Publishing Institution of the University of Zilina (PDF online)

Schlüchter C. (a cura di) (2009), *La Suisse durant le dernier maximum glaciaire (LGM), 1:500.000*, GeoCartes500, Office fédéral de topographie, swisstopo, Wabern (risorsa online).

Le grotte come archivi archeologici

di Marta ZUNINO e Felice LAROCCA

L'esplorazione di grotte e caverne porta gli speleologi, non di rado, ad imbattersi in testimonianze che indicano come molti ambienti sotterranei, in un passato più o meno remoto, siano stati frequentati da uomini e animali. Generalmente è l'età preistorica quella che ci ha lasciato le tracce più consistenti di tali passaggi, anche in virtù della sua lunghissima durata; non mancano tuttavia attestazioni di presenze più vicine al nostro tempo, inquadrabili in età protostorica e storica. Non è un caso, dunque, che molte delle nostre conoscenze sul passato dell'uomo derivino da contesti e giacimenti che si sono conservati nel sottosuolo; così come non è causale che siano proprio gli speleologi, gli esploratori del mondo sotterraneo, ad effettuare scoperte che talvolta rivestono una portata scientifica eccezionale.

Le cavità naturali, in effetti, hanno svolto una straordinaria funzione *contenitiva* e *conservativa*, fungendo da veri e propri scrigni che si rivelano oggi come puntuali archivi del nostro più lontano passato. Tali cavità, essendo formate da ambienti pressoché stabili e naturalmente protetti, sono poco soggette a trasformazioni; i depositi in esse contenuti, tanto d'interesse archeologico che paleontologico, hanno subito generalmente solo marginali alterazioni e disturbi, di gran lunga più frequenti e distruttivi in superficie.

I giacimenti archeologici presenti nelle grotte offrono agli studiosi, pertanto, una straordinaria possibilità di conoscere molteplici aspetti della vita dei nostri antenati, nonché delle relazioni con l'ambiente in cui essi vivevano, altrove più difficilmente rintracciabili e indagabili. Se gli elementi di cultura materiale (manufatti, oggetti d'uso quotidiano), insieme alle frequenti strutture e alle sistemazioni artificiali (focolari, acciottolati, buche, etc.), danno conto della scelta da parte dell'uomo di aree sotterranee piegate a specifici usi (residenziali, sepolcrali, cultuali, etc.), gli stessi depositi sedimentari formatisi nel corso dei millenni sono portatori di preziose informazioni. Tali depositi, infatti, permettono di affacciarsi su aspetti certamente più immateriali ma ugualmente fondamentali per la comprensione del nostro passato, quali ad esempio il clima e il paleo-ambiente naturale.

La sessione scientifica "Le grotte come archivi archeologici" del XXIII Congresso Nazionale di Speleologia ha visto la presentazione di diversi contributi su tale argomento. In particolare Autori singoli o gruppi di Autori hanno dato conto delle scoperte o degli esiti delle proprie ricerche presentando complessivamente 14 contributi, 10 sotto forma di comunicazioni orali e 4 di poster, ciascuno esposto brevemente.

Le comunicazioni, tutte di elevato valore scientifico e proposte da giovani ricercatori, hanno presentato le ultime scoperte e le novità nell'ambito delle ricerche archeologiche in grotta, sia in siti già noti sia in altri di nuova segnalazione. Sono state affrontate tematiche varie, sia inerenti alla metodologia della ricerca sia a progetti di tutela e valorizzazione del patrimonio culturale. Al tempo stesso sono stati toccati ambiti territoriali differenziati dal nord al sud della Penisola, con una maggior rappresentazione per le realtà del centro-sud.

Dai contributi presentati è emerso come le nuove tecnologie – ad esempio il rilievo tridimensionale – si affianchino oramai ai metodi classici di scavo per rendere

sempre più fruibili ed accattivanti al grande pubblico le ricerche e le esplorazioni in grotta. Infine, di particolare utilità soprattutto per i non addetti ai lavori (che hanno partecipato numerosi alla sessione), è stata la descrizione puntuale delle procedure di segnalazione di ritrovamenti fortuiti in grotta, necessarie alle successive fasi di studio scientifico, tutela e valorizzazione.

Caves as archaeological archives

by Marta ZUNINO and Felice LAROCCA

The exploration of caves and caverns leads speleologists, not infrequently, to come across testimonies that indicate how many underground environments, in a more or less remote past, have been frequented by men and animals. Generally it is the prehistoric age that has left us the most consistent traces of these passages, also by virtue of its very long duration; however, there is no lack of evidence of visits closer to our time, which can be framed in protohistoric and historical ages. It is no coincidence, therefore, that much of our knowledge on the past of man comes from contexts and deposits that have been preserved underground; just as it is not causal that it is the speleologists, the explorers of the underground world, who make discoveries that sometimes have an exceptional scientific significance.

Natural caves, in fact, have performed an extraordinary containment and preservation function, acting as real treasures that are revealed today as precise archives of our most distant past. These cavities, representing stable and naturally protected environments, are not subject to transformations; the deposits contained in them, both of archaeological and paleontological interest, have generally undergone only marginal alterations and disturbances, which are far more frequent and destructive at the surface.

The archaeological sites present in the caves offer scholars, therefore, a chance to learn about multiple aspects of the life of our ancestors, as well as relationships with the environment in which they live, more traceable and investigable here than in any other place. If the elements of material culture (artifacts, everyday objects), together with the frequent structures and artificial arrangements (hearths, cobblestones, holes, etc.), account for man's choice of underground areas folded to specific uses (residential, sepulchral, cultural, etc.), the same sedimentary deposits formed over the millennia are carriers of valuable information. These deposits, in fact, can overlook more intangible, but equally fundamental, aspects for the understanding of our past, such as climate and the natural paleo-environment.

The scientific session "The caves as archaeological archives" of the XXIII National Congress of Speleology saw the presentation of various contributions on this topic. In particular, single authors or groups of authors gave an account of the findings or the results of their research by presenting 14 contributions, 10 in the form of oral communications and 4 as posters.

The communications, all of high scientific value and proposed by young researchers, presented the latest discoveries and innovations in the field of archaeological research in caves, both in already known sites and in new ones. Various issues were addressed, both inherent to the methodology of research and to projects for the protection and enhancement of cultural heritage. At the same time, different territorial areas from the north to the south of the Peninsula were touched, with a greater representation for the case studies of Central and South Italy.

From the contributions presented, it emerged that new technologies - for example the three-dimensional survey - are now added to the classic methods of exca-

vation, making research and exploration in caves increasingly usable and captivating to the general public. Finally, particularly useful especially for non-experts (who participated in large numbers in the session), was the detailed description of the procedures for reporting fortuitous finds in the cave, necessary for the subsequent phases of scientific study, protection and enhancement.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta Battifratta (Poggio Nativo, Rieti). Un nuovo progetto di ricerca archeologica e paleoambientale

Cecilia Conati Barbaro ([a]), Luca Forti ([b,c]), Daniele Moscone ([d])
Elena Carletti ([a]), Emma Chiarabba ([a]), Nadia Marconi ([a]), Salvatore Milli ([e])

(a) Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Sapienza Università di Roma, *cecilia.conati@uniroma1.it, elenacarletti95@gmail.com,*
(b) chiarabba.1770514@studenti.uniroma1.it,
(c) nadiamarconi.1970@gmail.com
(b) Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università degli Studi di Milano, Milano
(c) Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR Pisa, *luca.forti@unimi.it*
(d) Koç University, Istanbul, *danielemoscone@hotmail.it*
(e) Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma, *salvatore.milli@uniroma1.it*

Parole chiave: Archeologia, Sabina, paleoambiente, Pleistocene-Olocene
Keywords: Archaeology, Sabina, palaeoenvironment, Pleistocene-Holocene

Riassunto
Il progetto di ricerca ha l'obiettivo di indagare l'uso delle grotte della Sabina nel corso della pre-protostoria, integrando i dati archeologici con quelli paleoambientali. Tra le grotte selezionate per le indagini archeologiche la Grotta Battifratta presenta un alto potenziale informativo sulle modalità di frequentazione dell'area, sullo sfruttamento delle risorse naturali, sull'impatto antropico nel corso del tempo e sulle modificazioni climatiche e ambientali nel tardo Quaternario. I risultati di questo studio interdisciplinare, qui presentati in maniera preliminare, permetteranno di gettare luce su una regione ancora poco conosciuta dal punto di vista del popolamento umano tra Pleistocene e Olocene.

Introduzione

Grotta Battifratta, localizzata nel comune di Poggio Nativo, 50 km a Nord di Roma, rappresenta un sito chiave per comprendere le dinamiche del popolamento umano nell'area Sabina nel corso del Tardo Quaternario. Negli anni '80 del '900 la grotta è stata oggetto di limitate indagini da parte dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana (Segre Naldini, Biddittu, 1985, 1988). Successive ricerche in cavità limitrofe, ad opera del Gruppo Speleo Archeologico Vespertilio, hanno messo in luce l'importanza della ricerca speleologica nel campo archeologico in questo settore della Sabina (Ranieri, 2015). Nel luglio 2021 il Dipartimento di Scienze dell'Antichità della Sapienza Università di Roma, sotto la direzione scientifica della prof. Cecilia Conati Barbaro, ha avviato un progetto di ricerca multidisciplinare sul popolamento preistorico della valle del Farfa e territori limitrofi, nell'ambito del quale è stata condotta una prima campagna di scavo archeologico alla Grotta Battifratta.

Inquadramento e descrizione della cavità

Grotta Battifratta si sviluppa all'interno della formazione travertinosa riferita al Sintema di Poggio Moiano (Cosentino et al., 2008) e si apre a strapiombo su una falesia lungo la sinistra idrografica del fiume Riano (Fig.1 A-C). La cavità, registrata con il n. 896 nel Catasto delle grotte del Lazio (Nisti, 1981), si sviluppa per circa 60 metri in direzione Est con una morfologia pressoché orizzontale. L'ingresso è costituito da un'ampia camera larga circa 18 m, profonda 8,5 m e alta circa 6 m (Fig. 2). La cavità si presenta attualmente come un riparo sotto roccia modellato dall'azione combinata di crioclastismo e bioclastismo che ha causato il distacco gravitativo di porzioni della volta. L'ingresso che immette all'interno della cavità ha una forma a volta, con un restringimento nella parte iniziale con accumulo di materiale colluviale contenente reperti archeologici (Fig. 3). Proseguendo nei settori più interni la grotta presenta condotti, in alcuni casi con morfologia a chiave. A circa 10 m dall'ingresso, una piccola risalita immette in un salone parzialmente concrezionato con la presenza di un *flowstone*, che sigilla un deposito clastico composto da ciottoli immersi in una matrice limoso-argilloso di colore bruno. Le porzioni più profonde della grotta sono molto fangose, con passaggi stretti di tipo freatico, con numerose condotte otturate da sedimento limo-

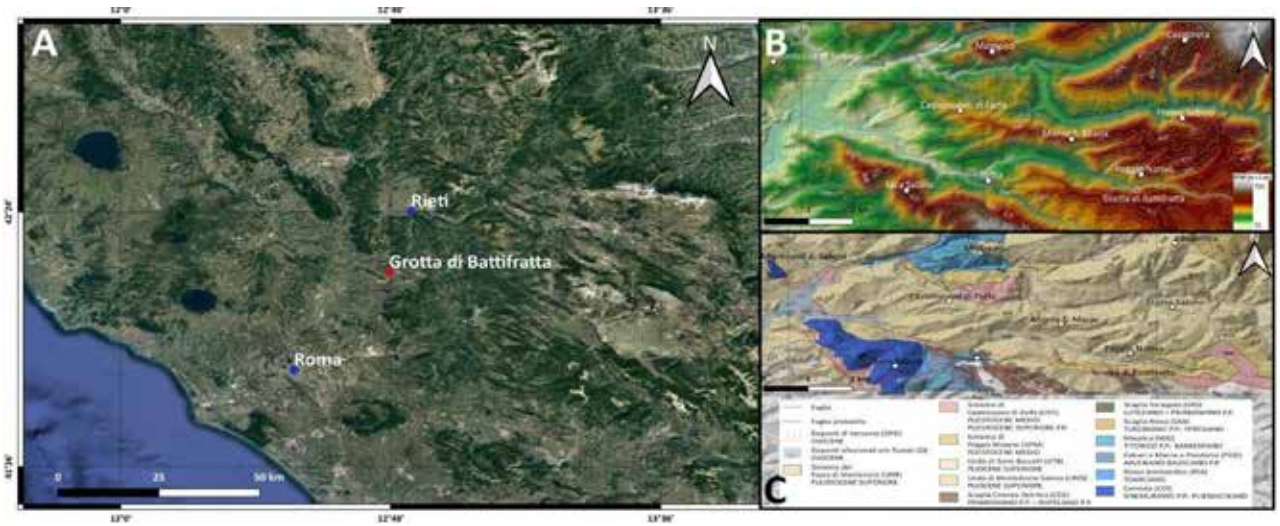


Figura 1 – Localizzazione della Grotta Battifratta (A). Modello digitale del terreno e rielaborazione della carta geologica del territorio limitrofo la cavità (SGI f.357 Cittaducale).

Figura 2 – Grotta Battifratta: vista generale dell'antegrotta.

so-argilloso derivante dall'erosione dei suoli soprastanti la grotta e successivo trasporto e deposizione all'interno della cavità.

Indagini archeologiche

Negli anni '80 del secolo scorso la grotta era stata oggetto di limitati saggi di scavo da parte dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana (IsIPU), che avevano rivelato fasi di frequentazione della grotta riferibili al Bronzo antico e medio (prima metà II millennio a.C.) e al Neolitico (V millennio a.C.) (Segre Naldini, Biddittu, 1985, 1988). Una piccola trincea di scavo era stata aperta in corrispondenza dell'ingresso del cunicolo ed era stata messa in luce una stratigrafia costituita da livelli antropici alternati a livelli di abbandono. Materiali archeologici anche integri e resti scheletrici umani erano stati rinvenuti dagli speleologi anche nel cunicolo interno (Fig.3).

Gli scavi del 2021 hanno consentito di ampliare il ventaglio cronologico della presenza umana nella grotta, mettendo in luce strumenti litici e reperti faunistici risalenti al Paleolitico medio, oltre a comprendere le complesse dinamiche di formazione del deposito archeologico. Importanti crolli della volta della grotta hanno completamente ostruito altri ingressi e cavità interne, dove verosimilmente si trovano i livelli di frequentazione più antichi. L'attuale ingresso corrisponde allo sbocco di un'antica sorgente, probabilmente a regime stagionale, che doveva certamente costituire un punto di attrazione per le comunità umane del passato. La presenza di ceramica, industria litica, reperti faunistici e botanici su più livelli stratificati rivela l'utilizzo della sorgente e della grotta nel corso dell'età del Bronzo e del Neolitico medio. L'impostazione fortemente interdisciplinare della ricerca vede la partecipazione di numerosi specialisti, quali geologi, paleobotanici, archeozoologi, oltre naturalmente agli archeologi. Nel corso degli scavi sono stati prelevati campioni per l'analisi dei sedimenti, per lo studio micromorfologico delle dinamiche di formazione del deposito, per il recupero del polline che aiuterà a ricostruire il manto vegetale del passato e dei materiali botanici carbonizzati, che potranno dare indicazioni sulle piante utilizzate a scopi alimentari e come combustibile. Le datazioni al radiocarbonio forniranno un inquadramento cronologico più preciso del sito. In contemporanea sono in corso di studio e documentazione i materiali ceramici e litici, per ricostruire le produzioni artigianali e le materie prime utilizzate, e i reperti faunistici, che forniranno un quadro

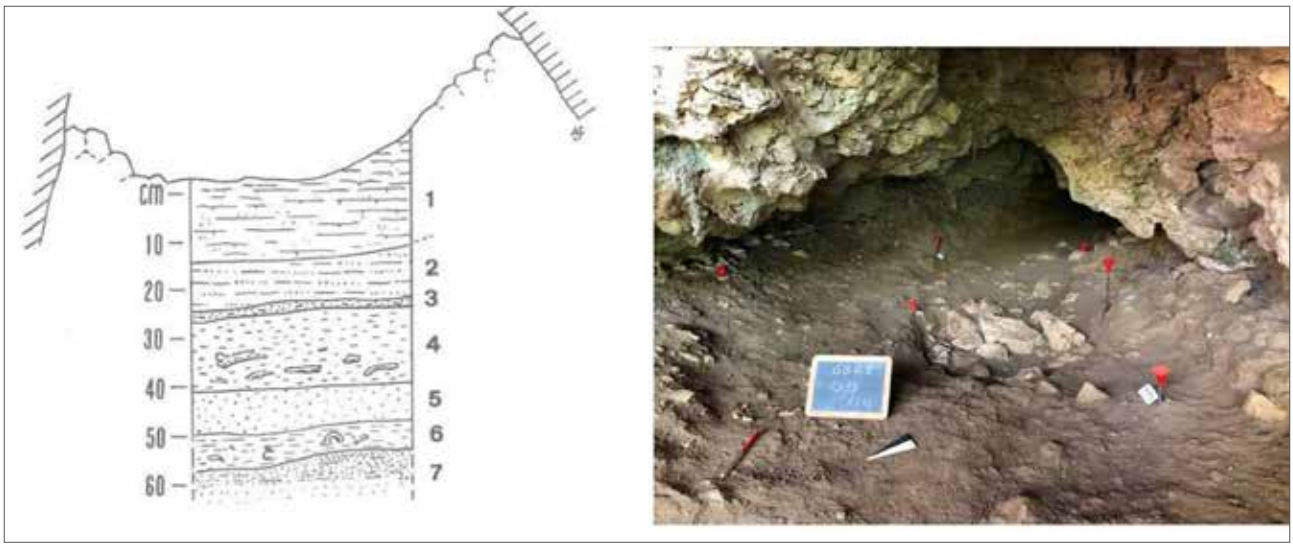


Figura 3 – A sinistra, sezione stratigrafica del saggio di scavo IsIPU (da Segre Naldini, Biddittu 1988); a destra, identificazione del saggio di scavo IsIPU nel corso degli scavi 2021 (archivio Sapienza).

delle strategie economiche e delle abitudini alimentari nel corso dei millenni.

Ringraziamenti
Lo scavo e le ricerche sono finanziati dal fondo Grandi Scavi Sapienza 2021 nell'ambito del progetto "The Farfa Valley Project. Caves, people, and past environments". Si ringrazia il Sindaco di Poggio Nativo Veronica Diamilla per l'insostituibile supporto logistico, il dott. Cristiano Ranieri e il Gruppo Speleologico Vespertilio per l'eccellente supporto nelle indagini speleologiche, il dott. Alessandro Betori, funzionario della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'Area Metropolitana di Roma e la Provincia di Rieti e il dott. Giorgio Filippi direttore del Museo Civico di Salisano per il costante sostegno e i preziosi consigli

Riferimenti bibliografici

Cosentino D., Miccadei E., Barberi R., Basilici G., Cipollari P., Parotto M., Piacentini, T. (2008), *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia (scala 1: 50.000), Foglio 357 ''Cittaducale''. Servizio Geologico d'Italia, ISPRA*

Servizio Geologico d'Italia. (2010). *Carta Geologica d'Italia 1:50000, foglio 357 'Cittaducale'.*

Segre Naldini E., Biddittu I. (1985), "Ceramica dell'età del bronzo dal Costone di Battifratta (Rieti)", *Archeologia Laziale*, VII (QuadAEI 11), Roma: 26-33

Segre Naldini E., I. Biddittu (1988). "Ceramica neolitica dalle Grotticelle del Costone di Battifratta (Rieti)", *Archeologia Laziale*, IX (QuadAEI 16), Roma: 369-371

Ranieri C. (2015), "Nuove scoperte paletnologiche dalle Grotte del costone di Battifratta a Poggio Nativo", Spele*ologia del Lazio, Rivista della Federazione Speleologica del Lazio*, 8: 30-33.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La tutela del patrimonio archeologico ipogeo: corrette procedure di segnalazione e protezione

Henry De Santis ([a])

([a]) Ispettore Onorario Ministero della Cultura per la Tutela dei Beni Archeologici, Accademia Archeologica Italiana, Speleo Club Gianni Ribaldone Genova, *henry.desantis@libero.it*

Parole chiave: tutela patrimonio archeologico ipogeo, scoperte fortuite.
Keywords: underground archaeological heritage protection, accidental discoveries.

Riassunto
Nella relazione vengono illustrate le corrette procedure che lo speleologo deve adottare per formalizzare e tutelare una scoperta fortuita effettuata in ambiente ipogeo. Come redigere una segnalazione e in che tempistiche, quali documenti e quali supporti allegare e soprattutto gli errori più comuni da evitare. Come intrattenere i rapporti con gli organi periferici del Ministero della Cultura. Una sorta di "pronto soccorso giuridico-archeologico".

Introduzione

Può capitare a chiunque di noi, visitando grotte e caverne, di imbattersi fortuitamente in reperti archeologici giacenti sul terreno. Sono centinaia infatti, solo in Italia, le grotte che hanno restituito queste preziose tracce oppure contenenti incisioni o pitture parietali.

In caso di scoperta, superata la sorpresa del momento, è fondamentale approcciarci con le istituzioni preposte alla tutela di questo settore, nei tempi giusti e con i modi più corretti, al fine di non pregiudicare la sicurezza di quanto ritrovato. Come vedremo, la tutela del nostro immenso patrimonio culturale parte da ciascuno di noi.

La principale fonte normativa italiana che regola il settore è il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (di seguito denominato "Codice") - approvato con il Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 ed entrato in vigore il 1° maggio 2004 – il cui testo completo e costantemente aggiornato è disponibile sul sito internet del Ministero della Cultura Mi.C. - www.beniculturali.it) nella sezione dedicata alla normativa.

Il provvedimento, tra le altre cose, tutela tutte le evidenze, mobili ed immobili, che possiedano cospicui caratteri di interesse archeologico, storico-artistico, di bellezza naturale o di singolarità geologica. Le categorie di beni tutelati sono molteplici – la cui elencazione si omette poiché esula dagli scopi del presente contributo – per il dettaglio delle quali si rimanda al testo completo del Codice.

A noi speleologi basti sapere che vi sono comprese tutte "*le cose che interessano la paleontologia, la preistoria e le primitive civiltà*" ovvero tutti gli oggetti di interesse archeologico/paleontologico (ad esempio vasellame, ossa e fossili di animali estinti, strumenti preistorici in pietra, sepolture, ecc.) e, comunque, tutto ciò che proviene dal sottosuolo. Questo va tenuto presente poiché le grotte sono state frequentate da animali e uomini fin dal remoto passato e come degli archivi possono conservare al loro interno preziosi resti.
Anche le incisioni e le pitture parietali (cosiddetta archeologia delle pareti), pur essendo testimonianze non sempre databili con sicurezza, assumono un interesse - se non archeologico - demoetnoantropologico, in quanto esempi di manifestazioni artistiche di età storica o legate a culti agro-silvo-pastorali; pertanto, qualora oggetto di nuova scoperta, è bene segnalarle lo stesso come di seguito descritto.
È bene precisare che le indagini archeologiche sono riservate allo Stato che le esegue avvalendosi degli organi periferici del Ministero (Soprintendenze) oppure affidando in concessione l'attività di ricerca ad Università od altri Enti scientifici altamente qualificati. L'esecuzione di ricerche archeologiche senza aver ottenuto la concessione è fattispecie punita penalmente con l'arresto fino ad un anno e con l'ammenda da euro 310 a euro 3.099.
La recentissima entrata in vigore della Legge 9 marzo 2022, nr. 22 ha inasprito le pene originariamente previste dal Codice introducendo nel Codice Penale ulteriori ipotesi di reato, tra le quali il furto, l'appropriazione indebita, la ricettazione, il riciclaggio, l'autoriciclaggio e l'importazione illecita di BB.CC.

Le scoperte fortuite

La scoperta fortuita va intesa come un ritrovamento effettuato senza aver scavato o modificato lo stato del terreno. Il Codice prevede che chiunque ritrovi fortuitamente beni di interesse archeologico/culturale debba farne denuncia, entro 24 ore dalla scoperta, al Soprintendente competente per territorio oppure al Sindaco del comune entro cui ricade il sito ovvero alle autorità di Pubblica Sicurezza, provvedendo a conservare temporaneamente quanto ritrovato lasciandolo nelle condizioni e nel luogo di giacitura. La mancata denuncia di scoperta è punita con la stessa pena di chi esegue ricerche clandestine. La tempestività della segnalazione, al di là dell'obbligo di legge, è di estrema importanza per la salvaguardia di ciò che si è rinvenuto poiché, quanto prima, il personale addetto alla tutela potrà recarsi sul posto e mettere in sicurezza l'oggetto.
La procedura migliore da attuarsi è quella di informare subito la Soprintendenza competente, inizialmente via telefono e, successivamente, formalizzare la segnalazione a mezzo Posta Elettronica Certificata o raccomandata A/R (i contatti di tutti gli organi periferici del Ministero sono reperibili sul sito internet www.beniculturali.it mentre le Regioni Sicilia, Valle D'Aosta e Trentino Alto Adige possiedono Soprintendenze autonome a livello regionale o provinciale).
Qualora, per forza maggiore, ciò non fosse possibile, potranno essere contattati i Carabinieri (che possiedono, a livello nazionale, i Nuclei Tutela Patrimonio Culturale), la Guardia di Finanza o altra Forza di Polizia, spiegando quanto accaduto ed attendendo istruzioni in merito. È opportuno in fase di redazione della segnalazione, al fine di facilitare gli adempimenti successivi, qualificarsi con recapiti e dati personali completi, descrivere brevemente le tempistiche e le fasi della scoperta e cristallizzare l'esatta posizione del sito, marcandolo sulla carta topografica e segnandosi le

coordinate geografiche mediante GPS. Sono di eccellente supporto eventuali riprese video, fotografie, schizzi e rilievi speleologici. È inoltre ottima prassi, nonché atto di estremo buon senso, ai fini della salvaguardia di quanto rinvenuto, non divulgare pubblicamente la scoperta prima di aver inoltrato la segnalazione e senza aver concordato l'eventuale diffusione di notizie con il funzionario competente.

Il Codice prevede anche che lo scopritore, in caso di assoluta e motivata necessità, possa asportare l'oggetto al fine di garantirne la tutela e l'incolumità. Tuttavia è molto importante richiedere il preventivo consenso alla Soprintendenza prima di rimuovere qualsiasi cosa poiché tale azione può modificare permanentemente un contesto archeologico. Nel caso di un reperto intrasportabile valgono gli stessi obblighi di comunicazione ma, in tal caso, saranno le Autorità ministeriali, avvalendosi della forza pubblica, a provvedere alla messa in sicurezza della zona.

Tutti i beni tutelati dal Codice, da chiunque e in qualunque modo ritrovati (suolo, sottosuolo, fondali marini) appartengono allo Stato e l'impossessamento di tali oggetti è punito, quale "furto di beni culturali", con la reclusione da due a sei anni e con la multa da euro 927 a euro 1.500.

In caso di ritrovamenti di elevato valore scientifico, il Ministero può corrispondere un premio allo scopritore, non superiore ad un quarto del valore dei beni, che generalmente consiste in una somma di denaro. Nessun premio spetta a colui che si sia introdotto abusivamente nel fondo altrui. Le procedure sopra esposte valgono anche per chi pratica speleologia in cavità artificiali, durante la quale è possibile trovare, oltre a manufatti antichi, camminamenti, cunicoli, tombe ipogee e altre opere protette dal Codice.

Protezione del patrimonio storico della I Guerra Mondiale

La Legge 7 marzo 2001, n. 78, complementare al Codice dei Beni Culturali, pone sotto tutela il "*patrimonio storico della Prima Guerra Mondiale*" catalogando quali evidenze da proteggere e valorizzare fortificazioni, trincee, camminamenti, lapidi, cippi, iscrizioni, cimeli ed oggetti personali che abbiano particolari caratteristiche di rarità o rilevanza storica. La Legge n. 78 dispone, inoltre, che chiunque rivenga strutture, reperti mobili o cimeli relativi al fronte terrestre della Prima Guerra Mondiale, di notevole valore storico o documentario, debba farne denuncia, entro sessanta giorni, al sindaco del comune entro cui ricade il sito di ritrovamento, pena una sanzione amministrativa da € 258 ad € 512. In questi casi la stessa segnalazione va indirizzata anche alla Soprintendenza. La conoscenza di questa norma dovrebbe essere patrimonio di tutti coloro che frequentano i luoghi scenario del conflitto poiché è abbastanza facile, anche ai nostri giorni, rinvenire resti delle predette tipologie.

Armi, munizioni ed esplosivi.

Si coglie infine l'occasione per evidenziare che alcuni residuati d'armamento posso essere ancora oggi molto pericolosi e non sono rari i casi di recuperanti feriti o deceduti tentando di rimuovere o smontare ordigni inesplosi. Giova ricordare anche la possibile presenza di munizionamento caricato con gas tossici o vescicanti, tipo iprite, che sottoposto ad oltre 100 anni di corrosione da parte degli agenti atmosferici può far fuoriuscire il pericoloso contenuto con evidenti rischi. Tutti questi residuati sono sottoposti alle disposizioni della Legge nr. 110 del 18 aprile 1975, che impone allo scopritore di armi, munizioni o materiali esplodenti l'immediata denuncia al più vicino commissariato di Pubblica Sicu-

rezza o caserma dell'Arma dei Carabinieri (art. 20).

Conclusioni

In conclusione di questo mini *vademecum* preme far notare, discorrendo per diretta esperienza, che da piccole segnalazioni possono nascere notevoli investigazioni scientifiche e che la protezione del patrimonio culturale possa e debba partire da ciascuno di noi, collaborando ed interagendo con le Soprintendenze e gli altri organi preposti senza timori o pregiudizi, poiché gli effetti di un'omessa segnalazione possono consistere sia nella perdita di importanti contesti archeologici, sia nell'ennesima mancata occasione di valorizzare il territorio in cui si vive.

Bibliografia

Salaris V., Brodasca V., De Santis H. (2009), *Archeologia Subacquea* (Cap. IV). Collana Continente Blu, Editrice Ananke, Torino, ISBN: 8873252818.

Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (con aggiornamenti): https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2004-01-22;42

Legge 9 marzo 2022, nr. 22: https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:2022;22

Legge 7 marzo 2001, n. 78: https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:2001;78

Legge del 18 aprile 1975, nr. 110: https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:1975-04-18;110

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ritrovamenti fortuiti di materiali archeologici in grotte liguri nel periodo 2015-2019

Henry De Santis ([a])

([a]) Ispettore Onorario Ministero della Cultura per la Tutela dei Beni Archeologici, Accademia Archeologica Italiana, Speleo Club Gianni Ribaldone Genova, *henry.desantis@libero.it*

Parole chiave: Neolitico, Paleolitico medio, età del Ferro, età del Bronzo.
Keywords: Neolithic, Middle Paleolithic, Iron Age, Bronze Age.

Lo Speleo Club Ribaldone Genova, che svolge attività di speleologia e torrentismo dal 1970, nel corso delle attività istituzionali di ricognizione e ricerca di nuove cavità è da sempre sensibile alla tutela ed alla valorizzazione del patrimonio geologico ed archeologico giacente nei contesti presi in esame. Tutti i soci attivi sono stati appositamente istruiti sulle tipologie di ritrovamenti che è possibile effettuare in ambiente ipogeo e quali procedure mettere in atto in caso di scoperta fortuita di beni tutelati dal Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio. Nel presente contributo sono elencate alcune delle scoperte effettuate dai membri del sodalizio, nell'ultimo quinquennio, nel comprensorio di Finale Ligure (SV).

Antro della Fettuccia - LI 1865 SV (Finale Ligure - SV)

La grotta è ubicata in una valletta secondaria della valle Andrassa, in località Le Manie, non lontano dal riparo di Pian del Ciliegio, dove sono state messe in luce evidenze di età neolitica (Del Lucchese, 2009). La caverna si presenta come un grosso antro al quale si accede da un cunicolo di ridotte dimensioni. Il terreno all'interno consta di un compatto strato di argilla rossastra che si estende su tutta la superficie. Diverse e pregevoli le concrezioni di natura calcarea, superstiti di una passata attività clandestina di spoliazione. Affioranti da un residuo di deposito presente in prossimità dell'entrata sono stati raccolti un molare di cinghiale e un frammento metacarpale attribuibile alla famiglia Equidae, nonché una porzione di nucleo *Levallois* in selce grigio-biancastra di provenienza locale (De Santis, Negrino, 2015). In una successiva ricognizione si è repertata una tibia di quasi certa connessione con il metacarpale predetto. Le ossa si presentano fossilizzate e parzialmente concrezionate, testimoniandone la provenienza da un livello pleistocenico cui è riferibile anche il manufatto. L'insieme sarebbe quindi attribuibile a una frequentazione relativa al Paleolitico medio recente, ovvero al Musteriano,

fase cronologica per altro già ampiamente nota nel circondario (Arobba et al., 2013).

Grotta di Cima Castellaro - 1866 LI SV (Borgio Verezzi - SV)

Piccola cavità, ad andamento verticale, posta sulla sommità della collina del Castellaro di Verezzi, sul fondo della quale si rinvenivano una decina di grossi frammenti di ceramica grezza ad impasto, alcuni dei quali riportanti tracce di combustione, ed altrettanti manufatti litici, tra i quali spicca, per qualità di manifattura, una macina, della quale è stato reperito a brevissima distanza anche il suo probabile macinello, poiché per dimensioni si adatta perfettamente al solco di usura presente sulla superficie (De Santis, 2016). I reperti ritrovati, per tecnica di fabbricazione e per tipologia stilistica, tendono ad allinearsi all'orizzonte cronologico ipotizzato per il sito dall'attuale situazione degli studi (prima età del Ferro).

Arma di Caprazoppa - 1941 LI SV (Finale Ligure - SV).

E' un grosso antro poco profondo, dello sviluppo complessivo di circa 14 m, che si apre presso le falesie orientali del monte Caprazoppa all'interno del quale sono stati raccolti una ventina di reperti tra manufatti litici e frammenti fittili. Questi ultimi, in base alle caratteristiche osservate (tipologia dell'impasto, trattamento delle superfici, presenza di un piccolo frammento di orlo ad andamento rettilineo), potrebbero essere attribuibili alla cultura dei Vasi a Bocca Quadrata (De Santis, Starnini, 2016).

Tra i manufatti litici rinvenuti si annoverano un grosso ciottolo frammentato riportante tracce di ocra rossa, potenzialmente classificabile come strumento atto alla macinazione e confrontabile con analoghi reperti ben noti alle Arene Candide (Starnini, Voytek, 1997; Lunardi, Starnini, 2013) e due pezzi di concrezione calcitica, dalla superficie liscia, che sembrano essere stati modificati artificialmente per un loro possibile utilizzo quali percussori.

L'insieme dei ritrovamenti potrebbe quindi far ipotizzare la frequentazione della cavità durante il Neolitico medio, ipotesi supportata anche dalle già citate evidenze, riferibili alla medesima fase cronologica, presenti nel territorio circostante.

Grotta del Mulo (476 LI SV) e Grotta della Valle (1953 LI SV) - (Finale Ligure - SV)

Sono due caverne vicine tra loro, situate presso la Rocca di Perti (De Santis, Besana, 2017). La Grotta del Mulo si presenta come un grosso antro, dello sviluppo complessivo di circa 30 m, fortemente antropizzato in età storica mediante la costruzione, presso l'entrata e nell'interno, di muretti a secco delimitanti piccoli vani e perimetri. Il suolo è costituito da terra battuta, rimaneggiata da attività legate probabilmente all'utilizzo della cavità quale insediamento temporaneo, sulla cui superficie si sono rinvenuti una decina di cocci, distinti tra anforacei, una porzione di giara islamica di produzione iberica del XIII sec (meritevole di maggiori approfondimenti considerata la rarità del ritrovamento) ed alcuni frammenti di parete, non diagnostici, dall'impasto compatibile con le produzioni neolitiche e del Bronzo medio ritrovate nella viciniore Caverna Pollera (Tinè, 1974) e presso il Riparo di Pian del Ciliegio (Del Lucchese, 2009).

La Grotta della Valle è invece costituita da una saletta di forma ovale, di circa 4 m di larghezza, seguita da una stanza più grande, anche essa di forma oblunga, larga circa 10 m e profonda 15 m. Il suolo della cavità è polverulento, di colore grigio chiaro e consistenza finissima, fortemente rimaneggiato. Nel

suo interno, oltre ad un piccolo quantitativo di resti ossei di *Ursus sp.*, sono stati recuperati alcuni frammenti litici in pietra verde levigata e un ciottolo frammentario in arenaria riportante tracce di colorante rossastro. Tuttavia non è possibile affermare con certezza la natura antropica o strumentale di tali reperti che potrebbero confrontarsi con analoghe evidenze, datate al Neolitico medio, portate alla luce nella Caverna delle Arene Candide (Starnini, Voytek, 1997; Lunardi, Starnini, 2013) e nell'Arma di Caprazoppa (vedi *supra*). Risulta invece con maggior sicurezza inquadrabile alla *facies* V.B.Q. del Neolitico medio un'ansa a nastro orizzontale in ceramica ad impasto scuro.

Anfratto in località Montesordo/ Fosso Pianmarino (Finale Ligure - SV).

E' un piccolo anfratto formatosi per il distacco di una balza rocciosa dalla soprastante parete. Dalla terra di colluvio che fuoriusciva dall'interno del piccolo ambiente si sono repertati una trentina di frammenti ceramici ad impasto tra i quali spiccano un orlo a tacche impresse, una parete con orlo e scanalatura lineare continua, un fondo di piccolo recipiente ed una presa orizzontale per i quali, considerate le tipologie stilistiche e le caratteristiche degli impasti, può ipotizzarsi un'attribuzione cronologica tra fine dell'età del Rame e l'inizio dell'età del Bronzo (De Santis, 2017).

Antro di Fronte alle Case Valle - 2032 LI SV (Finale Ligure - SV)

Piccolo antro di una decina di metri di sviluppo, recentemente localizzato sul versante orientale della Rocca di Perti, mai segnalato dal punto di vista archeologico. Al suo interno sono stati ritrovati alcuni frammenti di ceramica grezza ad impasto, tra i quali si evidenziano un orlo a decorazioni digitate ed una presa di recipiente confrontabili con materiali attribuiti alla fase finale dell'età del Bronzo, rinvenuti nei viciniori siti di Bric Reseghe (Del Lucchese, 1998) e Grotta del Sanguineto (Del Lucchese, Odetti, 1998).

Grotta II del Caprone - LI 2035 SV (Finale Ligure - SV),

Trattasi di una grotticella che si restringe in un bassissimo cunicolo, percorribile strisciando, che dà accesso ad una saletta di poco più ampia che termina in discesa in un colluvio terroso. Affioranti dalla superficie, nella predetta saletta terminale, si notavano diversi frammenti ossei di origine umana riferibili ad almeno due individui, un giovane e un adulto. Il materiale consiste in: un frammento di cranio, una testa di femore e una scapola sinistra, tutti di individuo giovane; un omero sinistro di adulto, un 1° metatarsale, un radio frammentato forse un frammento di osso palatino che fanno ipotizzare un utilizzo della grotticella quale contesto funerario in epoca pre-protostorica. Purtroppo nessun manufatto diagnostico è stato reperito durante la ricognizione dell'interno.

Grottino dell'Ulivo - LI 2034 SV (Finale Ligure - SV)

Si presenta come un piccolo anfratto dello sviluppo di 5 m circa, di nessun interesse speleologico. Al suo interno giacevano quattro frammenti di maiolica arcaica monocroma, di possibile produzione pisana, ricomponibili in una coppa pressoché intera, databili tra XIV e XV secolo.

Conclusioni

Questi nuovi ritrovamenti sottolineano ulteriormente le enormi potenzialità archeologiche del comprensorio Finalese, evidenziando come siano ancora molte le evidenze da portare alla luce e come sia per altro necessario avviare un progetto sempre più accurato di va-

lorizzazione e di tutela, anche in accordo ed a supporto delle Forze di Polizia. Il patrimonio archeologico di quest'area è stato infatti oggetto, negli ultimi decenni, di una costante e progressiva depauperazione da parte di numerosi scavatori clandestini, che hanno danneggiato irreparabilmente depositi di cruciale importanza per la ricostruzione del nostro passato.

Si ringraziano: Alessandro Vernassa e tutti i soci dello Speleo Club Ribaldone che hanno partecipato alle ricognizioni; Maurizio Palazzo, Maria Vittoria Poggi, Philipp Andreas Rudel, Luca Sibona, Giovanni Laiolo e Francesco Pisano per le segnalazioni di alcune cavità; Paolo De Vingo, Fabio Negrino, Chiara Panelli ed Elisabetta Starnini per i consulti sui confronti tipologici dei materiali; Vito Sparacello per le consulenze antropologiche; Elena Besana per la collaborazione durante alcune ricognizioni.

Riferimenti bibliografici

Arobba D., De Pascale A., Vicino G. (2013), *Il paleolitico*. Guide del Museo Archeologico del Finale, Finale Ligure.

Del Lucchese A. (1998), "Bric Reseghe, Dal Diaspro al Bronzo", *Quaderni Soprintendenza Archeologia della Liguria*, 5: 103-107.

Del Lucchese A. (2009), "Il Riparo di Pian del Ciliegio", *Quaderni del Museo Archeologico del Finale*, 5: Finale Ligure.

Del Lucchese A., Odetti G. (1998), "Il Finalese, Dal diaspro al bronzo", *Quaderni Soprintendenza Archeologia della Liguria,* 5: 90-94.

De Santis H. (2016), "Il Castellaro di Verezzi (Borgio Verezzi – SV)", *Notiziario di Preistoria e Protostoria 3.I - 2016, "Italia settentrionale e peninsulare"*: 5-6.

De Santis H. (2017), "Località Montesordo-Fosso Pianmarino **(Finale Ligure–SV)**", *Notiziario di Preistoria e Protostoria 4.II - 2017, "Neolitico ed età dei Metalli, Italia settentrionale e peninsulare"*: 26-27.

De Santis H., Besana E. (2017), "Grotta del Mulo e Grotta della Valle (Finale Ligure-SV)", *Notiziario di Preistoria e Protostoria 4.II - 2017, "Neolitico ed età dei Metalli, Italia settentrionale e peninsulare"*: 24-25.

De Santis H., Negrino F. (2015), "Antro della Fettuccia (Finale Ligure – SV ritrovamento materiali musteriani)", *Notiziario di Preistoria e Protostoria 2.I - 2015, "Italia settentrionale e peninsulare"*: 4-5.

De Santis H., Starnini E. (2016), "L'Arma di Caprazoppa (Finale Ligure–SV)". *Notiziario di Preistoria e Protostoria 3.I-2016, "Italia settentrionale e peninsulare"*: 3-4.

Lunardi A., Starnini E. (2013), "Tipologia, uso e materie prime delle industrie in pietra non scheggiata della Cultura dei VBQ: materiali dal Veneto e dalla Liguria a confronto", *Atti Società per la preistoria e protostoria della regione Friuli-Venezia Giulia*, 18: 53-86.

Starnini E., Voytek B.A. (1997), "New light on old stones: the ground stone assemblage from the Bernabò Brea excavation at Arene Candide", *Monografie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana*, Nuova Serie, 5: 427-511.

Tinè S. (1974), "Il Neolitico e l'età del Bronzo alla luce delle recenti scoperte", *Atti della XVI Riunione Scientifica Firenze*, Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria: 37-57.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta della Regina (Bari - Torre a Mare, Puglia): grotta anonima, grotta "regale", grotta dimenticata

Giacomo Disantarosa ([a]), Marco Petruzzelli ([b]), Francesco Marco D'Onghia ([b]), Giuseppina Cinquepalmi ([b]), Emanuela Derossi ([b]), Giuseppe Marella ([b]), Mario Parise ([a]), Roberto Greco ([c])

([a]) Università degli Studi di Bari Aldo Moro, *giacomo.disantarosa@uniba.it*, *mario.parise@uniba.it*
([b]) Gruppo Speleologico Vespertilio CAI sez. Bari, *presidente@vespertilio.it, info@caibari.it*
([c]) *robertgreco@libero.it*

Parole chiave: grotta costiera; archeologia dei paesaggi costieri e subacquei; rilievo 3D; geomorfologia costiera
Keywords: coastal cave; archeology of coastal and underwater landscapes; 3D mapping; coastal geomorphology.

La Grotta della Regina, ubicata lungo la costa del quartiere Torre a Mare di Bari (Italia), è stata oggetto di studio da parte di una equipe mista di geologi, archeologi (Università di Bari) e di speleologi (Gruppo Vespertilio CAI Bari), consentendo una migliore georeferenziazione del sito e una specialistica descrizione degli ambienti ipogei costieri e sommersi del complesso ipogeo oltre ad una preliminare schedatura delle evidenze antropiche ed archeologiche, anche grazie all'applicazione di tecnologie per il rilievo topografico e fotogrammetrico. I dati elaborati ed il rilievo 3D hanno meglio evidenziato le tracce di frequentazione del sito e dell'immediato areale limitrofo, costiero e subacqueo, in diverse epoche storiche insieme alle tracce di stratigrafia negativa e ad un ricco repertorio di scritte graffite sulle pareti interne.

La grotta è costituita da una cavità naturale fortemente antropizzata, che si apre lungo la costa a causa degli agenti esogeni marini che hanno agito sulle formazioni calcarenitiche poco a nord (Fig. 1) del porticciolo di Torre a Mare (Bari, Puglia).

Quest'area è interessata da sedimenti

Figura 1 - Porticciolo di Torre a Mare (Bari, Puglia) e ubicazione di Grotta della Regina.

Figura 2 - Grotta della Regina (interno) durante fase rilievo.

carbonatici con un basamento di calcari mesozoici appartenenti alla formazione del Calcare di Bari, sormontati da calcareniti plio-quaternarie appartenenti alla formazione della Calcarenite di Gravina ed ai depositi terrazzati, che localmente hanno spessore variabile dai 3 ai 5 m (Ciaranfi et al., 1988).
Tra le prime probabili citazioni di «Grotta della Regina», perché non esplicitamente citata attraverso il noto toponimo, va annoverata la descrizione del Mola, edita alla fine del XVIII sec. L'antiquario nel capitolo specifico dedicato a «Lido Apellosio», in riferimento a Torre Pelosa divenuta successivamente Torre a Mare, riporta come la costa fosse caratterizzata da «[…] *alcuni antri artefatti, che confinano col mare* […]» (Mola, 1796, 8). La generica descrizione non consente di identificare l'«antro» descritto specificatamente con Grotta della Regina, ma l'aggettivo «artefatto», che identificherebbe le cavità parzialmente antropizzate presenti lungo la costa, farebbe propendere per il complesso di grotte lungo il porto, tra cui quella in questione (Fig. 2-3). L'attribuzione del toponimo «della Regina» è agganciata soprattutto alla tradizione popolare (Roppo, 1927, 95; Tagarelli, 1997, 49; Sforza, 2008, 88) che additava questa località come "preferita sponda balneare della Regina Bona Sforza" (1494-1557). Bisognerà attendere il 1936 per una prima pubblicazione con un approccio scientifico, dal punto di vista geografico e geomorfologico costiero (Volpe 1936).
La grotta "dimenticata" è stata invece, negli anni Sessanta e Settanta, oggetto di studio dal punto di vista della ricerca ecologica, botanica e biologica marina, per le particolari condizioni chimico-fisiche che hanno permesso il proliferare di spugne (poriferi) e di alghe la cui campionatura e studio ha anche consentito di produrre prime mappature del principale ambiente della struttura ipogea (Labate, 1964, 542, fig. 1; Perrone, 1973, 51, fig. 3; Bottalico et al., 2016, 125, fig. 1). La Regione Puglia è una delle prime regioni ad aver istituito un "Catasto Grotte" grazie all'opera del Prof. F. Anelli e dei suoi collaboratori negli anni '60. Dal 2009, la Regione ha ufficializzato ed ampliato questo *database* inserendolo nel "Piano Paesaggistico Territoriale Regionale" come «Catasto delle Grotte e Cavità Artificiali della Puglia», istituendo una legge regionale apposita per la protezione di cavità carsiche ed ipogei. Oggi la cavità è accatastata al numero PU_29; una versione aggiornata della scheda è stata realizzata nel 2020 (http://www.catasto.fspuglia.it), anno in cui, grazie ai finanziamenti relativi ad «Attività prioritarie per l'attuazione dell'art. 45 comma 1 della L.R. n. 45 del 30/12/2013»,

Figura 3 - Vista dall'ambiente principale verso l'esterno di Grotta della Regina.

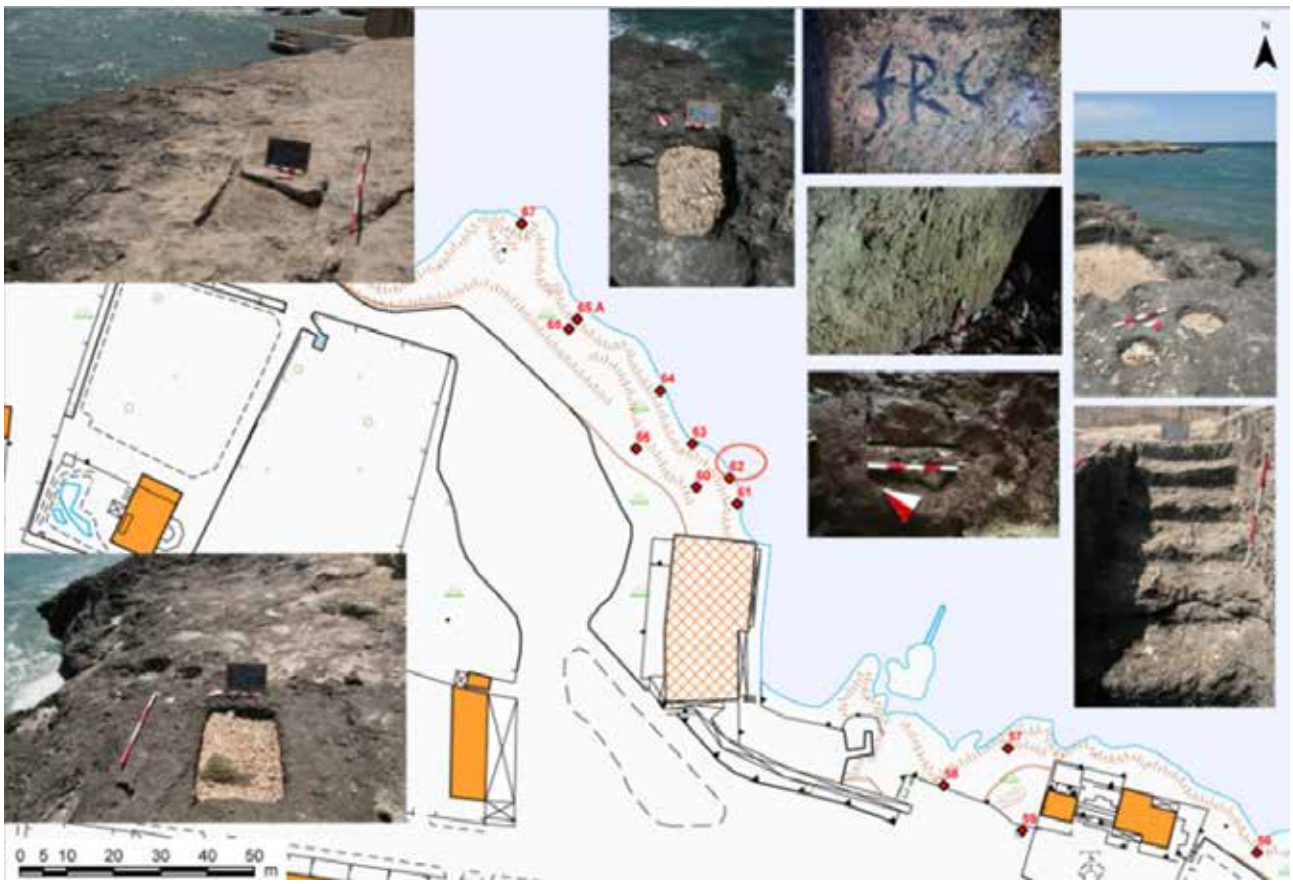


Figura 4 - Carta delle UTC rilevate (60-67) nell'areale di Grotta della Regina (UTC 62) e dettagli delle evidenze archeologiche.

sono state eseguite una serie di indagini aventi come obiettivo quello di fornire nuovi supporti per implementare ricerche specifiche, evidenziare ulteriori potenziali di interesse legati ai luoghi oggetto di studio, fornire elementi utili per la tutela e la valorizzazione storico-paesaggistica.

Nonostante il sito ipogeo di Grotta della Regina sia stato dichiarato di «notevole interesse pubblico» relativamente al territorio costiero del comune di Bari nel 1999, lo stesso non è mai stato oggetto di specifiche indagini archeologiche. Solo tra il 2017 e il 2018 un team di ricercatori dell'Università di Bari (Disantarosa, 2019), ha condotto le prime campagne di ricognizione archeologiche costiere in una fascia-campione del litorale di Bari Torre a Mare, larga ca. 15/20 m e lunga di ca. 7 km. È stato possibile censire 233 Unità Topografiche Costiere (UTC) con tracce di frequentazione e occupazione di siti databili all'età pre-protostorica includendo, in alcuni specifici casi, l'età magno-greca, romana, medievale e le epoche più recenti (Fig. 4). Le indagini negli areali che gravitano attorno a Grotta della Regina (UT 62) hanno fornito elementi per una ricostruzione dei cambiamenti dei paesaggi e delle modalità di frequentazione di questo tratto costiero: buche di palo afferenti a capanne di età protostorica (UT 65.2), sepolture escavate (UT 64, 65.3, 67.1) nel banco roccioso dell'età peuceta (Agresti, 1988), reperti ceramici (UT 65.1: ceramica ad impasto, vernice nera, coppe ioniche, indigena dipinta, laterizi, ecc.), il doppio sistema di scale escavate per l'accesso alla grotta (UT 61, 63), fronti di cava per l'estrazione di blocchi parallelepipedi calcarenitici

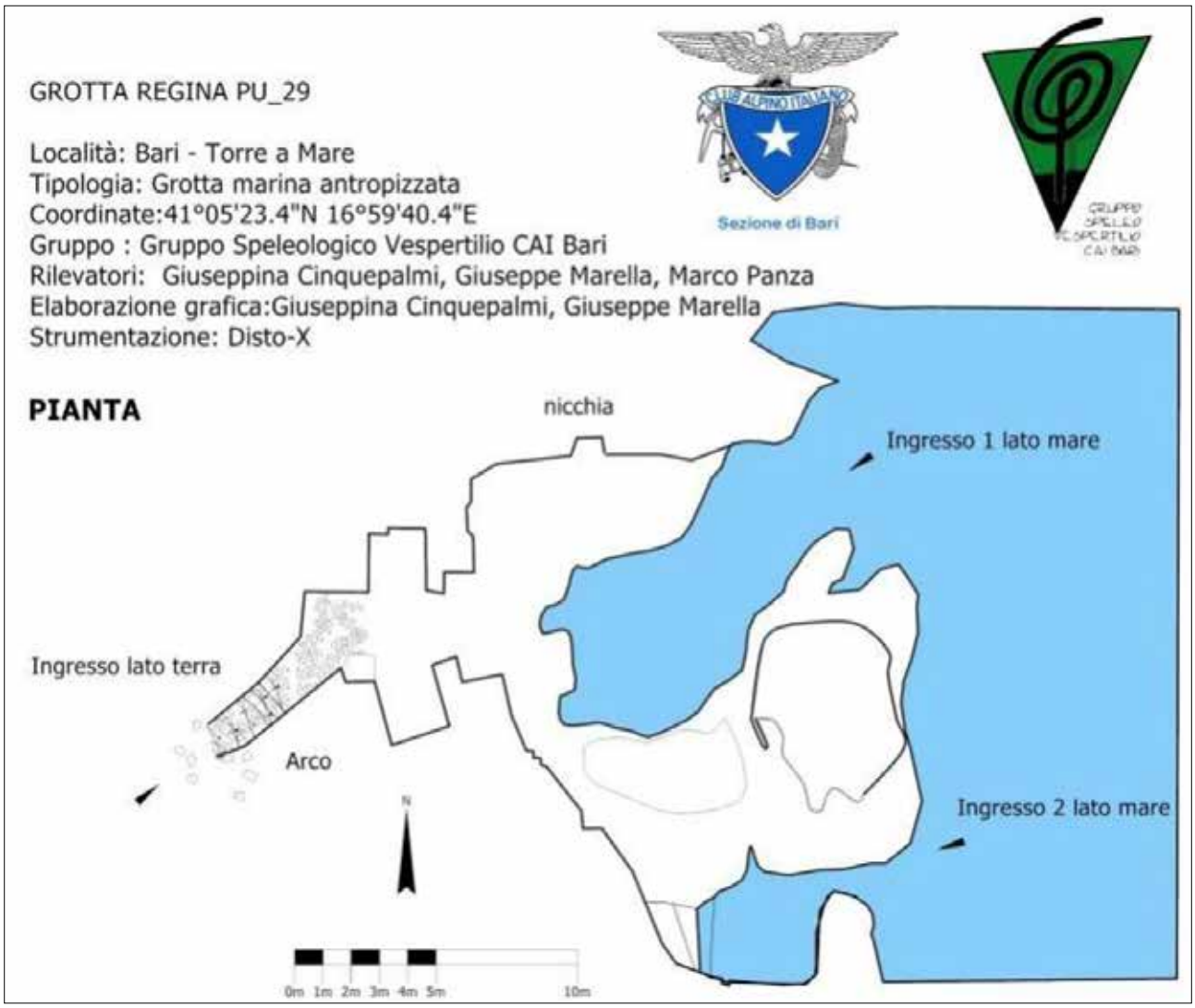


Figura 5 - Rilievo topografico (Pianta)

(UT 67.2) e la presenza di buche interpretate come probabili alloggi per fissare le *machinae tractoriae* (UT 67.3). Di particolare interesse è l'area di cava (UT 60) impostata nell'immediato sopratterra della Grotta della Regina che rappresenta un *unicum* nel censimento effettuato: una serie di solchi paralleli escavati superficialmente (prof. ca. 1 cm) e con un orientamento che rispetta la morfologia costiera, sono stati interpretati come fase di impianto di una cava che risulterà non essere stata mai sfruttata. L'unica presenza di un concio trapezoidale cavato e l'assenza di tracce di approfondimento denunciano l'abbandono dell'areale per ovvie ragioni statiche a causa della cavità ipogea sottostante (Fig. 4).

L'applicazione di tecnologie per il rilievo topografico, fotogrammetrico e 3D (Fig. 6) ha consentito di ottenere misurazioni dettagliate della grotta (189 m^2 di cui 117 calpestabili e 72 sommersi; altezza media da 1,80 m porzione posteriore a 2,5 m anteriore; profondità delle "piscine" d'acqua ca. 2 m) e meglio evidenziato le tracce di regolarizzazione delle pareti laterali interne dei due ambienti, delle nicchie, delle scale escavate finalizzate a collegare la cavità con il pianoro soprastante oltre che del piano di calpestio, dove in alcuni punti è stato possibile rilevare la presenza di tracce di cava e degli strumenti impiegati per estrarre i conci. Di par-

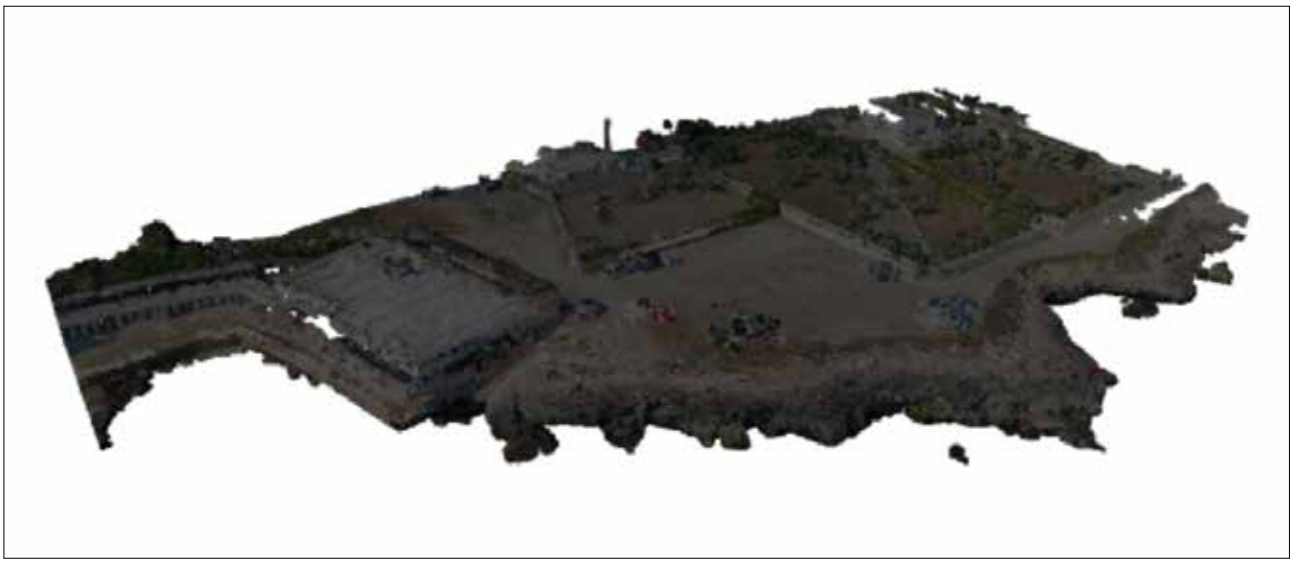


Figura 6 – Rilievo 3D da drone della costa di Grotta della Regina.

Figura 7 – Rilievo fotogrammetrico subacqueo mediante utilizzo del R.O.V.

ticolare importanza è il ricco repertorio di graffiti incisi sulle stesse pareti degli ambienti principali (Fig. 4), attualmente in corso di classificazione e interpretazione (frequentazione estemporanea o area cultuale?).

Un'ulteriore rilievo fotogrammetrico, utilizzando un R.O.*V.* (Fig. 7)*, e un* survey archeologico subacqueo sono stati condotti nello specchio d'acqua all'interno e all'esterno della cavità, consentendo di documentare areali con elementi litici circolari, frammenti ceramici isolati, tra cui pareti di vasi afferenti all'età del Bronzo (seconda metà del II millenio a.C.) e anfore, la cui tipologia e cronologia trova confronto con i reperti rinvenuti nei siti costieri contigui.

Riferimenti bibliografici

Agresti G. (1988), "L'abitato di Punta della Penna", in Andreassi G., Radina F. (a cura di), *Archeologia di una città. Bari dalle origini al X secolo*, Edipuglia, Bari, 361-368.

Ciaranfi N., Pieri P., Ricchetti G. (1988), "Note alla Carta Geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)", *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 41: 449–460.

Disantarosa G. (2019), "Il sistema portuale tra Antichità e Medioevo. Archeologia subacquea e dei paesaggi costieri del litorale, da Bari a Bisceglie", in Uricchio A.F. (a cura di), *Future in Research. Un volano per l'innovazione*, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, 336-342.

Labate M. (1964), "Poriferi di una grotta superficiale del litorale adriatico pugliese", *Annali del Pontificio Istituto superiore di Scienze e Lettere "Santa Chiara" di Napoli*, 14: 319-342.

Mola E. (1796), "Sul cangiamento del lido Apulo", *Memorie per servire alla Storia letteraria e civile*, Gennaio: 1-12.

Perrone C. (1973), "Note ecologiche su *Petroglossum nicaeense* (Duby) Schotter (*Phyllophoraceae*)", *Giornale botanico italiano*, 107.2: 47-57.

Roppo V. (1927), *Noa. Memorie storiche del Comune di Noicattaro*, Editore Vincenzo Fiorentino, Noicattaro.

Sforza M. (2008), *Frammenti di Storia Nojana. Corso di storia locale*, Noja Edizioni2P, Noicattaro.

Tagarelli T. (1997), *Una torre - Un paese. Torre a Mare*, Messaggi s.r.l., Cassano delle Murge.

Volpe F. (1936), "La Grotta della Regina. (Studio della costa di Torre Pelosa)", *L'Universo (Istituto Geografico Militare)*, Agosto: 587-593.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia

Nicolò Falgari ([a]), Cristina Longhi ([b]), Marco Redaelli ([c])

([a]) Gruppo Speleologico Underland, *underlandweb@gmail.com*
([b]) Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia, *cristina.longhi@beniculturali.it*
([c]) SAP s.r.l., *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 presenza 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-

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

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

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 indiziano 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'obbiettivo 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.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

...e io alla casa di Circe andavo, e molto il mio cuore nell'andare batteva (Odissea, Libro X)

Angelica Ferracci ([a,b]), Giuseppe Bosso ([b]), Gabriele Catoni ([b]), Piero Ceruleo([c]) Maria Fierli ([d]), Elia Mariano([b]), Giovanni Mecchia ([d]), Giorgio Pintus([d]), Maria Piro([d]), Angelo Procaccianti ([b]), Mario Federico Rolfo ([a,b])

([a]) Università degli studi di Roma Tor Vergata - *angelicaferracci92@gmailcom*
([b]) Shaka Zulu Club Subiaco,
([c]) Via Giotto, 18, Tivoli,
([d]) Speleo Club Roma

Parole chiave: Circeo, Archeospeleologia, Storia delle esplorazioni
Keywords: Circeo, Archeospeleology, History of explorations

Riassunto
Fin dagli anni '30 del secolo scorso il promontorio è stato interessato da indagini che si sono concentrate nelle grotte naturali che numerose si aprono sul mare lungo i fianchi calcarei, ma le ricerche non sono mai state sistematiche e solo in pochi casi hanno coniugato l'approccio archeologico a quello speleologico. Grazie alla recente ripresa delle ricerche presso Grotta Guattari, svolte dal 2019 al 2021 dalla soprintendenza SABAP Lazio in collaborazione con l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", che hanno messo in luce un patrimonio archeologico unico al mondo, si è maturata la necessità di ripercorrere lo studio delle cavità naturali mappate fin dal 1939 da A.C. Blanc. Il presente contributo vuole delineare una storia delle ricerche nelle cavità naturali, iniziate da G. Brocchi (1817) seguite poi da A. Issel (1883), riprese dopo una stasi da A.C. Blanc (1937; 1939) e proseguite da altri importanti studiosi come A. G. Segre, M. Zei e A. Bietti.

Introduzione

Il Monte Circeo è un promontorio allungato delimitato da versanti ripidi che a sud scendono direttamente in mare. Il rilievo, dalle forme piuttosto aspre, si presenta con una cresta frastagliata che raggiunge un massimo di 541 m. s.l.m. (Picco di Circe). È costituito da rocce carbonatiche di età Giurassica appartenenti alla successione umbro-sabina; soprattutto dai calcari e calcari dolomitici compatti del "Calcare Massiccio", e in piccola parte dai calcari con lenti di selce della "Corniola" e dai calcari marnosi del "Rosso Ammonitico" (Serv. Geol. It., 1961).

Nel complesso del Circeo quasi tutte le cavità si aprono nel Calcare Massiccio. Per la maggior parte sono antri posti a bassa quota, forse antiche risorgenze, modellate anche dall'abrasione marina, e spesso colmate da brecce e depositi di spiaggia quaternari (Segre, 1948). Lungo le falesie costiere del Circeo e

in alcune delle cavità naturali, come la Grotta Azzurra e nella parte più interna della Grotta delle Capre, esistono numerose testimonianze degli antichi solchi di battigia interglaciali, ben riconoscibili dai gradini di abrasione lasciati a circa 8 metri di altezza sull'attuale livello del mare. Attualmente, dall'ultimo aggiornamento catastale, sono documentate 39 grotte, mentre in Grassi e Battiato (2001) le cavità naturali sono 45.

Le fonti fino al XIX secolo

Oltre ai riferimenti mitici della grotta della Maga Circe nell'Odissea (Odissea, Libro X), a partire dal XVI secolo vari studiosi si sono occupati direttamente o indirettamente di alcune cavità del promontorio, primo tra tutti Flavio Biondo che nel 1543 citò il Monte Circello circondato dal mare facendo riferimento anche alla famosa "Grotta di Minerva", la cavità molto discussa riguardo il lungo periodo di sosta di Ulisse presso la Maga Circe (Biondo, 1543).

Le ricerche effettuate hanno evidenziato come i vari autori abbiano descritto in maniera differente le cavità: alcuni con una prosa naturalistica-ambientale e pseudo scientifica, altri in forma più descrittiva molto simile ai racconti del *grand tour.* Per esempio Charles Victor de Bonstetten (1805) descrisse così la sua esperienza nel cercare di visitare la famosa grotta della Maga o strega: "Il ricordo di antiche superstizioni è così vivo tra la gente, che nessuno degli abitanti di Monte Circello oserebbe entrare nella bella grotta che si trova in cima al monte e che la gente crede sia servita da dimora della maga o strega Circe".

Le ricerche nel XX secolo: nasce e si evolve l'approccio speleologico

Dagli anni '20 del 900 il barone Carlo Franchetti è stato il propulsore della speleologia romana fino alla sua morte, nel 1955. Nella sua vita richiamò all'interesse speleologico nobili e signori di alta borghesia e con loro nel 1924 rifondò il Circolo Speleologico Romano, di cui divenne presidente. Franchetti il 13 aprile del 1925 insieme a Gino Barnes, socio del Circolo, si recò ad esplorare la Grotta delle Capre. I due speleologi notarono "tracce di vegetazione marina" immediatamente nel piano di calpestio della cavità: stavano documentando i fori di Litofaga (*Lithofaga lithofaga*), che testimoniano il livello del mare "caldo" nella cavità in un determinato periodo geologico (Franchetti, 1925).

Le ricerche sistematiche delle grotte del Circeo, principalmente archeologiche ma con una sensibilità anche al dato geologico, si devono ad A.C. Blanc che dal 1937 fino agli anni '50 indagò le cavità naturali del promontorio insieme a numerosi collaboratori e studiosi quali L. Cardini e A. Segre. Le ricerche e gli importanti rinvenimenti di Grotta Guattari e di Grotta del Fossellone dettero impulso, a partire dagli anni '60, a ricerche archeologiche in alcune delle cavità naturali del promontorio. Parte attiva dello studio geologico e speleologico in queste ricerche la ebbe il prof. A. Segre che per più di 40 anni fu il riferimento per la geologia del Lazio. Negli anni '90 ebbero un ruolo importante le ricerche e gli studi di Marcello Zei e Piero Ceruleo che tennero viva l'attenzione sulla preistoria del Circeo.

La ricerca e lo studio archeologico nelle cavità naturali del promontorio hanno spesso presentato problemi di ordine pratico all'interno delle cavità, problemi che è stato possibile superare con l'ausilio dell'esperienza degli speleologi e delle tecniche speleologiche

Per quanto riguarda le esplorazioni in cavità marine, le prime ricerche sistematiche risalgono al 1990. Ad oggi sono note due grotte sommerse con accesso solamente dal mare. La prima,

detta Grotta dello Scorfano o Grotta sommersa dell'alabastro, si apre sotto Grotta Breuil ed è costituita da un'unica camera con ingresso, all'interno del quale insiste un cono detritico dovuto ad una paleofrana che ha permesso di studiare le variazioni climatiche e i paleo livelli del mare.
La seconda cavità, chiamata Grotticella sommersa della Torre del fico, è situata a 13 metri di profondità dalla punta che chiude verso nord la baia del porto di Torre del Fico. La grotta, dopo oltre 50 metri di cunicoli, immette in una piccola saletta, dove in sezione si può apprezzare un palinsesto di fauna fossile (Antonioli, 1995).

Le ricerche recenti presso il sito di Grotta Guattari

Le indagini presso il sito di Grotta Guattari, promosse dalla Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Frosinone e Latina per il recupero e la creazione di un nuovo percorso di visita, hanno visto la collaborazione e la consulenza scientifica di archeologi dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata. A partire dall' autunno 2019 sono stati eseguiti i primi sondaggi preventivi nell'area denominata "Laghetto" da A.C. Blanc nel 1939, al fine di monitorare la presenza della paleosuperficie frequentata dalla iena delle caverne (*Crocuta crocuta*) presente nelle altre sale della grotta. È stato così possibile mettere in luce un'ulteriore testimonianza del passaggio della iena caratterizzata da un'abbondante presenza di resti paleontologici, ovvero i resti di pasto del predatore, circa 9.000 reperti di cui alcune decine appartenenti all'uomo di Neanderthal. Una delle aree con la maggior concentrazione di reperti ha stimolato l'avvio, nell'agosto del 2020, di indagini "speleoarcheologiche". Le ricerche si sono concentrate sul fondo del laghetto: un antro di circa 1,50 metri obliterato nella parete di fondo da clasti di crollo cementati. Un sinergico lavoro di disostruzione ha permesso di comprendere che il piccolo antro era una antica entrata. Questo dato ha consentito agli archeologi di collocare il passaggio principale della iena in quest'area e non altrove. Solamente uno studio sistematico degli orientamenti e delle inclinazioni dei reperti paleontologici potrà fornire ulteriori informazioni per una maggiore attendibilità del dato emerso.
Le ricerche sono state estese anche all'esterno, riaprendo le trincee A e B indagate dagli studiosi Blanc e Cardini tra il 1939 e 1947. Si è potuta così evidenziare una sequenza stratigrafica ben più ampia, che si imposta dalla sottostante spiaggia fossile, datata a circa 125 Ka BP, fino al livello "a iena". Nella sequenza si è potuto mettere in evidenza così un'ulteriore paleosuperficie a frequentazione neandertaliana, con ossa combuste, resti faunistici interessati da *cut marks* e numerosa industria litica in strato.
Al di là dell'eccezionalità del rinvenimento di un numero cospicuo di resti umani, lo scopo ultimo delle ricerche in corso è la definizione di un quadro paleoecologico della pianura Pontina in un arco di tempo di circa 57.000 anni, periodo durante il quale i due protagonisti della grotta, la iena e l'uomo di Neanderthal, hanno frequentato le grotte del Circeo e il territorio circostante. Si verrà a creare così la cornice scientifica nella quale inserire l'attore principale, l'uomo di Neanderthal, che ha frequentato il territorio laziale per oltre 250.000 anni lasciando numerose testimonianze giunte fino ai nostri giorni.

Conclusioni

Il Circeo, a partire da Omero fino al XVIII secolo, è stato citato per le sue cavità naturali, in molte delle quali l'at-

trice predominante è la maga o strega Circe. A partire dal XIX secolo, quando nel pieno del Positivismo nasce un approccio scientifico delle esplorazioni delle grotte, l'interesse archeologico prevale sulla ricerca speleologica. In questa fase la speleologia è "ancillare" all'archeologia fino a divenire, in tempi recenti, un'attività tanto diversa quanto sinergica, senza la quale il dato archeologico verrebbe meno e l'esplorazione speleologica nelle cavità orizzontali sarebbe priva di quella curiosità che ci rimanda ai nostri antenati, che in fin dei conti hanno percorso i nostri stessi passi.

Ringraziamenti
Si ringraziano per aver permesso le ricerche nel promontorio: A. Guattari, il Sindaco di San Felice Circeo G. Schiboni, per la Soprintendenza Archeologica SABAP Latina e Frosinone la Dott.ssa M. G. Filetici, il Dott. F. Di Mario.

Riferimenti bibliografici

Antonioli F. (1995), "Ricostruzioni di variazioni climatiche attraverso indagini subacquee: i Promontori di Gaeta e S. Felice Circeo", in Carrara C. (a cura di), *"Lazio Meridionale – Sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari,* ENEA Dip. Ambiente, serie studi e ricerche, 52-59.

Biondo F. (1543), *Roma Ristaurata e Italia Illustrata,* Venezia, 97

De Bonstetten C. V. (1805), *Voyage sur la scène des six derniers livres de l'Enéide, suivi de quelques observations sur le Latium moderne*, Genève.

Blanc A.C. (1939), "L'uomo fossile del Monte Circeo". *Rivista di Antropologia*, 32: 1-18.

Brocchi G.B. (1817), "Viaggio al Capo Circeo, ed osservazioni naturali in què contorni. Lettere del Sig. Brocchi al Sig. Sebastiani professore di botanica dell'Università di Roma*", Biblioteca Italiana o sia Giornale di Letteratura scienze ed arti*, 7: 270

Franchetti C. (1926), "Grotta delle Capre", *Periodico Quadrimestrale del Circolo Speleologico Romano*, 1: 17-20

Grassi L., Battiato M. (2001), "Le Grotte di Ulisse: panoramica delle cavità del promontorio del Circeo e dell'Isola di Ponza (Italia, Lazio, Latina)", *Atti del XVIII Congresso Nazionale di Speleologia, Chiusa di Pesio* 29-31 ottobre 1998, 289-292.

Issel A. (1883), *Le oscillazioni lente del suolo o bradisismi*, Genova, 205-210

Kircher A. (1671), *Latium, id est nova et paralleli Latii tum veteris tum novi description*, Amsterdam, 25

Segre A.G. (1948), *I fenomeni carsici e la speleologia nel Lazio.* Pubbl. Ist. Geografia Univ. Roma.

Servizio Geologico D'Italia (1961), *Foglio 170 Terracina*. Carta geologica d'Italia scala 1:100.000.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ritrovamento di nuovi resti di *Ursus spelaeus* nella Grotta del Mezzogiorno a Frasassi (Genga, Marche)

Marco Peter Ferretti ([a]), Amedeo Griffoni ([b]), Michele Merloni ([b])

([a]) Scuola di Scienze e Tecnologia, Sezione di Geologia, Università degli Studi di Camerino, Via Gentile III da Varano, 62032 Camerino (MC); *marcopeter.ferretti@unicam.it*
([b]) Gruppo Speleologico CAI - Sezione di Jesi, Via Sant'Apollinare 3d - Monteroberto, 60030 (AN). *amedeogriff@gmail.com; merloni.michele@gmail.com*

Parole chiave: Frasassi; *Ursus spelaeus*; Pleistocene superiore; speleogenesi
Keywords: Frasassi gorge, cave bear, Late Pleistocene, speleogenesis.

Riassunto
Nel presente lavoro viene fornita una descrizione preliminare dei reperti di *Ursus spelaeus* finora recuperati in una condotta della Grotta del Mezzogiorno (Genga, Marche) e del contesto geologico e biologico del sito di ritrovamento. Le ossa rappresentano gli scheletri parziali di almeno tre orsi, tra cui un esemplare immaturo. Sebbene resti isolati di orso delle caverne erano già stati segnalati in altri due siti in grotta a Frasassi, questo è il primo ritrovamento di abbondanti reperti scheletrici appartenenti a più individui. Lo studio sistematico e cronologico di questo nuovo materiale permetterà di meglio caratterizzare la popolazione di orso delle caverne che nelle fasi finali del Pleistocene abitava l'Appennino Umbro-Marchigiano e potrà fornire un importante contributo per ricostruire la storia speleogenetica di questo settore della Gola di Frasassi, ancora non del tutto chiarita.

Il sito di ritrovamento

L'ingresso della Grotta del Mezzogiorno è situato a 490 m slm, nel fianco orientale del Monte Frasassi (708 m slm), che con il Monte Valmontagnana (930 slm) forma la Gola di Frasassi (12° 57'E, 43° 24'N), un profondo canyon lungo circa 2 km, con pareti calcaree alte fino a 500 m, al fondo del quale scorre il Torrente Sentino. La cavità si sviluppa principalmente nel Calcare Massiccio, del Giurassico inferiore. Il sistema Grotta del Mezzogiorno-Beata Vergine è costituito da gallerie comunicanti di varia sezione poste su piani suborizzontali sovrapposti (Fig. 1). Sono presenti almeno tre piani carsici, ora in parte percorribili, costituiti da sale e gallerie orizzontali, collegate tramite pozzi e scivoli più o meno inclinati, da ricollegare alle variazioni del pelo di falda e dunque del torrente Sentino, che rappresenta il livello idrico basale di riferimento (Cattuto, 1976; Bocchini, Coltorti 1978; Coltorti, Galdenzi, 1981). La zona di ingresso della Grotta del Mezzogiorno, costituita da un grande portale, dà accesso a due caverne, quella di destra ("grotta preistorica", Fig.1) a fondo cieco, lunga una quarantina di metri e quella di sinistra che immette in una ampia sala in discesa,

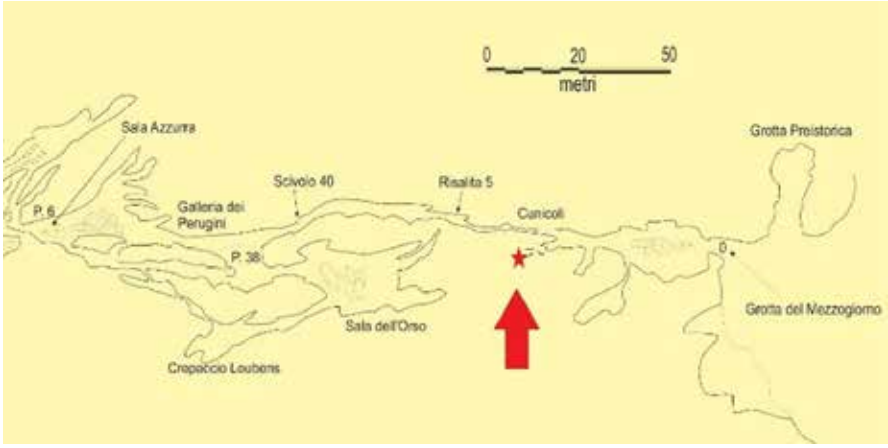


Figura 1 - Pianta della Grotta del Mezzogiorno (Fonte CENS). Indicato il punto di rinvenimento dei fossili.

dal cui soffitto si protendono stalattiti e il cui pavimento è ricoperto da ciottoli dello stesso tipo litologico in cui si sviluppa la grotta (Calcare Massiccio). Il portale aperto verso l'esterno, alto almeno una trentina di metri, rappresenta una grande sala la cui porzione orientale crollata presuppone che la grotta avesse uno sviluppo maggiore e che l'erosione della falesia sottostante l'abbia ridotta di dimensioni, lasciando resti visibili lungo le pareti, in cui sono ancora riconoscibili speleotemi, oramai corrosi dalle acque dilavanti. Entrando nel primo salone il pavimento, che dapprima è in leggera discesa, si appiana e mostra alcune stalagmiti e colonne formatesi sopra il detrito, il quale risulta incoerente, almeno nella sua porzione superficiale.

Scavando pochi centimetri al di sotto del pavimento si ritrovano infatti gli stessi ciottoli, parzialmente o completamente cementati da concrezione calcitica. Il loro grado di arrotondamento aumenta man mano che ci si addentra nella grotta: probabilmente quelli più vicini all'ingresso, più recenti, sono il frutto di aggradazione postglaciale e detrito di falda. Stesso tipo di aggradazione ha interessato tutta questa prima sala, lunga almeno 50 metri, e i condotti laterali, con la differenza che i depositi più interni, ed anche più antichi, hanno subito nel tempo una maggiore alterazione dovuta ai fluidi aggressivi di grotta. Al fondo del salone d'ingresso la volta si abbassa e, sulla sinistra, si spingono verso S/SW tre cunicoli paralleli. Non ci sono segni di gradazione dei ciottoli che possano in qualche modo far risalire ad una genesi da scorrimento di forti correnti idriche. Essi, infatti, sono ammassati e sovrapposti in modo caotico, sempre più cementati e legati da calcite man mano che si scava e si scende in profondità. Si rinvengono anche frammisti al conglomerato frammenti di concrezioni e di ossa, molto alterate e difficilmente distinguibili. Il più interno dei predetti condotti prima si abbassa e poi, dopo una decina di metri, si riallarga in una piccola saletta che permette di alzare la testa. L'ambiente, già più volte visitato in passato, nasconde sulla sinistra un'ulteriore prosecuzione molto angusta, una strettoia di circa 5/6 metri di lunghezza. Qui lo speleologo del GS CAI Jesi Antonio Piazza, scavando durante l'estate del 2021 con la speranza di individuare una prosecuzione, notò che tra i ciottoli affioravano delle ossa, il cui esame ravvicinato portò alla scoperta di un dente canino di orso. In seguito alla comunicazione alle autorità competenti e avuta l'autorizzazione dalla Sabap Marche, si è proceduto al recupero del materiale paleontologico esposto in superficie.

Biologia della grotta e dell'area limitrofa

La conoscenza dell'attuale fauna e flora presente nell'area di studio rappresenta un imprescindibile punto di partenza per poter interpretare i cambiamenti paleoambientali e paleoclimatici del territorio di Frasassi durante la transizione Pleistocene-Olocene, ricostruibile attraverso lo studio della ricca documentazione paleontologica conservata nei numerosi depositi di grotta, finora solo in parte investigati. Il versante orientale del Monte Frasassi è attualmente dominato da un bosco orno-ostrieto, con presenza della roverella e del leccio. Il sottobosco è altrettanto condizionato dall'esposizione solare e dalla tipologia del suolo. Nelle aree costantemente umide prevalgono pteridofite, briofite e licheni, mentre nel terreno asciutto e calcareo il pungitopo, ginepro rosso, asparago comune, robbia selvatica e salsapariglia. L'ecotono a ridosso del portale d'ingresso mostra la presenza di piante di corbezzolo, fico comune, scotano, ilatro e ferula. Sulle pareti è presente un'esigua flora, costituita in prevalenza da piante rupicole mentre sulla striscia di terra antistante l'ingresso ipogeo crescono graminacee. L'esposizione ai venti e ai raggi solari e la relativa protezione dalla pioggia dovuta alla conformazione delle pareti hanno ad oggi scoraggiato la formazione di un corridoio ecologico che colleghi l'ecotono all'ambiente ipogeo vero e proprio. Per lo stesso motivo nella zona crepuscolare della Grotta del Mezzogiorno è alquanto raro osservare specie animali subtroglofile, eutroglofile o troglossene, quali gasteropodi, anfibi o anellidi, che necessitano per spostarsi di elevati valori di umidità e di protezione dall'irraggiamento solare. Sono invece presenti diversi artropodi, tra i quali vale la pena menzionare *Meta menardi, Metellina merinae, Euscorpius italicus* e *Scutigera cleoptrata*. Sul pavimento del salone d'ingresso è presente materia organica sia di origine animale (organismi deceduti) che vegetale, spinta quest'ultima all'interno dal vento o introdotta dalle persone in transito, che viene lentamente consumata da artropodi detritivori (in prevalenza isopodi) e da funghi saprofiti. Pareti e soffitto della sala sono popolati da colonie di alghe e batteri. Vi si possono inoltre osservare numerosi esemplari di *Limonia nubeculosa*, *Dolichopoda laetitiae*, *Nesticus eremita* e, occasionalmente, i lepidotteri *Triphosa sabaudiata*, *Catocala conjuncta, Mormo maura* e *Scoliopteryx libatrix*. La sala è frequentata anche da un esiguo numero di chirotteri, in genere *Rhinolophus ferrumequinum* e *Rhinolophus hipposideros*, e la loro scarsa presenza è probabilmente riconducibile al frequente transito di esseri umani anche nel corso del periodo di ibernazione.

I resti di orso delle caverne della grotta del Mezzogiorno

Il nuovo materiale recuperato include resti craniali e post-craniali di almeno tre individui di taglia diversa, tra cui un individuo giovanile. Le ossa recuperate non erano in connessione anatomica e si trovavano in prevalenza sulla superficie del deposito clastico che ri-

Figura 2 – Resti di U. spelaeus *nella stretta condotta nella Grotta del Mezzogiorno.*

empie parzialmente la condotta (Fig. 2), o all'interno del sedimento a pochi centimetri dalla superficie del deposito, dalla quale in parte emergevano. L'esame preliminare dei reperti non ha evidenziato alcuna traccia che possa far pensare all'azione di un predatore o di scarnificazione da parte dell'uomo. Probabilmente si tratta di animali morti durante il periodo di ibernazione passato in una delle sale d'ingresso della grotta, le cui ossa sono state trasportare per alcuni metri dalle acque di disgelo entrate nella grotta, fino alla condotta dove si sono conservate fino ad oggi. La morfologia e dimensioni dei crani e soprattutto della dentatura permette di riferire i resti ossei all'orso delle caverne, *Ursus spelaeus*. Si tratta del secondo ritrovamento della specie in questa grotta. Un cranio isolato di orso delle caverne era stato ritrovato nei depositi riferiti al Pleistocene superiore presenti all'interno della grande sala ("grotta preistorica") adiacente l'ingresso della grotta del Mezzogiorno (Coltorti, Galdenzi, 1981). L'orso delle caverne compare in Europa alla fine del Pleistocene medio e si estingue nel corso dell'ultimo pleniglaciale, per fattori di tipo climatico (Baca et al., 2016). I ritrovamenti più recenti di orso speleo sono stati datati a circa 24 mila anni fa e provengono da località a sud delle Alpi, che potrebbero aver rappresentato delle aree rifugio per le ultime popolazioni rimaste. Abbondanti resti di orso speleo sono stati ritrovati nelle grotte di varie regioni alpine Italiane. Meno frequenti sono i ritrovamenti in Italia centrale. La segnalazione più meridionale è in Abruzzo (Grotta di Stiffe). Nelle Marche ed aree limitrofe, la specie è stata segnalata, oltre che alla Grotta del Mezzogiorno, nella vicina Grotta dei Baffoni (Radmilli, 1953; Montanari et al., 2022), nella grotta dell'Orso sul Monte Nerone (PU) e nella grotta del Monte Cucco (PG). Nessuno di questi ritrovamenti precedenti di orso delle caverne da siti in grotta dell'Appennino Umbro-Marchigiano è stato tuttavia oggetto di uno studio sistematico. Non ben definita è anche l'età della maggior parte di questo materiale. Il ritrovamento di nuovi resti di orso speleo in situ all'interno della Grotta del Mezzogiorno fornisce quindi l'opportunità per una revisione del materiale marchigiano, volto a determinarne età ed eventuali caratteristiche peculiari nei confronti delle popolazioni alpine e dell'Europa centro orientale.

Si ringraziano il Dr. Diego Voltolini della SABAP Marche per la disponibilità e gli speleologi Antonio Piazza e Luca Pieroni per l'assistenza in grotta.

Riferimenti bibliografici

Baca M. et al. (2016), "Retreat and extinction of the Late Pleistocene cave bear (*Ursus spelaeus* sensu lato)", *Naturwissenschaften*, 103: 92.

Bocchini A., Coltorti M. (1978), "Considerazioni sulla speleogenesi della zona carsica di Frasassi (Ancona) in relazione all'evoluzione geomorfologica esterna", *Atti del XIII Congresso Nazionale di Speleologia*, Perugia.

Cattuto C. (1976), "Correlazione tra piani carsici ipogei e terrazzi fluviali nella valle del fiume Esino (Marche)", *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 95: 313-326.

Coltorti M., Galdenzi S. (1981), "Geomorfologia del complesso carsico Grotta del Mezzogiorno (4MA-AN) - Frasassi (1 MA-AN) con riferimento ai motivi neotettonici dell'anticlinale di Monte Val Montagnana (Appennino Marchigiano)", *Studi Geologici Camerti*, 7: 123-132.

Montanari A. et al. (2022), "Revisiting the archaeological site of Grotta dei Baffoni Cave (Frasassi Gorge, Italy)", *Geological Society of America Special Paper*, 557: 1-18

Radmilli A.M. (1953), "Scavi nella grotta dei Baffoni presso S. Vittore di Frasassi", *Bullettino di Paletnologia Italiana*, 63: 117-130.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta Romanelli (Castro, Puglia): conservazione e valorizzazione di un sito chiave del Quaternario mediterraneo

Luca Forti [a,b], Beniamino Mecozzi [c], Raffaele Sardella [c], Dario Sigari[d,e], Fabio Bona [b], Jacopo Conti [c,f], Alessio Iannucci [c], Giuseppe Lembo [g], Dawid Adam Iurino[c], Brunella Muttillo[h], Pierluigi Pieruccini [i], Ilaria Mazzini[j]

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università degli Studi di Milano, *luca.forti@unimi.it; fabgeo@libero.it*
([b]) Istituto di Geoscienze e Georisorse, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa.
([c]) Dipartimento Scienze della Terra (PaleoFactory Lab.), Sapienza Università di Roma, *beniamino.mecozzi@uniroma1; alessio.iannucci@uniroma1.it; jacopo.conti@uniroma1.it; dawid.iurino@uniroma1.it; raffaele.sardella@uniroma1.it*
([d]) CNRS - UMR 5608 TRACES (Toulouse), dario.sigari@cnrs.fr
([e]) Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Monterotondo (RM), *dario.sigari@cnrs.fr*
([f]) Polo Museale, Sapienza Università di Roma.
([g]) Associazione Culturale ArcheoIdea, Campobasso, *peppinolembo@gmail.com*;
([h]) Dipartimento di Studi Umanistici, Università degli Studi di Ferrara, *brunella.muttillo@gmail.com*
([i]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi di Torino, *pierluigi.pieruccini@unito.it*
([j]) Istituto di Geologia e Geoingegneria, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Monterotondo (RM), *ilaria.mazzini@igag.cnr.it*

Parole chiave: Speleologia; Archeologia; Paleontologia; Geosito
Keywords: Speleology, Archeology, Paleontology, Geosite

Introduzione

Grotta Romanelli (di seguito indicata con GR) è una cavità carsica localizzata nel sud-est della Puglia nel comune di Castro (Lecce), inserito nel Parco Naturale Regionale Costa Otranto S.M. di Leuca - Bosco di Tricase. In questa area sono presenti numerose grotte, i cui depositi rappresentano un esteso archivio di dati paleontologici, archeologici e paleoclimatici (Fig.1a). GR rappresenta un sito di notevole importanza che, sin dalla sua scoperta, ha restituito numerosi dati paleoclimatici e paleoambientali, di particolare rilievo in relazione alla presenza di *Homo* nella grotta a partire dalla fine del Pleistocene Medio e fino ad almeno l'inizio dell'Olocene (Conti et al., 2017; Sardella et al., 2018, 2019; Forti et al., 2021). A partire dal 2015, con l'autorizzazione e supervisione della Soprin-

tendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Brindisi, Lecce e Taranto, sono riprese le attività di ricerca condotte da un team multidisciplinare coordinato dal Dipartimento di Scienze della Terra della Sapienza, Università di Roma, e con la partecipazione di istituti di ricerca e università italiane ed estere. Le nuove indagini hanno permesso di valutare lo stato di estrema fragilità della grotta, a causa dell'azione erosiva degli agenti atmosferici, e documentato attività di scavo clandestine (Sardella et al., 2018, 2019). Le nuove attività sono indirizzate ad uno studio approfondito dei depositi ancora presenti nella grotta, alla revisione del materiale storico, unitamente ad un'attenta e progressiva documentazione delle attuali condizioni della grotta e dei suoi depositi con l'intento di preservarne e valorizzarne l'importanza e il contenuto.

Grotta Romanelli: la successione stratigrafica e l'età dei depositi

Le prime trincee all'interno della grotta furono aperte da Stasi, che divise il deposito di GR in due grandi complessi: "terre brune" (TB), il deposito superiore, e "bolo" o "terre rosse" (TR), quello inferiore (Fig.2b). Blanc (1928) raffinò la descrizione dei due complessi rilevando: - all'interno delle TB ben cinque livelli composti da una ricca fauna a vertebrati e industria litica riferita al Paleolitico superiore (livelli A-E) (Pleistocene Superiore-Olocene Inferiore);- nel complesso inferiore, Blanc descrisse una più dettagliata successione: le TR (il livello G), in cui furono rinvenuti numerosi reperti fossili e industria litica musteriana, un livello stalagmitico (livello H) datato < 69.000 anni fa, una breccia ossifera (livello I), e un conglomerato basale (livello K) interpretato come un deposito di spiaggia e attribuito al Tirreniano (MIS 5.5) (Sardella et al., 2018 e bibliografia all'interno). Il livello basale della successione stratigrafica rappresentava un forte vincolo crono-stratigrafico, che permetteva l'attribuzione di tutta la sequenza della grotta al Pleistocene Superiore. Un velo stalagmitico (livello F) datato a 40,000 ± 3250 anni fa, separa le TB e le TR. Nuovi dati cronologici ottenuti durante le nuove attività di scavo in parte confermano i precedenti risultati pubblicati negli anni '60, estendendo in parte l'arco cronologico di riferimento, con la collocazione del livello "E" alla parte finale del Pleistocene Superiore e del livello "B" all'interno dell'Olocene Medio (Calcagnile et al., 2019; Sigari et al., 2021). Il livello A, che come descritto da Blanc, rappresentava il livello sommitale della successione sedimentaria e in contatto con la volta della grotta, sfortunatamente risulta oggi quasi completamente assente.

Paleontologia

Il record fossile di vertebrati di GR è uno dei più abbondanti del Pleistocene italiano. Oltre 32.000 reperti di avifauna provenienti dalle "terre brune" (livelli E-A), hanno permesso di identificare 109 differenti specie. Per i mammiferi, solo il materiale delle "terre brune" è stato studiato. Al contrario, i resti di vertebrati rinvenuti nel complesso inferiore non sono stati oggetto di ricerche negli ultimi 100 anni, ad eccezione di pochi reperti, tra i quali il campione di lupo proveniente dal livello G.

Archeologia

Oltre alle sepolture rinvenute nei livelli superiori delle "terre brune" durante gli scavi di Stasi, pochi e frammentari sono i resti umani scoperti durante le ricerche condotte da G.A. Blanc. Una falange distale della mano attribuita ad un individuo giovanile, di età compresa tra 3 e 12 anni è stata ritrovata durante le attività di scavo del 2019 (Mecozzi et al., 2022). Questo rappresenta di fatto il primo reperto umano di GR rinvenuto in associazione ad un chiaro contesto stratigrafico. La presenza umana nel-

la grotta è ulteriormente testimoniata, sebbene indirettamente, da circa 10.000 strumenti litici e 56 in osso rinvenuti nelle TB (Sardella et al. 2019; Sigari et al., 2021 e bibliografia all'interno). Altra evidenza della frequentazione umana del sito durante il Paleolitico Superiore sono le incisioni parietali, assieme agli oltre cento reperti di arte mobiliare (Sigari et al., 2021). Dalle TR provengono 1105 manufatti litici realizzati principalmente in calcare. Ulteriori testimonianze indirette della frequentazione umana della grotta furono individuate nei livelli K-I, dove furono riconosciuti alcuni focolari in associazione a strumenti in calcare, selce e quarzite con ciottoli di ocra (Blanc, 1928).

Modello digitale 3D della grotta e studio degli archivi fotografici: strumenti di studio, conservazione e valorizzazione

Nel nuovo progetto di ricerca, la revisione della documentazione di archivio ha un'importanza centrale: confrontando le foto storiche di GR, si è potuto evidenziare quanto deposito è stato asportato e valutare così le informazioni perse, come recuperarle e quali processi di degrado siano intervenuti in questo secolo e più di ricerche (Sardella et al., 2019). La lunga storia delle ricerche a GR ha fatto sì che molti dei reperti recuperati nel tempo, oggi conservati in diversi Musei e centri di ricerca, spesso manchino di una documentazione rigorosa. Ricostruire la provenienza stratigrafica e spaziale dei reperti, tramite l'analisi delle indicazioni riportate sui reperti stessi (anno di scavo, livello) e pubblicazioni passate, permette di ottenere un quadro più articolato della ricchezza dei depositi. Al fine di monitorare l'avanzamento dei lavori, è stato realizzato nel 2016 un modello tridimensionale della grotta tramite la fotogrammetria, che viene aggiornato di anno in anno, rappresentando un vero e proprio diario virtuale del lavoro di scavo. Nel modello 3D, sono infatti presenti sia i depositi che le incisioni rupestri, ed è quindi possibile confrontare in modo agile il loro stato di conservazione e di degradazione di anno in anno, nonché un ottimo strumento per la registrazione delle differenti fasi di scavo e archiviazione di dati (Conti et al., 2017; Sardella et al., 2019) (Fig.2).

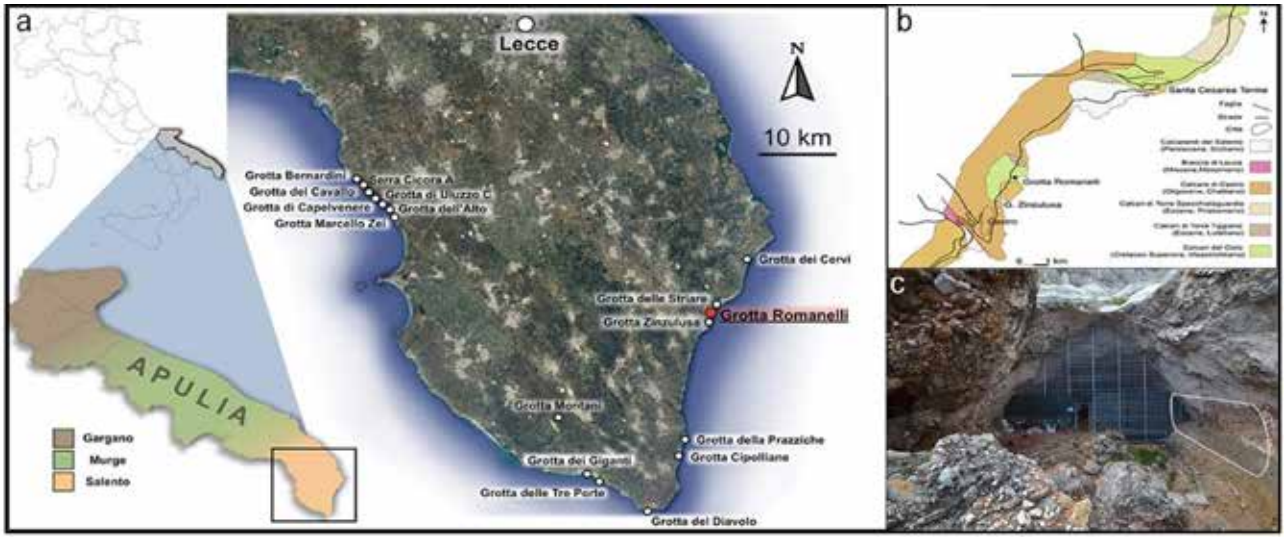


Figura 1 - ubicazione delle grotte del Salento (GoogleEarth™) (a; modificato da Sardella et al., 2018); carta geologica semplificata del tratto di costa fra Santa Cesarea Terme e Castro (b; modificato da Sardella et al., 2019); ingresso di Grotta Romanelli con evidenziato il solco di battente osservabile sul lato nord (c).

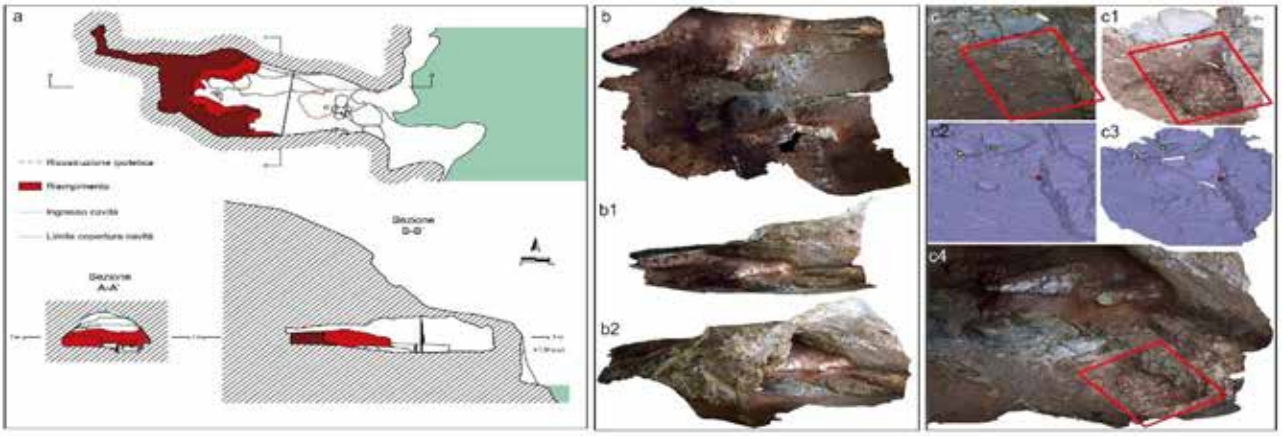


Figura 2 - rilievo topografico di Grotta Romanelli (a); modello tridimensionale della cavità (b: planimetria b1: area Ovest-Est; b2 visione Sud-Est ingresso); modello tridimensionale delle aree di scavo durante le diverse campagne di scavo; (c): area di scavo 2016; c1: area di scavo 2018; c2-c3: riposizionamento delle due aree di scavo attraverso punti di sovrapposizione; c4: elaborazione modello tridimensionale).

Riferimenti bibliografici

Blanc G.A. (1928), "Grotta Romanelli II. Dati ecologici e paletnologici", *Archivio per l'Antropologia e la Etnologia*, 58:1–49

Calcagnile L., Sardella R., Mazzini I., Giustini F., Brilli M., D'Elia M., Braione E., Conti J., Mecozzi B., Bona F., Iurino D.A., Lembo G., Muttillo B., Quarta G. (2019), "New radiocarbon dating results from the Upper Paleolithic-Mesolithic levels in Grotta Romanelli (Apulia, Southern Italy), *Radiocarbon*, 23rd International Radiocarbon Conference, Trondheim, Norway, June 2018

Conti J., Tucci S., Bellucci L., Bona F., Brilli M., Giustini F., Iurino D.A., Lembo G., Massussi M., Mazzini I., Mecozzi B., Muttillo B., Sigari D., Strani F., Voltaggio M., Sardella R. (2017), "Toward the virtual reconstruction of Grotta Romanelli, Apulia (Southern Italy)", IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage Lecce, Italy, October pp. 23–2

Forti L, Mazzini I, Mecozzi B, Sigari D, Sardella R (2020), "Grotta Romanelli (Castro, Lecce) un sito chiave del Quaternario mediterraneo", *Geologicamente*, 2: 18–27.

Mecozzi B., Buzi C., Iannucci A., Micarelli I., Bona F., Forti L., Lembo G., Manzi G., Mazzini I., Muttillo B., Pieruccini P., Ranaldo F., Sigari D., Sardella, R. (2022), "New human fossil from the latest Pleistocene levels of Grotta Romanelli (Apulia, southern Italy)", *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14: 27

Sardella R., Mazzini I., Giustini F., Mecozzi B., Brilli M., Iurino D.A., Lembo G., Muttillo B., Massussi M., Sigari D., Tucci S., Voltaggio M. (2018), "Grotta Romanelli (Southern Italy, Apulia): legacies and issues in excavating a key site for the Pleistocene of the Mediterranean", *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia (Research in Paleontology and Stratigraphy)* 124(2): 247–264

Sardella R., Iurino D. A., Mecozzi B., Sigari D., Bona, F., Bellucci L., Coltorti M., Conti J., Lembo G., Muttillo B., Mazzini I. (2019), "Grotta Romanelli (Lecce, Southern Italy) between past and future: new studies and perspectives for an archaeo-geosite symbol of the Palaeolithic in Europe", *Geoheritage,* 11(4): 1413–1432.

Sigari D., Mazzini I., Conti J., Forti L., Lembo G., Mecozzi B., Muttillo B., Sardella R. (2021), "New parietal engravings in the Romanelli cave (Apulia, southern Italy). Towards a systematic review". *Antiquity,* 95 (384): 1387–1404.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro) Ventimila anni di sfruttamento minerario

Felice Larocca ([a])

([a]) Centro di ricerca speleo-archeologica "Enzo dei Medici", Università degli Studi di Bari Aldo Moro, *felicelarocca1964@gmail.com*

Parole chiave: Calabria; grotte; miniere; archeologia
Keywords: Calabria; caves; mines; archaeology

Riassunto
Grotta della Monaca è una cavità naturale che si apre non lontano dal cosiddetto "Passo dello Scalone" (740 m s.l.m.), un importante valico della Calabria settentrionale tirrenica che separa i Monti dell'Orsomarso, a Nord, dalla Catena Costiera, a Sud. La grotta, ubicata sulla sinistra idrografica dell'alto corso del Fiume Esaro, si spalanca su ripide pareti verticali a 600 m di altitudine ed è ben visibile dal territorio circostante per le ragguardevoli dimensioni dell'ingresso. Ricca di mineralizzazioni di ferro e rame, ha da sempre attratto l'attenzione dell'uomo interessato allo sfruttamento di tali risorse. Ricerche e scavi condotti nell'ultimo ventennio hanno evidenziato un prolungato uso della cavità per fini estrattivi: se fino ad alcuni anni fa si riteneva che le coltivazioni si estendessero dal Neolitico al Medioevo, oggi il limite inferiore di tale forchetta temporale è stato spostato più indietro fino a comprendere il Paleolitico superiore.
Il presente contributo illustra le fasi salienti della storia mineraria del sito, evidenziando la diversificazione, nel corso degli ultimi ventimila anni, tanto dello strumentario e delle tecniche di scavo quanto della spazialità ipogea in cui sono avvenute le antiche attività estrattive.

Premessa

Grotta della Monaca è una cavità naturale lunga oltre mezzo chilometro, formata da una sequenza di ambienti dalle caratteristiche volumetriche e morfologiche differenti: ad un'ampia condotta d'ingresso (la Pregrotta) segue una vasta sala in posizione centrale (la Sala dei pipistrelli), nel cui settore più profondo si originano una serie di bassi e stretti budelli sub-paralleli (i Cunicoli terminali). L'intera cavità è ricolma di mineralizzazioni ferrose variamente associate tra loro (goethite, lepidocrocite e limonite; raramente maghemite ed ematite), presenti in particolare lungo i giunti di strato. Ad esse si aggiungono, esclusivamente nella parte finale del sistema sotterraneo, mineralizzazioni di rame (carbonati, quali malachite e azzurrite) sotto forma di spalmature sulle pareti rocciose o grumi nei depositi al suolo (Dimuccio

et al., 2005). Tali risorse, con modalità e intensità differenti nel corso dei millenni, sono state oggetto di interesse estrattivo da parte dell'uomo, che ha lasciato nella cavità mirabili testimonianze dei suoi scavi, pervenute sino ai nostri giorni in eccezionale stato di conservazione.

Fasi estrattive e spazialità delle attività minerarie

La più antica fase estrattiva finora riconosciuta si inquadra nel Paleolitico superiore e si colloca spazialmente a ridosso dell'ingresso della grotta. Essa, diretta all'acquisizione di minerali ferrosi, è stata datata col radiocarbonio a 20.000 anni fa.

Dopo un lungo iato temporale durante il quale non sono note altre attività di scavo, le coltivazioni riprendono in età neolitica. Questa volta i cantieri estrattivi si spingono più in profondità, in settori completamente oscuri, sebbene non è escluso potessero essere continuate anche nella Pregrotta, dove sono state poi cancellate da coltivazioni più recenti. Ancora una volta sono le mineralizzazioni ferrose, che in profondità diventano alquanto tenere per la forte idratazione, a costituire l'oggetto dell'interesse minerario. Tra la Sala dei pipistrelli e i Cunicoli terminali, ad oltre 100 m di distanza dall'ingresso, alcuni distretti ipogei recano eccezionali attestazioni di scavo collocabili attorno a 6.000 anni fa, sullo scorcio del Neolitico. L'inquadramento cronologico dei lavori minerari è stato reso possibile grazie a datazioni radiometriche effettuate sui carboni distaccatisi dalle torce utilizzate dai minatori (Larocca, 2010; 2012).

Nel medesimo distretto sotterraneo si sovrappone, nel corso della successiva età eneolitica (approssimativamente attorno a 5.500 anni fa), una nuova fase estrattiva, questa volta diretta senza ombra di dubbio allo sfruttamento delle mineralizzazioni cuprifere. Con l'Eneolitico, quindi, si esaurisce l'interesse estrattivo preistorico e nei secoli successivi, durante l'età del Bronzo, si impianta nelle stesse aree già oggetto di sfruttamento minerario un esteso sepolcreto, costituito da diverse decine di inumazioni.

Più tardi, oramai nel corso del Medioevo, si registrano nuove attività di scavo: a partire dagli ultimi decenni del XIII secolo A.D. vengono create basse gallerie lungo i ricchi filoni ferrosi esistenti nelle masse rocciose, con l'evidente intento di acquisire le relative mineralizzazioni. Tali gallerie si originano a partire dalla Pregrotta e penetrano nel sottosuolo fino a svilupparsi sotto parte della Sala dei pipistrelli. A questi lavori è certamente da ascrivere la distruzione di testimonianze connesse a precedenti scavi, che dovevano verosimilmente essere avvenuti nel settore iniziale della cavità. Ancora una volta sono state le datazioni radiometriche a definire l'arco cronologico delle ultime attività minerarie, iniziate come già detto nel XIII secolo e perdurate fino ai primi decenni del XV (Larocca, 2021).

Strumentario e tecniche di scavo

L'articolazione cronologica evidenziata in precedenza si riflette in un'evidente variazione dello strumentario e delle tecniche di scavo.

L'acquisizione paleolitica dell'ocra di Grotta della Monaca, presente con un cromatismo variabile dal giallo all'arancio e dal marrone scuro al rosso intenso, avviene con strumenti in selce e in osso. In un'area circoscritta della Pregrotta, all'interno di sacche sedimentarie comprese tra lame rocciose che si ergono dal suolo, gli archeologi hanno rinvenuto diversi manufatti in selce che, originariamente dotati di manico, dovevano essere impiegati come strumenti utili ad incidere e staccare porzioni di minerali ferrosi. In associazione è stato rinvenuto un utensile appuntito in osso, ricavato da un grosso metatarso di cervo; esso, sottoposto a datazione radiometrica, ha definito l'orizzonte cronologico della più antica coltivazione sino ad oggi attestata nella cavità, collocantesi attorno a 20.000 anni fa.

Evidentemente utensili in selce e in osso concorrevano, sulla soglia d'accesso alla grotta, all'agevole approvvigionamento di quelle "terre colorate" che tanti usi potevano poi avere nelle attività utilitaristiche e rituali dei gruppi umani che ne venivano in possesso.
Negli scavi di età neolitica, effettuati nella parte più interna della grotta, si riconosce verosimilmente la volontà di acquisire risorse ferrose di migliore qualità, forse più pure e caratterizzate, in particolare, da una malleabilità dovuta alla forte idratazione sotterranea (le mineralizzazioni appaiono talmente tenere da deformarsi con semplici pressioni di una mano). È stata appunto la cedevolezza di tali depositi mineralizzati che ha permesso la conservazione di tracce di scavo pervenute fino ai nostri giorni in condizioni eccezionali. Le ricerche condotte dagli archeologi hanno portato al rinvenimento di pochi frammenti di utensili minerari ma, in compenso, la quantità di tracce e di impronte dagli stessi lasciate sulle superfici dei filoni ferrosi è letteralmente *straordinaria*. Tali tracce ci permettono di risalire ad uno strumentario che vedeva soprattutto nei picconi ricavati da palchi di cervo gli utensili "di potenza" più utilizzati. Si accompagnano alle tracce di tali picconi, tuttavia, impronte di punteruoli in osso, di cunei in corno, di zappette in legno oppure ancora in osso. Non mancano segni a profilo tondeggiante che rimandano all'uso di palette forse ricavate da scapole di grossi mammiferi (Larocca, Levato, 2013). Tutte queste tracce di scavo sono associate ad un'abbondante dispersione al suolo di minuscoli frustoli carboniosi. Si tratta dei residui dei sistemi d'illuminazione sotterranea impiegati durante i lavori, vere e proprie torce che le analisi archeobotaniche hanno indicato essere costituite da legname resinoso di pino. Sono stati appunto tali residui carboniosi che hanno permesso la corretta definizione della cronologia degli scavi (attorno a 6.000 anni fa, come già sottolineato).
I minatori si sono addentrati in stretti cunicoli e il loro andirivieni in taluni settori ipogei ha portato alla creazione di particolari strutture e/o situazioni: 1) muretti a secco (eretti con i detriti delle attività di scavo, perlopiù lungo i fianchi delle condotte, allo scopo di creare spazio per il passaggio umano); 2) pilastri di sostegno (porzioni di minerale risparmiato per evitare il collasso della volta); 3) suoli battuti (formazione di superfici sedimentarie indurite a causa di ripetuti passaggi).
Approssimativamente nei medesimi distretti sotterranei la presenza di depositi cupriferi, dalle sgargianti colorazioni verdi-bluastre, determina, solo qualche secolo più tardi, una nuova coltivazione mineraria con ogni evidenza tesa all'acquisizione della malachite, spesso intimamente associata all'azzurrite. L'interesse verso i minerali di rame, più rari e non ubiquitari come quelli ferrosi, viene sottolineato dal cambio dell'utensileria di scavo. Compaiono ora, con l'avvento dell'età eneolitica, mazze in pietra, più o meno possenti, generalmente provviste sul corpo di una scanalatura e, meno frequentemente, di tacche, utili all'alloggiamento di un manico di natura vegetale. Lo studio tipologico di tali manufatti ha permesso di riconoscere asce-martello, mazzuoli e picconi. Le loro dimensioni e il loro peso variano da poche centinaia di grammi fino a circa 3 chili (Larocca, 2011). Gli esemplari più poderosi servivano senz'altro ad effettuare opere di sbancamento e scasso, di cui gli archeologi hanno trovato diverse attestazioni: fracassando le colate e i pavimenti stalagmitici che rivestivano i suoli era facile reperire nei depositi sottostanti grumi dei preziosi carbonati di rame, sotto forma di concentrazioni sparse o spalmature su clasti rocciosi. Al tempo stesso, come dimostrano alcune tracce sopravvissute sulle pareti rocciose, gli strumenti litici più minuti servivano ad acquisire malachite e/o azzurrite anche mediante percussioni indirette colpendo minuscoli punteruoli in osso. Gli utensili litici sca-

nalati di Grotta della Monaca rappresentano un'evidenza archeologica di grande interesse; in alcune aree della cavità la loro particolare concentrazione e dispersione indizia la presenza di aree di sosta più prolungata, utilizzate dai minatori per attività di cernita e stoccaggio delle risorse estratte, ma anche per temporaneo bivacco. Ugualmente, frammenti e schegge di tali utensili indicano le zone ipogee in cui più intensi sono stati gli scavi.
Con l'avvento dell'età del Bronzo cessano le attività estrattive e la cavità, accogliendo le spoglie di numerosi defunti, si piega ad un nuovo uso, quello sepolcrale.
Una ripresa dei lavori minerari avverrà solo in epoca tardo-medievale, allorché tanto all'interno della Pregrotta, quanto immediatamente sotto l'imbocco della cavità, verranno aperti nuovi fronti di scavo ancora una volta a carico dei minerali ferrosi, con la creazione di lunghe gallerie artificiali sub-parallele. Si tratta, ora, di condotte più vicine al nostro concetto di "miniera", con volte spesso arcuate e pareti più regolari, coperte da migliaia di impronte di strumenti metallici, *in primis* quelle di picconi con punta a sezione quadrangolare. Tracce di altri strumenti lasciano intuire anche per questa fase la presenza di un'utensileria diversificata, con l'utilizzo di zappe e pale, sempre metalliche. Sopravvive l'uso dei muretti a secco, eretti per sgomberare il passaggio e smaltire lungo le pareti i detriti derivati dalle attività di scavo.

Conclusioni

Grotta della Monaca ci narra una vicenda mineraria eccezionale e di lunga durata, che gli studiosi sono riusciti a ricostruire solo a fronte di decenni di scavi e in seguito a ricerche minuziose. Il contesto estrattivo della cavità calabrese è importante perché riconosce nelle cavità naturali, soprattutto in quelle ubicate in territori ricchi di preziose mineralizzazioni, una vantaggiosa via d'accesso alle risorse minerarie esistenti nel sottosuolo. Un approccio d'indagine da perseguire e da tenere in grande considerazione, che sta iniziando a fornire risultati importanti anche in altri territori della Penisola Italiana.

Riferimenti bibliografici

Dimuccio L.A. et al. (2005), "Le risorse minerarie", in Larocca F. (a cura di), *La miniera pre-protostorica di Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro - Cosenza)*, Bari, 37-41.

Larocca F. (2010), "Grotta della Monaca: A Prehistoric Copper and Iron Mine in the Calabria Region (Italy)", in Anreiter P. *et al.* (a cura di), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies*, Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT, 12-15 November 2009, Innsbruck, 267-270.

Larocca F. (2011), "Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro - Cosenza). Utensili e tecniche estrattive di età eneolitica per l'acquisizione di minerali di rame", in *L'età del Rame in Italia*, Atti della XLIII RS IIPP, Firenze, 663-668.

Larocca F. (2012), "Grotta della Monaca (Calabria, Italia meridionale). Una miniera neolitica per l'estrazione dell'ocra", in Borrell M. et al. (a cura di), Rubricatum 5, Gavà, 249-256.

Larocca F., Levato C. (2013), "From the imprint to the tool: the identification of prehistoric mining implements through the study of digging traces. The case of Grotta della Monaca in Calabria (Italy)", in Anreiter P. et al. (a cura di), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies*, Proceedings for the 2nd Mining in European History-Conference of the FZ-HIMAT, 7-10 November 2012, Innsbruck, 21-26.

Larocca F. (2021), "La 'Condotta Gallo'. Una nuova miniera di mineralizzazioni di ferro nel sito di Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro, Cosenza), in Mittica G. et al. (a cura di), *Dal Pollino all'Orsomarso. Ricerche archeologiche fra Ionio e Tirreno*, Atti del Convegno Internazionale (San Lorenzo Bellizzi, 4-6 ottobre 2019), Ed. Quasar, Roma, 349-355.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le grotte ossifere sul versante italiano dell'arco alpino

Lamberto Laureti ([a])

([a]) già docente all'Università di Pavia, *laureti@unipv.it*

Parole chiave: Grotte ossifere, Paleontologia, Preistoria.
Keywords: Ossiferous caverns, Paleontology, Prehistory.

Il presente lavoro si riallaccia ad un precedente contributo (*Storie della Speleologia: la ricerca delle grotte ossifere*) presentato sette anni fa al 22° Congresso Nazionale di Speleologia svoltosi ad Auletta e Pertosa (Salerno) contenente rifermenti su alcuni importanti siti europei ed italiani. In questa sede ci si è limitati a considerare i siti di maggiore interesse nell'ambito del versante italiano dell'arco alpino, comprendente parte della Liguria (con solo le Alpi Marittime) e le altre regioni dal Piemonte al Friuli Venezia Giulia, rinviando ad una successiva occasione le situazioni relative alla dorsale appenninica e alla Sardegna oltre che alle cavità disseminate lungo le rimanenti costiere della penisola italiana.

Grotte ossifere nella Liguria alpina

Nel mio lavoro presentato a Pertosa-Auletta si era dato ampio spazio alle grotte
ossifere dei Balzi Rossi e solo un rapido cenno a quelle del Finalese con i gruppi di Toirano e delle Arene Candide, che furono oggetto di studi fin dagli ultimi decenni del XIX secolo. Oltre al fondamentale contributo di Arturo Issel, sulla geologia e la preistoria della Liguria, vanno ricordati gli studi di G. Ramorino (1868) sulle caverne del Finalese e quelli di L. Raffo (1883) sulle Arene Candide e sulla Pollera, oltre la rassegna di P. Bensa (1900) che elenca 129 grotte con i relativi resti fossiliferi. Altri importanti contributi furono forniti da A. Brian sulle grotte di Toirano, descritte successivamente anche da Ezio Tongiorgi e Nino Lamboglia (1953) con il supporto di numerose illustrazioni, di una planimetria delle grotte della Bàsura e di Santa Lucia e considerazioni sulla presenza sia dell'*Ursus spelaeus* che delle impronte lasciate da individui attribuibili alla specie *Homo neanderthalensis*. Sempre sulle grotte del Finalese va ricordato anche un interessante contributo di Luigi Bernabò Brea (1947) accompagnato da una tabella sulla successione delle culture preistoriche in Liguria, da numerose illustrazioni dei reperti e degli utensili umani nonché da una carta topografica dove è indicata l'ubicazione di ben 48 cavità tra cui le Arene Candide, la Pollera, la Caverna delle Fate e l'Arma delle Manie. In anni più recenti è infine da segnalare la ricerca storica di Andrea De Pascale, presentata al Convegno sulla Nascita della Paletnologia in Liguria (Bordighera 2008), dove viene illustrato il contributo fornito da una decina

di autorevoli personalità scientifiche come Arturo Issel, Gaetano Rovereto e molti altri.

Grotte ossifere in Piemonte e Valle d'Aosta

Questa regione si caratterizza per un elevato numero di cavità, che troviamo in specie nelle Alpi meridionali con morfologie calcareo-dolomitiche presenti nella provincia di Cuneo dove, nella grotta di Bossea (comune di Frabosa Soprana in Val Corsaglia), visitata fin dalla metà del XIX secolo e oggetto di frequenti descrizioni (tra cui quella di Bartolomeo Gastaldi che la visitò nell'estate del 1865), fu rinvenuto un intero esemplare di *Ursus spelaeus* la cui presenza è stata segnalata anche nella vicina grotta del Caudano (in comune di Frabosa Sottana) e, dopo accurate ricerche, anche in altre cavità del Cuneese, come la grotta del Bandito (Preacco et al., 2013) nel comune di Roaschia (alta Valle del torrente Gesso), oggi inserita in un'area naturale protetta. In essa sono stati trovati oltre 400 resti ossei dell'orso preistorico, insieme con molti altri appartenuti ad animali erbivori (*Cervus elaphus*), e carnivori (*Canis lupus*). Lasciando i rilievi meridionali del Piemonte facciamo un salto verso nord est in un'area collinare e di bassa montagna compresa tra il corso della Sesia e la depressione che ospita il lago d'Orta. Qui, a poco più di un km ad est di Borgosesia, si apre, nei calcari dolomitici del Monte Fenera, l'ingresso della Grotta della Fata Morgana, scoperta nel 1998 da speleologi biellesi, all'interno della quale fu trovato il cranio di un *Ursus spelaeus* (Cossutta, 1998).

Quanto alla Valle d'Aosta, sembra che di grotte ossifere non ce ne siano, e le stesse cavità presenti appaiono originate da dislocazioni tettoniche e da movimenti franosi, anche se morfologie di tipo carsico non mancano, come quelle rilevate nelle valli di Courmayeur e di Prè St. Didier. Al riguardo è da apprezzare un bel poster redatto su internet dalla Società Speleologica Italiana che illustra la situazione in Valle d'Aosta riportando il nome di alcune cavità delle quali descrive il famoso "Trou des Romains" ed inserisce una foto della diaclasi del "Truc de Saint Hèlène".

Grotte ossifere in Lombardia

La continuità delle rocce prevalentemente carbonatiche (calcareo-dolomitiche) che si sviluppa lungo la fascia prealpina, dal varesotto al bresciano giustifica la ricchezza di cavità a sviluppo sia verticale che orizzontale, queste ultime più favorevoli alla presenza di faune fossili, tra cui predomina quella degli ursidi. Ne è l'esempio più recente la Caverna Generosa, situata ad alta quota presso la cima del Monte Generoso (1701 m) che segna il confine italo-svizzero, a specchio del sottostante lago di Como (Bona, 2003). Scoperta nel 1988 rivelò la presenza dei resti di *Ursus spelaeus* dai quali fu valutata la presenza di alcune centinaia di unità che si susseguirono da 20 a 18 mila anni or sono. Indagini più recenti hanno condotto al ritrovamento di raschiatoi di selce testimoni della presenza di *Homo neanderthalensis* tra 40 e 60 mila anni fa. Sempre sullo stesso versante del bacino lariano, alla metà dell'Ottocento, il naturalista milanese Emilio Cornalia (Cornalia, 1852), raccolse gli ossami di una trentina di *Ursus spelaeus* da un'altro Buco dell'Orso situato alla base del monte Colmegnone. Sempre in territorio comasco, fermiamoci al Buco del Piombo presso Erba. Anche qui resti di *Ursus spelaeus* insieme a strumenti umani risalenti ai tempi paleolitici, ma anche di età assai più recente (Molteni, 1960). L'*Ursus spelaeus* lo ritroviamo anche sui rilievi tra Brescia e la valle del Chiese nella grotta del Buco del Frate (la numero 1

del Catasto Lombardo) inserita a circa 250 m di quota sui fianchi del M. Budellone a custodia degli ossami di grandi e piccoli mammiferi. Oggi ospita un importante insediamento di chirotteri. Ancora nelle Prealpi Lombarde, nella bergamasca Valle Imagna, la Tomba dei Polacchi, nel comune di Rota d'Imagna, è una bella caverna che ha rivelato la presenza di scheletri umani e utensili risalenti all'età del bronzo.

Grotte ossifere in Trentino-Alto Adige

Attualmente sulle montagne di questa regione la fauna selvatica, come orsi e lupi, certamente troverà rifugio nelle numerose cavità naturali. Era successo in anni lontani quando era diffusa la specie dell'orso delle caverne di cui è rimasta una testimonianza in una vasta cavità situata a 2775 metri di quota nel Parco Naturale delle Dolomiti di Fanes, Sénnes e Braies (Rabeder, 1992). Essa fu scoperta dall'albergatore e collezionista Willy Costamoling di Corvara (alta Val Badia), mentre risaliva un vallone a sud est del Piz dles Conturines (3002 m). L'interno era ricoperto da una gran quantità di ossa ritenute appartenenti all'Orso delle Caverne. Le ricerche successive individuarono anche la presenza di *Panthera spelaea* e di *Marmota marmota*. Le indagini scientifiche furono svolte da una équipe dell'Università di Vienna, mentre per i carotaggi dei sedimenti interni si richiese il contributo di due specialisti come il collega e amico Alfredo Bini dell'Università di Milano e Yves Quinif dell'Università di Mons (Belgio). Le indagini hanno rivelato che la grotta venne abitata dagli orsi (risultati appartenenti a una nuova specie denominata *Ursus ladinicus*) vissuti in un periodo di clima caldo (tra 60 mila e 40 mila anni fa) durante una prima fase interglaciale del medio Würm. Nel sottostante comune di San Cassiano è stato allestito un interessante Museo dell'Orso.

Grotte ossifere nel Veneto

Nel mio precedente contributo sulle grotte ossifere (2015) avevo ricordato la figura di Gregorio Piccoli che dichiarava (nel 1739) la scoperta della grotta ossifera di Ceré. Di questa si occupò il bellunese Tommaso Antonio Catullo, autore di una memoria sulle caverne venete (1845), nella quale illustra le sue ricerche fossilifere nella Lessinia dove, oltre ad avanzi di *Elephas primigenius*, raccoglie e descrive resti di *Ursus spaeleus* ben rappresentati nei suoi disegni. Ma ben prima egli ci aveva lasciato molti riferimenti alle grotte ossifere, dei territori bellunesi e veronesi, contenuti in un trattato da considerarsi un classico della storia della paleontologia ("Saggio di zoologia fossile") pubblicato a Padova nel 1827. Dopo la metà del secolo scorso, al piede dei Lessini, nei pressi di Grezzana in Val Pantena viene scoperta. alla base di una parete rocciosa, una grotta (chiamata Riparo Tagliente dal nome del suo scopritore) che ha palesato presenze umane formate da gruppi di cacciatori e raccoglitori vissuti nel Paleolitico medio e superiore (da 80 mila a 10 mila anni fa) i cui strumenti litici furono opera forse di *Homo erectus*, ma certamente di *Homo neanderthalensis* e quindi di *Homo sapiens,* quest'ultimo da poco meno di 20 mila anni. A un sito analogo si allaccia la successiva scoperta, presso la località di Fumane in Valpolicella di una grotta (nota anche come Riparo Solinas) che fa da pendant alla precedente con una ricca varietà di resti di animali (dagli orsi agli uccelli) e tracce di *Homo neanderthalensis* tra 90 e 45 mila anni fa e di *Homo sapiens* fino a circa 30 mila anni fa. Infine sui Colli Berici (Vicenza), nella valle dei Mulini di Mossano, l'Eremo di San Bernardino offre una grotta abitata fin dal Paleolitico dagli uomini di Neanderthal e orsi spelei.

Grotte ossifere nel Friuli-Venezia Giulia

Per la Venezia Giulia, oggi limitata alla provincia di Trieste, basterebbe il bel saggio del Battaglia (1927), ma è sufficiente fermarsi tra Gabrovizza e Santa Croce nel Carso triestino dove si apre la Grotta dell'Alce sul fianco di una dolina. All'interno una breve galleria conduce ad un salone su un lato del quale appare il deposito di una ricca breccia ossifera che ha fornito numerosi resti della fauna che popolava in passato l'ambiente del Carso tra i quali anche l'*Alces alces.* Risalendo a nord nella provincia di Udine e spostandosi a est verso Cividale del Friuli si risale il Natisone prendendo uno dei suoi affluenti, il Cosizza, poi l'Aborna fino all'altezza di Savogna, quindi il torrente Reka per circa un km e mezzo all'altezza del paesino di Tercimonte. Risalendo il versante sinistro alla quota di circa 300 metri ecco l'imbocco della Veljka Jama, la Grotta Grande descritta dal Musoni agli inizi dello scorso secolo, oggetto di scavi paleo-paletnologici ripresi più recentemente (Bressan, 1986). I reperti ritrovati all' interno risalirebbero ad un periodo che comprende il Neolitico, l'Eneolitico, l 'Età del Bronzo Finale e del Ferro.

Riferimenti bibliografici

Battaglia R. (1927), "Paleontologia e paletnologia delle grotte del Carso", in Bertarelli L.V., Boegan E. (a cura di), *Duemila Grotte*, T. C. I., Milano, 75-100.

Bensa P. (1900), "Le grotte dell'Appennino Ligure e delle Alpi Marittime", *Boll. del C.A.I.*, 33, 66: 81-141.

Bernabò B. (1947), *Le caverne del Finalese*, Ist. di Studi Liguri, Bordighera.

Bona F. (2003), "Associazioni faunistiche a macromammiferi della Caverna Generosa (Lo Co 2694)". *Geologia Insubrica*, 6/2: 1-4.

Bressan F. (1986), "I materiali preistorici della Velika Jama (Valli del Natisone, Udine)", *Atti Museo Friulano di Sc. Nat.*, Udine, 7: 113-136.

Catullo T.A. (1827), *Saggio di Zoologia fossile*, Tipografia del Seminario, Padova.

Catullo T.A. (1845), "Sulle caverne delle provincie venete", *Mem. dell'I. R. Istit. Veneto di Scienze, Lettere ed Arti*, 2: 19-91.

Cornalia E. (1852), "Su alcune caverne ossifere dei monti del lago di Como", Manuale della Provincia di Como per l'anno 1852, 3-29.

Cossutta F. (1998), "Fata Morgana", *Orso Speleo Biellese*, 130: 6-7.

De Pascale A. (2008), "Le prime esplorazioni nelle caverne ossifere del Finalese: tracce, ipotesi e scoperte ad opera di Issel, Perrisndo, Morelli, Rovereto, Rossi, Amerano", Atti Conv. "La nascita della Paleontologia in Liguria", Bordighera, 233-248.

Gastaldi B. (1865), "Visita alla caverna ossifera detta di Bossea", *Boll. trim. del Club Alpino Ital.*, 1: 31-40.

Molteni G.C. (1960), "La grotta Buco del Piombo", *Brianza, rivista degli Amici della Brianza*, Como, 8: 72-77.

Preacco M.C., Ferrero L., Zunino M. (2013), "Roaschia, Grotta del Bandito. Nuove acquisizioni di reperti paleontologici", *Quaderni della Soprint. Archeologica del Piemonte*, 28: 230-233.

Rabeder G. (1992), Gli orsi spelèi delle Conturines, Athesia, Bolzano-Bozen.

Raffo L. (1883), "Le caverne delle Arene Candide e di Pollera", *Ricordo Sezione Ligure C.A.I., Genova*: 73-106.

Ramorino G. (1868), "Sopra le caverne di Liguria e specialmente di una recentemente scoperta a Verezzi presso Finale", *Mem. Acc. delle Scienze, Torino*, s. II, vol. 24 (1868): 277-304.

Tongiorgi E., Lamboglia N. (1982), *Le grotte di Toirano*, Ist. Int. di Studi Liguri, Bordighera, 6a edizione.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

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

Cristina Longhi ([a]), Massimo Pozzo ([b]), Marco Tremari ([c])

([a]) Soprintendenza ABAP per le province di Brescia e Bergamo, *cristina.longhi@beniculturali.it*
([b]) Underland, *underlandweb@gmail.com, maximopozzo@gmail.com*
([c]) 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 Rebussi 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^2 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^2 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 prosegua.

Lo scavo archeologico, effettuato in tre campagne tra il 2015 e il 2020, ha indagato 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$\pm$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 (Cappellozza, 2015; Redaelli, 2015; Tremari, 2017). L'apparente assenza di resti umani escluderebbe la

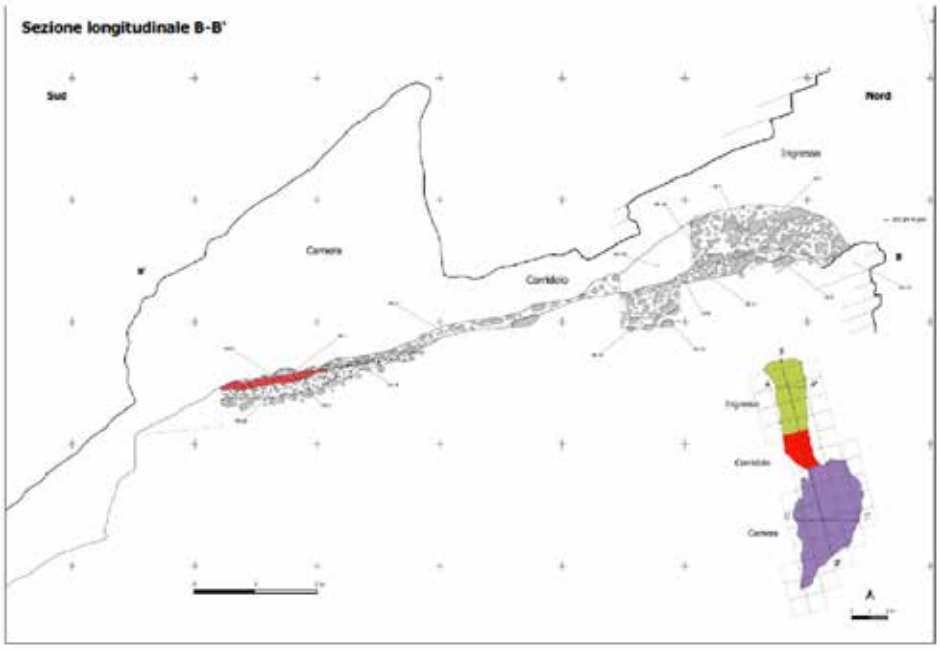


Figura 2 - Sezione e planimetria della grotta (elab. Marco Tremari).

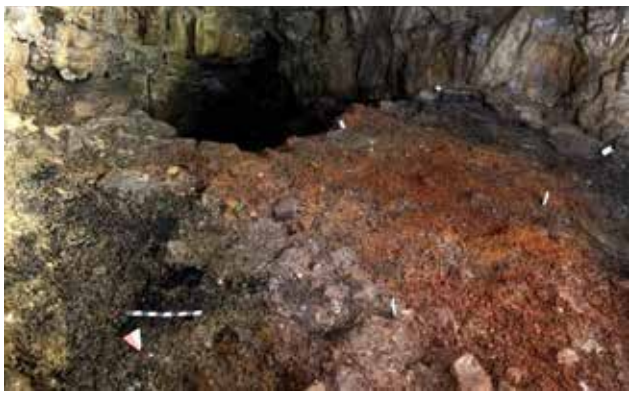


Figura 3 - La superficie rubefatta del deposito archeologico (foto Marco Tremari).

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. Desta 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

Cappellozza N. (2015), "Nota sull'indagine preliminare al deposito archeologico della grotta "Altro Pianet", Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Provincie 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 Provincie 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 Provincie di Bergamo e Brescia, *Relazione Archeologica – Campagna 7-16 Giugno 2017*: 1-15.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta Bella di Avigliano Umbro (TR) nuovo progetto di ricerca

Federico Spiganti ([a]), Maurizio Todini ([b]) Carlo Zoccoli ([c])

([a]) Gruppo Speleologico Todi, *federicospiganti7@gmail.com*
([b]) Gruppo Speleologico Todi, *subnoir@hotmail.it*
([c]) Gruppo Speleologico Todi, *carlozoccoli015@gmail.com*

Parole chiave: preistoria, speleologia, archeologia, Umbria.
Keywords: prehistory, caving, archaeology, Umbria.

Riassunto
Dal 2019 ha preso avvio un nuovo progetto di ricerca speleo-archeologica in una delle cavità umbre più interessanti per la documentata frequentazione umana dal IV millennio a.C. al IV-V sec. d.C.: Grotta Bella (Santa Restituta di Avigliano Umbro, Terni). Si ricostruiscono le varie fasi delle ricerche archeologiche e speleologiche del passato e si illustrano le potenzialità degli studi attuali.

Grotta Bella è un luogo conosciuto e visitato da sempre, sia per il suo facile accesso che per la prossimità a percorsi frequentati da secoli; tuttavia è solo in tempi recenti che si riscontrano alcune testimonianze documentate, fino ad oggi poco o nulla conosciute, come la visita di qualche studioso o di piccoli gruppi di escursionisti, poco più che "gitanti" locali. Solo nei primi anni Sessanta viene avviata una ricerca propriamente speleologica, volta a comprendere lo sviluppo della cavità, l'articolazione della spazialità interna e la sua genesi sin nei settori più profondi della montagna. Da un punto di vista cronologico, la prima breve citazione oggi nota della grotta è quella del geologo Bernardino Lotti, nel 1902. Firme a matita o a carboncino, apposte sulle pareti rocciose, testimoniano tuttavia altre frequentazioni a partire dagli anni venti del novecento. Alla fine degli anni cinquanta del secolo scorso inizia la storia delle esplorazioni speleologiche, con le prime visite fatte da esploratori ternani i quali si spingono oltre la grande sala iniziale, lasciando al riguardo alcuni resoconti. La testimonianza è stata fornita da Luciano Croccolino, animatore, in quegli anni, del nascente Gruppo Grotte Pipistrelli CAI Terni, cui si deve il primo rilievo topografico di Grotta Bella. La cavità viene inserita nel Catasto delle Grotte dell'Umbria nel 1961 con la sigla "19/U/TR" (Lemmi, Coletti, 1961). La prima organica relazione sulle ricerche svolte a Grotta Bella viene pubblicata nel 1968 all'interno della rivista "Rassegna Speleologica Italiana" dallo speleologo e geologo Bruno Mattioli, un altro fondatore del Gruppo Speleologico Pipistrelli CAI Terni. Il Mattioli descrive

in maniera esaustiva le esplorazioni sino ad allora effettuate che, stando alla sua relazione, raggiunsero i 50 metri di profondità. L'autore informa del sopralluogo effettuato dal prof. L. Cardini e dal prof. F. Rittatore, i quali sottolinearono la necessità di effettuare nella grotta una campagna di ricerche, avviata effettivamente qualche anno più tardi. La storia esplorativa, da un punto di vista speleologico, conosce a questo punto una fase di stallo, dovuta alle campagne di scavo archeologico avviate dalla Soprintendenza alle Antichità dell'Umbria in collaborazione con la Cattedra di Paleontologia Umana e Paletnologia dell'Università degli Studi di Milano, sotto la direzione di Giampiero Guerreschi, avvenute dal 1970 al 1973. Per tentare di arginare il deplorevole fenomeno degli scavi clandestini, la stessa Soprintendenza recintò l'entrata alla cavità, con conseguente divieto di accesso.

Nel 1979 alcuni giovani di Melezzole, piccolo borgo non lontano dal sito, animati da Giorgio Paolo Panini, contattarono il Gruppo Speleologico Todi per effettuare una visita nella grotta al fine di realizzare fotografie per una mostra. Nel corso dell'escursione la cavità, non ancora conosciuta dal Gruppo, palesò una serie di interessanti potenzialità esplorative: furono individuate, infatti, diverse vie di possibile prosecuzione non esistenti sul rilevamento topografico del 1961 effettuato dagli speleologi ternani. Una prima esplorazione venne effettuata sulla volta della grande sala iniziale, dove era presente, guardando dal basso, un'ampia condotta ascendente. Raggiunta questa diramazione, non senza difficoltà, si poté constatare che dopo un breve percorso il camino si collegava nuovamente con la superficie. Tale esplorazione permise di aggiungere un nuovo elemento alla conoscenza della genesi della cavità. Nel 1979 venne avviata una seconda esplorazione effettuata, in particolare, nelle zone delle pareti lasciate libere dagli accumuli di crollo. Tali ricognizioni confermarono l'esistenza di ambienti esistenti a quote ancora più profonde di quanto fino ad allora noto. Tutto questo lavoro esplorativo e di attenta osservazione dei vuoti ipogei portò infine alla scoperta di importanti resti umani, presenti in una zona della grotta profonda e di difficile accesso. Del rinvenimento venne informata la Dott.ssa Eugenia Feruglio, direttrice della Soprintendenza Archeologica dell'Umbria, a cui seguirono sistematiche ricognizioni con il supporto tecnico del Gruppo Speleologico Todi. Nel notiziario della stessa associazione, datato 1981, furono pubblicate due relazioni: la prima del professor G. Guerreschi, un'anticipazione della sua futura pubblicazione del 1992, in cui ripercorreva la storia degli scavi archeologici degli anni '70, e l'altra dello speleologo Maurizio Todini, in cui si rendeva nota la scoperta dei resti umani. Gli strati superiori, all'interno della grotta, hanno restituito una ricca stipe votiva che ne assicura l'uso ininterrotto a scopo cultuale a partire dalla fine del VI - inizio V sec. a.C. fino al IV-V sec. d.C. (Monacchi, 1986).

Il complesso carsico, probabilmente, venne prescelto per il ricordo dello stanziamento preesistente, ma anche per le sue caratteristiche - volumetria degli spazi, stillicidio continuo di acque, formazioni calcitiche - che da sempre hanno esercitato una potente attrazione religiosa (De Angelis, Moroni, 2011; Giontella, 2012). La testimonianza più tangibile delle pratiche cultuali è costituita da una ricca serie di bronzi votivi, raffiguranti figure schematiche umane e animali. Si tratta di beni artistici di largo consumo e con molta probabilità realizzati nell'area limitrofa all'antro della grotta. I bronzetti miniaturistici

sono realizzati a fusione e ritoccati a lima. Le figurine sono estremamente schematiche con i dettagli anatomici resi con cerchielli incisi o con linee. I votivi di animali sono realizzati anch'essi in maniera schematica, ma al contempo riescono a farci capire il genere raffigurando bovini, suini e ovini, e comunque intesi, da un punto di vista simbolico, come sostitutivi degli animali da sacrificio. Da questa ripetitiva serie spicca un bronzetto di dimensioni superiori contraddistinto dal corpo nudo, un grande elmo e da una lancia infilata nella mano destra: il cosiddetto "Marte in assalto". Un'altra classe di votivi attestata nella stipe è quella costituita da figurine umane in piombo, per lo più femminili. Le prime figurine, femminili, vestono una tunica ornata con incisioni a zig-zag, le seconde, maschili, restituiscono una figura da guerriero. Abbiamo dunque a che fare con offerte di elevato valore, che lasciano trasparire la devozione di una comunità composita e articolata, con un sistema economico in cui l'allevamento e la pastorizia dovevano avere particolare rilevanza. Dalla fine del IV sec. a.C., con il processo di romanizzazione della regione, compaiono ex-voto in terracotta con la rappresentazione a tutto tondo di votivi anatomici come mammelle, piedi e il modellino fittile di un edificio templare. Il tempietto, decorato con rami di felce, sembrerebbe rappresentare un'abitazione che il dedicante affida alla protezione divina. Questo permette di comprendere come la popolazione volle riconoscere nel Nume – purtroppo ignoto – di cui la grotta era sede, una divinità a carattere salutare, legata forse al culto delle acque. Oltre alla ceramica a vernice nera, la quale può essere riferita a una produzione locale, forse della zona tudertina, non mancano nella stipe ritrovamenti di altra tipologia, come due statuette di offerenti a testa con corona radiata, mantello e patera. Per tutto il I sec. a.C. si verifica un abbandono della grotta per poi riprendere la sua funzione cultuale intorno al I sec. d.C. sino al IV-V sec. d.C. testimoniata dalla presenza di monete tarde, ceramiche fini da mensa e lucerne.

Con le attività esplorative effettuate durante il nuovo progetto di ricerca speleo-archeologico, realizzato nel triennio 2019-2021 (Larocca, 2022), sono stati messi in evidenza sostanzialmente due aspetti che contraddistinguono il sistema sotterraneo: 1) la grotta continua oltre i limiti da sempre noti; 2) esistono in taluni settori ipogei aree archeologiche ancora intatte. Le esplorazioni, in particolare, si sono concentrate laddove erano state interrotte nel 1980. Le ricognizioni effettuate nel contesto della realizzazione di un nuovo rilievo di precisione, hanno permesso di ispezionare a fondo un'area di rinvenimento di numerosi resti ossei umani. Un cranio inglobato alla base di una possente stalagmite, insieme ad altri resti, è risultato essere pertinente ad un soggetto giovane di età compresa tra 6 e 12 anni. Altre ossa del medesimo individuo sono visibili dentro strette fessure nella roccia, in parte osservate grazie all'ausilio di una video-sonda. In una seconda area, a circa 2 m dalla precedente, alla base di un'ulteriore stalagmite alta 75 cm, sono state scoperte ulteriori parti scheletriche, questa volta pertinenti ad un individuo di età adulta. Esse, molto difficili da scorgere, in parte giacciono mescolate ad un accumulo di pietre, su cui lo speleotema si è formato, in parte sono completamente inglobate nella stessa base calcitica della stalagmite. L'orizzonte cronologico di riferimento di tali sepolture è chiaramente preistorico, come si evince da alcuni manufatti trovati in associazione. Lungo una profonda frattura nella roccia si osserva infatti, compreso in una colata di calcite,

un piccolo vaso in ceramica d'impasto provvisto di bugne, mentre dispersi al suolo, ad immediato contatto con i resti ossei, sono presenti manufatti litici quali belle lame in selce. A queste ultime si aggiungono alcuni punteruoli in osso, probabilmente relativi all'abbigliamento dei defunti oppure ai sistemi di trasporto dei corpi in quel lontano distretto ipogeo (sacchi-sudario in pelle?). Infine, resti di fauna presenti in specifici luoghi della Sala potrebbero rimandare a doni o offerte connessi ai defunti. La verifica attenta delle varie zone della Sala dello scheletro ha permesso quindi di localizzare ulteriori aree con dispersione di resti umani, estese su una superficie complessiva di circa 11 m^2. Complessivamente le evidenze scheletriche osservate *in loco* sembrerebbero rimandare ad almeno nove distinti individui, di cui cinque in età infantile e quattro in età adulta. Tali eccezionali testimonianze, pervenute praticamente senza disturbi recenti fino ai nostri giorni, apportano nuovi elementi sulle fasi di frequentazione antropica più antica di Grotta Bella. Infatti, sebbene al momento lo studio sia in una fase_del tutto preliminare, il contesto parrebbe collocarsi in piena età neolitica, agganciandosi così alle prime presenze individuate nella Sala d'ingresso. Ulteriori, future ricerche, di tipo multidisciplinare, consentiranno di indagare meglio il contesto e di caratterizzarlo con maggiore precisione in senso crono-culturale.

Riferimenti bibliografici

De Angelis M.C., Moroni A. (2011), "Grotta Bella", in Cerquaglia Z. (a cura di), Avigliano Umbro. *Itinerari naturalistici ed archeologici*, Terni, 75-90.

Giontella C. (2012),"...Nullus enim fons non sacer.... Culti idrici di epoca preromana e romana (Regiones VI-VII)", *Istituto di Studi Etruschi ed Italici-Biblioteca di Studi Etruschi*, 45: 84-87.

Guerreschi G., Catalani P., Longo G., Iannone A. (1992), "Grotta Bella (Terni). Una sequenza stratigrafica dal Neolitico inferiore all'età imperiale. I livelli preistorici", *Bullettino di Paletnologia Italiana*, 83: 143-228.

Larocca F., (2022), "Grotta Bella (Santa Restituta di Avigliano Umbro). Un nuovo progetto di ricerca speleo-archeologica", in Roscini E. (a cura di), *Fra tutela e ricerca. Indagini archeologiche in territorio Amerino*, Futura Libri, Perugia, 135-150.

Lemmi G., Coletti G. (1961), "Elenco Catastale delle Grotte dell'Umbria", *Rassegna Speleologica Italiana*, 3:115-151.

Lotti B. (1902), "Sulla costituzione geologica del gruppo montuoso di Amelia (Umbria)", *Bollettino del R. Comitato Geologico d'Italia*, 32(2): 89-103.

Mattioli B. (1968), "Note sulla Grotta Bella 19 U TR", *Rassegna Speleologica Italiana*, 20(3-4): 178-181.

Monacchi D. (1986), "Nota sulla stipe votiva di Grotta Bella (Terni)", *Studi Etruschi*, 54:75-99.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Sei anni di ricerche nella Grotta della Bàsura (Toirano, SV)

Marta Zunino
Grotte di Toirano, Piazzale D. Maineri 1, 17055 Toirano (SV), *martazunino@tiscali.it*

Parole chiave: *Ursus spelaeus*, orme umane, Pleistocene superiore, Paleolitico superiore
Keywords: *Ursus spelaeus*, human footprints, upper Pleistocene, upper Paleolithic

Introduzione

La grotta della Bàsura, parte del famoso complesso turistico delle grotte di Toirano, è localizzata nella zona carsica della Val Varatella a pochi chilometri dal paese di Toirano. Scoperta il 28 maggio del 1950 da un gruppo di giovani toiranesi, divenne presto famosa per la presenza al suo interno di numerose testimonianze preistoriche.

Pochi giorni dopo la scoperta vennero infatti riconosciute dall'archeologa Virginia Chiappella orme e tracce di carbone che segnalavano la presenza umana preistorica in grotta e le ingenti quantità di ossa di orso delle caverne (*Ursus spelaeus*).

Per i primi decenni dopo la scoperta, si susseguirono all'interno della cavità numerosi studi scientifici che portarono la Grotta della Bàsura ad essere conosciuta a livello internazionale. Tuttavia, col passare degli anni, la grotta venne progressivamente dimenticata dalla comunità scientifica. Nel 2016, sotto la spinta dell'allora funzionaria della Soprintendenza Archeologica della Ligura, dott.ssa Elisabetta Starnini, prende l'avvio il progetto multidisciplinare "*Bàsura revisited"* che si pone l'obiettivo di approfondire le conoscenze sulla natura e sulle tempistiche di frequentazione preistorica umana e animale all'interno della grotta.

L'ingresso umano nel Paleolitico superiore

Durante la prima campagna di ricerche del 1960 le orme umane vennero attribuite all'uomo di Neanderthal per la loro morfologia, per l'abbondanza di ossa di orso delle caverne e per la presenza di industrie riferibili al Neanderthal in grotte vicine (Grotta del Colombo). Questa ipotesi prevedeva l'ingresso di tribù neanderthaliane per la caccia all'orso delle caverne evocando al contempo rituali di iniziazione di giovani cacciatori che si sarebbero svolti nella sala più interna della grotta dove è concentrata la maggior parte delle tracce di carbone e dove si trovano anche le famose palline di argilla, alla base dell'interpretazione rituale della cavità.

Questa ipotesi restò in voga fino agli anni '80 quando datarono i carboni di legno sparsi sul suolo della grotta, e

quindi per via indiretta le orme umane, a 14.400 anni da oggi. Siamo quindi di fronte a *Homo sapiens* che vissero durante il Paleolitico superiore (Epigravettiano finale).
Nel 2016 e nel 2018 un team del MuSe (Museo delle Scienze) di Trento, coordinato dal dott. Marco Avanzini, si è occupato dello studio delle orme umane presenti in grotta; attraverso rilievi 3D con laser scanner, seguiti da campagne fotogrammetriche, si sono ricreati modelli tridimensionali sia delle paleosuperfici complete che delle singole orme. Tramite la misurazione di vari parametri morfologici e l'applicazione di formule biometriche derivate dall'analisi forense è stato possibile definire il numero di individui presenti in grotta, ma anche altezza, peso ed età dei singoli individui.
Da queste analisi è emerso come il gruppo di esploratori del Paleolitico superiore fosse formato da 5 individui, 2 adulti e 3 bambini di età compresa tra i 3 e gli 11 anni.
Questi 5 individui entrarono in grotta a piedi e gambe nude con delle torce di rami di legno di pino, procedevano in fila indiana camminando molto vicino alle pareti della grotta. Probabilmente questo approccio, utilizzato anche da animali che si muovono al buio come gli orsi, consentiva una maggiore sicurezza grazie al contatto con la parete rocciosa che permetteva di orientarsi meglio nella semi oscurità. Nel Corridoio delle Impronte sono conservate centinaia di orme di mani, piedi e ginocchia; a circa 10 m dall'inizio del corridoio il soffitto si abbassa e i membri del gruppo che inizialmente avevano camminato in posizione eretta o semi eretta sono costretti ad accucciarsi e a procedere carponi. Dove la volta si abbassa il capofila si ferma per decidere il da farsi e poi procede in avanti; anche gli altri membri del gruppo si fermano nello stesso punto e poi procedono in avanti appoggiando mani e ginocchia; queste piste hanno permesso di ricostruire all'interno della grotta della Bàsura, la prima camminata carponi nel record fossile mondiale.
Le orme degli stessi 5 individui si ritrovano in varie parti della grotta e questo suggerisce la presenza di un unico ingresso di un piccolo gruppo umano costituito probabilmente da membri di un clan eterogenei per età e sesso. Il coinvolgimento di individui di giovane età nelle attività degli adulti è un trend ben riconosciuto anche nelle grotte francesi come Chauvet Pont d'Arc oppure Niaux. Inoltre le orme della Bàsura testimoniano come le attività dei cacciatori raccoglitori del Paleolitico superiore non fossero unicamente dettate dalla mera sussistenza ma ci fosse ampio spazio anche per attività futili e divertenti. L'esplorazione della grotta sembra infatti non avere alcuno scopo se non quello di soddisfare la curiosità umana di questo piccolo gruppo di uomini (Citton et al., 2018; Romano et al., 2019).

Ossa e pellicce di orso delle caverne

All'interno della grotta della Bàsura sono conservate tantissime ossa di orso delle caverne (*Ursus spelaeus*) per la maggior parte concentrate nel deposito del Cimitero degli Orsi, parzialmente scavato nel 1953 da Virginia Chiappella che riconobbe la presenza di 2 distinti livelli fossiliferi ricchissimi di ossa di orso. Asportò quasi completamente il livello superiore (le ossa sono ora conservate presso i magazzini del Comune di Toirano) e decise di lasciare in posto il livello inferiore per permettere ai turisti che sarebbero venuti di poter ammirare anche questa peculiarità delle grotte.
Le ossa che si vedono sono tutte riferibili all'orso delle caverne, un animale estinto che aveva l'abitudine di trascor-

rere il letargo invernale all'interno delle grotte. Durante il letargo alcuni animali possono morire per cause naturali legate alla malnutrizione, alla malattia o semplicemente alla vecchiaia.
La grotta della Bàsura venne frequentata da questa specie in un intervallo di tempo compreso tra i ca. 50.000 anni da oggi fino a ca. 28.000 anni fa (datazioni al C-14 sulle ossa di orso).
Le ossa che sono state asportate da Chiappella nel 1953 dal livello superiore, recentemente studiate dalla scrivente, hanno permesso di stabilire che all'interno di questo livello erano almeno 139 individui divisi in 57 cuccioli morti al 2°/3° letargo, 63 giovani sotto i 4 anni e 19 adulti; dato che sulle ossa non si evidenziano tracce di malattie e scarsi segni di predazione da parte di altri animali, si può dedurre che gli orsi siano morti per cause naturali legate al difficile periodo dell'ibernazione (Zunino et al., 2022).
All'interno del Cimitero degli orsi non si conservano scheletri interi in connessione anatomica perché tutte le ossa sono state trasportate dall'acqua. Almeno 2 forti eventi alluvionali hanno preso ossa e parti di carcasse di orsi morti nella sala dove andavano a ibernare e le hanno trasportate in questo canale. La diga calcarea che delimita il deposito ha bloccato questo flusso di acqua, argilla e ossa permettendo la deposizione del cimitero degli orsi.
Inizialmente si pensava che la Sala dei Misteri fosse il punto dove gli orsi andavano a ibernare e che le ossa derivanti dagli animali morti qui fossero poi state spostate dall'acqua nel Cimitero degli Orsi.
Sia per confermare questa ipotesi, sia per cercare tracce concrete del passaggio umano in grotta (selci, manufatti), nel 2016 si decise di aprire lo scavo archeologico nella parte centrale della sala. Grazie allo scavo è emerso come in realtà anche le ossa che si trovano in questa parte siano già state trasportate da un altro punto della grotta non ancora localizzato, dove probabilmente ibernavano gli orsi. Appare ormai chiaro, da indizi derivati dall'analisi del tipo di sedimento e della conservazione delle ossa, che il punto primario di accumulo delle carcasse fosse una parte di grotta non troppo distante dall'attuale sala dei misteri e che avesse un contatto diretto o comunque molto prossimo con l'esterno. Sono in corso ulteriori analisi per tentare di localizzare questo ingresso.
Lo studio di dettaglio della sezione stratigrafica, condotto dal dott. Ivano Rellini dell'Università di Genova, ha permesso il ritrovamento, una decina di centimetri sotto la superficie, di un livello di accumulo di peli di orso. Non si tratta di resti organici ma di peli la cui parte organica è stata sostituita da minerale (in particolare fosfato) che ha preservato la forma dei peli stessi. Si tratta di un livello ricchissimo in cui si riconoscono ammassi di peli riferibili a lembi di pelliccia. Con ogni probabilità parti di carcasse ancora in connessione anatomica e con parti organiche conservate (peli, carne) sono state trasportate all'interno della sala dalla zona di ibernazione durante più episodi alluvionali (Rellini et al., 2021). Qui la sostanza organica si è decomposta e alcune parti, come i peli, sono state sostituite da minerali permettendone la conservazione. L'attribuzione all'orso è stata fatta osservando la forma generale dei peli; infatti le scaglie di cuticola, di cui noi osserviamo l'impronta sul sedimento, permettono di determinare l'animale di provenienza. Non essendoci un campione di riferimento per l'orso delle caverne, il confronto è stato fatto con quelli dell'orso bruno attuale.
Associati ai peli di orso sono presenti moltissimi pollini, frammenti di legno e parti vegetali che erano verosimilmente intrappolati nelle pellicce degli

animali in vita e che sono stati portati all'interno delle grotte.

Una nuova visione della grotta

Grazie all'approccio multidisciplinare adottato nelle ricerche qui riassunte è stato possibile rimodellare la visione classica della frequentazione umana e animale nella grotta della Bàsura.

Dai recenti studi sui depositi della grotta emerge sempre più insistentemente la presenza di parti di grotta ancora sconosciute e ormai irraggiungibili che avrebbero costituito le aree di ibernazione degli orsi; la presenza dell'orso delle caverne è ormai stabilita in un intervallo compreso tra i 50.000 e i 28.000 anni da oggi e vede, almeno per un certo periodo, anche la presenza dell'orso bruno accanto al "cugino" speleo.

Oggi sappiamo che la frequentazione preistorica umana è stata probabilmente limitata ad un unico ingresso di un piccolo gruppo di *sapiens* eterogeneo per sesso e per età e che la loro presenza in grotta nulla ha a che fare con i resti di orso o con la realizzazione di rituali. Possiamo infatti leggere nella miriade di tracce di carbone e di tracciati digitali impressi sulle pareti, l'attività ludica e ricreativa di 3 bambini lasciati liberi di esprimersi in un ambiente così peculiare.

Non tutti i segni lasciati dall'ingresso umano sono probabilmente ascrivibili a questa attività ma per discriminarne la natura saranno necessari futuri studi e confronti con altre realtà cronologicamente affini.

Riferimenti bibliografici

Citton P., Romano M., Salvador I., Avanzini M., (2017), "Reviewing the upper Pleistocene human footprints from the 'Sala dei Misteri' in the Grotta della Bàsura (Toirano, northern Italy) cave: an integrated morphometric and morpho-classificatory approach", *Quaternary Science Reviews,* 169: 50–64.

Rellini I., Firpo M., Arobba D., Starnini E., Romano M., Citton P., Salvador I., Negrino F., Avanzini M., Zunino M., (2021), "Micromorphology and origin of an unusual bear fur bearing deposit in Bàsura Cave (Toirano, NW Italy)", *Quaternary International*, 601: 82-103.

Romano M., Citton P., Salvador I., Arobba D., Rellini I., Firpo M., Negrino F., Zunino M., Starnini E., Avanzini M., (2019), "A multidisciplinary approach to a unique Palaeolithic human ichnological record from Italy (Bàsura Cave)", *eLife*, 8: e45204.

Zunino M., Starnini E., Arobba D., Avanzini M., Citton P., Firpo M. Negrino F., Romano M., Salvador I., Rellini I., (2022), "New insights into taphonomic analysis of the Upper Pleistocene Ursus spelaeus bones deposit from Bàsura cave (Toirano, NW Italy)", *Journal of Quaternary Science*, https://doi.org/10.1002/jqs.3417.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La valorizzazione del sito paleontologico della grotta di Valdemino (Borgio Verezzi, Savona)

Marta Zunino ([a]), Marco Pavia ([b]), Ursula Thun Hohenstein ([c]), Marco Isaia ([d])
([a]) Grotte di Toirano, piazzale D. Maineri 1, 17055 Toirano (SV), martazunino@tiscali.it;
([b]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino, Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino;
([c]) Dipartimento di Studi Umanistici, Università degli Studi di Ferrara, Corso Ercole I d'Este 32, 44121 Ferrara;
([d]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Verdi 8, 10124 Torino

Parole chiave: associazione a vertebrati, Pleistocene medio e superiore, progetto Showcave PRIN2017, valorizzazione
Keywords: vertebrate assemblage, middle and upper Pleistocene, Showcave PRIN2017 project, valorization

Il sito paleontologico: stato dell'arte

La grotta di Valdemino, localizzata nel paese di Borgio Verezzi, è stata scoperta nel 1933 e aperta al pubblico nel 1970. Durante i lavori per la realizzazione del percorso turistico, nella prima sala venne scoperto un inghiottitoio verticale ricco di resti fossili di vertebrati riferibili al Pleistocene medio-superiore.

Il sito venne scavato per la prima volta alla fine degli anni '60 da E. Tongiorgi e C. Tozzi dell'Università di Pisa (Tozzi, 1969). Dopo questa prima analisi emerge la presenza di due unità fossilifere distinte, chiamate rispettivamente Unità Superiore e Unità Inferiore, separate da un intervallo di livelli sterili.

Lo scavo del sito è stato ripreso da B. Sala dell'Università di Ferrara in due campagne di scavo nel 1989 e nel 1991; in questa occasione è stata anche descritta la sezione stratigrafica e sono stati numerati i differenti livelli stratigrafici (Fornasiero, 1989).

Dal 1962 il sito paleontologico di Valdemino è stato messo sotto vincolo archeologico dalla Soprintendenza competente per la sua importanza scientifica e per l'antichità dei livelli inferiori.

Per quanto riguarda l'Unità Inferiore sono state segnalate le seguenti specie che permettono l'attribuzione al Pleistocene medio (Galeriano medio, Unità Faunistica di Isernia, circa 700.000 anni da oggi): *Microtus (Iberomys) breccensis*, *Apodemus* sp., *Allocricetus bursae*, *Miodes* sp., *Pliomys episcopalis*, *Microtus* (*Terricola*) sp., *Oryctolagus burgi*, *Mammuthus armeniacus*

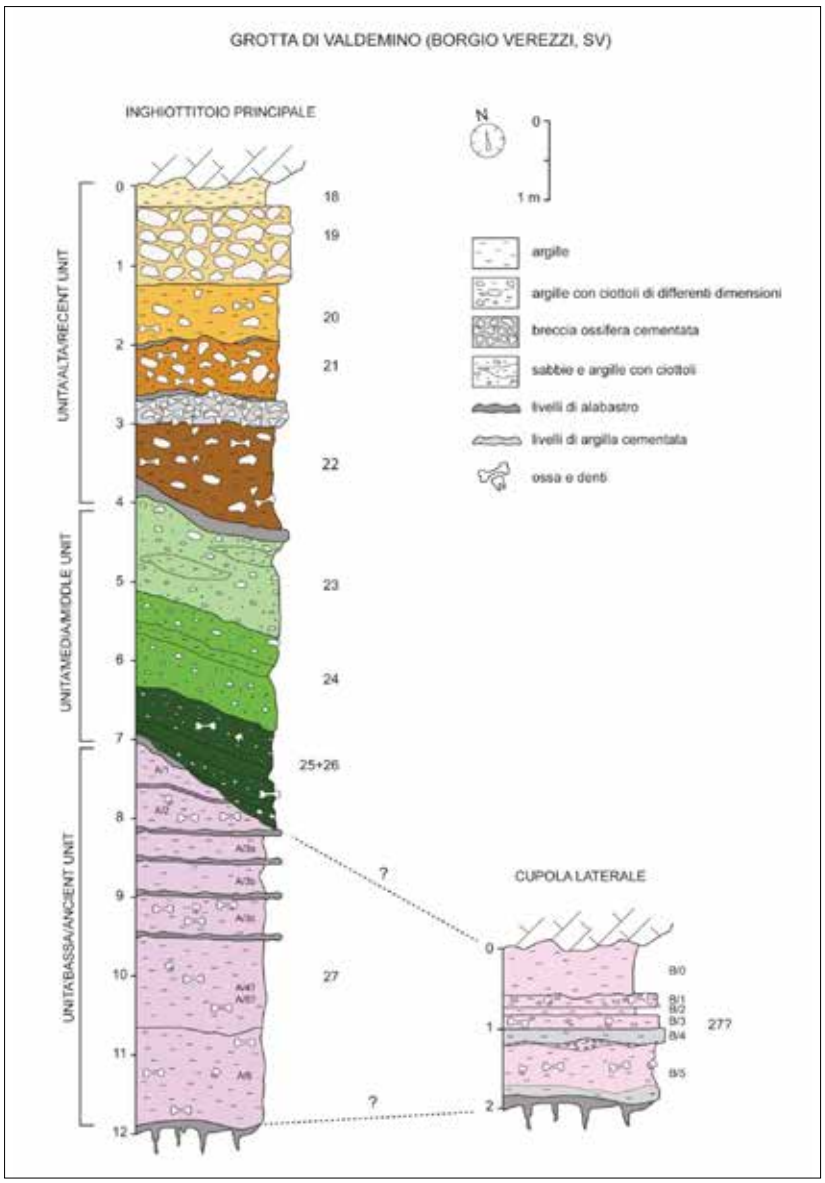


Figura 1 - colonna stratigrafica misurata nel 2022 da M. Zunino e M. Pavia. A sinistra la sezione riferita allo scavo principale a destra quella della cupola laterale. Con i differenti colori sono evidenziate le differenti Unità riconosciute (disegno di M. Zunino).

(=*trogontherii*), *Stephanorhinus* cf. *kichbergensis*, Cervidae indet., *Sus scrofa*, *Bos primigenius*, *Macaca sylvanus*, *Ursus* sp., *Canis mosbachensis*, *Panthera pardus*, *Felis* (*Lynx*) gr. *spelaeus* and *Homotherium* sp. (Sala & Masini, 2007).

Nell'Unità Superiore è segnalata una tipica associazione del Pleistocene superiore (Aureliano) composta da: *Erinaceus europaeus*, *Myoxus glis*, *Arvicola terrestris*, *Microtus agrestis*, *Microtus* (*Terricola*) sp., *Apodemus* sp., *Oryctolagus burgi*, *Canis lupus*, *Vulpes vulpes*, *Sus scrofa*, *Mustela putorius*, *Panthera pardus*, *Crocuta crocuta spelaea*, *Cervus* sp., *Cervus elaphus* e *Bos primigenius*.

Le ossa provenienti da entrambe le unità si presentano abbastanza ben conservate anche se spesso fratturate. Non sono segnalate tracce di calpestio di altri animali (*trampling*), radici o abrasione e neanche tracce legate all'attività antropica; le ossa provenienti dall'Unità Superiore sono spesso coperte da un velo di argilla concrezionata e presentano sporadiche tracce di *weathering* (Ghezzo et al., 2014).

Il progetto di valorizzazione: attività svolte e sviluppi futuri

Sebbene il materiale derivante dal deposito paleontologico di Valdemino of-

fra notevoli spunti scientifici, dei più di 4000 resti segnalati, sono stati studiati nel dettaglio solo i resti di poche specie; in particolare, sono stati analizzati i numerosi resti di erpetofauna, la mandibola di macaca, uno scheletro quasi completo di un cervide (*Dama roberti*) proveniente dall'Unità Inferiore, vari resti di lince (*Lynx spelaea*) e, tra i micromammiferi, i resti di Microtus e del leporide *Oryctolagus burgi* (Delfino, 2004; Breda, 2014; Ghezzo et al., 2014; Nocchi, Sala, 1997a,b).

Al momento dell'avvio del progetto si conosceva la localizzazione di parte del materiale scavato. I reperti riferibili agli scavi di Sala erano conservati in parte presso il Museo Archeologico del Finale (Finale Ligure) e in parte presso l'Università di Ferrara. Poco invece si sapeva del materiale riferibile agli scavi degli anni '60 di cui solo una piccola parte era conservata a Finale.

Il progetto di valorizzazione è partito da questa dispersione di materiale e si è posto come principale obiettivo quello di tentare di rintracciare parte o, nel migliore dei casi, tutto il materiale derivante dai vari scavi e di quantificarne l'entità e l'attuale collocazione.

Dopo alcuni sopralluoghi nei depositi dei vari enti coinvolti (Finale, Pisa, Ferrara, Firenze) è stato possibile localizzare la maggior parte dei resti di vertebrati provenienti dalla grotta di Valdemino. Nel Museo Archeologico del Finale sono conservati i reperti degli scavi di Sala fatta eccezione per i micromammiferi che, insieme alla mandibola della macaca, sono ancora presso il Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Ferrara. La maggior parte del materiale proveniente dagli scavi di Tongiorgi e Tozzi sono invece conservati presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, mentre non sono stati trovati resti nella sede dell'Università di Pisa.

Parallelamente alla ricerca del materiale è anche stata misurata e descritta la sezione stratigrafica in cui si sono potuti localizzare i principali livelli fossiliferi (fig. 1). Le analisi svolte permettono di mettere in atto alcune azioni volte alla valorizzazione del sito attraverso la realizzazione di pannelli da affiggere sul percorso turistico delle grotte e attraverso la produzione di contenuti multimediali da mettere a disposizione dei turisti attraverso QR code (rilievi 3D di alcuni reperti fossili e rilievo 3D dell'inghiottitoio).

Questo ovviamente non è che un lavoro preliminare che dovrà essere completato da studi tassonomici sui differenti taxa, tra cui gli uccelli che sono presenti con un buon numero di resti e non sono mai stati citati, e da uno studio tafonomico di dettaglio.

Si auspica inoltre che, attraverso l'intervento della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio delle province di Imperia e Savona, il materiale possa essere accorpato in una unica collezione e possa trovare sede in una realtà locale per una futura musealizzazione dei pezzi di maggior interesse e pregio.

Il caso di studio qui descritto è parte del progetto "SHOWCAVE: a multidisciplinary research project to study, classify and mitigate the environmental impact in tourist caves", finanziato dal MIUR nell'ambito dei PRIN 2017.

Riferimenti bibliografici

Breda M. (2014), "The early Middle Pleistocene fallow deer *Dama roberti*: new insight on species morphology from a complete postcranial skeleton from Valdemino (northwestern Italy)", *Geological Journal*, 50(3): 257-270.

Delfino M. (2004), "The middle Pleistocene herpetofauna of Valdemino Cave (Liguria, north-western Italy), *Herpetological Journal*, 14: 113-128.

Fornasiero O. (1989), "Cronostratigrafia di due giacimenti -quaternari continentali a mammiferi della liguria". Tesi di Laurea inedita, Università di Ferrara.

Ghezzo E., Boscaini A., Madurell-Malapeira J., Rook L., (2014), "*Lynx* remains from the Pleistocene of Valdemino cave (Savona, Northwestern Italy), and the oldest occurrence of *Lynx spelaeus* (Carnivora, Felidae)", *Rendiconti Lincei*, 26(2): 87-95.

Nocchi G., Sala B. (1997a), "The fossil rabbit from Valdemino cave (Borgio Verezzi, Savona) in the context of western Europe Oryctolagini of Quaternary", *Palaeovertebrata,* 26:167–187.

Nocchi G, Sala B. (1997b), "*Oryctolagus burgi* n. sp. (Mammalia: Lagomorpha) from the Middle Pleistocene levels of Grotta Valdemino (Borgio Verezzi, Savona, north-west Italy)", *Paleontology and Evolution*, 30–31:19–38.

Sala B, Masini F., (2007), "Late Pliocene and Pleistocene small mammal chronology in the Italian peninsula". *Quaternary International*, 160:4–16.

Tozzi C. (1969), "Segnalazione di una grotta con fauna fossile a Borgio Savona)", Atti *Società Toscana di scienze Naturali*, 76 (1): 195-208.

Le grotte come archivi di cambiamento.

di Andrea COLUMBU, Ilaria ISOLA e Eleonora REGATTIERI

La sessione scientifica "Le grotte come archivi di cambiamento" ha trattato argomenti di particolare importanza nella sfera della Scienze della Terra, che hanno una connessione diretta con tematiche chiave della società moderna in quanto legate ai cambiamenti climatici. Le grotte carsiche, come pure quelle nei ghiacciai, sono infatti dei veri e propri *database* di informazioni riguardo il clima, la sua evoluzione e le modificazioni del paesaggio avvenute nel tempo. Gli autori hanno esplorato tematiche ambientali e climatiche soffermandosi, soprattutto, su due questioni principali: le dinamiche di neve e ghiaccio e la paleoclimatologia.
Ferrario et al. hanno riportato il monitoraggio di alcune grotte nei ghiacciai del Monteratsch (Svizzera) e Forni (SO), mettendo in relazione la loro evoluzione morfologica con quella dei ghiacciai stessi e constatandone il ritiro progressivo. Conclusioni simili per Calleris, che ha invece dimostrato la riduzione del ghiacciaio sotterraneo dell'Abisso Scarason (CN). Nella stessa macro area delle Alpi Ligure e Cozie, nel Pozzo Lambda 21, nella Grotta della Patarasa, nella Grotta Romina e nell'Abisso Rem, Vigna & Paro hanno parimenti osservato la riduzione sensibile del volume delle masse glaciali negli ultimi cinque anni, soprattutto nell'ultima grotta citata. Riguardo gli accumuli nivali invece, Piccini et al. ne hanno evidenziato una netta riduzione avvenuta negli ultimi secoli, incrociando dati storico-documentali, catastali ed esplorativi di numerose "Buche della Neve" alle alte altitudini delle Alpi Apuane (Toscana). Sempre nelle Apuane, Menichetti et al. hanno invece presentato il monitoraggio microclimatico dell'Abisso Enrico Revel (LU), un altro caso in cui l'accumulo nivale presente nei primi decenni del 1900 odiernamente è scomparso. In campo paleoclimatico, attraverso lo studio dell'isotopia stabile di ossigeno e carbonio di due stalagmiti prelevate dalla Grotta di Bossea (CN), Isola et al. hanno proposto una ricostruzione preliminare tardoglaciale-olocenica che mostra un aumento dell'attività biologica dei suoli negli ultimi 14000 anni circa, probabilmente dovuta all'incremento di temperature e precipitazioni piovose. Studi isotopici simili, ma su stalagmiti pugliesi provenienti dalle Grotta di Sant'Angelo (BR) e Pozzo Cucù (BA), sono stati presentati da Columbu et al., proponendo una ricostruzione precisa delle variazioni climatiche fra ca. 105000 e 9000 anni fa che implica l'assenza, in Sud Italia, di drastiche variazioni climatiche durante la scomparsa dell'Homo neanderthalensis (avvenuta ca. 42000 anni fa). Le proprietà isotopiche di una stalagmite campionata nella grotta Hsārok, nel Kurdistan Iracheno, sono state utilizzate da Forti et al. per una ricostruzione paleoclimatica preliminare del periodo compreso fra 26000 e 7000 anni fa circa, evidenziando oscillazioni di piovosità e attività biologica dei suoli attribuibile alle dinamiche climatiche dell'ultima transizione glaciale/interglaciale.
Infine, De Waele et al. hanno mostrato i dati relativi al progetto "Evolgyps" che, attraverso la produzione di modelli digitali di terreno ed elevazione di tre dozzine di grotte in gesso dell'area emiliano-romagnola, correlati a datazioni di speleotemi prelevati da circa 20 grotte, mira a stabilire con precisione la storia genetico-evolutiva degli ultimi 800000 anni dell'area carsica gessosa, connessa a cambiamenti climatici e fenomenologie geologiche.
Questa sessione ha avuto il merito di sottolineare in modo netto il ruolo chiave delle grotte nella comprensione della variabilità climatica ed ambientale del passato geologico più o meno recente

Caves as archives of change

by Andrea COLUMBU, Ilaria ISOLA and Eleonora REGATTIERI

The scientific session "Caves as archives of change" dealt with topics of particular importance in the sphere of Earth Sciences, which have a direct connection with key issues of modern society as they are linked to climate change. The karst caves, as well as those in the glaciers, are in fact real databases of information about the climate, its evolution and the changes in the landscape over time. The authors explored environmental and climatic issues focusing, above all, on two main issues: the dynamics of snow and ice and paleoclimatology.
Ferrario et al. reported the monitoring of some caves in the Monteratsch (Switzerland) and Forni (SO) glaciers, relating their morphological evolution to that of the glaciers themselves and noting their progressive retreat. Similar conclusions are reached by Calleris, who instead demonstrated the reduction of the underground glacier of the Abyss Scarasson (CN). In the same macro area of the Ligurian and Cozie Alps, in Pozzo Lambda 21, in the Grotta della Patarasa, in the Grotta Romina and in the Abyss Rem, Vigna & Paro have also observed the significant reduction in the volume of glacial masses in the last five years, especially in the last mentioned cave. Regarding snow accumulations, however, Piccini et al. have shown a clear reduction in the last centuries, crossing historical-documentary, cadastral and exploratory data of numerous "Snow holes" at the high altitudes of the Apuan Alps (Tuscany). Also in the Apuan Alps, Menichetti et al. instead presented the microclimatic monitoring of the Enrico Revel Abyss (LU), another case in which the snow accumulation present in the early decades of the 1900s has nowadays disappeared.
In the palaeoclimatic field, through the study of the stable isotopes of oxygen and carbon of two stalagmites taken from the Bossea Cave (CN), Isola et al. have proposed a preliminary late Glacial-Holocene reconstruction showing an increase in the biological activity of soils over the last 14,000 years, probably due to the increase in temperatures and rainfall. Similar isotopic studies, but on Apulian stalagmites from the Grotta di Sant'Angelo (BR) and Pozzo Cucù (BA), were presented by Columbu et al., Proposing a precise reconstruction of the climatic variations between ca. 105,000 and 9,000 years ago which implies the absence, in Southern Italy, of drastic climatic variations during the disappearance of Homo neanderthalensis (which occurred about 42,000 years ago). The isotopic properties of a stalagmite sampled in the Hsārok cave in Iraqi Kurdistan were used by Forti et al. for a preliminary palaeoclimatic reconstruction of the period between about 26,000 and 7,000 years ago, highlighting fluctuations in rainfall and biological activity of the soils attributable to the climatic dynamics of the last glacial/interglacial transition. Finally, De Waele et al. showed the data relating to the "Evolgyps" project which, through the production of digital terrain models and elevation of three dozen gypsum caves in the Emilia-Romagna area, correlated to dating of speleothems taken from about 20 caves, aims to establish with precision the genetic-evolutionary history of the last 800,000 years of these gypsum karst areas, connected to climatic changes and geological phenomena.
This session had the merit of clearly underlining the key role of caves in understanding the climatic and environmental variability of the more or less recent geological past.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Regressione del ghiacciaio sotterraneo di Scarason: sublimazione inversa e cambiamenti climatici

Valter Calleris ([a])

([a]) Gruppo Speleologico Alpi Marittime C.A.I. Cuneo, *v.calleris@gmail.com*

Parole chiave: Abisso Scarason; sublimazione inversa; ghiacciaio sotterraneo; cambiamento climatico.
Keywords: Abisso Scarason; reverse sublimation; underground glacier; climate change.

Introduzione

Nel 1962 Michel Siffre, geologo di Nizza, visse due mesi sul ghiacciaio sotterraneo dell'Abisso Scarason (Conca delle Carsene, Briga Alta, Cuneo) per studi biomedici e raccolse dati su temperatura, umidità, correnti d'aria, deposito di pollini e struttura del ghiacciaio, considerato residuo fossile dell'ultima glaciazione e formatosi in seguito alla trasformazione di neve accumulata nella grotta. L'attuale regressione veniva attribuita a crolli o cambiamenti strutturali che avrebbero impedito l'accumulo di neve (Siffre, 1975; Boscart, 2008).

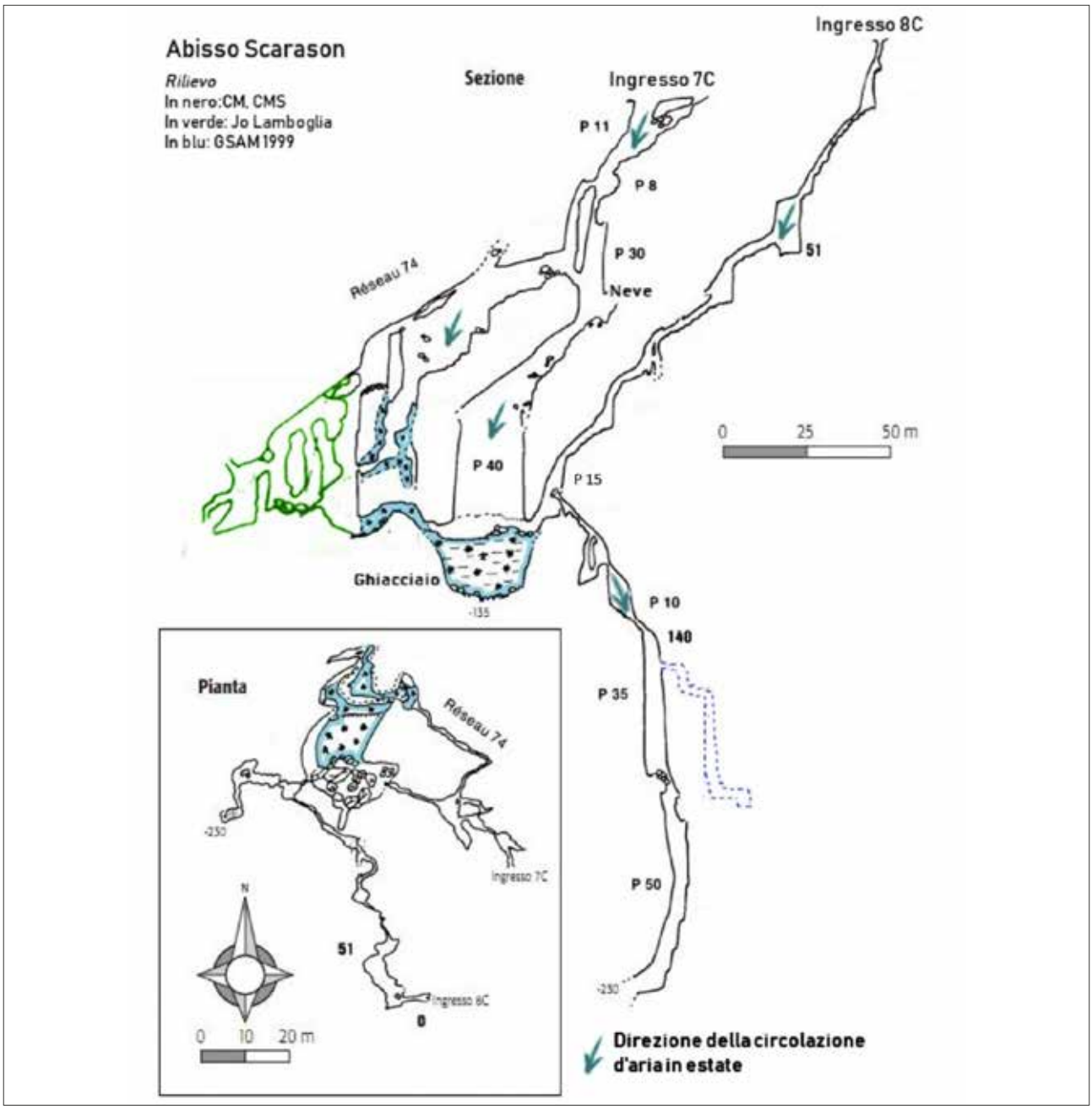
Qui si considera la sublimazione inversa alla base della formazione del ghiacciaio (Calleris, 2003). Sono stati rivalutati i dati disponibili, in particolare i più attuali (Morel et al., 2017) che sono stati confrontati con quelli di Siffre come le immagini recenti del ghiacciaio con altre precedenti per documentare la regressione dovuta al cambiamento climatico (Calleris, 2019).

L'Abisso Scarasson

L'Abisso Scarason, caratterizzato dal ghiacciaio sotterraneo, si apre in Conca delle Carsene, (Briga Alta, CN). I due ingressi, 7C ed 8C, portano al salone di -135, dove arriva anche il ramo Reseau '74, cui si accede dal P30. Nel 1962, il nizzardo Michel Siffre visse da solo due mesi sul ghiacciaio, dal 16 luglio al 17 settembre, per studiare gli effetti di una lunga permanenza in ambiente confinato. Se il ghiaccio nei primi tratti di una grotta non è inusuale, qui la particolarità era di scendere a 100 metri di profondità nella nuda roccia per trovarsi improvvisamente in un ambiente glaciale di un migliaio di metri quadri e decine di metri di dislivello.

La teoria del ghiacciaio fossile

Secondo Siffre, il ghiacciaio, che ritiene di spessore non inferiore a trenta metri, viene dalla trasformazione per effetto di pressione e sedimentazione di masse nevose vecchie di millenni e per congelamento di acqua in scorrimento. Siffre considera il secondo ingresso della grotta, l'8C, come parte di un tubo a vento con il 7C, cui è collegato a -100; ed il ramo laterale del Réseau '74 come l'a-monte del nevaio, in cui si genera la pressione che lo trasforma in ghiaccio. Egli misura temperature di -0.5°C per aria, roccia ed acqua e -1°C per il ghiaccio. Dai carotaggi del ghiacciaio, mancando la variazione stagionale del deuterio nella composi-



zione isotopica, si ricava che il ghiaccio si forma sempre nello stesso periodo. L'accumulo di ghiaccio è strutturato in centinaia di sottili strati orizzontali separati da finissimi livelli di frantumi e polveri argillose, che si depositano nelle fasi di intervallo della gelificazione; la presenza di pollini dimostra un apporto dall'esterno. L'accumulo di neve non avverrebbe più per sopravvenuti cambiamenti morfologici della grotta, legati a crolli od altro (Siffre, 1975) (Boscart, 2008).

In realtà la grotta non è un tubo a vento: il flusso d'aria ha lo stesso verso nei tre rami. Il ghiacciaio non ha la struttura di un nevato e non si capisce come la neve invernale possa arrivare fin lì, né si può pensare che in primavera la neve ormai trasformata al suolo venga aspirata in profondità assieme ai pollini: in realtà il ghiaccio non si forma in inverno ma, come vedremo oltre, in primavera.

La sublimazione inversa

Sino alla base del P30 si accumula un nevaio, che ad inizio stagione chiude

la grotta: qui l'aria caldo-umida aspirata inizia a raffreddarsi; seguono zone strette, in cui il flusso d'aria accelera, per poi rallentare, raffreddandosi ulteriormente nell'espansione in un grande salone, dove l'aria, ormai satura, cede umidità sotto forma di brina. Il radiatore che consente lo scambio di calore è il grande Complesso Conca delle Carsene – Pian Ambrogi, coi suoi oltre 14 km quadri di superficie, dai 2513 m del Castello delle Aquile ai 1450 della risorgenza del Pis del Pesio, di cui sono noti oltre 55 km di pozzi e gallerie, principalmente distribuite su 3 livelli (1800, 1600 e 1450 metri), con molte "canne fumarie", che scendono con grandi verticali in poche decine di metri quadri. Gli abissi in quota, tra cui Scarason, sono le bocche calde del sistema: in primavera ed estate l'aria esterna, più calda, viene aspirata, si raffredda cedendo umidità (rugiada o brina) ed esce dal basso.

Il vento

Una massa d'aria è in grado di trattenere tanto più vapor d'acqua quanto più è calda. A seguito del suo raffreddamento, il vapore in eccesso condensa in rugiada o sublima, gelificando in brina. Il passaggio dell'aria satura, da 20°C a 0°C può liberare 12.45 g al m^3 di acqua o ghiaccio; una debole corrente d'aria, anche solo di 1m/s, su una sezione libera di 1 m^2 corrisponde ad un flusso di 3600 m^3 all'ora, in grado di cedere, nel caso sopraesposto, 45 kg di acqua all'ora; così, in 24 ore, possono gelificare 1075 kg: uno strato di ghiaccio di un millimetro su una superficie di oltre 1000 m^2. L'aria in entrata nella grotta con umidità relativa inferiore alla saturazione, inizialmente raffreddandosi non deposita acqua, ma aumenta l'umidità relativa sino al 100%: da qui in poi l'ulteriore calo di temperatura produce rugiada, o brina. Aria a 25°C, satura al 50%, deve arrivare a 15°C, prima di iniziare a deporre acqua. Un m^3 di aria a contatto con una superficie a 0°C impiega un paio di minuti per passare da 20°C a 8°C: questo può contribuire a spiegare perché il ghiaccio inizi a depositarsi nel salone e non prima; la gelificazione può anche non essere istantanea in flusso di vento. Aria satura al 60% a 20°C, che contiene circa 12 g di vapor acqueo al m^3, libera 7 g di acqua a m^3 passando a 0°C, quindi 25 kg d'acqua all'ora: 600 kg/die.

La neve e l'apporto esterno

I nevai che si depositano sino a 60 metri di profondità nell'Abisso, ed il ghiaccio stesso, costituiscono la riserva di frigorie che, raffreddando le correnti d'aria, le sovrassatura, portando alla deposizione di brina o rugiada. La neve la si trova fino alla base del P30, non nel P40, dove c'è il ghiaccio da gelificazione (non si tratta di nevato da neve trasformata). Quando il nevaio è occludente, la maggior parte del flusso d'aria passa nel Réseau '74, aggiungendosi al flusso d'aria suo proprio: ecco spiegato perché sia questo il principale a-monte del ghiacciaio. L'8C, secondo ingresso esplorato nel 1974, si comportava esattamente come il ramo principale, cominciando a coprirsi di ghiaccio a metà dell'ultimo pozzo da 15 prima del salone ed anche da qui è impossibile che la neve arrivasse sino a -100. Era poi il ghiacciaio stesso a fornire le frigorie per congelamento dell'acqua in scorrimento nel salone, formando bellissime concrezioni.

Gli studi recenti

Dal settembre 2009 all'agosto 2010 (Morel et al., 2017) sono stati posizionati termometri all'esterno grotta, base 1° pozzo, base 2° pozzo da 30 m (nevaio -53 m), base 3° pozzo da 40 m e Campo Siffre (ghiacciaio -110 m). All'esterno si passa da +25 in estate a -17°C in inverno (Δ42°C); scen-

dendo in profondità l'escursione termica stagionale si riduce: a -11 m da +11°C a -6°C (Δ17°C), a -110 m da +1.6°C a -0.4°C (Δ2°C), sul ghiacciaio da +0.2°C a -1.2°C (Δ1.4°C). Si registrano temperature sotto lo zero da novembre a maggio in esterno, da dicembre ad aprile a -11 m, da febbraio a marzo a -110 m: i periodi con temperature negative sono nettamente inferiori a quelli con temperature positive, in accordo con il quadro di cambiamento climatico. L'umidità relativa, misurata nello stesso intervallo di tempo alla base del primo pozzo, -11 m ed a livello del Campo Siffre, -110 m, si mantiene superiore al 90% per la maggior parte del periodo. E' molto importante il rilievo, al Campo Siffre, di un'umidità del 100% per la maggior parte dell'anno, con temperature debolmente positive e conseguenti fenomeni di condensazione rilevabili sul soffitto, ma con riduzione sino all' 85%, nel periodo da gennaio a marzo. L'aria che entri dalla bocca fredda a -10°C può contenere al massimo 2.1 g al m^3 di vapor d'acqua; riscaldandosi in grotta può assumere umidità, ma non al punto da saturarsi e deporre ghiaccio pur in presenza di temperature negative, data la riduzione sino all'85% dell'umidità relativa misurata al Campo Siffre nel periodo da gennaio a marzo, in accordo con la tesi della formazione primaverile del ghiacciaio: la gelificazione avviene attorno a nuclei di condensazione tra cui i pollini ritrovati negli strati di ghiaccio (Calleris, 2003).

Dall'agosto 2011 al maggio 2012, con uno strumento ad ultrasuoni, si rileva una regressione annuale del ghiacciaio di 12 cm, con una fusione costante in inverno e primavera ed un'accelerazione estiva: rispetto al punto di riferimento segnato da Siffre nel 1962, lo spessore del ghiaccio è inferiore di 76 cm nel 2008, di 150 cm nel 2012 e di 210 cm nel 2015, per un'aspettativa di vita stimata di una dozzina di anni.

I cambiamenti climatici e la regressione del ghiacciaio

In passato la grande superficie di carso scoperto esposto a nord era il Regno del Permafrost ed i pozzi esterni conservavano la neve per tutto l'anno. L'attuale fase di riscaldamento ha reso più diffusa l'aspirazione dell'aria che una volta era concentrata nelle poche grotte libere da neve e ghiaccio: così in Scarason è diminuito l'apporto di masse di aria caldo umida e, ridotti i nevai, l'aria aspirata non si raffredda più, scende in profondità senza gelificare e addirittura contribuisce alla fusione. Oltre ai dati anche le immagini recenti del ghiacciaio sono state confrontate con altre precedenti per documentare la regressione dovuta al cambiamento climatico (Calleris, 2019).

Riferimenti bibliografici

Calleris V. (2019), "Il ghiacciaio sotterraneo di Scarason: la brina e la rugiada", *Speleologia,* 80: 51-55.

Morel L., Maire R., Valla F., Decker J., Siffre M., Boscart J., Caillault S., Lamboglia C., Lamboglia J., Petit J. R., Ogand M. (2017), "Fonte du glacier souterrain de Scarasson (Marguareis, Italie). Suivi instrumenté de la température, de l'humidité et du recul", *Collection EDYTEM*, 19: 101-108.

Boscart J. (2008), "Italie: Gouffre Scarasson", *Spéléo Magazine*, 64: 18-23.

Calleris V. (2003), "Scarason: i misteri di un ghiacciaio sotterraneo", *Alpidoc*, *CAI "Alpi del Sole"*, 47: 44-54, ripreso in *Grotte*, GSP CAI Uget Torino, 153: 30-35.

Siffre M. (1975), *"Dans les Abimes de la terre"*, 1a Ed. Flammarion, Paris; 1a Ed. italiana: *"Negli abissi della terra"* Rusconi, Milano, 1977: 43-94.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Prima ricostruzione climatica dell'era glaciale da speleotemi italiani e implicazioni sulla scomparsa dei Neanderthal

Andrea Columbu ([a]), Veronica Chiarini ([b]), HsunMing Hu ([c]), Jo De Waele ([b]), Christoph Spötl ([d]), Stefano Benazzi ([b]), John Hellstrom ([e]), Chuan-Chou Shen ([c]), Hai Cheng ([f])

([b]) Università di Parma, *andrea.columbu@unipr.it*
([b]) Università di Bologna
([c]) National University of Taiwan
([d]) University of Innsbruck, Austria
([e]) University of Melbourne, Australia
([f]) Xi'an Jiaotong University, China

Parole chiave: speleotemi; paleoclima; glaciale; area Mediterranea
Keywords: speleothems, palaeoclimate, ice age, Mediterranean

Il Lavoro

Tre missioni esplorative effettuate in Puglia nel 2014, 2019 e 2021 nell'area delle Murge meridionali, hanno permesso il campionamento di un notevole numero di stalagmiti. Gli speleotemi provenienti dalle grotte di Pozzo Cucù (40,9N; 17,2E), Trullo (40,8N; 17,1E), Sant'Angelo (40,7N; 17,5E) e Zaccaria (40,7N; 17,5E) sono stati datati con il metodo dell'Uranio-Torio (U-Th) alle università di Melbourne (Australia), Xi'an (Cina) e Taipei (Taiwan). Dai dati si evince che la deposizione di $CaCO_3$ nelle grotte pugliesi, diversamente da quanto noto per il resto della Penisola, era abbondante durante l'ultimo periodo glaciale come pure nei periodi glaciali precedenti. Inoltre, i campioni denominati PC (dalla Grotta di Pozzo Cucù) e SA1 (dalla Grotta di Sant'Angelo) sono stati datati con maggiore dettaglio e analizzati per gli isotopi stabili di ossigeno ($\delta^{18}O$) e carbonio ($\delta^{13}C$) presso l'università di Innsbruck. I risultati indicano che PC crebbe da 105,6±3 a 26,6±1 ka, mentre SA1 da 54,5±2 a 9,6±0,5 ka (ka = migliaia di anni fa). Nell'area Mediterranea, $\delta^{18}O$ e $\delta^{13}C$ degli speleotemi riflettono rispettivamente la quantità di pioggia e la bioproduttività dei suoli. Tenendo in considerazione che l'ultima aumenta e diminuisce all'aumentare e diminuire della prima, ma anche che, in linea generale, un aumento di piovosità è accompagnato da un aumento di temperatura e viceversa, una variazione combinata di $\delta^{18}O$ e $\delta^{13}C$ è in grado di stabilire l'alternanza di climi relativamente più umidi-caldi e secchi-freddi. Le curve $\delta^{18}O$-$\delta^{13}C$ così ottenute sono state comparate alle variazioni climatiche a scala emisferica desunte dalle carote di ghiaccio groenlandesi, in modo tale da valutare le dinamiche paleoclimatiche glaciali nel Mediterraneo.

Ricostruzione paleoclimatica-ambientale dagli speleotemi pugliesi. L'abbondanza e la continuità della deposizione carbonatica nelle grotte pugliesi durante l'ultimo glaciale, in confronto al resto d'Italia, hanno di per sé un significato paleoambientale importante. Infatti la formazione continua nel tempo di una stalagmite ha necessariamente bisogno di uno stillicidio continuo, costituito da un fluido sovrasaturo in $CaCO_3$. Queste condizioni si verificano se la pioggia rifornisce continuativamente il *reservoir* carsico, e l'attività organica del suolo è tale da fornire elevate quantità di CO_2 da permettere una efficace dissoluzione del *bedrock* carbonatico da parte dell'acqua di infiltrazione. Quest'ultima condizione è associata alla presenza di vegetazione, in quanto è la respirazione apportata dall'apparato radicale, assieme alla decomposizione della sostanza organica, a produrre CO_2. Difatti, gli speleotemi non si formano se al di sopra della grotta la vegetazione è assente e le piogge sono scarse. Così è plausibile che in gran parte della penisola italiana la superfice fosse brulla durante il periodo glaciale, o che la vegetazione fosse assente almeno durante le oscillazioni più fredde, portando ad un'erosione parziale/totale dei suoli. Per esempio, i versanti vallivi nell'Appennino settentrionale risultano spogli durante i *Greenland Stadials* (GS, oscillazioni climatiche più fredde dell'ultimo periodo glaciale) e vegetati durante i *Greenland Interstadials* (GI, oscillazioni climatiche più calde dell'ultimo periodo glaciale). Oltre all'assenza di vegetazione, i motivi per i quali la produzione di speleotemi in altre parti d'Italia durante l'ultimo glaciale è stata scarsa e discontinua possono essere: temperature vicine allo zero per gran parte dell'anno, la presenza di ghiacciai durante le stagioni più fredde e l'alluvione dei tunnel carsici data dallo scioglimento degli stessi nelle stagioni più calde, come riscontrato nelle Alpi Apuane e Alpi meridionali. I risultati di questo studio indicano una situazione diametralmente opposta in Puglia, con piovosità relativamente abbondante durante tutto l'ultimo glaciale e suoli vegetati o, per lo meno, mai spogli perfino al picco glaciale. Questa condizione di "nicchia climatica" creò un habitat ideale per varie specie di mammiferi tra cui l'Homo di Neanderthal prima e l'Homo Sapiens poi (Columbu et al., 2020). Quest'ultimo infatti arrivò in Puglia più o meno 45 ka e i suoi resti, ritrovati nella Grotta del Cavallo (LE), sono i più antichi di tutta l'Europa occidentale. Nonostante la relativa abbondanza di piogge e vegetazione tali da permettere la deposizione speleotemica durante l'ultimo glaciale, dalle curve $\delta^{18}O$ e $\delta^{13}C$ in PC e SA1 è evidente che le precipitazioni piovose e bioproduttività dei suoli non rimase costante per tutto il tempo.

Nei limiti dell'incertezza cronologica, in Puglia si intervallarono periodi relativamente più caldo-umidi e freddo-secchi con lo stesso ritmo dei cicli *Dansgaard-Oescher* (DO, alternanza ciclica di GS e GI) in Groenlandia. Questo è ben evidente da ~106 a ~55 ka ovvero per i cicli DO da 24 a 15, in quanto $\delta^{18}O$ e $\delta^{13}C$ variano all'unisono. L'implicazione maggiore è che i cambiamenti climatici alle latitudini artiche ebbero un effetto diretto sulla circolazione atmosferica Atlantico-Mediterranea, generando quindi variazioni piovose (e di temperatura) circa sincrone in Puglia con periodi caldo-umidi durante i GI e freddo-secchi durante i GS. Di più difficile interpretazione il periodo che va da ~55 a 27 ka, dove le curve di PC e SA1 si sovrappongono. Se $\delta^{18}O$ in PC e SA1 trova una corrispondenza sia nel *trend* che nei valori assoluti, $\delta^{13}C$ in PC ha un andamento privo di importanti

variazioni mentre $\delta^{13}C$ in SA1 diverge da quest'ultimo come pure da $\delta^{18}O$ in PC e SA1. Come prima approssimazione, e in attesa di future analisi, $\delta^{18}O$ in PC e SA1 è qui interpretabile come variazione della provenienza delle masse umide, con valori più negativi relativi a una provenienza Atlantica (durante i GI) e meno negativi legati a una provenienza Mediterranea (durante i GS). Infatti, se $\delta^{18}O$ fosse qui causato esclusivamente dalla variazione della quantità di pioggia, si dovrebbe constatare un effetto diretto anche nella bioproduttività dei suoli (tramite $\delta^{13}C$). Quest'ultima appare costante in PC, mentre in SA1 si denota un trend crescente fino almeno ~30 ka, sintomo di una espansione relativa della vegetazione. Questa ambiguità verrà risolta tenendo a mente la diversa morfologia delle superfici pedogenetiche (pianeggiante per la grotta di Pozzo Cucù, scoscesa per la grotta di Sant'Angelo), come pure esposizione ai venti e vicinanza/lontananza dal mare, tutti fattori che di norma influiscono sulla genesi ed evoluzione di un dato suolo e la sua produttività vegetativa.

Infine, è interessante notare il comportamento di $\delta^{18}O$ in SA1 durante la terminazione I (T-I), ovvero la fine del periodo glaciale e inizio dell'Olocene. La fine della glaciazione è caratterizzata da un rapido aumento delle temperature atmosferiche e oceaniche e relativo scioglimento rapido delle calotte polari e ghiacciai continentali. La transizione verso il clima mite dell'Olocene inferiore (paragonabile al clima attuale) non avvenne in maniera lineare ma attraverso i seguenti *step*: i) ultimo picco glaciale relativo al GS1; ii) un primo rapido incremento delle temperature a ~14,5 ka al quale segue un periodo relativamente caldo-umido simil-interstadiale noto come fase *Bølling-Allerød*, che dura fino a ~12,7 ka; iii) le temperature durante il *Bølling-Allerød* calano gradualmente fino al ritorno alle condizioni fredde-secche simil-stadiali del periodo noto come *Younger Dryas*, che va da ~12,7 a ~11,7 ka; iv) un successivo rapido aumento delle temperature che segna la fine del *Younger Dryas* e quindi dell'ultimo glaciale e l'inizio dell'interglaciale Olocenico. Tutte le fasi della T-I sono ben rappresentate nel $\delta^{18}O$ di SA1 che mostra, nei limiti dell'incertezza cronologica, le stesse dinamiche delle variazioni climatiche avvenute in Groenlandia. È quindi plausibile che la circolazione atmosferica Atlantico-Mediterranea, come nel caso visto in precedenza, sia stata guidata dai cambiamenti climatici alle latitudini artiche, producendo in Puglia un'intensificazione della piovosità durante il *Bølling-Allerød* e l'inizio dell'Olocene, come pure dei periodi relativamente aridi durante GS2 e *Younger Dryas*. Un'unica ma importante differenza tra la curva climatica della Groenlandia e $\delta^{18}O$ in SA1 è il passaggio tra GS2 e *Bølling-Allerød*, che nella prima avviene in maniera lineare, mentre nella seconda presenta una pulsazione iniziale a ~16 ka, seguita da una breve stasi e una seconda e decisiva pulsazione climatica attorno a ~14 ka. Questo andamento tipo a "gradino" potrebbe significare una interruzione e/o variazione, a scala inter- o intramillenaria, della connessione climatica interemisferica fra il polo nord e l'area Mediterranea. Nonostante questo necessiti delle ulteriori verifiche ed analisi, una implicazione potrebbe essere che l'area Mediterranea, a seconda del regime climatico instauratosi, risponda ad altre dinamiche di circolazione atmosferica oltre che quelle innescate dalla variazione climatica al polo nord.

Implicazioni sull'estinzione dell'*Homo Neanderthalensis*.

Le grotte pugliesi hanno dato alla luce numerosissimi resti di Neanderthal e

Sapiens (uomo anatomicamente moderno, UM). I primi erano già ben stanziati nell'area da almeno ~120 ka, come testimoniato dal celebre uomo di Altamura, mentre altri autori attestano l'arrivo dei secondi in Puglia intorno ai 45 ka, età desunta dai resti ritrovati nella Grotta del Cavallo (LE). Le due specie di Homo condivisero presumibilmente tutto il territorio pugliese per almeno 3000 anni fino a che, intorno ai 42 ka, cause ancora da accertare indussero la scomparsa definitiva del Neanderthal. La transizione Neanderthal-UM, oltre a essere il passaggio bioculturale più importante nella nostra storia, è anche argomento di acceso dibattito scientifico-antropologico da più di un secolo. Molti autori hanno affermato che fu il clima, e in particolare oscillazioni molto rapide verso periodi molto freddi e secchi, a indebolire i Neanderthal sotto tanti punti di vista (sostentamento, società, migrazioni, etc.) fino al punto di causarne l'estinzione in altri settori europei. I dati di questo studio, però, non sostengono questa ipotesi. Come detto sopra, la crescita continua degli speleotemi pugliesi nel periodo glaciale deve essere correlata, gioco forza, a precipitazioni piovose continuative nel tempo e alla presenza di vegetazione. Allo stesso tempo le variazioni isotopiche attorno ai 40 ka non evidenziano importanti oscillazioni verso climi molto freddi e soprattutto aridi. La Puglia è quindi da considerarsi, in quel periodo, come una sorta di nicchia climatica. Nonostante le condizioni "vivibili", l'uomo di Neanderthal scomparve ugualmente dopo soli 3000 anni di convivenza con l'UM. Di conseguenza, questo studio offre lo spunto per sottolineare ancora di più che le cause della scomparsa dei Neanderthal debbano essere approcciate da una prospettiva diversa rispetto al clima. Studi recenti hanno proposto che fu l'avanzamento tecnologico dell'Uomo Moderno rispetto ai Neanderthal, soprattutto nella caccia, a favorire una supremazia territoriale dei primi tale da indurre la scomparsa dei secondi. Questo approccio potrebbe e dovrebbe essere applicato in tutti i territori dell'Europa meridionale nei quali, durante il glaciale, il clima era verosimilmente affine a quello pugliese.

Riferimenti bibliografici

Columbu A., Chiarini V., Spötl C., Benazzi S., Hellstrom J., Cheng H., De Waele J. (2020), "Speleothem record attests to stable environmental conditions during Neanderthal–modern human turnover in southern Italy", *Nature ecology & evolution*, 4(9): 1188-1195.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il Progetto "Evolgyps": valorizzazione scientifica delle grotte nei Parchi gessosi dell'Emilia-Romagna

Jo De Waele ([a,d]), Veronica Chiarini ([a,b,d]), Andrea Columbu ([c]), Luca Pisani ([a,d])

([a]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, *jo.dewaele@unibo.it, veronica.chiarini3@gmail.com, lucapiso94@gmail.com*
([b]) Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità - Romagna, Riolo Terme (RA), Italia
([c]) Dipartimento Chimica, Scienze della Vita e Sostenibilità Ambientale, Sezione delle Scienze della Terra, Università di Parma, *andrea.columbu@unipr.it*
([d]) Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna, Farneto (BO), Italia

Parole chiave: carsismo nei gessi, speleogenesi, evoluzione geomorfologica, sistemi carsici
Keywords: Gypsum karst, speleogenesis, morphological evolution, karst systems

Riassunto
In Emilia-Romagna il processo carsico si sviluppa prevalentemente nelle rocce evaporitiche (gessi). Come scoperto da ricerche recenti, il ciclo speleogenetico attuale dei gessi messiniani è iniziato circa 600 mila anni fa, influenzato non solo dal contesto strutturale locale, ma anche dalle oscillazioni climatiche tardo quaternarie che hanno modellato il paesaggio esterno. Il Progetto "Evolgyps" si propone di ampliare il set di dati ed i siti indagati. Verranno utilizzati modelli digitali del terreno (DTM), modelli digitali di elevazione (DEM) ad alta risoluzione e i dati topografici delle grotte (poligonali delle cavità), abbinandoli ad un rilevamento dei terrazzi fluviali e alle morfologie delle valli che tagliano gli affioramenti di gesso, con lo scopo di studiare la relazione tra le morfologie esterne (di erosione e di deposizione fluviali), le strutture geologiche (faglie, stratificazioni ecc.) e lo sviluppo dei sistemi carsici. Questo studio consentirà di capire come si sono formati ed evoluti i sistemi carsici nelle evaporiti in risposta ai cambiamenti climatici, ambientali e tettonici.

Introduzione

La maggioranza delle grotte in Emilia-Romagna si sviluppa in rocce evaporitiche, sia di età Messiniana che Triassica. Nella zona di Bologna sono stati rilevati circa 33 km di gallerie sotterranee; nella Vena del Gesso si raggiungono i 48 km, mentre nel Triassico reggiano si arriva abbondantemente a 10 km. In totale, oltre 90 km di passaggi sotterranei nelle evaporiti sono stati topografati in tutta la regione.

Molto spesso le grotte sono frammenti, spesso ancora attivi, di fenomeni speleogenetici recenti. L'evoluzione delle grotte nelle evaporiti, nel clima dell'Appennino settentrionale è, infatti, estremamente veloce e le grotte si possono formare o essere smantellate nell'arco di pochi secoli.

In alcuni casi, tuttavia, le grotte possono evolversi con vari cicli di dissoluzione-stagnazione, in cui dopo una prima fase di allargamento dei condotti, seguono periodi di riempimento (clastico e/o chimico) e successive fasi di abbandono delle gallerie e contemporanea creazione di un nuovo livello sottostante. Si parla pertanto di sistemi carsici "multi-livello", che possono fornire informazioni sull'evoluzione carsica e del paesaggio in cui sono inseriti.

Lo scopo di questo breve lavoro è di presentare il progetto di ricerca multidisciplinare "Evolgyps" che vede coinvolti la Regione Emilia-Romagna, la Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna e l'Università di Bologna in collaborazione con l'Università di Taiwan, con l'obiettivo di approfondire la conoscenza sugli eventi geologici e geomorfologici succedutisi in queste aree nell'ultimo milione di anni.

Metodi

Il Progetto "Evolgyps" si è concentrato sui gessi Messiniani, dove le testimonianze dei cicli carsici più antichi sembrano meglio conservati: i gessi Bolognesi e la Vena del Gesso Romagnola (Lucci, Rossi, 2011) (Fig. 1). Per queste due aree sono stati analizzati i modelli digitali di elevazione ad alta risoluzione (2 m di risoluzione) e i modelli digitali del terreno (5 m di risoluzione) forniti dalla Regione Emilia-Romagna che, con il supporto della cartografia geologica disponibile, dei dati di letteratura e di numerose campagne di rilevamento di terreno, han-

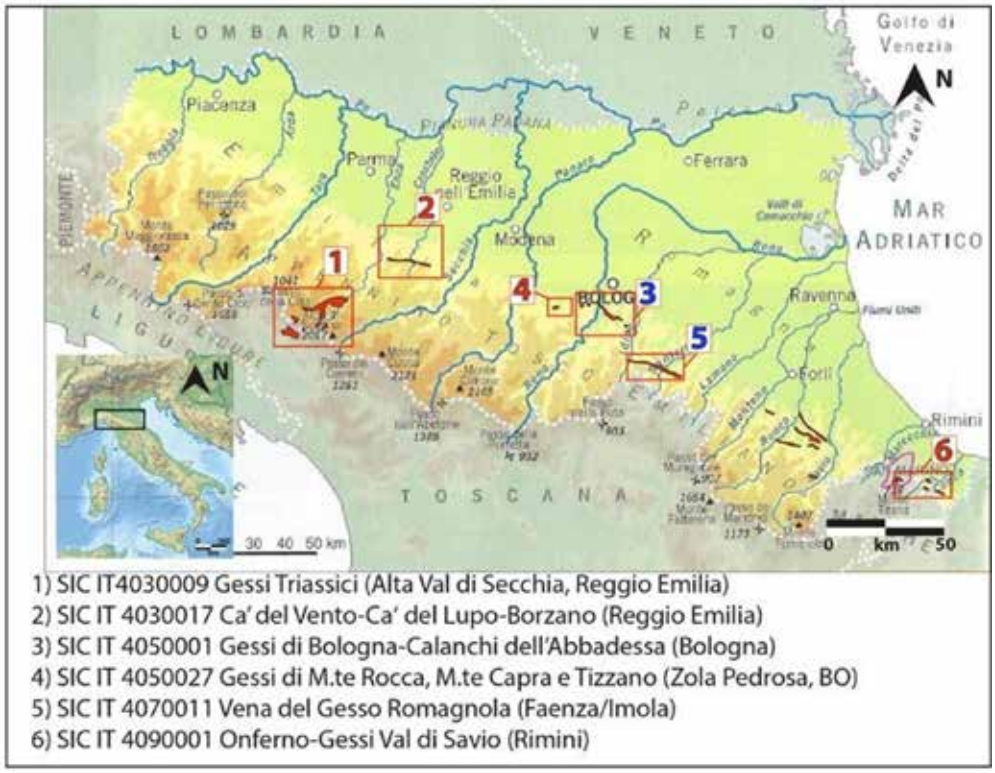


Figura 1 – Le aree carsiche evaporitiche in Emilia-Romagna. Le zone 3 e 5 (in blu) sono quelle interessate dal progetto Evolgyps.

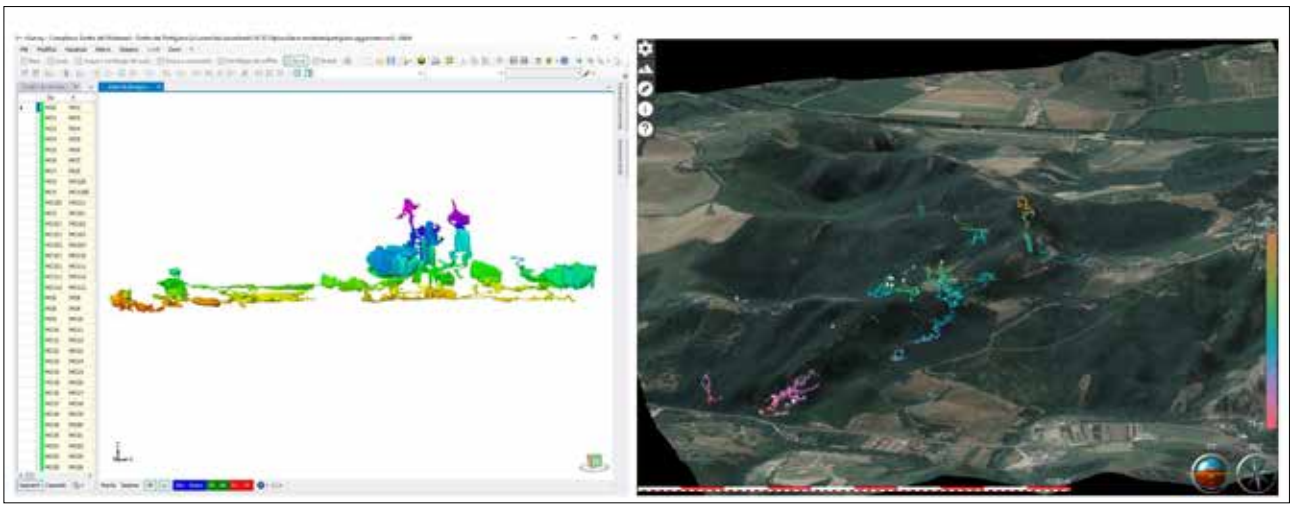


Figura 2 – Sinistra: esempio di interfaccia grafica del software cSurvey, in visualizzazione 3D. Da notare la configurazione "multi-livello" delle gallerie inferiori nel Complesso Grotta del Partigiano-Grotta dei Modenesi (circa 4 km di sviluppo), a destra, affini al grande sistema carsico Ronzana-Farneto (BO), a sinistra. La scala di colori rappresenta la profondità rispetto all'ingresso principale. Destra: esempio di interfaccia del visualizzatore Caveview, con i modelli 3D delle principali grotte dell'area del Farneto (BO) inserite in un DEM a 5 m di risoluzione con drappeggiate le ortofoto, disponibile sul geoportale della Regione Emilia-Romagna.

no consentito di ri-mappare i terrazzi fluviali delle vallate intrappenniniche in prossimità degli affioramenti gessosi al fine di correlarli con i livelli di sviluppo sub-orizzontale dei sistemi carsici epigenici degli affioramenti vena di gesso messiniano. Contestualmente, gli ingressi dei principali sistemi carsici di queste aree sono stati riposizionati ed è stata rilevata la quota, mentre le poligonali delle cavità sono state digitalizzate utilizzando il software *cSurvey* o rilevate ex-novo. I DEM sono stati utilizzati come "contenitori" per i modelli tridimensionali delle cavità, estratti e visualizzati attraverso i software *cSurvey* e *Caveview*.

Terminata questa prima fase di acquisizione ed estrazione dei dati numerici, questisono stati gestiti con software GIS e l'applicativo *Caveview* per visualizzare la geometria dei sistemi carsici in 3D (Fig.2). La possibilità di misurare e quotare i vari punti delle grotte e di riconoscerne la geometria in relazione all'ambiente esterno e agli elementi geologici (assetto della stratificazione, pieghe e faglie, quote dei terrazzi fluviali e superfici di erosione) fornirà informazioni essenziali per ricostruire l'evoluzione speleogenetica delle grotte nei gessi dei Parchi della Vena del Gesso Romagnola e dei Gessi Bolognesi e Calanchi dell'Abbadessa.

Una parte fondamentale del progetto è infine rappresentata dalla datazione di campioni di speleotemi con il metodo U/Th. Il campionamento ha interessato non solo grotte (20 in totale), ma anche le aree esterne con la ricerca di speleotemi provenienti da cavità ormai smantellate dall'erosione. Al momento, 80 speleotemi sono in fase di datazione presso la *National Taiwan University* (Taipei, Taiwan). Queste possono essere utilizzate anche per ricostruzioni paleoclimatiche, da precedenti studi è noto infatti, che nelle grotte dei gessi emiliano-romagnole gli speleotemi si formano durante i periodi climatici relativamente caldi e umidi (Columbu et al., 2017). Di contro, l'allargamento e lo sviluppo delle gallerie sub-orizzontali è solitamente correlato a periodi più freddi e relativamente secchi (Columbu et al., 2015).

Risultati attesi

Con il Progetto "Evolgyps" l'intenzione è quella di ampliare il set di datazio-

ni radiometriche sugli speleotemi delle due aree di studio, soprattutto nell'area bolognese. La datazione di concrezioni carbonatiche nei vari livelli delle grotte potrà consentire di collocare nel tempo le varie fasi di speleogenesi, con creazione di livelli e successivo approfondimento, e mettere queste in relazione ai terrazzi fluviali nelle vallate circostanti. Il lavoro cartografico e la visualizzazione 3D delle grotte, associato all'elaborazione dei dati in ambiente GIS, porterà a comprendere meglio come si siano evoluti i sistemi carsici in risposta ai cambiamenti climatici quaternari e all'evoluzione tettonica. Sarà quindi possibile confrontare i vari sistemi carsici epigenici lungo tutto il margine appenninico settentrionale e valutare i movimenti differenziali dei vari segmenti della catena.

Conclusioni

Il Progetto "Evolgyps" si fonda su una solida base grazie ai lavori effettuati dalla Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna (FSRER) negli ultimi anni da una parte e l'Università di Bologna (e svariate istituzioni partner) dall'altra. Si tratta di uno studio che ha l'ambizione di costruire un modello evolutivo dei principali sistemi carsici nei gessi del fronte Appenninico, nell'ambito della generale evoluzione del paesaggio, della dinamica della catena appenninica e dei fiumi che la tagliano trasversalmente. È un progetto che vede coinvolti tutti i gruppi speleologici del territorio appartenenti alla FSRER, e che si baserà sulla profonda conoscenza delle grotte e del territorio da parte di numerosi speleologi. Sono loro i veri protagonisti di questo lavoro, che hanno aiutato ad individuare vecchi frammenti di colate e concrezioni calcitiche anche in mezzo a campi coltivati, boschi, o nelle antiche alluvioni sia in grotta che all'esterno. Sono loro che hanno documentato e rilevato i sistemi carsici, le cui preziose poligonali sono custodite nella banca dati, e verranno portate in vita nell'ambiente GIS, collegando le quote dei livelli carsici a quelli dei terrazzi fluviali. Questo lavoro, ancora una volta, mostrerà quanto possano essere fondamentali i dati sotterranei, e quindi il lavoro degli speleologi, per spiegare compiutamente l'evoluzione del paesaggio.

Riferimenti bibliografici

Columbu A., De Waele J., Forti P., Montagna P., Picotti V., Pons-Branchu E., Hellstrom J., Bajo P., Drysdale R., (2015), "Gypsum caves as indicators of climate-driven river incision and aggradation in a rapidly uplifting region". *Geology*, 43(6): 539-542.

Columbu A., Chiarini V., De Waele J., Drysdale R., Woodhead J., Hellstrom J., Forti P., (2017), "Late quaternary speleogenesis and landscape evolution in the northern Apennine evaporite areas". *Earth Surface Processes and Landforms*, 42: 1447-1459.

Lucci P. & Rossi A. (2011), *Speleologia e geositi carsici in Emilia-Romagna,* Pendragon, Bologna.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotte glaciali e mutamenti recenti dei ghiacciai

Andrea Ferrario([a]), Paola Tognini([b]), Mauro Inglese([b]), Paolo Testa([c])

([a]) Gruppo Grotte Saronno CAI-SSI, *fanatura14@gmail.com*
([b]) Gruppo Grotte Milano CAI-SEM, *paolatognini@iol.it*
([c]) Gruppo Speleologico CAI Varallo, *speleopaolo@hotmail.com*

Parole chiave: grotte glaciali, glaciospeleologia, cambiamento climatico
Keywords: glacial caves, glaciospeleology, climate change

Riassunto
Negli ultimi decenni i ghiacciai alpini stanno reagendo ai cambiamenti climatici con forti perdite di massa, che si traducono in riduzioni di spessore e arretramenti delle fronti: a questo si accompagnano modificazioni morfologiche rilevanti. Le cavità glaciali dipendono strettamente dalla distribuzione degli sforzi all'interno del ghiacciaio e dai flussi di acqua e di aria che vi entrano e ogni modifica di questi due fattori determina modifiche delle cavità.
Il monitoraggio di grotte glaciali (come, tra gli altri, quello portato avanti dal 2008 dal Progetto Speleologia Glaciale in alcuni ghiacciai dell'arco alpino) evidenzia che la presenza di cavità condiziona l'evoluzione dei ghiacciai stessi attraverso fenomeni di collasso delle grotte e processi di sublimazione e fusione per flussi d'aria all'interno delle cavità. I ghiacciai alpini permettono di studiare l'evoluzione di queste grotte nel tempo e di metterla in relazione con l'evoluzione dei ghiacciai stessi: alcuni esempi di quanto osservato nel corso degli ultimi decenni sul Ghiacciaio dei Forni (SO) e del Morteratsch (CH) mostrano l'importanza delle osservazioni che gli speleologi possono fare.

Introduzione

Negli ultimi 30 anni la gran parte dei ghiacciai alpini sta reagendo agli innalzamenti delle temperature medie estive e alla scarsità di precipitazioni nevose con forti perdite di massa, che si traducono in riduzioni di spessore e arretramenti delle fronti, accompagnati da modificazioni morfologiche, dello stato di sforzo e della fratturazione (Bonardi, 2012). Osservazioni ricorrenti delle grotte glaciali nelle Alpi evidenziano l'accentuarsi dei cambiamenti delle dinamiche dei ghiacciai. La formazione di grotte è infatti strettamente dipendente dalla distribuzione degli sforzi all'interno della massa di ghiaccio e dai flussi d'acqua e di aria che le percorrono: ogni cambiamento di questi fattori causa un cambiamento della morfologia delle grotte (Badino, Piccini, 1995, 2003; Badino, 1999, 2002; Tognini, 2001, 2018).
Allo stesso modo, la presenza di grotte glaciali ha un'influenza determinante sull'evoluzione dei ghiacciai: grandi vuoti, in particolare dove il ghiaccio è sottile e crepacciato, causano instabi-

lità e grotte di contatto posso portare a imponenti crolli improvvisi, con una perdita rilevante della massa glaciale. Le grotte glaciali possono inoltre portare a una significativa perdita di massa tramite fenomeni di sublimazione e fusione influenzati dalle correnti d'aria all'interno delle cavità, in particolare in quelle di contatto (Ferrario et al., 2012; Tognini, 2008, 2018). Quantificare le perdite di ghiaccio dovute a questi fenomeni è tuttavia molto complesso: secondo diversi Autori l'evaporazione avviene nei mesi invernali, mentre la perdita per fusione avviene nei mesi estivi, con una diminuzione di diversi decimetri all'anno (Mavlyudov, 1991).
Esempi di osservazioni in due ghiacciai alpini, il Ghiacciaio del Morteratsch e il Ghiacciaio dei Forni. mostrano l'importanza delle ricerche speleologiche, che utilizzano metodi semplici come posizionamento degli ingressi e rilievi topografici ripetuti negli anni e un'accurata documentazione fotografica.

Ghiacciaio del Morteratsch

Alimentato dalle vette del Massiccio del Bernina, il Ghiacciaio del Morteratsch è situato nelle Alpi svizzere meridionali (Grigioni): con una superficie di circa 15 km^2 e una lunghezza di 7,43 km (2009) è il principale ghiacciaio delle Alpi Centrali, nonostante una variazione negativa della lunghezza di 2.889 m dal 1878 al 2020 (www.glamos.ch; 2022). E' un tipico ghiacciaio vallivo costituito dalla confluenza di due lingue distinte: la Vadrett da Morteratsch e la Vadret da Pers. Nel 2015 la continuità fisica è stata interrotta per l'arretramento della lingua del Pers, in parte causata anche dal crollo di grotte sub glaciali.
Fino al 2014-2015 entrambe le lingue presentavano sistemi di grotte endoglaciali ben sviluppati: ora (2021) i mulini glaciali sono presenti solo nella parte superiore della zona di ablazione, mentre una rapida scomparsa delle cavità è stata osservata nella porzione inferiore.
Le grotte di contatto alla fronte hanno avuto un'evoluzione strettamente correlata all'evolversi della fronte stessa. Tra il 2008 e 2015 si sono formate continuamente grotte di contatto molto ampie, con il torrente subglaciale sempre attivo all'interno di ampie gallerie a tunnel. A causa delle dimensioni insolitamente ampie, correlate al ridotto spessore del ghiaccio, queste grotte sono state soggette a fenomeni di crollo nei mesi estivi, con il rapido distacco di importanti volumi di ghiaccio.
Le zone in cui sono presenti grotte endoglaciali sul Ghiacciaio del Morteratsch sono state suddivise in tre settori distinti. La parte superiore (2.470-2.490 m s.l.m.) è ad oggi la meno colpita dalla riduzione in spessore del ghiacciaio, e consente l'esplorazione di cavità profonde fino a 70 m, ma con profondità molto variabili negli anni. Quest'area è caratterizzata anche da *bédière* ben incise che alimentano gli ingressi principali.
Un'area intermedia è stata identificata tra i 2.220 e 2.300 m, caratterizzata da lunghi canyon, con mulini di profondità massima intorno a 20 m e solitamente sempre attivi. I canyon a cielo aperto sono spesso l'evoluzione di gallerie che, con la riduzione dello spessore di ghiaccio, vengono decapitate portando in superficie morfologie meandreggianti, differenti dalle comuni *bédière* per forma e origine. Questo processo di "scoperchiamento" risulta molto rapido rispetto al passato a causa dell'accelerazione dell'ablazione estiva, conseguente anche alle ridotte precipitazioni nevose.
Un terzo settore si trovava tra le quote di 2.140-2.180 m: qui fino al 2013 lo spessore del ghiaccio era tale da consentire la formazione di pozzi profondi 10-15 m, alcuni dei quali raggiungeva-

no direttamente il substrato roccioso, ma attualmente questa zona è totalmente scoperta dal ghiaccio.

Ghiacciaio dei Forni

Il Ghiacciaio dei Forni (SO) è localizzato nel massiccio dell'Ortles-Cevedale. Con una superficie di 11,4 km^2 e una lunghezza di 3,2 km (Bonardi et al., 2012) è il secondo ghiacciaio italiano per estensione e lunghezza. Tuttavia il suo bacino composito a tre lingue ha subìto forti decadimenti, che hanno portato nel 2015 a una separazione definitiva della lingua orientale da quella centrale: quest'ultima ad oggi risulta la porzione che meglio resiste alla complessiva riduzione della massa glaciale (Azzoni et al., 2017).

Il Ghiacciaio dei Forni è sistematicamente monitorato dalla fine del XIX Secolo. Gli speleologi hanno iniziato a visitarlo dalla metà degli anni '90, esplorando e studiando le cavità glaciali per un periodo di quasi 30 anni. I primi studi hanno permesso di migliorare le conoscenze dei processi di formazione ed evoluzione delle grotte nel tempo, quando le teorie sui processi criocarsici erano ancora agli inizi. Nell'ultimo decennio sono state fatte osservazioni utili per analizzare il rapporto tra il carsismo glaciale e l'evoluzione morfologica del ghiacciaio e gli effetti della riduzione del volume di ghiaccio sulle morfologie delle grotte (Tognini, 2008; Ferrario et al., 2012; Tognini, 2018).

Le grotte sono principalmente mulini alimentati da *bédière* con lunghezze talvolta rilevanti, con pozzi profondi fino a 40 m. Fino agli inizi del 2000 erano identificabili 5 aree distinte, con grotte allineate, secondo il modello classico, in una sequenza di mulini fossili a valle e mulini più sviluppati e di neo formazione verso monte. La riduzione del volume di ghiaccio ha causato una modifica del modello di evoluzione delle grotte, evidenziando un maggior controllo della distribuzione delle fratture sulla presenza dei mulini o, in alcuni casi, la scomparsa totale delle grotte. Anche qui lo scoperchiamento delle cavità endoglaciali porta alla formazione di canyon che in pochi anni tendono a sparire.

Il processo di formazione di grotte subglaciali è incrementato, con continui crolli di porzioni rilevanti di ghiaccio. Nel 2018 un grande tunnel subglaciale sconosciuto ha causato un crollo di centinaia di metri di lunghezza, consentendo l'esplorazione di una grotta di contatto lunga circa 100 m, anch'essa completamente scomparsa l'anno seguente.

Cambiamenti climatici e attività esplorativa

Gli effetti dei cambiamenti climatici non si riflettono solo sullo stato dei ghiacciai, ma sono percepiti direttamente anche dagli speleologi che le esplorano. Nel corso dei primi anni 2000 è stata accertata la presenza di mulini a quote prossime ai 3.000 m, fenomeno che non era mai stato riscontrato prima nei ghiacciai alpini (Ferrario, 2018). Inoltre il continuo ritiro delle lingue glaciali costringe ad avvicinamenti sempre più lunghi. Il periodo ottimale per svolgere questa attività si è notevolmente ristretto: l'autunno è infatti sempre più caratterizzato da temperature elevate, con portate d'acqua di fusione rilevanti fino all'autunno inoltrato. Attualmente il periodo esplorativo è limitato tra fine ottobre e novembre, mentre fino a 10 anni fa si poteva fare attività già nel mese di settembre. Di contro, spesso è ora possibile esplorare cavità subglaciali nei mesi invernali, facilmente raggiungibili per la scarsità di precipitazioni nevose.

Conclusioni

Le attività svolte sui Ghiacciai dei Forni e del Morteratsch evidenziano l'impor-

tante ruolo che l'attività speleologica può avere per comprendere meglio le dinamiche di ritiro dei ghiacciai: senza la possibilità di osservare i ghiacciai dall'interno non è infatti possibile comprendere fino in fondo le cause che portano alle rilevanti perdite di massa attualmente registrate.

La glaciospeleologia è praticata da un ristretto numero di persone: il Progetto Speleologia Glaciale, nato nel 2008, consente una collaborazione attiva tra gli speleologi di tutta Italia, ad oggi circa 150, che svolgono questa attività che richiede esplorazioni e monitoraggi in periodi brevi su ampie aree. In una situazione di rapida evoluzione dei ghiacciai, è fondamentale poter raccogliere il maggior numero possibile di dati e informazioni su fenomeni che, in un futuro assai prossimo, sono destinati purtroppo a scomparire.

Riferimenti bibliografici

Azzoni R.S., Fugazza D., Zennaro M., Zucali M., D'Agata C., Maragno D., Cernuschi M., Smiraglia C., Diolaiuti G.A. (2017), "Recent Structural evolution of Forni Glacier tongue (Ortles-Cevedale Group, Central Italian Alps)" *Journal of Maps*, 13(2): 870-878

Badino G. (1999), "Il carsismo glaciale", *Le Scienze*, 372/1999: 44-51.

Badino G. (2002), "The glacial karst", *Proc. 5th Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions,* UIS, 15-16 April 2000, Courmayeur (Italy), *Nimbus*, *Rivista della Società Meteorologica Italiana*, 23-24: 82-93.

Badino G., Piccini L. (1995), "Aspetti morfologici ed evolutivi delle cavità endoglaciali di origine criocarsica", *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria,* 18: 225-228.

Badino G., Piccini L. (2003), "The role of glacier stress field on moulins geometry", *Proc. 6th Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions,* UIS, 3-8 September, 2003, Ny-Alesund (Svalbard), SEDEK, Madrid: 7-12

Bonardi L., Rovelli E., Scotti R., Toffaletti A., Urso M., Villa F. (2012), "*I ghiacciai della Lombardia: evoluzione e attualità*", Servizio Glaciologico Lombardo, Hoepli ed.

Ferrario A., Inglese M., Testa P., Tognini P. (2012), "Progetto Speleologia Glaciale: ricerche per conoscere, esplorare e documentare le cavità glaciali dell'arco alpino", *Speleologia,* 67: 26-34.

Ferrario A. (2018), "Le grotte nel Ghiacciaio dello Scalino", *Labirinti*, 37: 35-38.

Mavlyudov B. R. (1991), "The influence of air flows on glacier caves forming", *Proc. 1st Int. Symp. Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and in Polar Regions,* UIS, 1-5 October, 1990, Madrid, ITGE, 199-206.

Tognini P. (2001), "Cavità endoglaciali e processi criocarsici: il punto sulle conoscenze attuali", *Terra Glacialis*, 4: 61-82.

Tognini P. (2008), "L'evoluzione delle grotte glaciali del Ghiacciaio dei Forni", *Il Grottesco,* 55: 89-95.

Tognini P. (2018), "Evoluzione delle cavità glaciali e relazione con le morfologie di superficie", *Labirinti,* 37: 67-73.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Speleotemi del tardo Quaternario per la ricostruzione paleoclimatica nel Kurdistan iracheno

Luca Forti ([a,b*]), Eleonora Regattieri ([b]), Chuan-Chou Shen ([c]), Hu Hsun Ming ([c]), Ilaria Isola ([d]), Daniele Morandi Bonacossi ([e]) , Cecilia Conati Barbaro ([f]), Rafał Koliński ([g]), Andrea Zerboni ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università degli Studi di Milano, *luca.forti@unimi.it*
([b]) Istituto di Geoscienze e Georisorse, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa.
([c]) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan
([d]) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Pisa.
([e]) Dipartimento di Studi Umanistici e del Patrimonio Culturale, Università degli Studi di Udine.
([f]) Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Università di Roma La Sapienza, Roma.
([g]) Faculty of Archaeology, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland

Parole chiave: Speleotemi, ricostruzioni paleoclimatiche, Rivoluzione Neolitica, Iraq
Keywords: Speleothems, Palaeoclimate reconstruction, Neolithic Revolution, Iraq

Riassunto
La Regione Autonoma del Kurdistan Iracheno nel corso del tardo Quaternario è stato lo scenario di numerosi processi culturali che includono la dispersione del genere Homo in Eurasia, la nascita dell'agricoltura e della domesticazione di piante ed animali, l'inizio dell'urbanizzazione e la formazione delle prime entità statali. Alcuni autori hanno proposto che variazioni climatico-ambientali abbiano guidato o spinto il susseguirsi di tali innovazioni culturali. Al fine di comprendere meglio il contesto climatico ed ambientale teatro dei sopracitati processi culturali, questo contributo presenta i risultati preliminari dello studio geochimico di uno speleotema proveniente dalla grotta *Hsārok* (vicino al villaggio di Shaqlawa), ubicata lungo la zona pedemontana meridionale della catena degli *Zagros*. Il principale obiettivo dello studio è quello di ricostruire la relazione fra cambiamenti climatici globali e risposta idrologica ed ambientale locale, indagando inoltre la relazione tra questi e le comunità archeologiche. Le analisi geochimiche e geocronologiche hanno restituito iniziali informazioni sulla variabilità climatica fra Pleistocene superiore ed Olocene, suggerendo alcuni legami con le strategie di sussistenza e le dinamiche insediative delle comunità preistoriche.

Introduzione

A partire dal Pleistocene superiore, la Regione Autonoma del Kurdistan Iracheno è stata lo scenario di numerose dinamiche e innovazioni culturali delle comunità archeologiche. In particolare, le più antiche testimonianze dei popoli cacciatori-raccoglitori, risalenti al Paleolitico Medio e Superiore (ca. 44.000-13.000 anni fa), derivano da sequenze stratigrafiche localizzate in grotte o ripari sotto-roccia (Braidwood, Howe, 1960) Successivamente, al passaggio tra Pleistocene e Olocene, durante la fase climatica fredda riconosciuta a livello globale denominata *Younger Dryas*, una progressiva trasformazione sociale, economica e tecnologica portò le antiche popolazioni della cosiddetta Mezzaluna Fertile verso la "Rivoluzione Neolitica" (Childe, 1936; Watkins, 2010;). Nell'Olocene, poi, le fasi culturali del Neolitico Aceramico (*Pre-Pottery Neolithic* A-B PPNA-PPNB 11.600-9.000 anni fa), del Neolitico Ceramico (*Pottery Neolithic* PN 9.000-7.300 anni fa) e del Calcolitico (7.300-6.500 anni fa) racchiudono numerosi e successivi cambiamenti della dinamica insediativa e dello sfruttamento del territorio e delle risorse naturali (Matthews et al., 2019; Palmisano et al., 2019). Secondo alcuni autori, i processi culturali sopra descritti sono legati alle variazioni climatiche che si sono succedute dalla fine dell'Ultimo Massimo Glaciale (Roberts et al., 2018), sebbene un nesso causa-effetto sia difficile da dimostrare, anche per la carenza di serie climatiche continue disponibili per la regione. Tuttavia, gli speleotemi identificati nella Regione Autonoma del Kurdistan Iracheno sono stati riconosciuti come importanti archivi paleoclimatici e, per le fasi più recenti dell'Olocene, utilizzati per spiegare processi cultuali e dinamiche sociali (Al-Manmi et al., 2019; Flohr et al., 2017; Marsh et al., 2018). Infatti, lo studio delle variazioni ambientali e climatiche registrate dagli speleotemi nell'intervallo tra Ultimo Massimo Glaciale e Olocene può rappresentare la chiave di lettura per interpretare la cruciale transizione fra una economia di sussistenza (cacciatori-raccoglitori) ad una produttiva. La stalagmite KR19-3 registra le diverse fluttuazioni climatiche avvenute fra il picco dell'Ultimo Massimo Glaciale (ca 21.000 anni fa) e le prime fasi dell'Olocene, permettendo di contribuire alla discussione in atto sul contributo climatico alla Neolitizzazione.

L'area di studio

L'area di studio è localizzata all'interno del governatorato di Erbil nei settori Nord-Orientali della Regione Autonoma del Kurdistan Iracheno (Fig.1A). Nell'area in esame non sono stati rilevati importanti sistemi carsici ma piccole cavità e numerosi ripari sotto-roccia si sviluppano lungo i ripidi versanti di valli e canyon (Laumanns et al., 2008). Il clima dell'area viene classificato come mediterraneo con inverni freddi e umidi ed estati molto calde e secche. Le precipitazioni avvengono principalmente fra novembre e maggio con un tasso annuale stimato fra i 300 e i 600 mm (Al-Ansari, 2013).

Risultati preliminari

La grotta di *Hsārok* sviluppatasi all'interno di calcari di età cretacica (Jassim, Goff, 2006) (Fig.1A-B), presenta tre ingressi (Fig.1C), i quali si affacciano all'interno di un salone concrezionato dove numerose stalagmiti rilevate durante le attività di terreno si impostano al di sopra di un deposito clastico composto da sedimenti limoso-sabbiosi con ciottoli a spigoli vivi derivanti dal crollo di parte della volta e delle pareti della cavità (Fig.1D). La stalagmite KR19-3, campionata nel settore meridionale della cavità, è composta interamente da calcite colonnare sparitica con

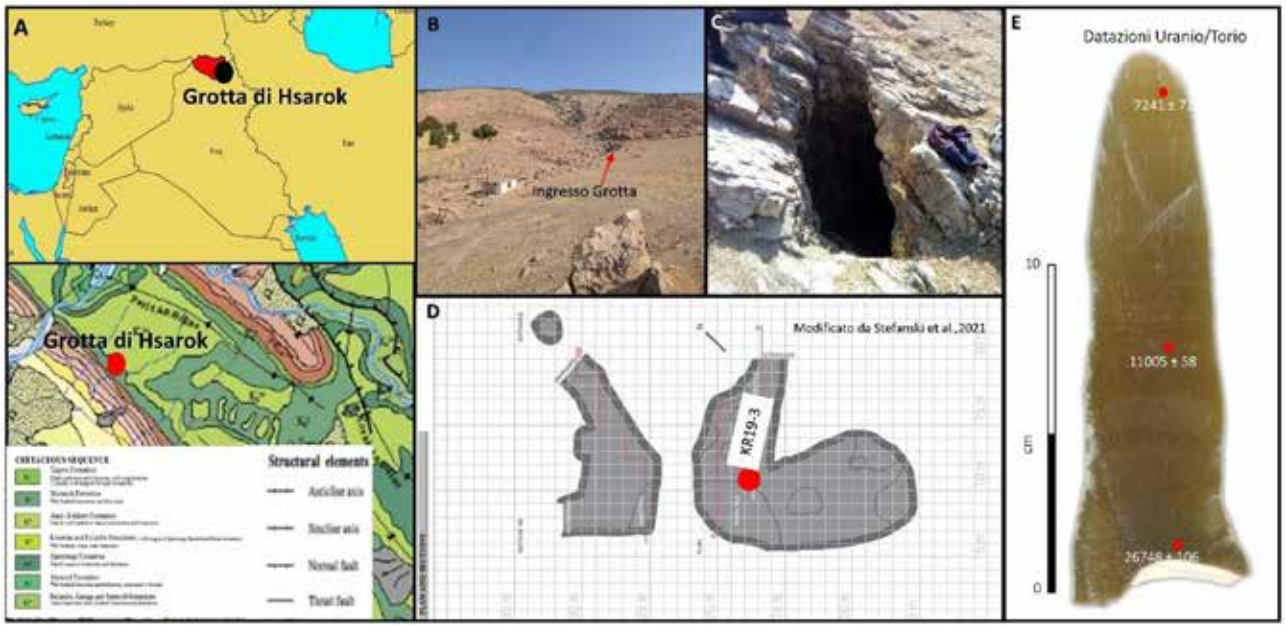


Figura 1 – Localizzazione dell'area studio e stralcio della carta geologica in prossimità di grotta Hsarok (A) (Jassim, Goff 2006) Paesaggio carsico e ingresso della grotta Hsarok (B-C). Pianta e sezione della cavità. In rosso il sito di campionamento della stalagmite KR19-3(D). Sezione longitudinale della stalagmite e posizione dei campioni per le analisi geocronologiche con il metodo Uranio-Torio (E)

un sottile livello aragonitico alla base (Fig.1E). Lo speleotema è stato campionato con una risoluzione spaziale di 1 mm per ricostruire la variazione nei rapporti degli isotopi stabili di Ossigeno e Carbonio. Le analisi sono state eseguite nei laboratori dell'IGG-CNR di Pisa, tramite spettrometria di massa IRMS. Sono stati inoltre effettuate tre datazioni con il metodo U/Th presso l'Università di Taiwan.

Assumendo una deposizione vicina alle condizioni di equilibrio isotopico, la curva della variazione del $\delta^{18}O$ può essere interpretata come proxy per la variazione della quantità di precipitazioni meteoriche, con valori minori corrispondenti a condizioni più umide e viceversa, come già osservato in diversi speleotemi dell'area orientale del Mediterraneo, del Levante e della Penisola Arabica (Regattieri et al., 2018; Fleitmann et al., 2004). Le variazioni dei valori della curva del $\delta^{13}C$ possono invece essere imputate a variazioni dell'attività biologica del suolo sovrastante la grotta, con valori minori associati ad un maggior input di CO_2 biologica "leggera" durante periodi più caldi e umidi, e valori maggiori legati ad una diminuzione nell'attività biologica del suolo in periodi più aridi e/o freddi (es. Fohlmeister et al., 2020). Sulla base della cronologia disponibile, le principali variazioni nella composizione isotopica sembrano corrispondere alla sequenza degli eventi climatici globali tra l'ultimo massimo glaciale e l'interglaciale attuale. In particolare, si osserva un aumento di precipitazioni corrispondente alla deglaciazione, interrotto da una fase più arida che potrebbe corrispondere all'evento freddo dello *Younger Dryas* (ca. 13000-11700 anni fa), al quale fa seguito il miglioramento climatico dell'Olocene. Il confronto tra queste oscillazioni climatiche e le diverse fasi culturali note dal record archeologico locale, suggerisce che il passaggio alle prime comunità stanziali e la nascita dell'agricoltura corrispondano alla transizione tra le condizioni

più aride dello *Younger Dryas* e quelle più umide che caratterizzano buona parte dell'Olocene. La definizione di una cronologia a maggior dettaglio e il raffinamento di un record isotopico a più alta risoluzione temporale – attualmente in corso – permetteranno di indagare in dettaglio la relazione fra le variazioni climatico-ambientali e le dinamiche culturali delle comunità Neolitiche della Mezzaluna Fertile.

Riferimenti bibliografici

Al-Ansari N. (2013), "Management of water resources in Iraq: perspectives and prognoses", *Engineering*, 5: 667-684.

Al-Manmi D. A. M. A., Ismaeel S. B., Altaweel M. (2019), "Reconstruction of palaeoclimate in Shalaii Cave, SE of Sangaw, Kurdistan Province of Iraq", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 524: 262-272.

Bar-Matthews M., Ayalon A., Kaufman A., Wasserburg G. J. (1999),"The Eastern Mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel", *Earth and Planetary Science Letters,* 166; 85-95.

Braidwood R. J., & Howe B. (1960) "Prehistoric Investigations in Iraqi Kurdistan". *Studies in ancient oriental civilization*, University of Chicago Press.

Childe, V. G. (1936), *Man Makes Himself*, London: Watts.

Fleitmann D., Burns S.-J., Neff U., Mudelsee M., Mangini A., Matter A. (2004), "Palaeoclimatic interpretation of high-resolution oxygen isotope profiles derived from annually laminated speleothems from Southern Oman", *Quaternary Science Reviews*, 23:935-945,

Flohr P., Fleitmann D., Zorita E., Sadekov A., Cheng H., Bosomworth M., Edwards L., Matthews W., Matthews R. (2017), "Late Holocene droughts in the Fertile Crescent recorded in a speleothem from northern Iraq", Geophysical Research Letters, 44: 1528-1536,

Fohlmeister J., Voarintsoa N.-R.-G, Lechleitner F.-A., Boyd M., Brandtstätter S., Jacobson M.-J, Oster J.-L. (2020), "Main controls on the stable carbon isotope composition of speleothems", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 279:67-87.

Jassim S. Z., Goff J. C. (2006) "Geology of Iraq". Geological Society of London.

Laumanns M., Rasch A., Audra, P. (2008), "Karst and Caves of Iraq (including the results of a 2007 Kurdish-German speleological project and an overview on hypogenic sulphidic speleogenesis)", *Berliner Höhlenkundliche Berichte*, 26, Berlin.

Marsh A., Fleitmann D., Al-Manmi D. A. M., Altaweel M., Wengrow D., Carter R. (2018) "Mid-to late-Holocene archaeology, environment and climate in the northeast Kurdistan region of Iraq", *The Holocene*, 28(6): 955-967.

Matthews R., Matthews W., Richardson A., Walsh S., Iversen I., Mudd D., Rasheed K., Raeuf K., Bendrey R., Whitlam J., Charles M., Bogaard A., Elliott S. (2019), "The early Neolithic of Iraqi kurdistan: Current research at bestansur, shahrizor plain", *Paléorient. Revue pluridisciplinaire de préhistoire et de protohistoire de l'Asie du Sud-Ouest et de l'Asie centrale,* 45: 13-32.

Palmisano A., Woodbridge J., Roberts C. N., Bevan A., Fyfe R., Shennan S., Cheddadi R., Greenberg R., Kaniewski D., Langgut D., Leroy S., Litt T., Andrea Miebach A. (2019), "Holocene landscape dynamics and long-term population trends in the Levant", *The Holocene*, 29: 708-727.

Regattieri E., Zanchetta G., Isola I., Bajo P., Perchiazzi N., Drysdale R.N., Boschi C., Hellstrom J.-C., Franke A., Wagner B. (2018), "A MIS 9/MIS 8 speleothem record of hydrological variability from Macedonia (FYROM)". *Global and Planetary Change*, 162:39-52,

Roberts N., Woodbridge J., Bevan A., Palmisano A., Shennan S., Asouti E. (2018), "Human responses and non-responses to climatic variations during the last Glacial-Interglacial transition in the eastern Mediterranean", *Quaternary Science Reviews*, 184: 47-67.

Watkins T. (2010), "New light on Neolithic revolution in south-west Asia", *Antiquity*, 84: 621-634.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio paleoclimatico di speleotemi Tardo Pleistocenici ed Olocenici della grotta di Bossea

Ilaria Isola ([a]), Giovanni Zanchetta ([b]), Eleonora Regattieri ([c]), Bartolomeo Vigna ([d]), Russell N. Drysdale ([e]), John C. Hellstrom ([e]), Federico Magrì ([f])

([a]) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV, Pisa, *ilaria.isola@ingv.it*
([b]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, Pisa
([c]) Istituto di Geoscienze e Georisorse, IGG-CNR, Pisa
([d]) DIATI-Politecnico di Torino
([e]) Università di Melbourne, Australia
([f]) Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi AGSP-CAI, Torino

Parole chiave: Speleotemi, Grotta di Bossea, Paleoclima, Ultima terminazione glaciale
Keywords: Speleothems, Bossea Cave, Paleoclimate, Last Glacial Termination

Riassunto
In questo contributo vengono presentati i risultati preliminari dello studio paleoclimatico avviato su due speleotemi (BO1 e BO2) prelevati dalla grotta di Bossea (Piemonte), una delle cavità carsiche meglio caratterizzate in Italia. Le indagini cronologiche preliminari mostrano che la loro formazione è avvenuta a partire da circa 13800 anni fa fino al periodo attuale. La composizione isotopica dell'ossigeno e del carbonio, analizzata a bassa risoluzione su entrambi i campioni, mostra oscillazioni significative che possono essere messe in relazione con variazioni di temperatura ed idrologia. Tali variazioni sono ricollegabili ai principali eventi climatici conosciuti a scala globale durante questo periodo, ed in particolare al passaggio dall'ultimo glaciale all'attuale interglaciale.

Introduzione

Gli speleotemi sono considerati un potente archivio per la ricostruzione dei cambiamenti paleoclimatici (es. Fairchild, Baker, 2012). Molte proprietà (geochimiche, biologiche, mineralogiche) di questi depositi sono infatti sensibili alle variazioni climatiche, idrologiche ed ambientali, che possono essere ricostruite nel dettaglio grazie ad analisi di tipo diverso. La ricostruzione delle condizioni del passato non può però prescindere dalla conoscenza approfondita dei parametri che attualmente governano il sistema sotto esame. La Grotta di Bossea (Fig. 1) ospita al suo interno una Stazione Scientifica permanente, attrezzata per il monitoraggio idrodinamico, idrogeochimico e micrometeorologico e, la mole di dati raccolti dall'inizio degli anni '80 ad oggi la rendono la cavità carsica meglio monitorata in Italia (Vigna et al., 2017; Antonellini et al., 2019). Questa particolarità e l'abbondante concrezionamento presente al suo interno ne

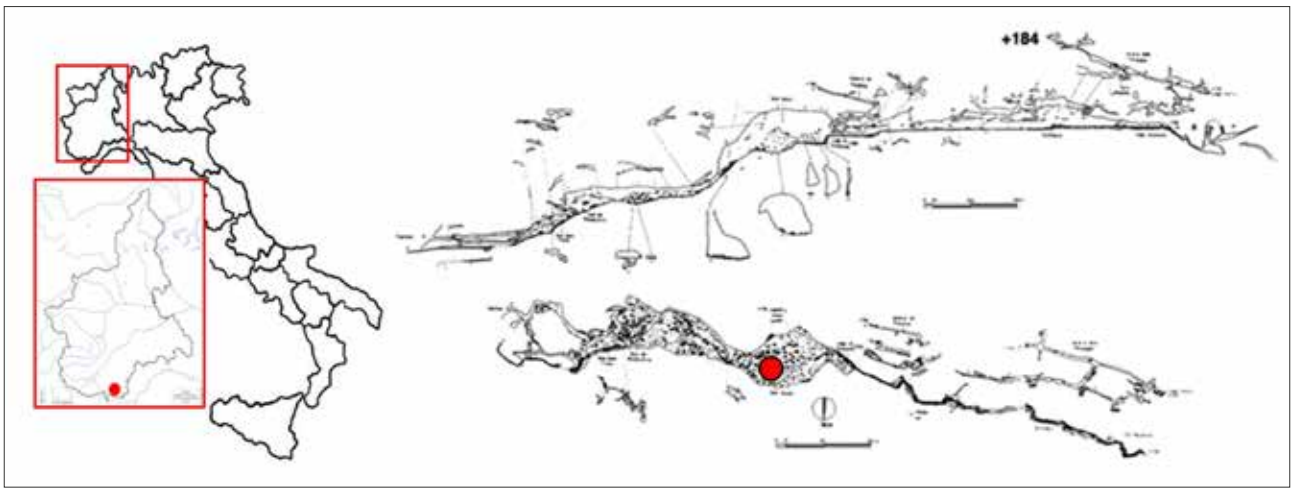


Figura 1-Localizzazione geografica della grotta di Bossea e rilievo riportante il punto di prelievo dei due speleotemi

fanno un sito potenzialmente interessante per gli studi paleoclimatici sugli speleotemi. Con queste premesse, è stata avviata una collaborazione tra Politecnico di Torino e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, nell'ambito del quale sono state prelevate due stalagmiti (BO1 e BO2).

Risultati preliminari ed interpretazione

Su entrambe le stalagmiti sono state effettuate datazioni preliminari per individuare l'intervallo di crescita con il metodo Uranio/Torio, e sono stati analizzati i rapporti tra gli isotopi stabili di carbonio ($\delta^{13}C$) ed ossigeno ($\delta^{18}O$), i più diffusi *proxy* paleoclimatici studiati negli speleotemi (Fairchild, Baker, 2012).

I risultati mostrano che per entrambi i campioni la deposizione è iniziata nella parte terminale dell'ultimo periodo glaciale (Tardiglaciale), intorno ai 14000 anni fa. Questo indica, già a partire da questo periodo, il ritiro dei ghiacci e lo sviluppo di suoli nel bacino di assorbimento della grotta, poiché la presenza di acqua allo stato liquido e l'apporto di anidride carbonica (proveniente dall'attività biologica dei suoli) sono prerequisiti per la formazione degli speleotemi. La crescita è poi proseguita ininterrottamente durante il presente interglaciale (Olocene), fino a circa 4000 anni fa per BO2 e fino al momento del prelievo per BO1 (Fig. 2). Le variazioni nel rapporto degli isotopi stabili del carbonio, in contesti di clima temperato, dipendono principalmente dal grado di sviluppo dei suoli e della vegetazione dell'area di ricarica della grotta. Valori di $\delta^{13}C$ più negativi sono dovuti ad un maggior apporto di CO_2 di origine biogenica (contenente una maggiore proporzione dell'isotopo "leggero" ^{12}C), mentre valori meno negativi dipendono da un maggior contributo di carbonio "pesante" (il ^{13}C) derivante dalla dissoluzione delle rocce carbonatiche in cui si sviluppa la cavità (es. Fohlmeister et al., 2020). La netta diminuzione dei valori di $\delta^{13}C$ che si osserva in entrambi gli speleotemi nell'intervallo iniziale di crescita indica quindi un aumento dell'*input* biologico, e può essere interpretata come dovuta al progressivo riscaldamento ed aumento delle temperature verificatesi al passaggio tra glaciale ed interglaciale (Fig. 2).

La composizione isotopica dell'ossigeno ($\delta^{18}O$) negli speleotemi è considerata un *proxy* per la composizione isotopica delle precipitazioni meteoriche che ricaricano il sistema carsico. A sua

volta, il $\delta^{18}O$ delle precipitazioni dipende dall'effetto combinato dei diversi fenomeni climatici che governano il ciclo idrologico. Variazioni nella temperatura, nella quantità e stagionalità delle precipitazioni e l'arrivo di masse di vapore provenienti da aree diverse sono alcuni dei potenziali *driver*, e possono avere influenze variabili e talvolta contrastanti sul valore del $\delta^{18}O$ finale (es. Rozanski et al., 1993).
Solitamente, una correlazione positiva con il $\delta^{13}C$ è indicativa della prevalenza del cosiddetto *amount effect*, che comporta un aumento/diminuzione del $\delta^{18}O$ in relazione alla diminuzione/aumento nella quantità delle precipitazioni. Tale fenomeno è solitamente predominante nell'area Mediterranea (Bard et al., 2002). Al contrario, nell'Europa continentale, il $\delta^{18}O$ è spesso anticorrelato con il $\delta^{13}C$, ed indica una prevalente influenza della temperatura, con valori maggiori legati ad un riscaldamento, e viceversa (Spötl, Mangini, 2002). La regione Alpina, in cui si trova la grotta di Bossea, è situata al confine tra queste due zone ed è caratterizzata da condizioni sinottiche e meteorologiche "complesse", che rendono difficile individuare un forzante univoco per le variazioni del $\delta^{18}O$. La netta anticorrelazione che si osserva per entrambe le stalagmiti durante l'intervallo iniziale della deglaciazione potrebbe quindi indicare una predominanza dell'effetto temperatura sul $\delta^{18}O$, mentre successivamente e, soprattutto durante il periodo Olocenico, i due rapporti isotopici tendono a mostrare un maggior grado di correlazione, suggerendo una maggior influenza delle variazioni nella quantità di precipitazioni (Figura 2).

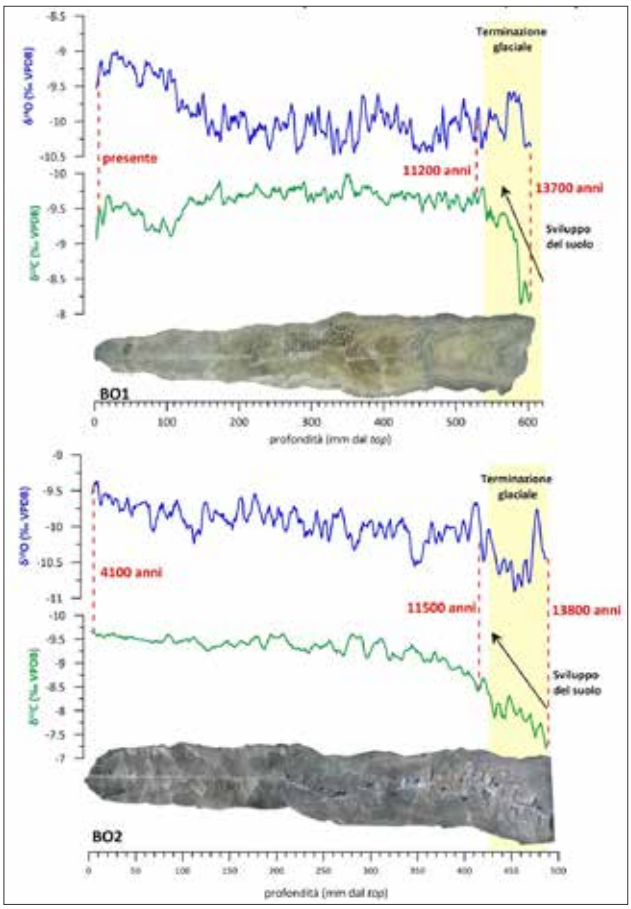


Figura 2 – Immagini, dati isotopici e cronologia preliminare degli speleotemi BO1 e BO2. Il rettangolo in giallo evidenzia l'intervallo corrispondente all'ultima terminazione glaciale

Sviluppi futuri

Numerosi campioni per ulteriori datazioni U/Th sono già stati prelevati da entrambe le stalagmiti, al fine di sviluppare un modello età-profondità che consenta di stabilire in modo dettagliato la variazione nel tempo dei rapporti isotopici. Per definire meglio il significato paleoclimatico del $\delta^{18}O$, si prevede di effettuare sia una robusta trattazione statistica dei dati (es. correlazione su diverse finestre di età), sia di analizzare ulteriori proprietà geochimiche, come ad esempio la composizione e distribuzione degli elementi in traccia. Il cosiddetto "approccio multiproxy" è infatti il più indicato per sostenere in modo robusto l'interpretazione paleoclimatica.

Riferimenti Bibliografici

Antonellini M., Nannoni A., Vigna B., De Waele J. (2019), "Structural control on karst circulation and speleogenesis in a lithological conctact zone: The Bossea cave system (Western Alps, Italy)", *Geomorphology*, 345: 106832.

Bard E., Delaygue G., Rostek F., Antonioli F., Silenzi S., Schrag D.P. (2002), "Hydrological conditions over the western Mediterranean basin during the deposition of the cold Sapropel 6 (ca. 175 kyr BP)". *Earth and Planetary Science Letters*, 202 (2): 481-494.

Fairchild I. J., Baker A. (2012), *Speleothem science: from process to past environments*, John Wiley & Sons, Chichester.

Fohlmeister J., Voarintsoa N.R.G., Lechleitner F.A., Boyd M., Brandtstätter S., Jacobson M.J., Oster J.L. (2020), "Main controls on the stable carbon isotope composition of speleothems". Geochimica et Cosmochimica Acta, 279: 67-87.

Rozanski K., Araguas-Araguas L., Gonfiantini R. (1993), "Isotopic patterns in modern global precipitation". *Climate change in continental isotopic records*, 78: 1-36.

Spötl, C., Mangini A. (2002), "Stalagmite from the Austrian Alps reveals Dansgaard–Oeschger events during isotope stage 3: Implications for the absolute chronology of Greenland ice cores", *Earth and Planetary Science Letters*, 203(1): 507–518.

Vigna B., Fiorucci A., Nannoni A., De Waele J. (2017), "Vadose zone hydrogeology in the Bossea cave system (Southern Piedmont, Northern Italy)", in Moore K., White S. (a cura di), *Proceedings 17th International Congress of Speleology*, 2: 222-225.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Abisso Revel nelle Alpi Apuane microclima e cambiamenti climatici

Marco Menichetti ([a]), Giuseppe Mancini ([b]), Antonio Beribè ([b]), Evelin Franceschini ([b]), Marco Gianvanni ([b]), Laura Pala ([b]), Andrea Russino ([b])

([a]) Università di Urbino, *marco.menichetti@uniurb.it*
([b]) Gruppo Speleologico CAI Pisa

Parole chiave: temperatura; monitoraggio; cambiamento climatico
Keywords: temperature; monitoring; climate change

Riassunto
L'Abisso Enrico Revel nelle Alpi Apuane (102 T), si apre nel margine settentrionale dell'altopiano della Vetrìcia (Lu), ad una quota di 1445 m s.l.m. È un unico grande pozzo profondo circa 300 m con una morfologia ellittica lunga 60 metri e larga 10, impostato su di un importante sistema di fratture. Nei primi 100 metri le pareti si avvicinano fino a 15 metri per poi allontanandosi di nuovo per alcune decine di metri fino al fondo dove è presente un imponente accumulo di materiale detritico, costituito da blocchi di dimensioni deci/centimetriche. Si sviluppa all'interno dei Marmi delle Panie del Giurassico Inf., immergenti di circa 10° verso nord, molto fratturati con prevalenza di sistemi orientati N-S e circa E-W.
La cavità è stata esplorata nel luglio del 1931 ad opera degli speleologi fiorentini che avevano rilevato la presenza al fondo di un accumulo di neve/ghiaccio di circa 6 m di altezza, tanto che furono eseguite misure di temperatura lungo la verticale da Marco Marchetti del Gruppo Speleologico Fiorentino, che rilevò anche alla base del pozzo, una temperatura di 1,3°C. La presenza di un accumulo di neve con un volume sempre più esiguo, alla base del pozzo, è stata poi documentata sia attraverso racconti che per mezzo di fotografie da diversi speleologi che hanno frequentato la grotta negli ultimi decenni.
Alcuni anni fa sono state condotte delle ricerche sistematiche per studiare le caratteristiche microclimatiche della cavità. Dopo una campagna di misure ed osservazioni dirette sul profilo termico verticale della cavità, sono stati installati a diverse profondità (superficie, -15m, -120m, -167m, fondo -280m), dei termometri dotati di datalogger per monitorare la temperatura dell'aria. Questi hanno registrato continuativamente, ad intervalli di 30 minuti, per 2 anni accumulando oltre diecimila misure. Allo stesso tempo alla base del pozzo, è stata misurata la temperatura nella roccia alla profondità di 60 cm.
L'analisi dei dati evidenzia che la temperatura media annua dell'aria, lungo l'asse verticale, tende a diminuire dalla superficie con 6.5°C, fino a 2.3°C al fondo del pozzo. Qui i valori minimi prossimi o inferiori a 0°C, si raggiungono alla fine del periodo invernale, in occasione delle principali incursioni di aria fredda che interessano l'area delle Alpi Apuane. I valori massimi di temperatura dell'aria di

4,5°C, si raggiungono alla fine della stagione estiva/inizio dell'autunno. Queste condizioni termiche presenti nella grotta derivano dalla presenza di una circolazione di aria, a bassissima velocità di flusso, che nel periodo invernale richiama l'aria (e neve quando presente) dall'esterno verso il fondo pozzo. Nel periodo estivo, dal cumulo di materiale detritico presente al fondo, esce un flusso di aria fredda proveniente dall'interno del massiccio calcareo, con temperature comprese tra 1° e 4°C, che permette di conservare l'eventuale neve. Negli ultimi anni, l'assenza dell'accumulo di neve sopracitato è probabilmente correlabile con i cambiamenti climatici in atto, che nell'area delle Alpi Apuane sono evidenziati sia dai minori apporti nevosi, che da variazioni delle temperature stagionali.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Riduzione dei depositi di neve e ghiaccio in grotta documentata dai rilievi speleologici: il caso delle Alpi Apuane

Leonardo Piccini ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, *leonardo.piccini@unifi.it*

Parole chiave: carso alpino, neve in grotta, riscaldamento globale, Alpi Apuane
Keywords: Alpine karst, snow in cave, global warming, Apuan Alps

Riassunto
Le Alpi Apuane ospitano molti ingressi di grotte concentrati soprattutto nelle zone alte di assorbimento dei massicci carsici. Se situati a quote sufficientemente elevate e preferibilmente nei versanti settentrionali, questi ingressi raccolgono e conservano la neve da un anno all'altro. Nei secoli passati le Alpi Apuane hanno rappresentato una delle maggiori fonti estive di ghiaccio e neve per tutta l'area limitrofa. La neve veniva estratta da alcune grandi cavità presenti a quote solitamente superiori a 1300-1400 metri e spesso note localmente come "Buche della Neve". A partire dai primi anni del secolo scorso, anche la documentazione speleologica testimonia la presenza di ingenti depositi di neve in molte delle grotte situate a quote elevate e permette di seguire la netta riduzione di queste masse di neve in atto da qualche decennio.

Introduzione

Tra i nomi di grotte più comuni nelle aree carsiche di alta di montagna c'è quello di buca/grotta/pozzo della neve o del ghiaccio. Le grotte, e in particolare quelle che si aprono con ampi pozzi a cielo aperto, sono infatti delle ottime trappole per la neve che vi cade in inverno e che si può conservare anche per tempi lunghi. La presenza di ghiaccio in grotta può essere anche dovuta al congelamento delle acque di percolazione, se in inverno entra aria a temperatura inferiore allo zero. Il fatto di meritarsi un nome deriva spesso dall'importanza che queste grotte hanno avuto in passato per l'estrazione e il commercio di neve e ghiaccio, che prima dell'invenzione dei frigoriferi erano merci assai rare e preziose, per lo meno alle medie e basse latitudini e quindi per gran parte dell'area mediterranea.

Per quanto riguarda le Alpi Apuane, si hanno notizie dello sfruttamento della neve sin dal XIX secolo, ma sicuramente la pratica era in atto da ben prima (Bertoloni, 1863). Un riferimento ancora più antico risale al 1747 e si riferisce a un'incisione presente in un testo dal titolo "*De Fontium origine*" (citato da Brian e Mancini) compilato da Antonio Sarti, ma che sarebbe attribuito all'abate astronomo Leonardo Xime-

Figura 1 - A sinistra - Questa stampa, realizzata dall'architetto Filippo Ciocchio nel 1729 è pubblicata nel libro del 1747 "De Fontium origine dissertationum compendia …". Con ogni probabilità si tratta della prima raffigurazione di una grotta delle Alpi Apuane in cui è visibile, nella sezione di sinistra, il *grande accumulo di neve (Z) che era presente nella cavità. A destra - La Buca Presso la Cava Bassa di Carcaraia (T-357-LU) in una foto degli anni '60. Anche questo ingente ammasso di neve è oggi quasi completamente scomparso. (foto Gruppo Speleologico Fiorentino – archivio catasto Grotte della Toscana)*

nes che visse a Firenze nel XVIII secolo". Del 1852 è invece una memoria di carattere botanico (ancora in latino) di Antonio Bertoloni, padre di Giuseppe, il quale fa cenno di una *Buca delle Neve* sulle pendici occidentali del Monte Sagro, probabilmente corrispondente all'Antro del Sagro (T-0284-MS). Varie buche della neve sono invece già ben documentate da Brian e Mancini (1913), che tra l'altro raccontano di una disputa territoriale tra il Granducato di Toscana, e quello di Modena riguardo l'utilizzo delle buche della neve della Pania della Croce. Più recenti sono i lavori di Marco Marchetti (1931) il quale, ci ha lasciato una preziosa testimonianza sullo stato della neve, in particolare nella zona delle Panie, negli anni '30 del secolo scorso. Dagli anni '50 del 1900, con l'esplorazione sistematica delle voragini delle Alpi Apuane, la documentazione sulle grotte contenenti accumuli di neve e/o ghiaccio si è andata arricchendo di anno in anno.

La documentazione catastale

Il Catasto delle Grotte della Toscana contiene ad oggi circa 2300 schede di cui ben 1350 si riferiscono alle Alpi Apuane. L'individuazione delle cavità in cui è segnalata la presenza di neve è stata fatta considerando inizialmente solo le cavità situate a quote superiori a 1200 m e sulla base della morfologia dell'ingresso, escludendo quindi le cavità con ingresso orizzontale o ascendente. Le cavità restanti sono state consultate una per una individuando quelle nel cui rilievo era indicata la presenza di neve.

Il data base ottenuto non può considerarsi omogeneo e rigoroso ma costituisce comunque un valido documento di partenza. È infatti possibile che in alcuni casi la presenza di neve non sia stata riportata per la scarsa accuratezza del disegno. Al contrario è possibile che la neve rappresentata sia di carattere stagionale; per questa ragione sono stati esclusi alcuni rilievi con data precedente al mese di giugno. Le ca-

vità selezionate in base a questa prima selezione sono state alla fine 111; un numero sufficiente per trarre alcune considerazioni di carattere generale e per documentare la riduzione delle masse di neve e/o ghiaccio nei casi in cui erano presenti rilievi realizzati a distanza di anni. Sulla base di questa indagine preliminare e semiquantitativa è risultato che i maggiori accumuli di neve presenti in passato sono stimabili in qualche migliaio di metri cubi, come quello della Buca della Neve alla Foce di Cardeto (T-0346-LU) o della Buca Sopra la Cava Bassa di Carcaraia (T-0357-LU) sul Monte Tambura (Fig. 1). Nevai persistenti più o meno voluminosi risultano in particolare in Carcaraia e sui versanti settentrionali del gruppo delle Panie grazie all'elevato numero di ingressi a pozzo presenti in queste due aree.

I pozzi a neve delle Panie

La migliore documentazione relativa alla riduzione delle masse di neve in grotta riguarda i versanti settentrionali del gruppo delle Panie, nel settore meridionale delle Alpi Apuane. In questa area i rilievi speleologici permettono di documentare una forte riduzione della presenza di glacio-nevai. Le tre "buche della neve" citate da Brian e Mancini e da Marchetti, presenti nella parte superiore della Pania della Croce, ad esempio, sono ora del tutto prive di neve. Il caso più eclatante è però quello della Buca Nera (T-0145-LU, Fig. 2) descritta per la prima volta da Brian e Mancini (1913). La loro sezione mostra un pozzo profondo una quarantina di metri con due ampie aperture e il fondo di "detriti e neve". La stessa grotta fu riesplorata dai bolognesi negli anni 70 che si trovarono a scendere un pozzo di oltre 100 metri. Nell'agosto del 2015 il pozzo è stato ridisceso per una profondità totale di 126 metri. Si può quindi constatare che in circa un secolo il pozzo si è approfondito di 80 metri grazie alla scomparsa di un volume di neve/ghiaccio di circa 7500 metri cubi. Situazioni simili si sono osservate anche in altri pozzi di minori dimensioni, passando in genere da profondità di 20-30 metri, che si riferiscono a rilievi schematici dei primi anni 70, ai 40-50 m attuali.

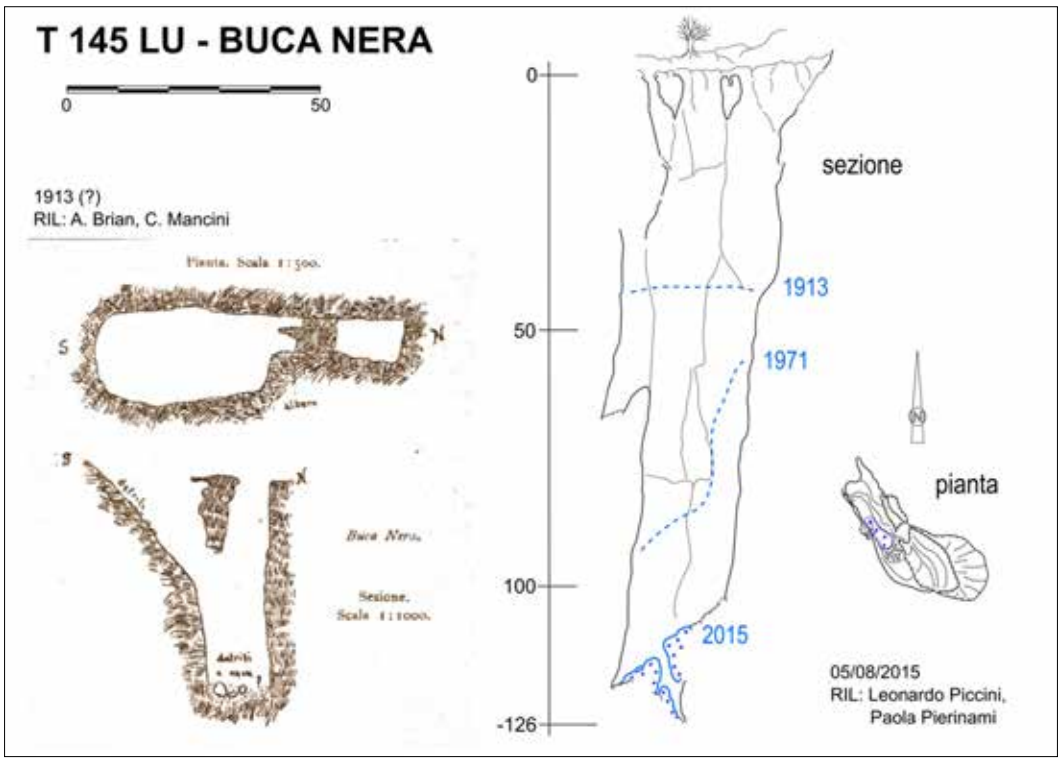


Figura 2 - Confronto tra i rilievi della Buca Nera (T-145-LU), eseguiti nel 1913 (a sinistra), e 2015 (a destra) ove è indicata anche la situazione che risulta da un rilievo del 1971.

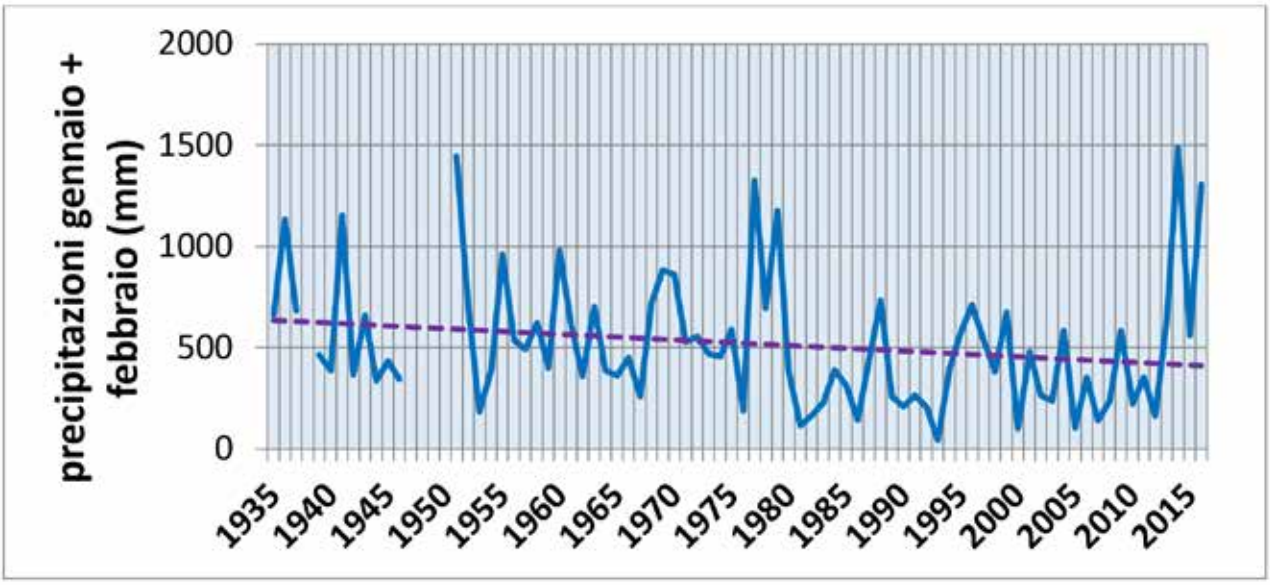


Figura 3 - Andamento delle precipitazioni cumulate dei mesi gennaio e febbraio alla stazione di Fornovolasco (quota 700 m s.l.m.) nel periodo 1935-2016. Tali valori possono essere ritenuti indicativi delle precipitazioni a carattere nevoso in questa zona.

Cause della riduzione dei depositi di neve

La frequente presenza di ingenti depositi di neve e ghiaccio documentata nel XIX secolo è sicuramente da imputare alla fase fredda che ha interessato principalmente l'emisfero settentrionale, tra il XVI e XIX secolo e nota come Piccola Età Glaciale. Dalla metà del XIX secolo si è avuto un graduale aumento della temperatura e un conseguente ritiro delle masse glaciali in superficie. La riduzione dei depositi di glacio-nevato nelle grotte d'alta quota può dipendere però anche da una diversa distribuzione stagionale delle precipitazioni. Quello cui si è assistito in queste ultime decadi è infatti una riduzione delle precipitazioni invernali in forma di neve (Fig. 3), da cui dipende la ricarica dei glacio-nevai ipogei (Piccini, 2019); senza dimenticare che una ricarica si può avere anche nelle stagioni intermedie, in forma di grandine, che tra l'altro, al contrario della neve, si muove lungo i pendii del terreno e quindi può venire raccolta su una superficie più ampia di quella dell'ingresso.

Riferimenti bibliografici

Bertoloni G. (1864), "Notizie intorno a cose naturali osservate nei monti italiani e giudicate una parte utile per se stesse e le altre interessanti per gli studiosi della geologia e la botanica", *Memoria della Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*, ser. II, tomo III, Bologna, Tip. Gamberini e Parmeggiani: 201-244.

Brian A., Mancini C. (1913), "Caverne e grotte delle Alpi Apuane", *Bollettino Regia Società Geografica Italiana*, ser. V, 2: 1032-1051, 1118-1150, 1277-1311.

Marchetti M. (1931), "Contributo allo studio dei fenomeni carsici delle A. Apuane", Tesi di Laurea inedita, Università degli Studi di Firenze, pp. 281.

Piccini L. (2018), "Grotte e cambiamenti climatici: il caso delle "Buche della Neve"", *Speleologia*, 78: 30-36.

Raffaelli R. (1879), *Descrizione geografica, storica, economica della Garfagnana*, Lucca.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Depositi di ghiaccio nelle cavità e cambiamenti climatici: alcuni esempi nelle Alpi Liguri e Cozie

Bartolomeo Vigna ([a]), Luca Paro ([b])

([a]) DIATI-Politecnico di Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it*
([b]) Arpa Piemonte, *luca.paro@arpa.piemonte.it*

Parole chiave: Ghiacciai ipogei, monitoraggio temperature, datazioni
Keywords: *ice caves, temperature monitoring, dating*

Il riscaldamento atmosferico che si sta registrando a scala globale, come condiziona la situazione climatica del sottosuolo? Come noto la temperatura dell'aria nelle cavità è in genere molto stabile nel tempo e sono rare le serie di misure storiche che dimostrano che anche nelle grotte si stanno verificando significativi incrementi termici. Invece, sono numerosi gli esempi di cavità con presenza di neve o ghiaccio all'interno dove è possibile osservare direttamente come il cambiamento climatico stia condizionando pesantemente anche questi ambienti.

Nell'ambito del progetto di ricerca "Ice caves", iniziato nel 2016 e tutt'ora in corso, condotto dal DIATI-Politecnico di Torino e da Arpa Piemonte (con la collaborazione dell'Ente Parco Alpi Marittime e dello Speleo Club Tanaro), sono state individuate nel settore delle Alpi Liguri e delle Alpi Cozie alcune cavità con presenza di ghiaccio perenne: l'Abisso Rem del ghiaccio, il Pozzo Lambda 21, la Grotta della Patarasa e la Grotta Romina. In quest'ultima, i depositi di ghiaccio hanno iniziato a formarsi in fondo alla cavità in seguito all'apertura artificiale dell'ingresso nel 2008. I depositi di ghiaccio interessati da questo studio hanno diverse modalità di formazione in quanto sono ubicati in cavità caratterizzate da morfologie e circolazioni d'aria piuttosto differenti tra loro. In tali grotte sono stati installati acquisitori automatici per rilevare la temperatura dell'aria e della roccia e per esaminare come le variazioni stagionali superficiali influenzino la situazione climatica in profondità. La temperatura della roccia viene registrata con sensori posti in fori di sondaggio di diametro da 8 a 12 mm e profondi da 20 a 100 cm, adeguatamente isolati dalla superficie rocciosa. La temperatura dell'aria in superficie viene misurata in parte da strumentazioni ubicate presso gli ingressi e in parte da stazioni di Arpa Piemonte situate in prossimità di queste cavità. I datalogger utilizzati sono dei Tinytag 2 plus della Gemini Sc. Ltd. con alimentazione a batteria e 2 sensori (termistori NTC) con cavo di lunghezza variabile da 1,5 a 10 m, accuratezza di 0,2 °C, risoluzione di 0,01 °C, con custodia IP68 e dimensioni contenute. L'acquisizione dei dati è impostata con registrazione del valore massimo e minimo di temperatura nell'intervallo di 2 ore. Benché i dati termici ipogei presentino solo blande

oscillazioni con una certa variabilità interannuale, nei sei anni di osservazioni (2016-2021) si è assistito alla sensibile riduzione del volume delle masse glaciali, in particolare nell'abisso Rem. Al fine di studiare e preservare alcuni campioni di ghiaccio di questa grotta, nel 2019 sono state prelevate 6 carote di ghiaccio di circa 50 cm di lunghezza ciascuna, lungo una sezione verticale del ghiacciaio principale. Le carote sono conservate presso l'Euro Cold Lab del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università di Milano-Bicocca, e sono in corso le analisi cristallografiche delle sezioni sottili e le analisi isotopiche. Nel corso di questo studio sono state effettuate anche analisi chimiche delle acque di fusione del ghiaccio delle diverse cavità analizzando gli ioni principali, i metalli e le terre rare. Sulla base di alcune datazioni al ^{14}C effettuate su residui vegetali prelevati nei livelli più bassi di alcuni di questi ghiacciai è ipotizzabile che la loro formazione sia iniziata ben prima della Piccola Età Glaciale (dalla metà del XIV alla metà del XIX secolo). Le datazioni evidenziano che i frammenti di legno provenienti dal ghiacciaio della Patarasa sono indicativamente del 1020 AD (± 20 anni), mentre i frammenti di foglie campionati a diverse altezze nel ghiacciaio del Rem hanno fornito un'età compresa tra il 1030 AD e il 1700 AD (comunicazione personale da parte del CNR-IRPI di Torino). Un livello di foglie di faggio, perfettamente conservato, campionato nel settore intermedio del ghiacciaio di Lambda 21 è invece risultato essere molto più giovane, con deposizione risalente al 1850 (± 20 anni).

L'ingresso dell'Abisso Rem del ghiaccio è situato nelle Alpi Liguri (alta valle Casotto), a quota 1900 m s.l.m., ed è costituito da un meandro che dopo pochi metri si approfondisce in un pozzo di una quindicina di metri. Al fondo si incontra un primo ghiacciaio con spessore di oltre 5 m, sospeso su un successivo pozzo di 15 m. La grotta prosegue, alla base del primo salto, lungo una risalita di 8 m che conduce ad una grossa forra che, al momento della prima esplorazione nel 1995, era in parte occupata da depositi di ghiaccio che raggiungevano uno spessore di alcuni metri. Al fondo, dopo una cinquantina di metri, si trovava un ambiente del tutto chiuso dal ghiaccio. Nel 2014 è stato individuato un nuovo passaggio, apertosi in seguito alla fusione del ghiaccio. Questo passaggio ha permesso di raggiungere un successivo ampio salone in parte occupato dal ghiacciaio principale. La grotta prosegue poi attraverso una serie di passaggi tra blocchi di frana fino ad un altro ampio ambiente di crollo collegato a meandri, pozzi e gallerie con uno sviluppo complessivo di 2419 m e con un dislivello totale di 330 m. La prima parte della cavità è percorsa da una notevole corrente d'aria, uscente nella stagione estiva ma con temporanee inversioni del flusso in occasione di cambiamenti meteorologici in superficie (legati a perturbazioni, variazioni barometriche, vento). Un anemometro ad ultrasuoni piazzato all'imbocco della prima forra ha rilevato dati in una settimana estiva evidenziando tale situazione. Con la stagione fredda la circolazione d'aria si inverte, presentando ancora inversioni temporanee dei flussi. Gli acquisitori sono stati installati in diverse zone della cavità, iniziando dai settori a monte e a valle del ghiacciaio principale. Grazie alla notevole quantità di dati ed alle numerose osservazioni, è stato possibile ipotizzare sia le modalità di formazione del ghiacciaio, sia le cause della sua accelerata fusione. La genesi è probabilmente legata al congelamento delle acque di percolazione che raggiungono questi ambienti dove le temperature dell'ammasso roccioso e dell'aria sono < 0 °C per 5-6 mesi l'anno. Nei restanti mesi le temperature di roccia e aria rimangono pochi decimi di grado al di sopra di 0 °C. Tale situazione è legata alla circolazione d'aria presente nella cavità. Nei mesi fred-

di, significativi volumi d'aria entranti dall'ingresso della grotta abbassano di diversi gradi sotto lo zero la temperatura dell'aria (minima registrata di -7.6 °C) e dell'ammasso roccioso (minima di -1.2 °C ad una profondità di 1 m), interessando questi ambienti fino a distanze di diverse centinaia di metri dall'imbocco. Nel periodo primaverile, in seguito alla fusione della neve, si infiltrano acque con temperature molto ridotte che raggiungono la cavità. Si originano in questo modo dei veli d'acqua che scorrendo sulla roccia o su altri depositi di ghiaccio, congelano poco alla volta, dando origine ai numerosi strati che compongono il ghiacciaio. In estate, in seguito all'inversione della circolazione d'aria, la temperatura di questi ambienti continua a rimanere molto bassa. L'aria, proveniente dagli ingressi alti del sistema carsico e con temperature di alcuni gradi sopra lo 0 °C, si raffredda fluendo nelle gallerie e nei meandri dove la temperatura della roccia è ancora molto ridotta, condizionata dai valori invernali e dalla presenza del ghiaccio fondente.

Il Pozzo Lambda 21 si trova nel massiccio del M. Mongioie (Alpi Liguri) ed è costituito da un ampio pozzo con una inclinazione di circa 45° con ingresso a quota 2330 m s.l.m. A 20 m di profondità inizia un esteso conoide di neve (presente ancora a fine estate) che ricopre il sottostante ghiacciaio. Al fondo di questo grande ambiente un ingente deposito di frana occlude il passaggio agli speleologi ma lascia fluire una notevole circolazione d'aria. Analogamente all'Abisso Rem, anche questa cavità si comporta da "ingresso basso": nella stagione fredda la neve penetra all'interno del pozzo principalmente per piccole valanghe che si staccano dai ripidi versanti sovrastanti che si riversano nell'ampio imbuto dell'ingresso. La genesi di questo ghiacciaio ipogeo è quindi simile a quella che porta alla formazione dei ghiacciai di superficie. Sulla parete al fondo della cavità sono evidenti anche depositi di ghiaccio (ancora presenti nel mese di ottobre) legati al congelamento dell'acqua di percolazione. Sono le basse temperature legate alla circolazione dell'aria (minime registrate al fondo della cavità < -5 °C) e della roccia (minima di -2.8 °C registrata a 40 cm di profondità), con un meccanismo del tutto simile a quello descritto per l'Abisso Rem, a creare le condizioni che nei secoli hanno preservato la massa glaciale.

Un'ottantina di metri più in basso del Pozzo Lambda 21 si trova l'ingresso della Grotta Romina che nel 2008, quando è stata scoperta, era una modesta fessura soffiante di alcuni decimetri di lunghezza. L'allargamento artificiale di tale passaggio ha consentito l'accesso e l'esplorazione di una stretta condotta orizzontale chiusa dopo 120 m da un importante accumulo di frana. Dopo alcuni anni dalla sua apertura, gli speleologi hanno iniziato ad osservare la formazione di depositi di ghiaccio nel settore terminale di questa cavità, la cui origine è legata al notevole incremento di circolazione d'aria, in particolare nella stagione invernale. Infatti, prima dello scavo, l'ingresso aspirava significativi volumi d'aria fintanto che la fessura non veniva intasata dalla neve, in occasione delle precipitazioni nevose. Con l'allargamento dell'ingresso e la sistemazione di una lamiera per impedirne la chiusura, nei mesi freddi confluiscono ora in grotta enormi volumi d'aria che abbassano di alcuni gradi la temperatura della roccia. In seguito a temporanee chiusure dell'ingresso, legate ad abbondanti nevicate, la temperatura della grotta (misurata ad alta frequenza) mostra significativi aumenti di alcuni decimi di grado in tali periodi. Un sensore di temperatura, piazzato nel ghiaccio a pochi centimetri di profondità, ha evidenziato il periodo in cui si formano questi depositi. Nella stagione invernale si osservano temperature molto ridotte (minima registrata di -2.6 °C) con oscillazioni evidenti legate alla variazione termica della situazione in superficie (grotta in aspirazione). In

primavera, in seguito alla percolazione delle acque di fusione nivale, i veli d'acqua liquida che scorrono sulla superficie del ghiaccio solidificano e progressivamente il sensore di temperatura viene coperto ed isolato da diversi decimetri di ghiaccio. Di conseguenza la temperatura registrata aumenta fino ad un valore che rimane molto costante per diversi mesi, dell'ordine di qualche centesimo di grado < 0 °C.
L'ingresso della Grotta della Patarasa si trova in alta valle Grana ad una quota di 2024 m s.l.m. La cavità, lunga 34 m e profonda 8 m, ospita al fondo un piccolo ghiacciaio, residuo di un deposito molto più ampio ormai quasi del tutto scomparso. La circolazione d'aria è assente, la grotta si comporta da trappola di aria fredda che consente oggi una parziale conservazione del ghiaccio anche nel periodo estivo raggiungendo una temperatura massima di + 1.8 °C nel mese di ottobre. La formazione di questi depositi è legata alla solidificazione delle acque di percolazione che giungono in primavera in un ambiente con temperature fino a -3.6 °C.
Sulla base di tutti i dati raccolti in questo studio risulta quindi che l'incremento delle temperature in superficie ha cambiato la situazione della meteorologia sotterranea (anche se con variazioni di temperature di pochi decimi di grado) interrompendo quell'equilibrio favorevole alla formazione e al mantenimento delle masse glaciali.

Microbiologia in ambiente sotterraneo

di Ilaria VACCARELLI, Daniele GHEZZI e Filomena DE LEO

Cosa c'è ai confini dell'osservabile? Un fisico teorico probabilmente risponderebbe alla domanda citando la teoria dei multiversi, che postula l'esistenza di dimensioni parallele, al di fuori del nostro spaziotempo.
Un microbiologo che abbia avuto la fortuna di calarsi nelle profondità sotterranee, invece, farebbe senz'altro menzione del regno microscopico che brulica all'interno delle grotte. Un po' come le teorie sull'esistenza di multiversi, anche la microbiologia degli ambienti sotterranei si basa sullo studio di un mondo parallelo, ancora perlopiù da scoprire.
Per avere una semplice idea di quanto poco conosciamo di questo universo invisibile, basta sapere che meno dell'1% dei microrganismi del suolo è attualmente coltivabile in laboratorio. Senz'altro, le nuove tecnologie genetiche hanno permesso di allargare notevolmente lo spiraglio rivolto verso la microbiologia ipogea, ma ancora molte specie microbiche e processi ad esse legati rimangono inesplorati per tali ambienti.
Per decenni, infatti, le grotte sono state considerate sistemi pressoché inospitali e poveri di vita. Solo negli ultimi decenni è stato possibile dimostrare che non solo gli ambienti sotterranei risultano popolati da un'alta diversità di microrganismi, ma soprattutto come questi ultimi siano in grado di sfruttare fonti energetiche non convenzionali per attuare le loro reazioni metaboliche.
Il sottosuolo quindi, oltre a costituire un vero e proprio laboratorio naturale, rappresenta anche una palestra all'interno della quale ci si "allena" a mettere in contatto le discipline più disparate, al fine di indagare e trarre informazioni preziose, utili soprattutto al di fuori del dominio ipogeo.
Gli ambienti sotterranei, sia acquatici che terrestri, custodiscono infatti specie potenzialmente ancora sconosciute, forme metaboliche esclusive e fonti uniche di informazioni genetiche, che possono rappresentare un'immensa risorsa per lo sviluppo di numerose applicazioni biotecnologiche. Le innovazioni riguardano ambiti molteplici ed eterogenei e vanno dall'utilizzo di batteri calcificanti nel recupero di monumenti, all'uso di ceppi impiegati per la produzione di prodotti farmaceutici o per il biorisanamento delle acque sotterranee, fino alle ricerche astrobiologiche, attraverso le quali i microrganismi rappresentano l'anello di congiunzione per lo studio e la potenziale identificazione di forme di vita in altri pianeti.
Per tali ragioni, il mondo microbiologico può essere considerato un meta-mondo, ovvero un mondo dentro un altro mondo, sia in chiave biologica che biotecnologica. Ed è proprio questa vastità di informazioni che aspettano di essere raccolte, ordinate e approfondite, a rendere affascinante questa branca della biospeleologia.
Una testimonianza della grande variabilità e delle numerose possibilità che offre la microbiologia è data proprio dai lavori presentati in occasione di questo congresso.
La sessione in oggetto ha infatti permesso di stilare un interessante resoconto di diversi viaggi attraverso il mondo della microbiologia ipogea, sia in termini spaziali, che di applicazioni, processi, approcci di studio e metodologie, prospettive future. Tali lavori infatti, spaziano dal Piemonte, passando per l'Abruzzo, fino a

scendere nelle profondità campane. Ma non finisce qui, gli studi vanno oltre l'Italia, toccando gli ambienti incontaminati della Nuova Guinea Occidentale e le profondità delle doline marine, rappresentate dai *Blue Holes*.
I temi delle ricerche hanno riguardato la ricerca pura, intenta ad investigare la comunità microbica nella Yumugi River Cave in West Papua, la conservazione delle grotte turistiche, mediante analisi comparative di due grotte a diverso impatto antropico, lo studio di differenti fenomeni geomicrobiologici osservabili in grotta, come le *biovermiculazioni* o il *moonmilk*, fino all'indagine delle *mats* batteriche, attraverso l'analisi dell'interfaccia ossica-anossica in un *Blue Hole* sulfidico sommerso nell'Oceano Indiano.
Fatte le dovute premesse, vi auguriamo buon viaggio e soprattutto una buona lettura alla scoperta dei lavori sugli ambienti inesplorati delle grotte, ma soprattutto del pullulante mondo microbiologico che si cela al loro interno.

Microbiology in subterranean environments

by Ilaria VACCARELLA, Daniele GHEZZI and Filomena DE LEO

What is on the edge of the observable? A theoretical physicist would probably answer the question by citing the theory of multiverses, which postulates the existence of parallel dimensions, outside our space-time.
A microbiologist who has been lucky enough to dive into the underground depths, on the other hand, would certainly mention the microscopic realm that thrives inside the caves. A bit like the theories on the existence of multiverses, the microbiology of underground environments is also based on the study of a parallel world, still largely to be discovered.
To get a simple idea of how little we know about this invisible universe, just know that less than 1% of soil microorganisms are currently cultivable in the laboratory. Certainly, the new genetic technologies have made it possible to considerably widen the knowledge on subterranean microbiology, but still many microbial species and related processes remain unexplored for such environments. For decades, in fact, caves were considered almost inhospitable systems and poor in life. Only in recent decades has it been possible to demonstrate that not only the underground environments are populated by a high diversity of microorganisms, but above all how the latter are able to exploit unconventional energy sources to carry out their metabolic reactions.
The subsoil therefore, in addition to constituting a real natural laboratory, also represents a gymnasium in which one "trains" to put in contact the most disparate disciplines, in order to investigate and obtain valuable information, especially useful beyond the underground domain.
The underground environments, both aquatic and terrestrial, in fact contain potentially still unknown species, exclusive metabolic forms and unique sources of genetic information, which can represent an immense resource for the development of numerous biotechnological applications. The innovations concern multiple and heterogeneous areas and range from the use of calcifying bacteria in the recovery of monuments, to the use of strains used for the production of pharmaceutical products or for the bioremediation of groundwater, up to astrobiological research, through which microorganisms represent the link for the study and potential identification of life forms on other planets.
For these reasons, the microbiological world can be considered a meta-world, or a world within another world, both from a biological and biotechnological point of view. And it is precisely this vastness of information waiting to be collected, ordered and deepened, that makes this branch of biospeleology fascinating.
A testimony of the great variability and the numerous possibilities that microbiology offers is given by the works presented during this congress.
The session in question has in fact made it possible to draw up an interesting account of various journeys through the world of underground microbiology, both in terms of space, applications, processes, study approaches and methodologies, and future perspectives. In fact, these works range from Piedmont, passing through Abruzzo, down to the depths of the Campania region. But it does not end there, the studies go beyond Italy, touching the pristine environments of Western New Guinea and the depths of the marine sinkholes, represented by the Blue Holes.

The themes of the research concerned pure research, intent on investigating the microbial community in the Yumugi River Cave in West Papua, the conservation of tourist caves, through comparative analyzes of two caves with different anthropic impact, the study of different geomicrobiological phenomena observable in the cave , such as biovermiculations or moonmilk, up to the investigation of bacterial mats, through the analysis of the oxy-anoxic interface in a submerged sulphide Blue Hole in the Indian Ocean.
Having made the necessary premises, we wish you a good trip and above all a good reading to discover the works on the unexplored environments of the caves, but above all of the stimulating microbiological world that lies within them.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta, un brulicare di forme di vita microbica estrema

Rosangela Addesso ([a,b])

([a]) Dipartimento di Chimica e Biologia "Adolfo Zambelli", Università degli Studi di Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132, 84084 Fisciano (SA) Italia, *raddesso@unisa.it*
([b]) FONDAZIONE MIdA - Musei Integrati dell'Ambiente, via Muraglione, 18/20, 84030 Pertosa (SA) Italia, *raddesso@fondazionemida.it*

Parole chiave: Geomicrobiologia; Ecologia di grotta; Biodiversità
Keywords: Vermiculations; Geomicrobiology; Cave ecology; Biodiversity

Abstract
Le vermicolazioni sono depositi di particelle incoerenti, comunemente ritrovati sulle pareti di grotte naturali o artificiali di tutto il mondo. Mostrano diverse morfologie (maculate, dendritiche, a geroglifici...), colori (grigio, marrone, bianco…) e dimensioni, e sono considerate "*hotspot* di vita", un focus prezioso per scienziati nel campo della geomicrobiologia di grotta. Analisi NGS su DNA batterico isolato dai depositi vermicolari della Grotta di Pertosa-Auletta hanno rivelato che i *Proteobacteria* (48,0%) rappresentano il phylum più abbondante, seguiti da *Acidobacteria* (11,6%), *Actinobacteria* (7,1%), *Nitrospirae* (5,8%), *Firmicutes* (4,3%), *Planctomycetes* (3,2%), *Chloroflexi* (1,9%) e *Gemmatimonadetes* (1,1%). Sono stati osservati anche *Archaea* (0,1%) e una percentuale significativa di microrganismi non ancora classificati nelle banche dati disponibili (13,1%). Analisi XRD, così come la microscopia elettronica a scansione con sorgente ad emissione di campo (FE-SEM), ha rivelato che la matrice dei depositi è principalmente costituita da calcite, con un basso contenuto di quarzo e tracce di minerali argillosi, mostrando diverse evidenze biologiche (cluster di cellule, spore, filamenti organici, minerali secondari precipitati, incisioni) che rafforzano l'ipotesi di un diretto coinvolgimento dei microrganismi nello sviluppo delle vermicolazioni.

Le grotte, habitat naturali per estremofili

Le grotte rappresentano ecosistemi impervi ed ostili per le severe condizioni abiotiche (oscurità, umidità relativa elevata, scarsa disponibilità di risorse trofiche…), sfavorevoli allo sviluppo della vita. Tuttavia, questi spettacolari paesaggi sotterranei costituiscono interessanti nicchie ecologiche per microrganismi estremofili, altamente specializzati e perfettamente adattati a questo ambiente così singolare. Un esempio sono le specie microbiche ipogee metabolicamente adattate ad uno stile di vita chemolitoautotrofo, le

quali, in un sistema oligotrofico come quello sotterraneo, sono in grado di ottenere energia attraverso la chemiosintesi utilizzando elementi e composti inorganici (come metalli, zolfo elementare, metano…), caratterizzanti le rocce, le falde acquifere o l'atmosfera sotterranea (Lee et al., 2012).
Numerosi studi geo-microbiologici su matrici di diversa natura provenienti da cavità sotterranee mostrano come le straordinarie forme di vita che le popolano potrebbero contribuire anche alla formazione della grotta stessa, sia con processi distruttivi che costruttivi, partecipando attivamente ai processi che originano le diverse concrezioni di grotta (speleotemi), spesso difficilmente attribuibili ai soli fattori puramente chimico-fisici. Inoltre, le più moderne tecniche di biologia molecolare hanno mostrato una sorprendente presenza di organismi ancora non noti alla scienza, dando un enorme contributo alla comprensione dell'origine e sviluppo della vita sulla Terra e su altri pianeti, nonché al campo della biotecnologia.

Che cosa sono le vermicolazioni?
Osservate e documentate in cavità naturali ed artificiali di tutto il mondo, su varie tipologie di substrato (carbonatico, evaporitico, vulcanico…), le vermicolazioni sono depositi sottili e irregolari di particelle incoerenti (< 10 μm). Presentano svariate morfologie, dalle maculate alle dendritiche, da quelle "a pelle di leopardo" a quelle "a geroglifici" (fig. 1; Addesso, 2019b), con colori che vanno dal grigio chiaro al marroncino, fino ad arrivare a colorazioni molto scure. (Parenzan, 1961-1965; Hill, Forti, 1997). Esistono numerose teorie sulla loro origine, basate sulla semplice osservazione del fenomeno, senza evidenze sperimentali che permettano di dimostrarle. C'è chi propende per un'origine chimica, dovuta a decalcificazione della roccia per acque percolanti o di condensazione, e chi invece sostiene l'origine fisica, secondo cui gli aggregati si formano per neutralizzazione di cariche elettriche superficiali delle particelle o per disseccamento/inumidimento di depositi. E poi, c'è chi sostiene l'origine biologica, dovuta ad attività microbica con processi di dissoluzione della roccia, precipitazione di minerali secondari o arricchimento di materia organica. Attualmente, gli studi si stanno concentrando su un approccio interdisciplinare (Bini et al., 1978), data l'evidenza, da recenti studi, della coesistenza di diversi processi sia biologici che chimico-fisici coinvolti nella loro formazione.

Le vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta
Le Grotte di Pertosa-Auletta si trovano nella zona nord-orientale del Massiccio carbonatico degli Alburni (Salerno,

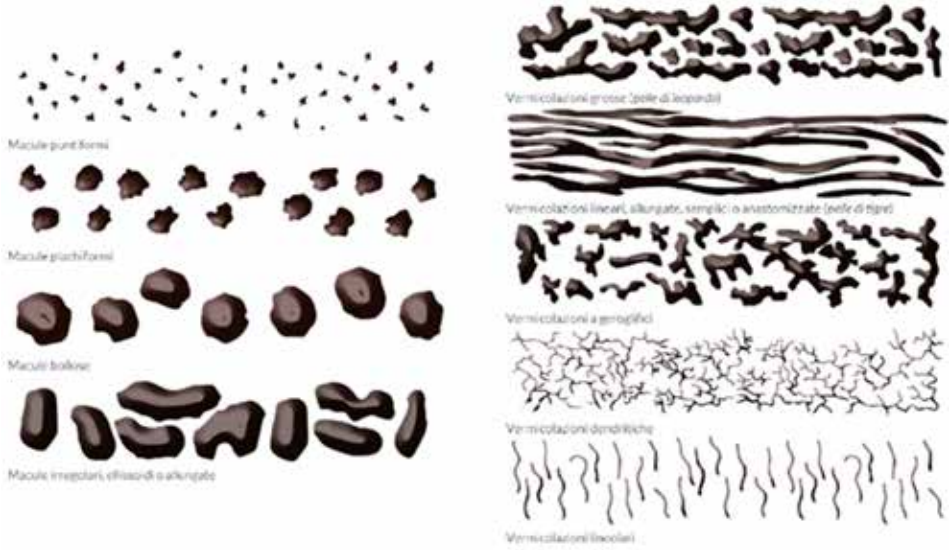


Figura 1 – Morfologie di vermicolazioni (modificato da Parenzan 1961-1965; Addesso, 2019b)

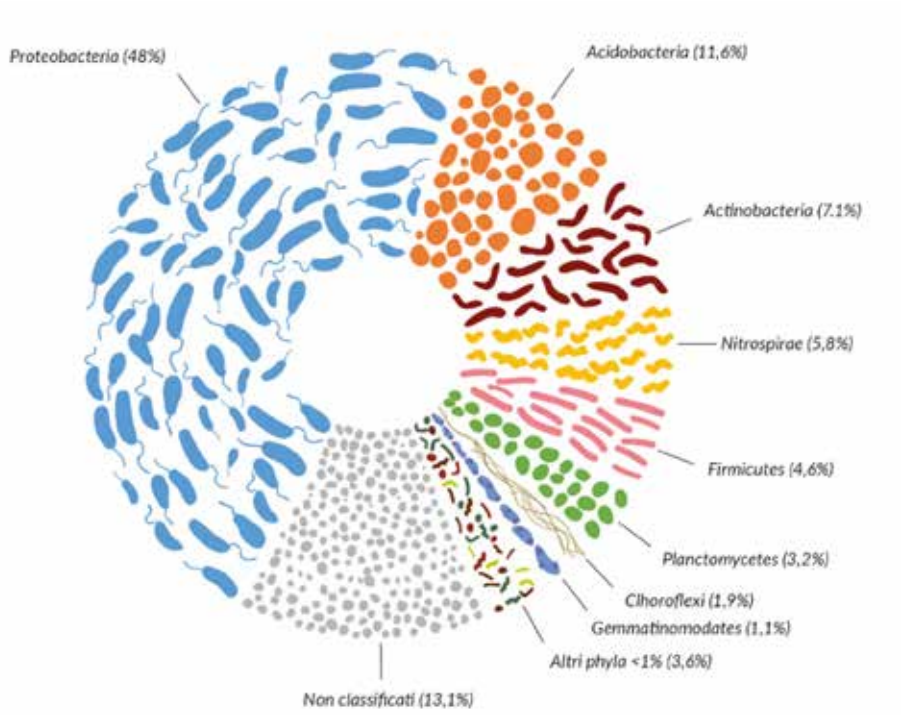


Figura 2 – Phyla rilevati nelle vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta (Addesso, 2019b)

Campania). Le vermicolazioni sono abbondanti in tutti i rami della grotta, che si estende per circa 3 km. Applicando le moderne tecnologie di *Next-Generation Sequencing* (NGS) è emerso che esse brulicano di vita (fig. 2), rivelando una biodiversità comparabile a quella osservata in diversi studi di matrici provenienti da ambienti di grotta (Addesso et al., 2020).

Un copioso gruppo di microrganismi è quello appartenente al phylum dei Proteobacteria, comunemente ritrovato in grotta. Vi è, inoltre, una considerevole presenza di Acidobacteria, Actinobacteria, Nitrospirae, Firmicutes, Planctomycetes, Chloroflexi, Gemmatinomodates, nonché la presenza di numerosi altri gruppi meno rappresentati, tra cui anche gli Archaea (0,1%), ma non meno importanti da

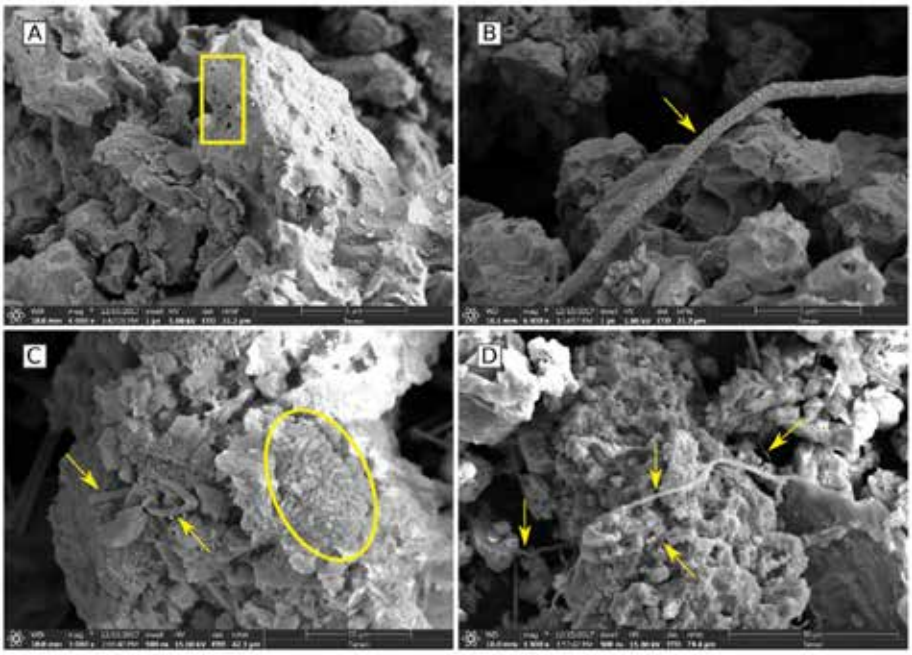


Figura 3 – Immagini al FE-SEM di vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta che mostrano tracce di colonizzazione microbica ed attività biologica. (A) Incisioni (box), (B, C, D) filamenti (frecce) e (C) cluster di cellule batteriche (ellisse).

un punto di vista ecologico, per il ruolo che svolgono nei cicli biogeochimici degli elementi. Inoltre, da questi studi è emerso che una buona percentuale di DNA (13.1%) non risulta comparabile con le sequenze nucleotidiche disponibili nella banca dati considerata nell'analisi (RDP), a dimostrazione del fatto che la biodiversità microbica di questi ambienti è ancora poco esplorata (Addesso et al., 2020). Evidenze di attività biologica (fig. 3) sono state rilevate attraverso la microscopia elettronica a scansione con sorgente ad emissione di campo (FE-SEM), che ha permesso un'analisi più dettagliata delle microstrutture superficiali del campione rispetto al normale SEM.
Le immagini ad altissima risoluzione ottenute hanno confermando il ruolo attivo dei microrganismi nella formazione dei depositi vermicolari. La quasi totalità della matrice è composta da calcite, con un minor contenuto di quarzo e tracce di minerali argillosi, mettendo in discussione la comune definizione delle vermicolazioni, chiamate da sempre anche "argillo-limose" (Addesso et al., 2019a).

Ringraziamenti
Si ringraziano la Fondazione MIdA, in particolare il Dott. Francescantonio D'Orilia e la Prof.ssa Mariana Amato, la Prof.ssa Daniela Baldantoni del Dipartimento di Chimica e Biologia "Adolfo Zambelli" dell'Università degli Studi di Salerno, il gruppo di Microbiologia Ambientale e Patrimonio Culturale del centro di ricerca IRNAS di Siviglia (Spagna), il Prof. Jo De Waele and Ilenia M. D'Angeli del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Bologna Alma Mater per il notevole contributo dato a questo studio.

Riferimenti bibliografici

Addesso R., Gonzalez-Pimentel J.L., D'Angeli I.M., De Waele J., Saiz-Jimenez C., Jurado V., Miller A.Z., Cubero B., Vigliotta G., Baldantoni D. (2020), "Microbial community characterizing vermiculations from karst caves and its role in their formation." *Microbial Ecology*, 81(4): 884-896.

Addesso R., Bellino A., D'Angeli I.M., De Waele J., Miller A.Z., Carbone C., Baldantoni D. (2019a), "Vermiculations from karst caves: The case of Pertosa-Auletta system (Italy)", *Catena*, 182: 104178.

Addesso R. (2019b), "Vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta. Un brulicare di vita microbica estrema." Collana MIdA A Agricoltura e Ambiente. Pertosa.

Bellucci F., Giulivo I., Pelellà L., Santa A. (1995) – *Monti Alburni. Ricerche Speleologiche*, De Angelis Editore, Avellino.

Bini A., Cavalli Gori M., Gori S. (1978), "A critical review of hypotheses on the origin of vermiculations", *International Journal of Speleology*, 10: 11-33

Hill C.A., Forti P. (1997), *Cave Minerals of the World.* National Speleological Society - Second Edition, Huntsville

Lee N.M., Meisinger D.B., Aubrecht R., Kovacik L., Saiz-Jimenez C., Baskar S., Baskar R., Liebl W., Porter M., Engel A. S. (2012), "Caves and karst environments.", in Bell E.M. (a cura di), *Life at Extremes: Environments, Organisms and Strategies for Survival*, CAB International, Wallingford, 320–344.

Parenzan P. (1961), "Sulle formazioni argillo-limose dette vermicolari", *Atti Symposium Internazionale di Speleologia sui "Riempimenti naturali di grotte", Memoria di Rassegna Speleologica Italiana*, 5(2): 120-125

Parenzan P. (1965) – "Le formazioni vermicolari della grotta di Sant'Angelo di Statte (Taranto)", Atti IX Congresso Nazionale di Speleologia*, Memoria di Rassegna Speleologica Italiana*, 7(2): 101-104

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Microbial ecology across an oxic-anoxic interface in a sulphidic Blue Hole

Annalisa Azzola ([a]), Carlo Nike Bianchi ([a]), Giovanna Bianconi ([b]), Francesco Canganella ([b]), Lapo Doni ([a]), Monica Montefalcone ([a]), Carla Morri ([a]), Caterina Olivieri ([a]), Aurora Peirano ([a]), Elisa Taviani ([a]), Luigi Vezzulli ([a])

([a]) DiSTAV (Department of Earth, Environment and Life Sciences), University of Genoa, Genoa, Italy, *annalisa.azzola@edu.unige.it*
([b]) Department of Agrobiology and Agrochemistry, University of Tuscia, Viterbo, Italy

Parole chiave: grotto marina; gradiente ambientale; ecologia microbica; Maldive
Keywords: Marine cave, environmental gradients, microbial ecology, Maldives

Abstract
The microbial ecology of a Maldivian Blue Hole is here characterized for the first time. The microbial component was collected along a depth gradient (0-80 m) by sampling water and bacterial mats. Four zones with different microbial communities were identified. A strong metabolic response was observed along the entire water column. The oxic-anoxic interface exhibited the highest microbial diversity and metabolic activity.

Riassunto
Viene caratterizzata per la prima volta l'ecologia microbica di un Blue Hole delle Maldive. La componente microbica è stata campionata lungo un gradiente di profondità (0-80 m) attraverso la raccolta di acqua e di patine batteriche. Sono state identificate quattro zone caratterizzate da diverse comunità microbiche. Una forte risposta metabolica è stata osservata lungo tutta la colonna d'acqua. Nell'interfaccia ossica-anossica sono state registrate le più elevate diversità microbica e attività metabolica.

Introduction

Blue holes are subsurface voids that develop several meters underwater in carbonate banks and islands (Mylroie et al., 1995). Blue holes may contain marine, fresh, or mixed-chemistry waters, influenced by tides and/or bottom water sources. Due to the limited water exchange within these systems, chemical and physical gradients are often stable. Some blue holes are characterized by extreme conditions, such as anoxia and high concentrations of hydrogen sulphide (Canganella et al., 2004, 2007; He et al., 2020).

To date, the Faanu Mudugau Blue

Hole in the Maldives (3°55.507'N, 72°56.559'E) is the only one known in the Indian Ocean. It opens on a lagoon floor at 30 m depth, with an entrance of 70 m diameter, and descends to 85 m depth (fig. 1a). Along its vertical to overhanging walls, in some lateral recesses or ledges at 50 m depth, there are speleothems (i.e., stalactites and stalagmites), as proof of the karstic origin of the cave (Colantoni et al., 2003).

In the Faanu Mudugau Blue Hole, the physicochemical composition of the water shows significant variation along the depth gradient. A transition zone (chemocline) occurs at about 50 m depth, where temperature, salinity, pH and E_h dramatically decrease. Below 50 m depth, oxygen (O_2) concentration collapses, while both carbon dioxide (CO_2) and hydrogen sulphide (H_2S) significantly increase (Colantoni et al., 2003).

In this paper we provide a first characterization of the microbial ecology of the Faanu Mudugau Blue Hole along the water column and across the oxic-anoxic interface that separates a shallow layer of normal marine water from a deep sulphide-rich layer.

Material and Methods

The microbial component of the blue hole was collected by sampling water every 10 m from the surface down to 80 m depth and by scraping microbial mats from the rocky walls at 50 m depth.

Water samples were inoculated into the AN MicroPlate and GEN III MicroPlate of the BIOLOG system to analyse the metabolic response of both anaerobic and aerobic microbial communities (respectively) along the water column. According to the biochemical properties of carbon sources, the substrates in both the microplates were assigned to five categories, including: i) amino acids; ii) carbohydrates; iii) carboxylic acids, esters, and fatty acids; iv) hexose acids; and v) polyols. Unique assays were present in both microplates, such as the antibiotic resistance in GEN III MicroPlate and the use of nucleotides as carbon source in AN MicroPlate.

Water samples were then treated appropriately for investigation with Scanning Electron Microscope (SEM) and Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE).

Results on metabolic activity (in term of Optical Density: OD) obtained by the BIOLOG system were organized in a data matrix depth × (AErobic/ANaerobic × substrates). Metabolic diversity was measured using the Shannon Index (H', with natural logarithm). The data matrix was submitted to Correspondence Analysis (CA) to explore the microbial phenotypic fingerprints along the depth gradient.

The microbial biodiversity was investigated in water samples by DGGE, whereas the molecular microbial community structure was based on 16S rDNA gene sequences of excised bands from DGGE.

In addition, 16S rDNA PCR amplicon library was generated from genomic DNA extracted from bacterial mat samples. The library obtained was sequenced using an Ion Torrent (PGM) Platform (Thermo Fisher Scientific, MA). Raw reads were then imported into the "Quantitative Insights into Microbial Ecology (QIIME 2)" software (v. 2020-11) for dereplication and clustering into operational taxonomic units (OTUs). OTUs were picked with De novo approach with a default identity of 99%. Taxonomy assignment of representative sequences was done against the Silva database release 138 trained with amplification primers to target the V4 region of the 16S rRNA gene.

Results and Discussion

A strong microbial metabolic response is observed along the entire water column of the Faanu Mudugau Blue Hole. The results of BIOLOG system analyses for GEN III MicroPlate indicate that the utilization of all five types of carbon sources by aerobic microbes exhibit an increasing trend in the oxic-layer, reaching the maximum values at 50 m depth. Conversely, the results from AN MicroPlate analyses indicate that the utilization of all carbon sources by anaerobic bacteria is virtually absent in the firsts 40 meters, shows the maximum values at 50 m depth and then decreases in the anoxic-layer. This implies that the aerobic metabolism occurs exclusively from the surface down to 50 m depth, while anaerobic metabolism starts at 50 m depth and remains widely expressed down to the bottom of the cavity. Both metabolisms show their peaks at 50 m depth (fig. 1b), suggesting that the oxic-anoxic interface represents a highly productive site. Overall, anaerobic metabolic activity along the whole water column is higher than the aerobic one (0.09 OD vs 0.06 OD, respectively). The same pattern is exhibited by the metabolic diversity, which is higher in the anoxic layer and peaks at 50 m depth (H'_{50m}=4.6).

Only the first axis of the CA is significant ($p<0.05$; Lebart's test): all the points of the Faanu Mudugau Blue Hole phenotypic fingerprints are ordered horizontally according to the depth gradient (fig. 1c). Four depth-related zones with different communities can be recognized. Between 0 and 20 m depth, outside the blue hole, there is a complex microbial community characterized mostly by Gamma-Proteobacteria (such as *Thioalkalivibrio* and *Thioploca*) and some Delta-Proteobacteria. Between 30 and 40 m depth, in the oxic-layer of the blue hole, the microbial community is mostly characterized by Alpha-Proteobacteria (*Rhodovibrio*-related and methanotrophs). In the ox-

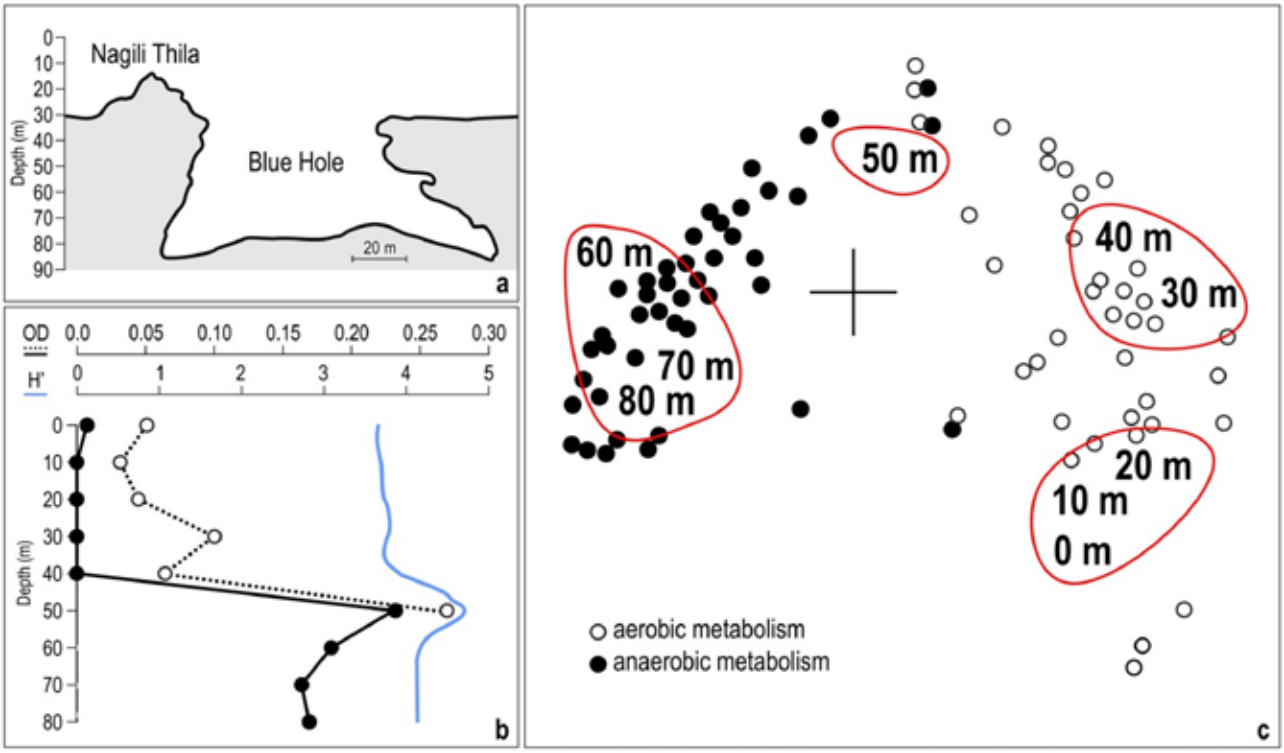


Figure 1 – a) The Blue Hole of Faanu Mudugau (section); b) Depth distribution of both aerobic and anaerobic microbial metabolic response (OD: optical density) and Shannon diversity (H'); c) Multivariate plot from Correspondence Analysis of phenotypic fingerprints, with the four depth-related microbial communities

ic-anoxic interface at 50 m, a peculiar community of both aerobic and anaerobic (obligate or facultative) species is identified: in the water, the most abundant bacteria are Delta-Proteobacteria and sulphate-reducing bacteria (such as Desulfobacteriaceae, *Desulfonanticus*, *Synteophus*), followed by Bacteroidetes; on the walls, the community is composed by Proteobacteria (especially alpha- and gamma-proteobacteria: 45%), Desulfobacterota (7%) and Bacteroidota (6%). In the anoxic water layer between 60 and 80 m depth, Alpha-Proteobacteria, Sphingomonadales and Cyanobacteria are dominant (see Figure 3 in Canganella et al., 2007).

Concluding remarks

The oxic-anoxic interface of the Faanu Mudugau Blue Hole represents a unique environment where a peculiar microbial community thrives, generating high metabolic activity and diversity. This result is consistent with the observations of He et al. (2020) which characterized the microbial communities along the water column of the Sansha Blue Hole (South China Sea), stating that the oxygen gradient defined ecologically specialized microbial communities especially at the oxic-anoxic interface.

Blue holes can be seen as natural laboratories that allow for the ecological study of extreme environments. Further investigations on the Faanu Mudugau Blue Hole are needed to better understand the structure and functioning of this peculiar ecosystem.

References

Canganella F., Bianconi G., Kato C., González J. (2007), "Microbial ecology of submerged marine caves and holes characterized by high levels of hydrogen sulphide", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 6: 61–70.

Canganella F., Bianconi G., Maugeri T. (2004), "A multiphasic approach to investigate the microbial ecology of a Blue Hole in the Indian Ocean". In: Extremophiles Meeting, 19-23 Sept 2004, Cambridge USA, p. 83.

Colantoni P., Baldelli G., Bianchi C.N., Capaccioni B., Morri C., Sandrini M., Tassi F. (2003), "A cave flooded by marine water with hydrogen sulphide highlights the recent evolution of the Maldives (Indian Ocean): preliminary notes", *Le Grotte d'Italia*, 4: 29-37.

He P., Xie L., Zhang X., Li J., Lin X., Pu X., Yuan C., Tian Z., Li J. (2020), "Microbial diversity and metabolic potential in the stratified Sansha Yongle Blue Hole in the South China Sea", *Scientific Reports*, 10 (1): 1-17.

Mylroie J.E., Carew J.L., Moore A.I. (1995), "Blue holes: definition and genesis". *Carbonates and Evaporites*, 10 (2): 225-233.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La microbiologia dei *moonmilk* della Grotta Nera (Parco della Majella, Abruzzo)

Daniele Ghezzi ([a]), Lisa Foschi ([a]), Deborah Arcangela Lombardi ([a]), Ana Zelia Miller ([b]), Jo De Waele ([c]), Martina Cappelletti ([a])

([a]) FABIT, Università degli studi di Bologna, *daniele.ghezzi11@gmail.com*; lisa.*foschi@studio.unibo.it; deborah.lombardi@studio.unibo.it; martina.cappelletti2@unibo.it*
([b]) Universidade de Evora, *anamiller@uevora.pt*
([c]) BiGeA, Università degli studi di Bologna, *jo.dewaele@unibo.it*

Parole chiave: latte di monte; Majella; diversità microbica; antimicrobici
Keywords: moonmilk; Majella; microbial diversity; antimicrobials

Riassunto
La Grotta Nera (Parco Nazionale della Majella) è una delle grotte più famose e peculiari d'Italia per la presenza di imponenti speleotemi di *moonmilk* (latte di monte). Questa grotta rappresenta un modello perfetto per studiare la complessità delle interazioni tra geochimica e microbiologia coinvolte nei processi di biomineralizzazione della calcite e per fornire collegamenti tra la tassonomia microbica, la fisiologia e le strutture delle comunità microbiche coinvolte nella formazione di questi speleotemi unici. Campioni di grotta sono stati raccolti da tre diverse nicchie degli speleotemi (denominati apicale, core e laterale) insieme al substrato roccioso e alle pozze d'acqua situati vicino a ciascuno speleotema. L'affiliazione tassonomica e filogenetica di batteri e archea che abitano la grotta è stata determinata utilizzando un approccio di sequenziamento della regione ipervariabile V4-V5 del gene 16S rRNA. Le strutture delle comunità microbiche sono risultate significativamente simili all'interno di ciascuna nicchia indipendentemente dalla posizione dello speleotema nella grotta, indicando che la Grotta Nera è un sistema chiuso con condizioni ambientali simili dai luoghi vicini all'ingresso alle zone più profonde. Le nicchie del *moonmilk* apicale e centrale condividono un numero elevato di membri batterici ammonio-ossidanti appartenenti ai *phyla Acidobacteriota*, *Creanarchaeota*, *Nitrospirota*, *Methylomirabilota*. Invece, le comunità microbiche del *moonmilk* laterale sono risultate simili a quelle presenti nel substrato roccioso ed arricchite da *Nitrosococcales*. La frazione coltivabile microbica è stata sottoposta a screening per il loro potenziale metabolico, inclusa la produzione di antimicrobici. Quattro isolati batterici sono risultati capaci di produrre sostanze attive contro batteri patogeni e sono tassonomicamente affiliati ai generi *Crossiella*, *Lysobacter*, *Streptomyces* e *Inquilinus*. Questo lavoro fornisce le prime informazioni sulla struttura, diversità e potenziale metabolico dei microorganismi associati agli eccezionali *moonmilk* calcitici della Grotta Nera.

Lavoro

La Grotta Nera (Parco della Majella, Abruzzo) è una grotta caratterizzata dalla presenza di depositi cremosi bianco-avorio che rappresentano i più maestosi esempi di *moonmilk* calcitici finora scoperti in Italia (Cacchio et al., 2014). I campioni per questo studio sono stati raccolti da tre diverse strutture di *moonmilk* che differivano nella loro relativa vicinanza all'ingresso della grotta. Sono stati raccolti tre tipi di campioni da ciascuno speleotema corrispondente alla parte inferiore apicale, alla parte laterale esterna e alla parte interna (o core). Inoltre, sono stati raccolti anche il substrato roccioso vicino a ciascun *moonmilk* e le pozze d'acqua al di sotto degli stessi. Lo studio delle comunità microbiche che abitano la Grotta Nera è stato effettuato tramite sequenziamento MiSeq Illumina della regione V4-V5 del gene 16S rRNA a partire dal DNA totale estratto (Sauro et al., 2018; Ghezzi et al., 2021).

L'analisi RDA (*Redundancy analysis*, fig. 1) ha rivelato che sia la tipologia dei campioni (*moonmilk*, roccia, acqua) che la nicchia della grotta (apicale, laterale, core, roccia, acqua) correlano significativamente con la struttura delle comunità microbiche a livello di specie (p=0.037 e p=0.001 rispettivamente). Al contrario, non c'è correlazione significativa tra le comunità microbiche e le posizioni dei *moonmilk* nella grotta (esterno, intermedio, interno, p=0.967).

L'analisi della diversità e ricchezza microbica ha evidenziato un andamento comune basato sulle nicchie apicale > core > laterale > roccia > acqua caratterizzate da valori decrescenti (fig. 2). L'analisi di *Bray-Curtis* evidenzia il raggruppamento sulla base della nicchia della grotta. Inoltre, è evidente che i campioni rocciosi e laterali hanno caratteristiche simili nella composizione della comunità microbica poiché condividono lo stesso ramo di origine (fig. 3).

Le comunità microbiche all'interno di tutti i campioni raccolti dalla Grotta Nera sono dominate da batteri. Le uniche nicchie con un'abbondanza significativa di archea sono le parti apicali e centrali del *moonmilk*. In questi campioni, i membri di archea appartengono ai *phyla Crenarchaeota* e *Nanoarchaeota*, che rappresentano rispettivamen-

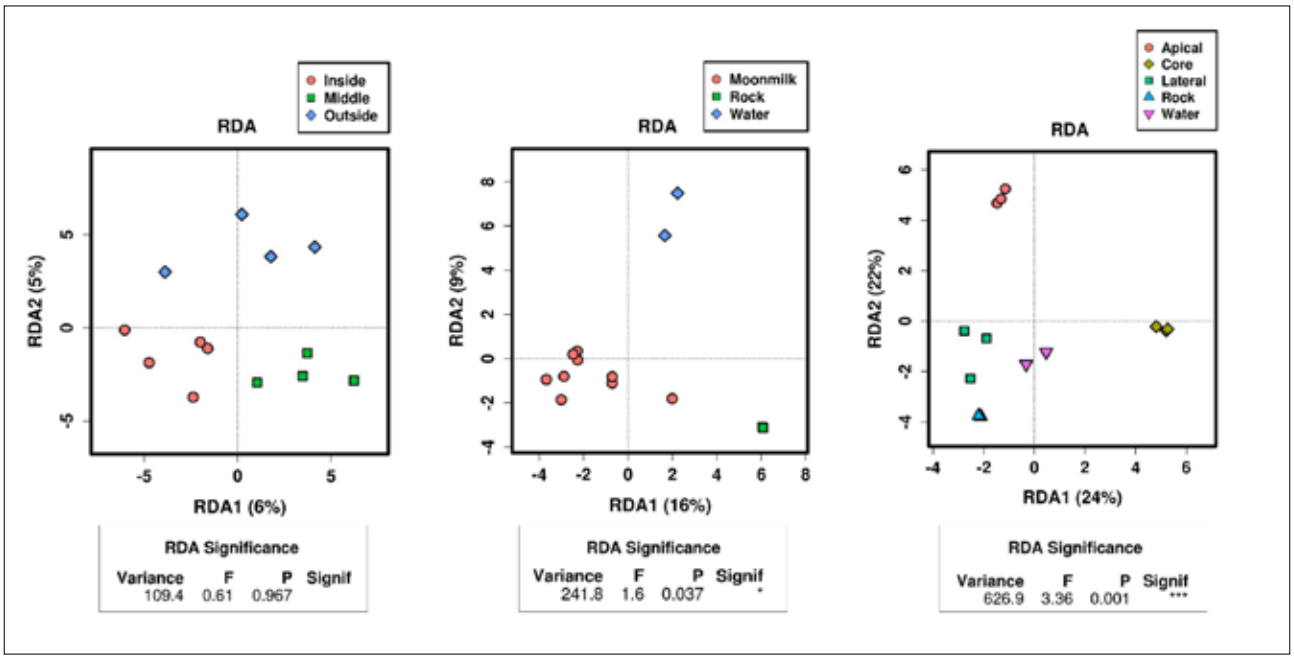


Figura 1 – Redundancy analysis dei campioni in base al sito di raccolta in grotta, alla tipologia dei campioni e alla nicchia.

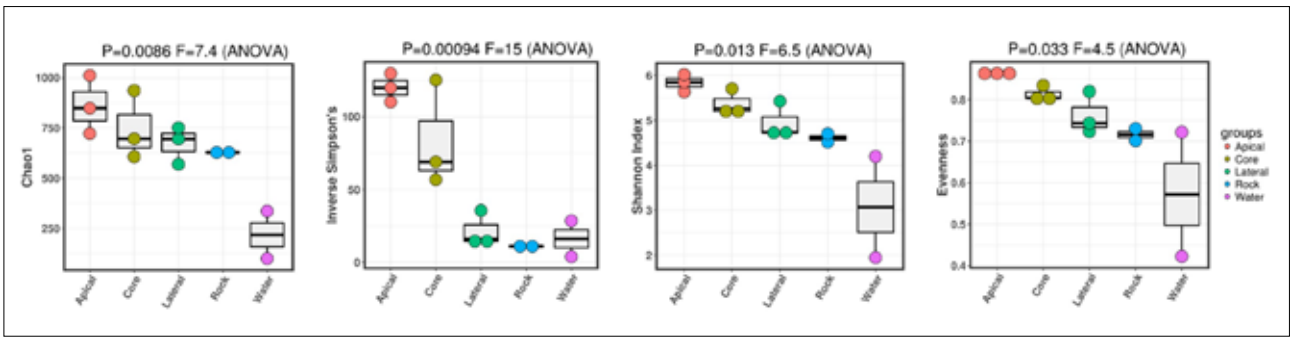


Figura 2 – Indici di alfa-diversità delle comunità microbiche che abitano i campioni prelevati dalla Grotta Nera raggruppati per nicchia.

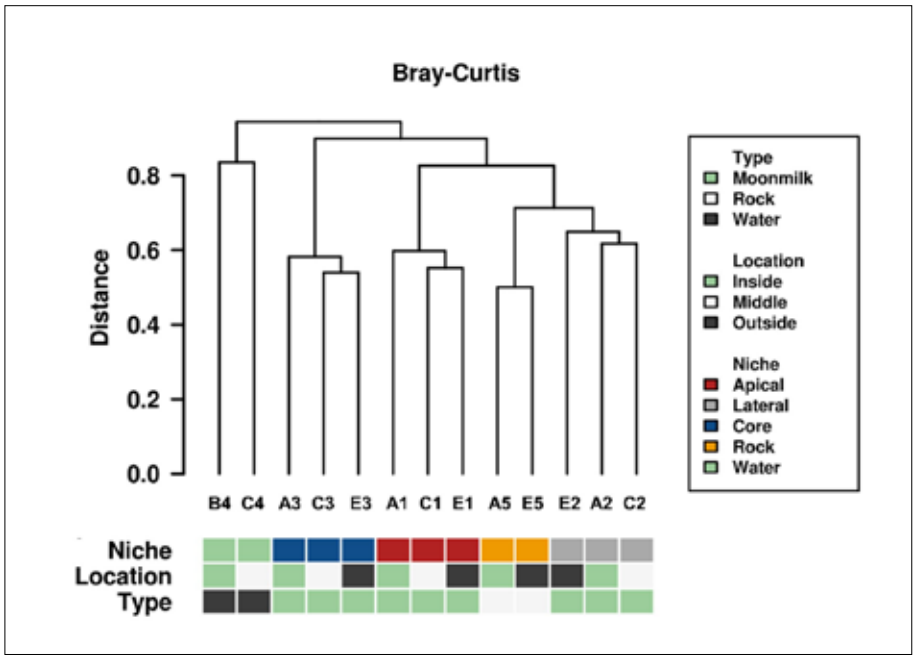


Figura 3 – Analisi della beta-diversità dei campioni di Grotta Nera (analisi Bray-Curtis).

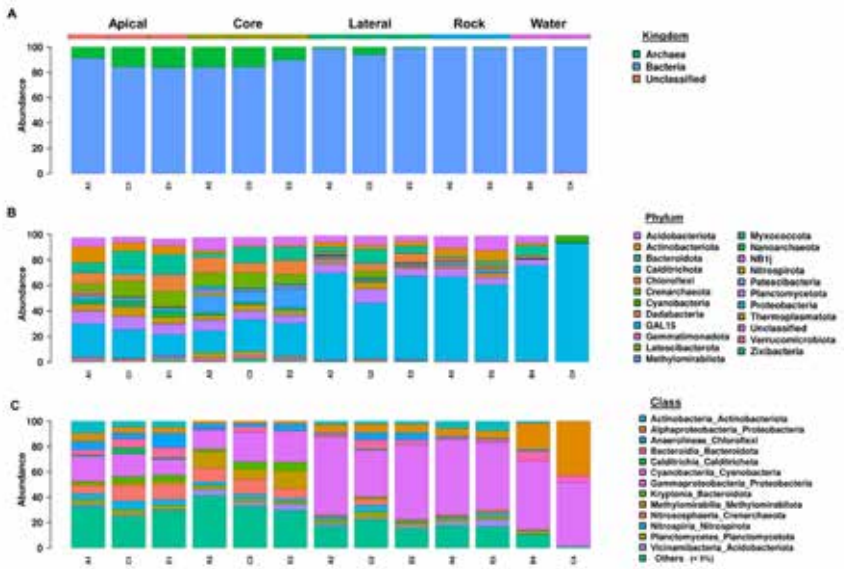


Figura 4 – Analisi tassonomica a livello di regno (A), phylum (B) e classe (C).

Bacterial Isolate	*Escherichia coli*	*Klebsiella pneumoniae*	*Pseudomonas aeruginosa*	*Staphylococcus aureus*
Crossiella cryophila CA198	+			+
Lysobacter sp. CA199	+			
Lysobacter sp. CA208				+
Inquilinus ginsengisoli CA228			+	
Streptomyces sp. CA273				+

Figura 5 – Isolati batterici da moonmilk in grado di produrre molecole antimicrobiche.

te il 9-15% e l'8-13% delle comunità microbiche nei campioni apicali e core (fig. 4). Al contrario, i *phyla* batterici nelle comunità centrali e apicali sono distribuiti uniformemente tra *Acidobacteriota*, *Bacteroidota*, *Chloroflexi*, *Nitrospirota*, *Planctomycetota*, *Proteobacteria*, ciascuno con un'abbondanza >3% (Fig. 4).

Oltre ai *phyla* comuni nelle nicchie apicale e core, i campioni apicali erano arricchiti da *Actinobacteriota*, per lo più appartenenti all'ordine indefinito 0319-7L14. Al contrario, i campioni del core sono caratterizzati da membri di *Methylomirabilota* (8-14%) che, nonostante siano ancora scarsamente caratterizzati, sono probabilmente coinvolti nell'ossidazione anaerobica del metano nitrito-dipendente (Versantvoort et al. 2018). Le comunità microbiche dei campioni laterali del latte di monte erano dominate dai membri della classe *Gammaproteobacteria* coinvolti nel ciclo dell'azoto, tra cui membri dell'ordine *Nitrosococcales*.

Abbiamo anche eseguito l'isolamento di batteri coltivabili dai campioni di *moonmilk* raccolti dalla Grotta Nera. Le procedure di coltura microbica sono state condotte utilizzando i due terreni R2A e ISP2 sia in presenza che in assenza di antibiotici e antimicotici al fine di inibire i microrganismi a crescita rapida. I 66 isolati ottenuti sono stati sottoposti a screening per la loro capacità di produrre enzimi e composti antimicrobici. Quattro isolati batterici sono risultati in grado di produrre molecole antimicrobiche inibenti la crescita di ceppi batterici patogeni appartenenti alle specie *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* (fig. 5). Il sequenziamento dell'intero gene 16S rRNA ha permesso di identificare questi isolati batterici come appartenenti ai generi *Crossiella*, *Lysobacter*, *Streptomyces* e *Inquilinus*. Nel loro insieme, queste analisi microbiologiche forniscono le prime indicazioni sulla composizione e il potenziale metabolico delle comunità microbiche che abitano gli speleotemi di *moonmilk* della Grotta Nera. Futuri studi molecolari e funzionali mirati ai microorganismi abbondanti nelle nicchie apicali, laterali e del core saranno utili per indagare il loro ruolo come produttori primari nella formazione di questo particolare speleotema.

Riferimenti bibliografici

Cacchio P., Ferrini G., Ercole C., Del Gallo M., Lepidi A. (2014), "Biogenicity

and characterization of moonmilk in the Grotta Nera (Majella National Park, Abruzzi, central Italy)". *Journal of Cave and Karst Studies*, 76(2): 88–103.

Ghezzi D., Sauro F., Columbu A., Carbone C., Hong P., Vergara F., De Waele J., Cappelletti M. (2021), "Transition from unclassified Ktedonobacterales to Actinobacteria during amorphous silica precipitation in a quartzite cave environment", *Scientific Reports*, 11: 3921.

Sauro, F., Cappelletti, M., Ghezzi, D., Columbu A., Hong P., Zowawi H.M., Carbone C., Piccini L., Vergara F., Zannoni D., De Waele J. (2018), "Microbial diversity and biosignatures of amorphous silica deposits in orthoquartzite caves", *Scientific Reports*, 8: 17569.

La melodia delle grotte
XXIII Congresso Speleo
Ormea 2022
La melodia delle grotte
Ormea 2022

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio di una comunità microbica nella grotta incontaminata di Yumugi River Cave in West Papua

Paolo Turrini ([a]), Marco Tescari ([a]), Daniela Visaggio ([a]), Mattia Pirolo ([a]), Gabriele Andrea Lugli ([b]), Marco Ventura ([b]), Emanuela Frangipani ([c]), Paolo Visca ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze, Università Roma Tre, Viale G. Marconi 446, 00146 Roma, Italia
([b]) Laboratorio di Probiogenomica, Dipartimento di Chimica, Scienze della Vita e Sostenibilità Ambientale, Università di Parma, Parco Area delle Scienze 11a, 43124 Parma, Italia
([c]) Dipartimento di Scienze Biomolecolari, Università di Urbino Carlo Bo, Urbino, Italia

Parole chiave: microbiologia; grotta tropicale
Keywords: microbes; tropical cave

In questo studio, sono state analizzate la composizione tassonomica e le proprietà metaboliche di una comunità microbica presente nella grotta di Yumugi river cave. Questa grotta si trova presso la valle di Baliem, una remota ed incontaminata regione nella catena montuosa centrale della Nuova Guinea Occidentale Indonesiana. Yumugi river cave si apre a 1.720 m sul livello del mare ed è una grotta calcarea percorsa dal fiume Yumugi che attraversa la grotta con una portata di circa 1,5 m^3/s ed emerge a livello dell'ingresso. Attualmente, Yumugi river cave rappresenta la grotta più lunga della Nuova Guinea Occidentale con uno sviluppo di circa 8 km (1).

Il campionamento è stato effettuato durante una spedizione speleologica organizzata da Acheloos Geo Exploring Team nel dicembre 2017 (1). Il campione è stato raccolto raschiando dalla parete della grotta circa 4 cm^2 di biofilm microbico, in una zona completamente buia della grotta a circa 100 m dall'ingresso (fig. 1). In questa zona, le comunità microbiche che vivono sulle pareti della grotta formano caratteristiche velature dorate o argentate quando illuminate con una lampada a led (2-3). Questi riflessi di luce sono causati dalla presenza di minuscole goccioline d'acqua, dovute all'aria satura di vapore acqueo che entra nella grotta e che condensa a contatto con la roccia più fredda.

Un'aliquota del campione è stata utilizzata per effettuare l'estrazione del DNA e analizzare la composizione tassonomica della comunità microbica. L'analisi metagenomica shotgun ha rivelato che il campione della grotta di Yumugi river cave è composto principalmente da *Bacteria* (97,2%), mentre solo una piccola frazione è stata assegnata ad *Archaea* (1,0%), *Eukarya* (0,6%) e virus (1,3%). L'analisi della

sequenza del gene 16S rRNA ha evidenziato che i phyla predominanti sono *Proteobacteria* (49,6%) e *Actinobacteria* (40,4%), mentre quelli meno diffusi sono *Acidobacteria* (1,8%), *Firmicutes* (1,7%), *Chloroflexi* (1,6%) e *Nitrospirae* (1,1%). Ciascuno di questi phyla presenta un'elevata diversità microbica in termini di numero di classi, ordini e famiglie (fig. 2).

Attraverso l'analisi metagenomica è stato possibile studiare i principali pathway metabolici della comunità microbica di Yumugi river cave. I dati metagenomici hanno evidenziato una prevalenza di batteri chemiorganotrofi, cioè batteri che degradano molecole organiche per ottenere energia, mentre risultano scarsamente rappresentati i batteri chemiolitoautotrofi, cioè quelli capaci di ossidare i composti inorganici per ottenere energia e di fissare il carbonio inorganico presente nella CO_2 per generare molecole organiche.

Per ottenere maggiori informazioni sulla comunità batterica di Yumugi river cave, un'aliquota del campione è stata seminata su due diversi terreni di col-

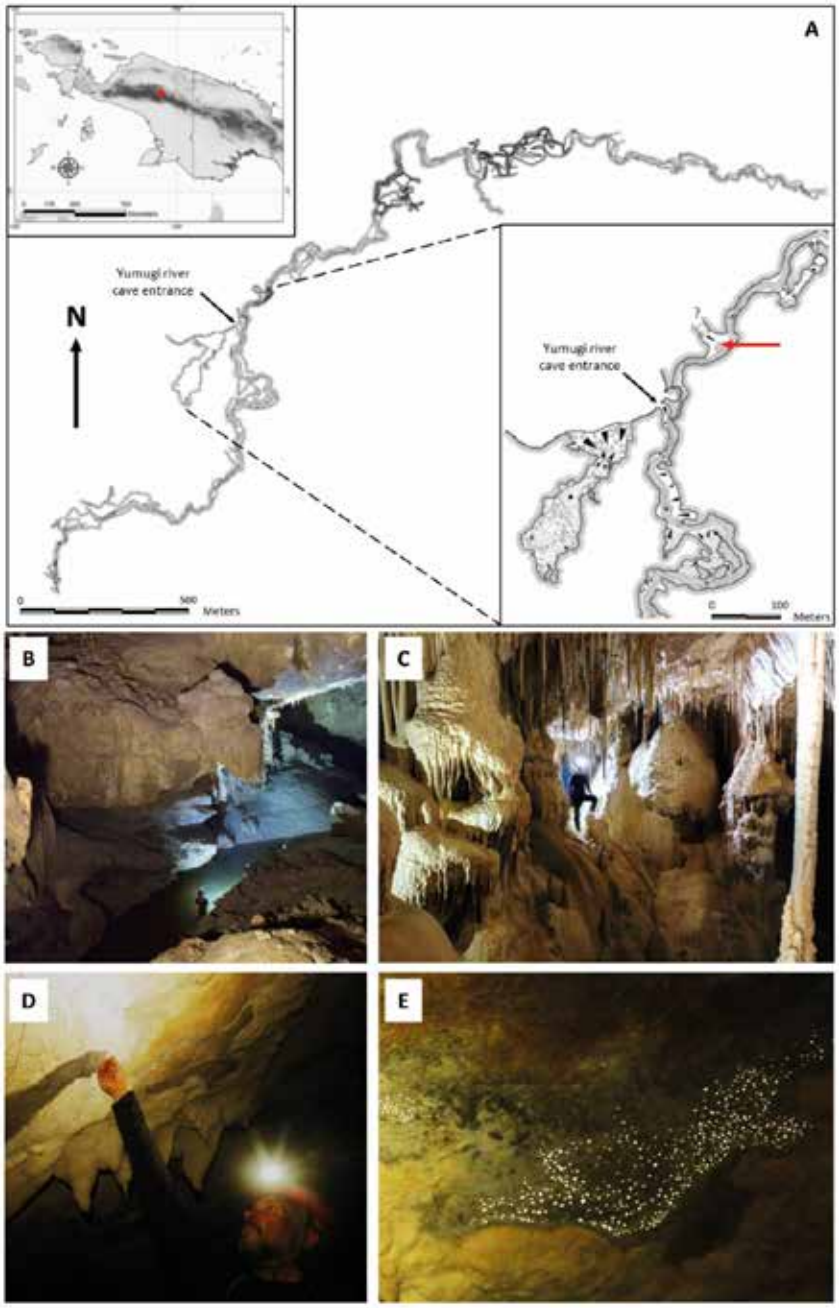


Figura 1 - Rilievo della grotta di Yumugi River Cave e sito di campionamento. A) Localizzazione e rilievo della grotta Yumugi River Cave. La freccia rossa indica il sito di campionamento. B) Il meandro attivo dove il fiume Yumugi scorre attraverso la grotta. C) Una galleria fossile ampiamente ornata da formazioni di carbonato di calcio come colate, stalattiti, stalagmiti e colonne. Vista generale D) e primo piano E) del sito di campionamento. Il rilievo della grotta di Yumugi River cave è stato effettuato da: Eavis A., Fogg P., Fogg T., Mabel M., Uaga A., Hewat R., White A., durante la spedizione del dicembre 1996, e da: Benassi A., Biondi T., Pasquini T., Pozzo R., Turrini P., Zampatti K., nel mese di dicembre Spedizione 2017. Le immagini sono state fornite dall'Archivio Acheloos Geo Exploring (BC, T. Biondi; D-E, K. Zampatti).

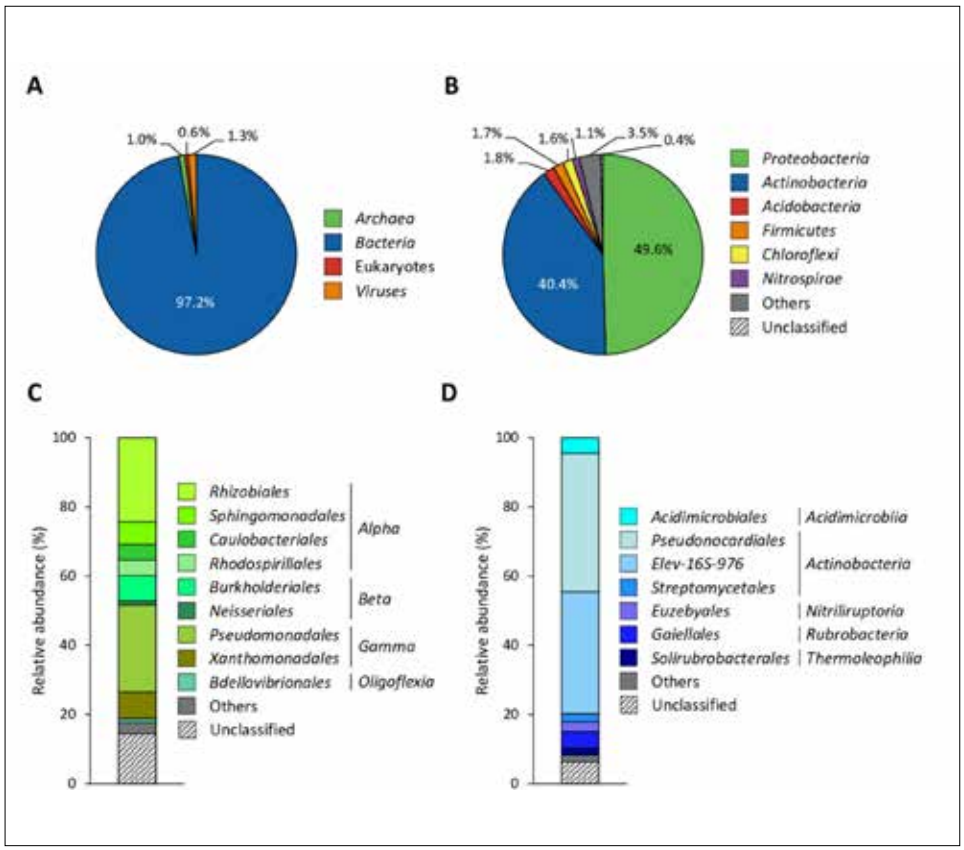


Figura 2 - Profili tassonomici della comunità microbica che riveste le pareti della grotta di Yumugi River Cave. A) composizione tassonomica a livello del dominio determinata mediante analisi metagenomica shotgun. B) Composizione tassonomica della comunità batterica a livello del phylum, come dedotto dall'analisi della sequenza del gene 16S rRNA. Composizione tassonomica a livello di classe e ordine dei Proteobacteria (C) e Actinobacteria (D), come determinato dal sequenziamento del gene 16S rRNA.

tura (R2A e TSA) al fine di isolare batteri in coltura. L'analisi della sequenza genica dell'rRNA 16S ha consentito l'identificazione di 14 isolati batterici: 12 appartenenti al phylum dei *Proteobacteria*, uno al phylum degli *Actinobacteria* e uno a quello dei *Firmicutes*. Sebbene i batteri isolati da Yumugi river cave siano solo 14, molti di questi mostrano una similitudine della sequenza del gene per il 16S rRNA ≤ 98,7% con la specie batterica più prossima. Questi batteri potrebbero rappresentare nuove specie in quanto il valore di 98.7% rappresenta il limite di identità tra le specie batteriche secondo gli attuali criteri tassonomici; al di sotto di tale valore, per attestare la specie microbica di appartenenza, occorre effettuare ulteriori indagini sull'intera sequenza genomica.

I batteri isolati in coltura sono stati testati per valutare la loro suscettibilità a 18 differenti agenti antimicrobici. Ciascun farmaco è stato addizionato alle colture batteriche alla concentrazione di 20 µg/ml. Dopo 4 giorni di incubazione a 22 °C, la resistenza agli antimicrobici è stata analizzata valutando la crescita batterica. La maggior parte degli isolati batterici sono risultati resistenti a tre o più classi di diversi antimicrobici (fino a 10 antimicrobici per YUM13 e YUM15). Il 55,4 % degli isolati è risultato resistente ai farmaci antimicrobici che hanno come target molecole della parete cellulare, mentre il 26,2 % degli isolati è resistente ad antimicrobici inibitori della sintesi proteica batterica. Solo 8,9% degli isolati sono risultati resistenti ai farmaci che inibiscono la sintesi dell'RNA o del DNA (fig. 3).

Infine, i batteri isolati da Yumugi river cave sono stati testati per la loro potenziale attività antimicrobica sui seguenti ceppi batterici patogeni: *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 ed *Escheri-*

chia coli ATCC 29213. Tra tutti i batteri testati, YUM26, YUM28 e YUM46, appartenenti al genere *Pseudomonas*, hanno mostrato attività antibatterica contro *B. subtilis*, mentre solo YUM28 ha inibito sia *B. subtilis* che *S. aureus*. Nessuno di questi ha avuto effetti su *P. aeruginosa* ed *E. coli* (fig. 4).

In conclusione, questo studio ha evidenziato che il campione di biofilm microbico di Yumugi river cave presenta una notevole diversità batterica, con prevalenza di phyla chemiorganotrofi inclusi *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes* e *Acidobacteria*. Questa enorme biodiversità lascia supporre che, in un ambiente oligotrofico come quello delle grotte, le comunità microbiche si organizzino in consorzi cooperativi e mutualistici, piuttosto che competere tra loro per il procacciamento delle fonti di nutrienti (4). La scarsità dei produttori primari chemiolitoautotrofi, suggerisce che questa comunità microbica non sia autosufficiente e che necessiti, per la propria sopravvivenza, di materiale organico proveniente dall'esterno della grotta (5).

Tramite isolamento dei batteri in coltura sono stati individuati ceppi che, da dati preliminari ottenuti con il 16S, sembrano essere potenziali nuove specie. Ciò potrebbe riflettere l'elevato endemismo presente nella comunità microbica di Yumugi river cave, presumibilmente dovuto all'isolamento geografico della Nuova Guinea occidentale e alla segregazione fisica del sito di campionamento.

I risultati dei test di suscettibilità antimicrobica in vitro hanno mostrato una frequente resistenza batterica a diverse classi di antimicrobici, dato inatteso dal momento che la comunità microbica analizzata si trova in una grotta situata in una remota ed incontaminata regione della Nuova Guinea, lontana da qualsiasi tipo di contaminazione di carattere antropico. Infine, lo screening dell'attività antimicrobica ha confermato la presenza di batteri produttori di antibiotici tra i ceppi isolati di Yumugi river cave.

I risultati di questo studio evidenziano che le grotte rappresentano ambienti dove poter investigare sia la presenza di nuove specie batteriche che le strategie metaboliche ed i meccanismi di adattamento agli ambienti di estrema oligotrofia e dove poter ricercare nuovi metaboliti efficaci in campo biotecnologico.

Riferimenti bibliografici

Benassi, A., Pasquini, T. (2018), "Papua 2017: Aouk Underground river", *Speleologia*, 79: 46–53.

Pasic, et al. (2009), "Diversity of microbial communities colonizing the walls of a Karstic cave in Slovenia", *FEMS Microbiol. Ecol.*, 71: 50–60.

Porca, E., et al. (2012), "Comparative analysis of yellow microbial communities growing on the walls of geographically distinct caves indicates a common core of microorganisms involved in their formation", *FEMS Microbiol. Ecol.*, 81: 255–266.

Barton, H.A., Jurado, V. (2007), "What's up down there? Microbial diversity in caves". *Microbe*, 2: 132–138.

Simon et al. (2007), "A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves", *Journal of Cave and Karst Studies*, 69: 279–284.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il micobiota di due grotte con diverso impatto antropico a confronto

Andrea Zanellati ([a]), Valeria Paola Prigione ([a]), Anna Poli ([a]), Giovanna Cristina Varese ([a]), Giuseppe Nicolosi ([b]), Elena Piano ([b]), Marco Isaia ([b])

([a]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, viale Mattioli, 25, 10125, Torino (Italia), *andrea.zanellati@unito.it*
([b]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, via Accademia Albertina 13, 10123, Torino (Italia), *marco.isaia@unito.it*

Parole chiave: funghi; grotte turistiche; bioindicatori
Keywords: fungi; show caves; bioindicators

Riassunto
È noto come la frequentazione umana può alterare l'equilibrio ecologico delle grotte, con forti ripercussioni ambientali sulle componenti biotiche e abiotiche. In questo lavoro abbiamo analizzato e confrontato il micobiota coltivabile rilevabile in campioni di sedimento raccolti in una grotta ad alta frequentazione turistica (Bossea) e in una vicina grotta naturale (Costacalda), con l'obiettivo principale di studiare gli impatti legati allo sfruttamento turistico sulle comunità fungine sotterranee. I risultati preliminari mostrano una comunità fungina più ricca e diversificata nella grotta turistica. Le analisi evidenziano inoltre una diminuzione dell'abbondanza e della diversità della comunità fungina sia a distanze crescenti dall'ingresso che dalle zone frequentate dai turisti. La maggiore proliferazione di specie fungine in Bossea e nelle zone a maggiore pressione antropica fa supporre un ruolo fondamentale dei visitatori nel veicolare substrati organici e microrganismi esogeni all'interno della grotta.

Introduzione

Negli ultimi anni si è sviluppato un crescente interesse verso le ricerche micologiche in ambiente ipogeo e, in particolare, diversi studi sono stati condotti con lo scopo di valutare l'impatto antropico sulle comunità microbiche all'interno delle grotte (Fernàndez-Cortès et al., 2011; Mammola et al., 2017; Vanderwolf et al., 2013). Il presente lavoro si inserisce all'interno di questo filone di ricerca e fa parte di un più ampio progetto nazionale finalizzato allo studio e alla mitigazione degli impatti ambientali legati allo sfruttamento turistico nelle grotte italiane. Gli scopi di questo lavoro riguardano: i) lo studio e la caratterizzazione quantita-

tiva e qualitativa tramite approccio culturomico del micobiota di campioni di sedimento raccolti in una grotta turistica e in una naturale e da una naturale recentemente scoperta utilizzata come sito di controllo; ii) l'identificazione di specie fungine endemiche e di potenziali nuove specie; iii) l'individuazione di potenziali effetti dovuti al disturbo antropico sulla diversità e sull'abbondanza fungina e in particolare la valutazione del contributo dei visitatori alla colonizzazione e alla proliferazione di microrganismi alloctoni.

Materiali e Metodi

La caratterizzazione del micobiota è stata effettuata su campioni di sedimento raccolti dalla Grotta di Bossea (Pi 108), la più antica grotta turistica italiana, con un afflusso di circa 16.000 visitatori all'anno (Mammola et al., 2017), e dalla Grotta di Costacalda (Pi 3613), non aperta al turismo e solo recentemente scoperta. Le due grotte, collocate a pochi chilometri di distanza, nel comune di Frabosa Soprana (CN, Italia), fanno parte di un comune sistema carsico sviluppato in un sottobacino dello spartiacque Corsaglia-Maudagna. Nella grotta di Bossea, i campioni sono stati raccolti in tre settori turistici a distanza progressiva dall'ingresso e in un settore chiuso ai turisti. All'interno di ciascun settore sono state individuate tre zone di campionamento, che rappresentano un gradiente di pressione antropica (HP = alta pressione, MP = media pressione; LP = bassa pressione), per un totale di 12 campioni. Nella grotta di Costacalda sono stati raccolti tre campioni a distanza progressiva dall'ingresso della grotta.

Ogni campione di sedimento è stato diluito in modo seriale e 1 mL della diluizione 1:50.000 è stata posta in piastre Petri (15 cm Ø) contenenti il terreno colturale *Potato Dextrose Agar* (*PDA*). Inoltre, i campioni di Bossea sono stati piastrati anche su terreno minimo *Synthetic Nutrient-poor Agar* (*SNA*), per riprodurre le condizioni trofiche dell'ambiente naturale e massimizzare la selezione della componente fungina endemica. Le piastre sono state incubate a tre temperature: 10 °C (temperatura rappresentativa delle due grotte) – per isolare funghi psicrofili; 24 °C – per isolare funghi mesofili; 37 °C – per isolare funghi termofili/patogeni. Per ogni condizione (campione, terreno e temperatura) sono state allestite cinque repliche. Le colonie fungine sviluppatesi sulle piastre sono state conteggiate, al fine di calcolare la carica (CFU per g di sedimento secco), ed isolate in coltura pura. Infine, gli isolati, preservati presso la collezione della *Mycotheca Universitatis Taurinensis* (Università di Torino, Italia), sono stati identificati al livello tassonomico più dettagliato possibile unendo osservazioni morfologiche e analisi molecolari, quali amplificazione PCR e sequenziamento di specifiche regioni geniche.

Risultati e Discussione

Nel complesso è stato rinvenuto un totale di 250 isolati fungini, riconducibili a più di 50 taxa (tab. 1). I funghi più comuni sono saprotrofi del suolo appartenenti al phylum Ascomycota, mentre Basidiomycota e Mucoromycota si sono rivelati più rari. *Cladosporium* è risultato il genere più abbondante in termini quantitativi (CFU per g di sedimento secco) mentre *Penicillium* è il più ricco in termini di numero di specie (10). In accordo con uno studio analogo condotto a Bossea (Mammola et al., 2017), oltre a *Cladosporium* e *Penicillium*, risultano particolarmente frequenti *Aspergillus* e *Alternaria*. Una così ampia diffusione in grotta di questi generi fungini è probabilmente dovuta alla presenza di materiali organici e all'elevata adattabilità e capacità di

Taxa	n° Ceppi	Grotta	Pressione antropica	Terreno di isolamento	Temperatura di isolamento (°C)
Alternaria alternata	9	B	HP - MP - LP	P	10 – 24
Alternaria sp.	2	B	HP - LP	P	10 – 24
Apiotrichum dulcitum	1	B	MP	P	10
Arthroderma sp.	2	B	MP	P – S	10
Aspergillus fumigatus	1	B	LP	P	37
Aspergillus terreus	9	B	HP - MP - LP	P	37
Aspergillus tubingensis	1	B	HP	P	24
Aureobasidium pullulans	6	B – C	HP - LP	P	10 – 24
Cephalotrichum sp.	2	B	HP	P – S	10
Cladosporium allicinum	3	B	HP - LP	P – S	10
Cladosporium cladosporioides	14	B – C	HP - MP - LP	P	10 – 24
Cladosporium halotolerans	8	B	HP - MP - LP	P	10 – 24
Cladosporium perangustum	6	B	HP - MP - LP	P – S	10 – 24
Cladosporium pseudocladosporioides	30	B – C	HP - MP - LP	P – S	10 – 24
Cladosporium sp.	21	B	HP - MP - LP	P – S	10 – 24
Coprinellus micaceus	1	B	MP	P	24
Curvularia sp.	1	B	LP	P	24
Epicoccum sp.	7	B	HP - MP - LP	P – S	10 – 24
Fusarium sp.	1	B	LP	P	10
Bionectriaceae spp.	1	B	HP	P	10
Lecanicillium coprophilum	1	B	HP	S	10
Microdochium nivale	1	B	LP	P	10
Moesziomyces bullatus	1	B	HP	P	24
Myrmecridium sp.	1	C	MP	P	10
Neobulgaria sp.	1	B	HP	S	10
Paracremonium sp.	1	B	MP	S	10
Paracremonium variiforme	1	B	HP	S	10
Penicillium antarcticum	10	B	HP - MP - LP	P	10 – 24
Penicillium brevicompactum	1	B	HP	P	24
Penicillium chrysogenum	2	B	MP - LP	P	24
Penicillium concentricum	1	C	MP	P	24
Penicillium expansum	10	B	HP - MP	P – S	10 – 24
Penicillium glabrum	5	B	HP - MP - LP	P	10 – 24
Penicillium glandicola	2	C	MP - LP	P	10
Penicillium griseofulvum	9	B	HP - MP - LP	P	24
Penicillium rubens	4	B	HP - LP	P	10 – 24
Penicillium steckii	1	B	HP	P	24
Periconia pseudobyssoides	1	B	HP	P	24
Phaeosphaeriaceae spp.	1	B	HP	P	24
Phaeosphaeria pontiformis	1	B	MP	P	24
Pichia manshurica	1	B	MP	P	37
Podospora sp.	1	B	HP	S	10
Psathyrella candolleana	1	B	HP	P	24
Pseudogymnoascus pannorum	4	B - C	HP - MP - LP	P – S	10

Pseudogymnoascus sp.	4	B - C	MP - LP	P	10
Rhodosporidiobolus odoratus	1	C	MP	P	10
Samsoniella hepiali	5	C	MP	P	10 – 24
Sarocladium sp.	1	C	LP	P	24
Scopuloides rimosa	1	C	LP	P	24
Sporothrix inflata	1	B	MP	P	10
Stephanonectria keithii	1	B	HP	P	10
Tetracladium sp.	2	B	HP - LP	P – S	10
Volutella ciliata	1	B	HP	S	10

Tabella 1 - Lista dei taxa isolati nella grotta di Bossea (B) e nella grotta di Costacalda (C). Per ciascun taxon è indicato il numero di ceppi isolati, la categoria di pressione antropica (HP, MP, LP), il terreno (PDA = P; SNA = S) e la temperatura d'isolamento.

sporulazione di questi organismi.
Altri ceppi, al momento identificati a livello di genere o famiglia (es. *Arthroderma* sp., Myrmecridium sp. o Phaeosphaeriaceae spp.), meritano attenzione perché potrebbero essere rappresentativi di specie criptiche, poco studiate, o mai descritte in precedenza.
I sedimenti della grotta turistica di Bossea presentano una comunità fungina più ricca (224 ceppi) e diversificata (78 taxa) rispetto a Costacalda (26 ceppi e 19 taxa). Questa differenza è presumibilmente dovuta alla presenza di visitatori che veicolano propaguli o materiale organico all'interno. Da notare come ceppi di *Aureobasidium pullulans, Cladosporium cladosporioides, C. pseudocladosporioides, Pseudogymnoascus pannorum* e una specie non determinata di *Pseudogymnoascus* siano stati rinvenuti in entrambe le grotte, indicando la possibilità che si tratti di componenti endemiche del micobiota sotterraneo, come confermato dalla loro presenza nei settori a minore pressione antropica (LP).
I dati relativi all'influenza delle condizioni colturali evidenziano come i funghi psicrofili/psicrotolleranti, isolati a 10 °C (fig. 2A), siano più abbondan-

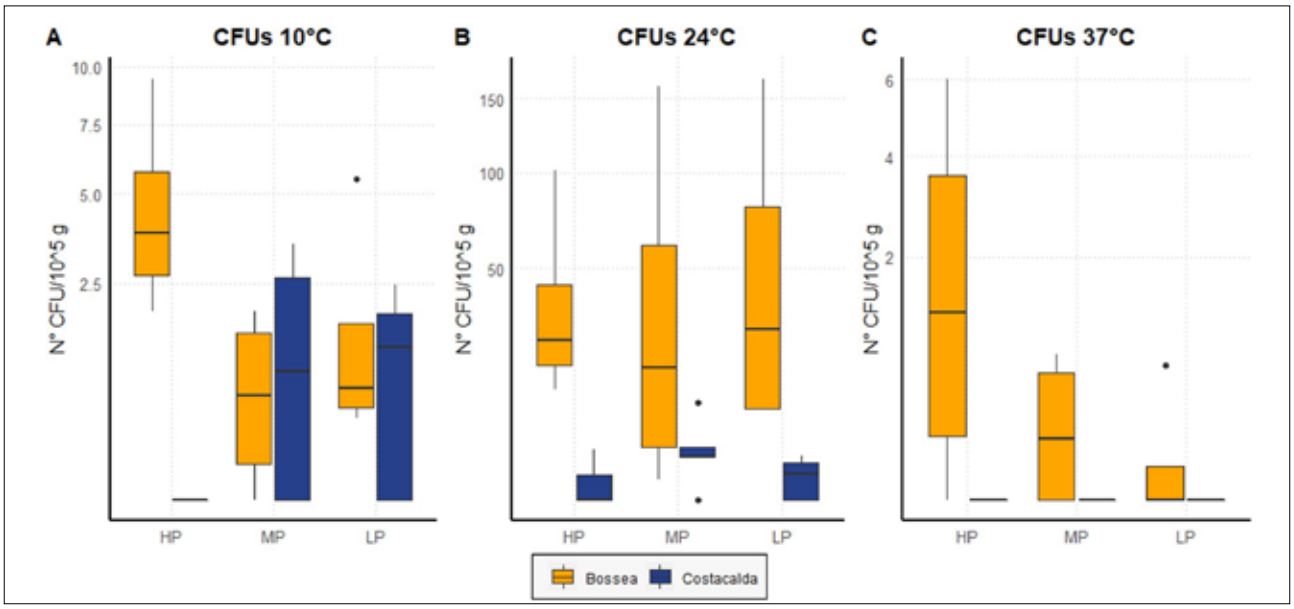


Figura 2 - Boxplot dellla distribuzione dei dati relativi alle abbondanze di CFU rilevate mediante colture a 10°C (A), 24°C (B) e 37°C (C) nelle grotte di Bossea (arancione) e Costacalda (blu).

ti nelle aree più lontane dal percorso in Bossea e nelle parti più profonde di Costacalda. Al contrario, i funghi mesofili, isolati a 24 °C (fig. 2B) e i funghi termofili/termotolleranti, isolati a 37 °C (fig. 2C), e che per questa loro peculiarità fisiologica si possono considerare potenzialmente patogeni, sono più abbondanti in Bossea, specialmente lungo il percorso turistico.

Conclusioni

I risultati suggeriscono che i funghi psicrofili siano prevalentemente autoctoni, mentre i funghi mesofili e, in particolare, quelli termofili/termotolleranti potrebbero essere più legati al trasporto indotto dai turisti. Ulteriori analisi saranno effettuate per confermare questi pattern.

Sebben ancora preliminare, questo studio contribuisce a migliorare la conoscenza del micobiota che popola i sedimenti delle grotte alpine. In particolare, auspichiamo che la ricerca possa rivelarsi utile per sviluppare azioni di tutela volte a mantenere elevata la qualità del microbiota sotterraneo.

Riferimenti bibliografici

Fernández-Cortès A., Cuezva S., Sánchez-Moral S., Cañaveras J.C., Porca E., Jurado V., Martin-Sánchez P.M., Saiz-Jimenez C. (2011), "Detection of human-induced environmental disturbances in a show cave", *Environmental Science and Pollution Research*, 18(6): 1037–1045.

Mammola S., Di Piazza S., Zotti M., Badino G., Isaia M. (2017), "Human-induced alterations of the mycobiota in an alpine show cave (Italy, SW-Alps)", *Acta Carsologica*, 46(1): 111–123.

Vanderwolf K. J., Malloch D., McAlpine D. F., Forbes G. J. (2013), "A world review of fungi, yeasts, and slime molds in caves", *International Journal of Speleology*, 42(1): 77-96.

Le esplorazioni dei grandi sistemi carsici

di Andrea BENASSI e Marc FAVERJON

L'Italia è un paese che comprende numerosi massicci carsici di prima importanza ubicati sia lungo l'arco alpino che nelle zone centrali, meridionali e nelle isole. La speleologia si è peraltro sviluppata sin dalla fine del XIX secolo collocando il paese fra i pionieri della disciplina. Nonostante ciò, si recensivano nel 1987 soltanto 26 complessi con più di 5 km di sviluppo di cui soltanto due, Piaggia Bella e il sistema Fighiera – Corchia, di notevole importanza. Prendendo in considerazione soltanto i complessi di più di 25 km di lunghezza, la situazione risulta praticamente quasi invariata ancora nel 1995. Il Corchia e Piaggia Bella si sono estesi in proporzione limitata e un unico nuovo sistema, il complesso della Codula di Luna è apparso in questo elenco. Bisogna aspettare praticamente fino agli anni 2010 per vedere un cambiamento significativo della situazione.
Se ci interessiamo invece allo sviluppo complessivo di tutte le grotte italiane di più di 5 km osserviamo un aumento lineare costante dagli anni 80 ad oggi. Lo sviluppo complessivo di tutte le grotte italiane di più di 5 km di lunghezza somma infatti al 2022 più di 1070 km. Questo parametro numerico, seppure molto astratto e con nessun significativo geomorfologico, rappresenta una testimonianza della costanza negli anni del lavoro di esplorazione e cartografia realizzato dalla speleologia in Italia.
Dal punto di vista dei grandi sistemi, ad oggi contiamo ben 5 complessi lunghi più di 65 km: i complessi del Monte Canin, della Carcaraia, del Monte Corchia, della Codula di Luna e del Val di Nose. A questi ne possiamo aggiungere ben altri 5 con uno sviluppo superiore ai 30 km: il complesso di Piaggia Bella, il sistema dei Piani Eterni, il sistema Rana – Pisatela, Buono Fonteno e il complesso del Grignone. Sei di questi dieci grandi complessi non esistevano nel 1995 o erano dei pezzi sciolti di puzzle ancora mal definiti.
Le ragioni e i motivi di questi risultati sono complessi e non facili da definire. Se ad un primo sguardo si potrebbe pensare al ruolo giocato dai miglioramenti tecnici relativi ai materiali, ad un'osservazione più attenta non può sfuggire l'importanza e la peculiarità delle singole storie esplorative. Dietro ognuno di questi *exploits* si possono infatti tratteggiare precise e ben definite strategie esplorative. Progetti complessi, portati avanti con continuità a volte per interi decenni e dove spesso alcune singole persone giocano un ruolo chiave nel tratteggiare un *fil rouge* capace di tracciare la rotta.
Le presentazioni di Gianni Guidotti sul complesso dell'alta valle dell'Acqua bianca, di Max Pozzo relativa alla grotta di Buono Fonteno e di Andrea Maconi sul complesso del Grignone raccontano la storia, di tre di questi nuovi grandi complessi. Una storia che, mentre ci parla della crescita di un sistema carsico, allo stesso tempo ci racconta anche delle filosofie esplorative messe in atto dagli stessi esploratori.
Parlare di grandi complessi e di sviluppo conduce logicamente a parlare anche del rilievo di queste grotte e delle difficoltà a realizzare sintesi topografiche di grandi sistemi carsici, spesso esplorati durante un lungo arco temporale. Sebbene in questa prospettiva, la situazione italiana ad oggi sia piuttosto buona, va sottolineato come ci siano anche alcune criticità. Sia per quanto riguarda alcune grotte storiche dell'arco alpino che nell'Italia centrale, abbiamo infatti grosse mancan-

ze di dati o incongruenze. L'aggiornamento del rilievo e delle conoscenze su dei grandi complessi storici non è una opera semplice ma rimane possibile come ha mostrato Leonardo Piccini attraverso la presentazione del Progetto ORCO. Anche in questo caso, piuttosto che una semplice rivisitazione e aggiornamento del rilievo, il progetto si è posto come una sorta di strategia esplorativa. Una strategia necessaria per trasmettere alle nuove generazioni di esploratori, la capacità di comprendere un luogo cosi complesso come il Corchia. Una strategia che ha infatti portato non solo ad un nuovo rilievo, ma anche a nuovi sviluppi esplorativi. L'esempio è inoltre particolarmente interessante in quanto questa capacità di aggiornare e passare il testimone nelle grandi esplorazioni è senza dubbia una delle sfide che la comunità speleologica dovrà affrontare sempre di più nel futuro.
L'esistenza nell'elenco delle grotte italiane di numerosi "pezzi di puzzle" ancora incompleti e di grandi massicci carsici ancora privi di grandi complessi è senza dubbio un altro elemento di sfida per la speleologia italiana. Una sfida a cui possiamo però guardare con entusiasmo e fiducia come ci testimonia la comunicazione sul Sistema del Boriello presentato da Massimo Sciandra e Davide Barberis, che sicuramente è candidato a diventare uno di questi futuri grandi complessi.

Grotta REM del Ghiaccio, complesso di Barello

The exploration of large cave systems

by Andrea BENASSI and Marc FAVERJON

Italy is a country that includes numerous karst massifs of primary importance located both along the Alps and in the central, southern areas and islands. Speleology has also developed since the end of the nineteenth century placing the country among the pioneers of the discipline. Despite this, only 26 complexes with more than 5 km of development were known in 1987, of which only two, Piaggia Bella and the Fighiera - Corchia system, of considerable importance. Taking into consideration only the complexes of more than 25 km in length, the situation is practically unchanged in 1995. The Corchia and Piaggia Bella have extended in limited proportions and a single new system, the Codula di Luna complex has appeared in this listing. We have to wait practically until 2010 to see a significant change in this situation.

If we are interested instead in the overall development of all Italian caves of more than 5 km, we observe a constant linear increase from the 80s to today. In fact, the overall development of all the Italian caves of more than 5 km in length adds up to more than 1070 km in 2022. This numerical parameter, albeit very abstract and with no geomorphological significance, represents a testimony of the constancy over the years of the exploration and mapping work carried out by speleologists in Italy.

From the point of view of large systems, today we have 5 complexes which are over 65 km long: the complexes of Monte Canin, Carcaraia, Monte Corchia, Codula di Luna, and Val di Nose. To these we can add another 5 with a development of more than 30 km: the Piaggia Bella complex, the Piani Eterni system, the Rana - Pisatela system, Buono Fonteno, and the Grignone complex. Six of these ten major complexes either did not exist in 1995 or were loose pieces of jigsaw puzzles that were still ill-defined.

The reasons and motives for these findings are complex and not easy to pin down. If at first glance one might think of the role played by technical improvements relating to materials, a more careful observation cannot escape the importance and peculiarity of the individual exploratory stories. Behind each of these *exploits* it is possible to outline precise and well-defined exploratory strategies. Complex projects, carried out continuously at times for entire decades and where often some key persons play a major role in outlining a common thread capable of charting the route.

The presentations by Gianni Guidotti on the upper Valle dell'Acqua Bianca complex, by Max Pozzo on the Buono Fonteno cave, and by Andrea Maconi on the Grignone complex tell the story of three of these new large complexes. A story that, while it tells us of the growth of a karst system, at the same time also describes us the exploratory philosophies implemented by the explorers themselves.

Talking about large complexes and development logically leads to talking about the mapping of these caves and the difficulties in creating topographical syntheses of large karst systems, often explored over a long period of time. Although in this perspective, the Italian situation to date is quite good, it should be emphasized that there are also some critical issues. Both with regard to some historical caves in the Alpine arc and in central Italy, we have in fact a great lack of data

or inconsistencies. Updating the survey and knowledge of large historical complexes is not a simple task but remains possible as demonstrated by Leonardo Piccini through the presentation of the ORCO Project. Also in this case, rather than a simple review and update of the survey, the project has set itself up as a sort of exploratory strategy. A necessary step to pass on to the new generations of explorers the ability to understand a place as complex as Corchia. A strategy that has in fact led not only to a new survey, but also to new exploratory developments. The example is also particularly interesting as this ability to update and pass the knowledge to future generations of cavers in major explorations is undoubtedly one of the challenges that the speleological community will have to face more and more in the future.
The existence in the list of Italian caves of numerous still incomplete "puzzle pieces" and of large karst massifs still without large complexes is undoubtedly another element of challenge for Italian speleology. A challenge that we can however look forward to with enthusiasm and confidence, as the communication on the Boriello System presented by Massimo Sciandra and Davide Barberis testifies to us. This cave system is certainly a candidate to become one of these future great karst complexes.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Nuove scoperte nel Sistema carsico di Borello

Davide Barberis ([a]), Roberto Chiesa ([a]), Gianluca Ghiglia ([a]), Massimo Sciandra ([a]), Bartolomeo Vigna ([a]), Raffaella Zerbetto ([a])

([a]) Speleo Club Tanaro, *devid.barbe@gmail.com, bobchurch69@gmail.com, gian.gh76@gmail.com, massimo.sciandra@areeprotettealpimarittime.it, bartolomeo.vigna@polito.it, rafzerbetto@hotmail.com*

Parole chiave: Borello; Corsaglia; Ventazzo; Luna d'ottobre; tracciamenti
Keywords: Borello; Corsaglia; Ventazzo; Luna d'ottobre; tracings

Il Sistema di Borello

Il sistema carsico di Borello si trova in alta Val Corsaglia, in provincia di Cuneo. La successione carbonatica (serie mesozoica del Brianzonese ligure), è costituita da calcari e dolomie triassiche, calcari puri giurassici, calcari arenacei e brecce del Cretaceo-Eocene, molto deformati da una serie di pieghe isoclinali e lateralmente confinata da due importanti faglie sub-verticali, tra loro parallele, orientate circa NW-SE, che mettono a contatto i carbonati con le rocce del basamento impermeabile. L'area carsica ha una superficie circa rettangolare di 6 km per 1,5 km ed è suddivisa in due principali sistemi, quello di Mottera e quello di Borello; quest'ultimo assorbe le acque dalla Cima Ciuaiera (2172 m) sino ai 950 m delle Sorgenti di Borello, principali emergenze dell'area con portate variabili dai 70 ai 1000 l/s. I limiti del sistema non sono ancora ben definiti, in particolare verso Sud-Est dove la struttura carbonatica si estende verso la valle Tanaro (area carsica dell'Antoroto-Rocca d'Orse) ed il confine è impostato in corrispondenza di uno spartiacque sotterraneo. Verso Sud-Ovest il sistema di Borello confina con quello della Mottera lungo un secondo spartiacque sotterraneo, definito dalla geometria delle reti carsiche. Le sorgenti di Borello ricevono anche le acque provenienti da un vasto settore, costituito da rocce poco permeabili (quarziti e depositi morenici) e che si infiltrano attraverso una serie di inghiottitoi di sub-alveo del fondovalle del Rio Borello impostato lungo una importante faglia tra le rocce carbonatiche ed il basamento metamorfico. I test con traccianti effettuati nel 2010 nell'Abisso della Ciuaiera e nella dolina dello Zottazzo Sottano hanno definito tempi di arrivo medio alti, 35 ore sulla distanza di oltre 5,5 km con quasi 1000 m di dislivello (circa 120 m/h) mentre la colorazione effettuata a Rem del Ghiaccio nel 2019 ha ampliato il limite di assorbimento sino alla testata della Valle Casotto con un percorso sotterraneo di oltre 6 km in linea retta. Le curve di arrivo dei coloranti alla sorgente principale, dove era stato installato un acquisitore automatico, sono molto simili tra loro, ed evidenziano un decremento dei traccianti di alcuni giorni che

sembra mostrare la presenza di una zona satura relativamente sviluppata in prossimità della zona sorgiva. Anche i dati relativi al monitoraggio della portata, della conducibilità elettrica e della temperatura delle acque della emergenza principale, rilevati dal Politecnico di Torino, sembrano indicare la presenza di una rete carsica a "pieno carico" nel settore sorgivo. L'andamento della mineralizzazione e della temperatura delle acque mostra differenze annuali non particolarmente elevate ad eccezione di decrementi di breve durata che sembrano essere legati a temporanei apporti di acque superficiali provenienti dagli inghiottitoi del Rio Borello, più prossimi alla zona sorgiva, che si attivano solo in occasione di notevoli precipitazioni o di abbondante fusione nivale.

Le principali morfologie esterne sono rappresentate dalle grandi doline dello Zottazzo Soprano e dello Zottazzo Sottano e dalle valli sospese che unitamente agli estesi depositi morenici testimoniano l'esistenza di antiche lingue glaciali.

Negli ultimi 10 anni il sistema carsico di Borello, meno noto del confinante sistema della Mottera e delle poco distanti aree Marguareis-Mongioie, ha dimostrato grandi potenzialità ipogee: se fino al 2011 erano note poche cavità con ridotti sviluppi e limitate profondità (Ciuaiera, Perabruna, Luna d'Ottobre), ora si conoscono oltre 20 km di ambienti ipogei.

Ad oggi le cavità più estese sono: Ventazzo (2013) 6 km e -649/+32 m, Luna d'Ottobre (1994) 3,5 km e -640 m, Rem del Ghiaccio (1994) 2,4 km e -288+43 m, Il Vecchio e il Bambino (2012) 1 km e -141/+59 m di profondità.

La morfologia dell'area fornisce altre interessanti indicazioni: è ben visibile il risultato delle glaciazioni pleistoceniche che si sono impostate su una precedente paleomorfologia: la testata del vallone della Colletta risulta essere decapitata da un vallone ortogonale (Vallone del Rio la Mastra) approfondito dai ghiacciai quaternari. Nel Pliocene una vasta area assorbente si sviluppava dalla testata della vallata (Colla dei Termini) verso la Colletta mentre dai versanti costituiti dalle rocce impermeabili che limitano a Nord-Est la struttura carbonatica (settore di M. Baussetti-Cima Robert) scorrevano alcuni corsi d'acqua che alimentavano importanti inghiottitoi. Il risultato di tale circolazione sono gli imponenti depositi costituiti anche da quarziti e vulcaniti che si incontrano in profondità in alcune cavità. Inoltre, la presenza di condotte "a pieno carico" ubicate a quote molto elevate in diverse cavità testimoniano l'esistenza di un esteso reticolo carsico pliocenico. Il risultato del ringiovanimento della rete carsica, legata alle glaciazioni quaternarie, sono anche gli impressionanti crolli che caratterizzano gallerie e pozzi di tutte le cavità dell'area in esame.

L'Abisso Luna d'Ottobre, oltre 3.5 km per 640 m di profondità, presenta due ingressi, il primo scoperto nel 1994 alla quota di 1696 m s.l.m. immette in una serie di disagevoli condotte e brevi salti cui seguono le grandi verticali che approfondiscono la cavità, il secondo, l'Ingresso dei Briganti è stato trovato ed allargato grazie ad un ottimo lavoro topografico e cartografico, questo permette di raggiungere in pochi minuti le grandi verticali, la maggiore delle quali, il Balrog, misura 90 m, che portano rapidamente al fondo del ramo principale (-636 m) chiuso da un lago sifone. Il ramo principale è impostato grossomodo lungo una discontinuità con orientamento SSW-NNE. Nel 2011 alla profondità di -450 m viene scoperta la diramazione di Luna Rossa, caratterizzata da gallerie di origine freatica, il tutto impostato dapprima parallelamente al ramo principale e poi lungo

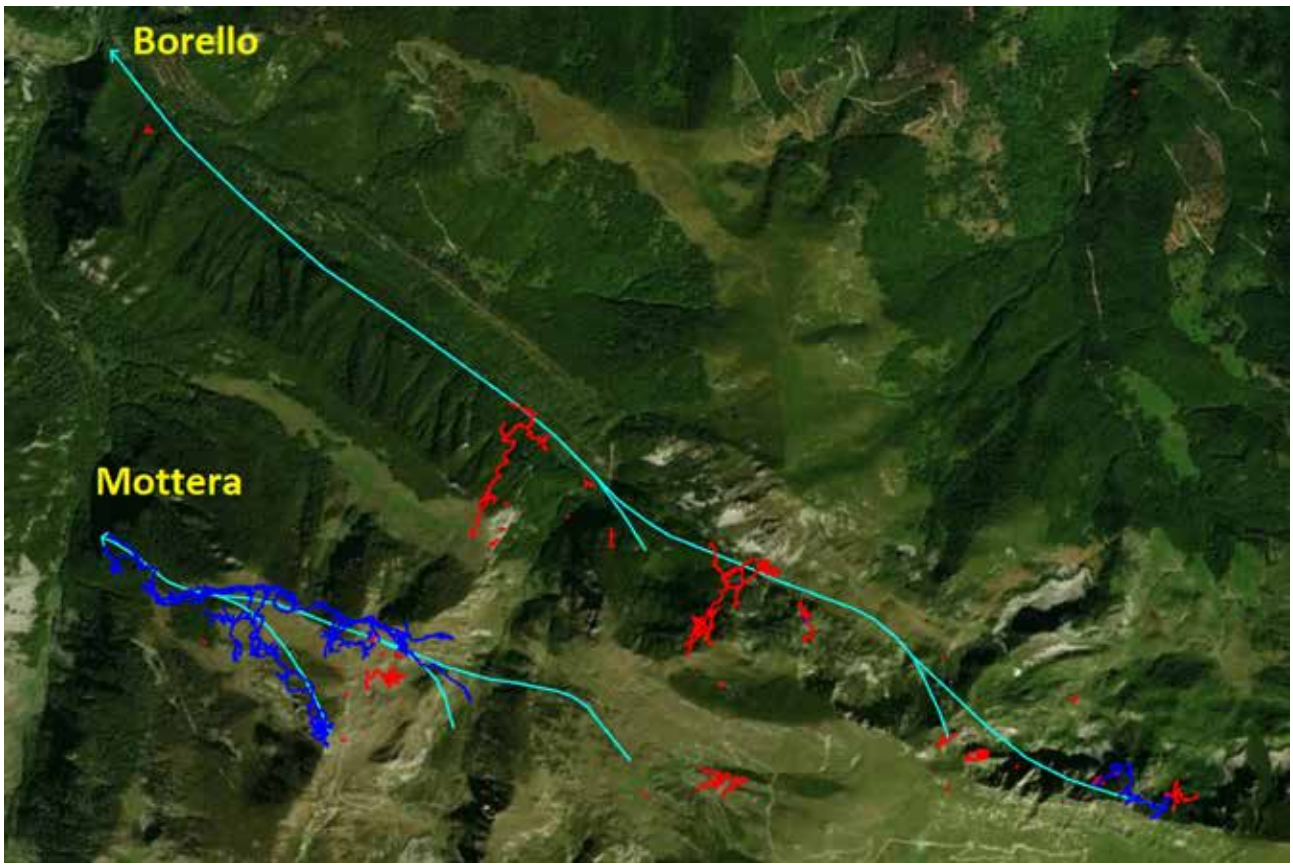


Figura 1 – Sistemi di Borello e di Mottera, le linee azzurre indicano i deflussi idrici accertati, mentre le linee rosse e blu sono i rilievi delle cavità conosciute.

fratture orientate NO-SE che verso valle terminano in un nuovo sifone alla profondità di -640 m e verso monte sono ancora in corso di esplorazione. Proprio in questo ramo è stato installato un campo interno ben attrezzato per 4 persone alla profondità di -475. I due fondi si trovano circa 250 m al di sotto del vallone di Borello, caratterizzato in questa zona da una potente morena, ardua quindi la ricerca di un eventuale ingresso basso che possa immettere nel collettore del sistema ormai ipotizzabile in corrispondenza del livello saturo: la risorgenza dista 2,6 km e si trova solo 80 m al di sotto dei laghi sifoni.

Rem del ghiaccio scoperta nel 1994 alla quota di 1930 m s.l.m. presenta una caratteristica inedita nel panorama locale, un deposito di ghiaccio sotto il pozzo di ingresso ed una galleria completamente tappata dal ghiaccio. Solamente nel 2014 grazie (purtroppo) alla fusione del ghiacciaio interno si aprì un passaggio tra la parete rocciosa ed il ghiaccio stesso permettendo l'esplorazione di ben 2,4 km di grandi ambienti per un dislivello di -288 m e +43 m. Rem del Ghiaccio è ubicata alla testata della Valle Casotto, all'interno delle Rocche di Perabruna, presenta gallerie di grandi dimensioni e importanti accumuli di clasti metrici. Nel giro di tre anni l'antico ghiacciaio interno è andato rapidamente assottigliandosi sino quasi a scomparire del tutto, fortunatamente sono stati eseguiti dei carotaggi ed ora i campioni sono conservati nei laboratori di ricerca dell'Euro Cold Lab del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università di Milano-Bicocca.

Nel 2012 viene scoperto l'abisso de Il

Vecchio e il bambino, quota 1829 m s.l.m., un condotto fossile soffiante aria a 3.4°C seguito da pozzi e gallerie secondarie per un totale di 1 km di sviluppo ed una profondità di -140 m e +60 m. L'abisso chiude su due diversi fondi: verso valle su una strettoia con blanda circolazione d'aria, verso monte con il grande cumulo di massi e pietre del fondo del Pozzo Succhiatutto, tra questi massi fuoriesce una discreta quantità di aria.
Il Ventazzo, 1812 m s.l.m. supera i 6 km di rilievo e raggiunge la profondità di -649 m e +32 m. Scoperto nel 2013 nella zona degli Zottazzi presenta una temperatura media di 3.4°C, si trova 870 m più in alto della sorgente del Rio Borello dalla quale dista oltre 4 km in linea retta. Allo stato attuale presenta 4 fondi distinti (-212, -427, -485 e -649 m) e numerose prosecuzioni ferme per mancanza di tempo e/o di materiali. Le esplorazioni delle zone remote richiedono ormai lunghe permanenze, minimo 25 ore se affrontate di petto, oppure più giorni se ci si avvale del campo interno allestito nel 2021 al fondo del Pozzo dell'Inquietudine. Le possibilità esplorative sono notevoli e su più fronti. Il fondo di -212, è stato definitivamente abbandonato a causa di strettoie. Nel ramo verso il fondo di -427, ci sono ancora alcuni rami da esaminare tra cui due grandi arrivi caratterizzati da forte aria, molto interessanti perché posizionati sotto la verticale della grande dolina dello Zottazzo Soprano. Gli altri due fondi si trovano oltre il lungo meandro di Goku orientato lungo una frattura NE-SW, che consente l'accesso a nuovi ambienti caratterizzati da numerosi arrivi verticali che sprofondano in imponenti pozzi, tra i quali quello dell'Inquietudine (P140) e il pozzo delle Tre corde (P100). Il fondo di -485 m al momento si arresta sul laghetto pensile del Sifone Olympus, ma presenta numerosi rami laterali ancora inesplorati e la galleria principale sembra retrocedere acquistando grande pendenza. Il fondo di -649 si arresta su un piccolo sifone, ma anche in questa parte di grotta sono numerose le gallerie ancora in fase di esplorazione. La gran parte degli ambienti è caratterizzata da forti correnti d'aria che si dirigono in piccola parte verso l'ingresso, mentre la maggior parte dei flussi fluisce verso i rami del fondo -485.
La circolazione d'aria nelle cavità del sistema segue complicati circuiti, Luna d'Ottobre (1696 m s.l.m.) si comporta da ingresso alto, come l'abisso Ciuaiera (2115 m), mentre il Vecchio e il bambino (1829 m), il Ventazzo (1812 m) e Rem del ghiaccio (1930 m) si comportano da ingressi bassi. Sono quindi presenti almeno due circolazioni d'aria distinte tra la zona alta e la zona bassa del sistema divise dal profondo vallone del Rio Mastra, mentre la circolazione idrica è unica e verificata attraverso le colorazioni di Luna d'ottobre, dell'Abisso Ciuaiera, dell'Inghiottitoio dello Zottazzo Inferiore e di Rem del ghiaccio.

Di particolare interesse è la scoperta nel 2021 di due nuove cavità nella zona bassa del sistema. La grotta della Mastra (sviluppo 150 m, dislivello -60 m) si apre nei pressi del fondovalle dell'omonimo rio, in posizione strategica tra le zone dei freatici del Ventazzo e di Luna d'Ottobre. La grotta del Cinghiale Bianco (sviluppo 150 m, dislivello +8 -16 m) invece si trova a soli 400 m dalla sorgente ed è costituita da piccole gallerie fossili testimoni di una carsificazione "a pieno carico" ormai disattivata esistente nella zona più vicina alle sorgenti.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Latest researches on Monte Baldo, Prealpi Venete
Ricerche sul Monte Baldo, Prealpi Venete

Andrea Ceradini, Gabriele Tosadori

Gruppo Attività Speleologica Veronese, *gabriele.tosadori@gmail.com*

Parole chiave: Speleologia; Verona; esplorazioni
Keywords: Speleology, Verona, exploration

Extended abstract

Baldo mountain range is situated between the Val Lagarina and the Garda Lake, making it the most western ridge in the Venetian Fore-Alps. It covers a surface area of approximately 300 km² with altitudes that vary from a minimum of 70 meters above the sea level to a maximum of 2218 meters, at the peak of Cima Valdritta (Ceradini, 2002; 2009). From a structural perspective, the area corresponds to an overall anticlinal fold with NNE-SSW direction. Its west limb slopes towards the Garda lake, and is followed by a thrust fault and a synclinal fold interrupted, on its Eastern side, from the escarpment of the Val Lagarina. We have an homoclinal ridge (hogback-like) where the rock layers are very steep, with an inclination of 50-60 degrees, and point towards the lake. Moreover, Monte Baldo hosts a series of seven dry valleys where karstic phenomena, such as sinkholes, karren, and shafts, are particularly developed. The rock formations that outcrop are mainly carbonatic and date back to the Triassic dolomites, as well as Jurassic, Cretaceous and Eocene limestones. Recently, our caving club, i.e. Gruppo Attività Speleologica Veronese, has concentrated its research activities in the Monte Baldo area. Several caves were explored: a known spring called San Zeno de l'Oselet (Ceradini, De Angelis 2008), Bus delle Taccole (the deepest cave of Mount Baldo), Abisso RH9, Buco di Punta Ciusole and a new cave named Buco della Costabella, or Dieischisè (Ceradini, Tosadori, 2017). The morpho-structural characteristics, the drop from the top of the mountain and the main springs, (Aril river, located on its west side and discharging 500 l/s on average, and 3500 l/s when flooding, and Rio dei Mulini's spring, on the east side) (Ceradini, 2012 and Ceradini et al., 2016), and its pervious rock formations, make Monte Baldo a very promising area for caves formation. On the one hand, ice deposits found in several caves, landslide debris occluding entrances, and an increasing presence of protected areas make the explorations very challenging. Nevertheless, we are active in this area and we expect that large and deep karstic systems will be found in the near future.

Riassunto esteso

Il gruppo montuoso del Baldo è situato tra la Val Lagarina e il Lago di Garda, il che ne fa la dorsale più occidentale delle Prealpi Venete. Si estende su una superficie di circa 300 km² con altitudini che variano da un minimo di 70 metri sul livello del mare ad un massimo di 2218 metri, in cima a Cima Valdritta (Ceradini, 2002; 2009). Dal punto di vista strutturale, l'area corrisponde ad una piega anticlinale con direzione NNE-SSW. Il suo lembo occidentale degrada verso il lago di Garda, ed è seguito da un sovrascorrimento e da una piega sinclinale interrotta, sul suo versante orientale, dalla scarpata della Val Lagarina. Abbiamo una cresta omoclinale (a forma di *hogback*) dove gli strati rocciosi sono molto ripidi, con un'inclinazione di 50-60 gradi, e puntano verso il lago. Il Monte Baldo ospita inoltre una serie di sette valli secche dove sono particolarmente sviluppati fenomeni carsici, come doline, karren e pozzi. Le formazioni rocciose che affiorano sono prevalentemente carbonatiche e risalgono alle dolomiti triassiche, oltre che ai calcari giurassici, cretacei ed eocenici. Recentemente il nostro circolo speleologico, ovvero il Gruppo di Attività Speleologica Veronese, ha concentrato le sue attività di ricerca nell'area del Monte Baldo. Sono state esplorate diverse grotte: una nota sorgente denominata San Zeno de l'Oselet (Ceradini, De Angelis 2008), Bus delle Taccole (la grotta più profonda del Monte Baldo), Abisso RH9, Buco di Punta Ciusole e una nuova grotta denominata Buco della Costabella, o Dieischisè (Ceradini, Tosadori, 2017). Le caratteristiche morfo-strutturali, il dislivello dalla sommità del monte e le sorgenti principali, (fiume Aril, posto sul suo versante ovest e che scarica mediamente 500 l/s, e 3500 l/s in caso di piena, e la sorgente del Rio dei Mulini , sul lato est) (Ceradini, 2012 e Ceradini et al., 2016), e le sue formazioni rocciose permeabili, fanno del Monte Baldo un'area molto promettente per la formazione di grotte. Da un lato, i depositi di ghiaccio rinvenuti in diverse grotte, i detriti di frana che occludono gli ingressi e la crescente presenza di aree protette rendono le esplorazioni molto impegnative. Tuttavia, siamo attivi in quest'area e prevediamo che si troveranno nel prossimo futuro sistemi carsici grandi e profondi.

Riferimenti bibliografici

Ceradini A. (2002), *Grotte dei Lessini e del Baldo,* West Press.

Ceradini A., De Angelis A. (2008), "La Risorgenza di San Zeno de l'Oselet", *Speleologia*, 59: 24.

Ceradini A. (2009), "Il Massiccio del Monte Baldo. Il sistema carsico dell'Altopiano di Novezza"*, Adige-Etsch*, 3: 14-16.

Ceradini A. (2012), "Acquiferi carsici e sorgenti del Monte Baldo"*, Il Baldo C.T.S.*, 23: 28-41.

Ceradini A., Tosadori G., Vicenzi M. (2016), "Indagine su alcune sorgenti carsiche del Monte Baldo*", Speleologia Veneta*, 22: 107-120.

Ceradini A., Tosadori G. (2017), "Sul Monte Baldo piccole grotte crescono"*, Speleologia*, 76: 8-9.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il complesso carsico dell'Alta Valle dell'Acqua Bianca

Gianni Guidotti ([a]), Susana Crespo ([b]), Marc Faverjon ([c])

([a]) *gianni_guidotti@libero.it*,
([b]) *liviasusanacrespo@gmail.com*
([c]) *marc.faverjon@yahoo.com*

Parole chiave: Alpi Apuane; Carcaraia; Saragato; esplorazione
Keywords: Apuan Alps; Carcaraia; Saragato; exploration

Riassunto
Il Complesso carsico dell'Alta Valle dell'Acqua Bianca, noto anche come complesso della Carcaraia, è diventato uno dei maggiori sistemi italiani. L'esplorazione in Carcaraia inizia negli anni '60 e vede una accelerazione dal 1993 con l'applicazione sistematica di un concetto di speleologia tridimensionale. Recenti esplorazioni e giunzioni hanno permesso di creare un unico sistema con uno sviluppo di 71 km e un dislivello di 1215 m.

Il complesso carsico dell'Alta Valle dell'Acqua Bianca

Ubicato nel settore centro settentrionale delle Alpi Apuane, l'Alta Valle dell'Acqua Bianca, nota anche con il nome di Carcaraia, ospita uno dei maggiori sistemi ipogei del nostro paese. Oltre 70 chilometri di sviluppo spaziale, un dislivello totale di poco superiore a 1200 metri, 9 ingressi e 2 distinte sorgenti che ricevono l'acqua del sistema. Sono questi i numeri scaturiti da poco meno di trenta anni di intensissime esplorazioni e di prove di tracciamento delle acque.

Se all'interno del monte Corchia a partire dalla metà degli anni settanta e per oltre dieci anni, una parte della speleologia italiani ha elaborato ed applicato su grande scala l'idea di esplorazione tridimensionale (Piccini, 2013) in Carcaraia quella rivoluzionaria visione è stata applicata con particolare rigore ed intensità, in uno scenario iniziale assai diverso rispetto a ciò che si sapeva sull'Antro del Corchia a metà degli anni '70. Nel 1993 la Carcaraia si presentava come un'area dalle notevoli potenzialità, caratterizzata da un carsismo superficiale ben sviluppato e dalla presenza di numerosi buchi percorsi da corrente d'aria. Venticinque anni di ricerche speleologiche avevano prodotto alcuni abissi puntuali dal ridotto spostamento planimetrico, distanti tra loro e dal livello di falda. Niente che potesse far intuire l'esistenza di un unico complesso carsico (Guidotti, Malcapi, 2001). È proprio a partire da uno di questi abissi già noti, l'A. Saragato, che nel 1993 è stata trovata la porta d'accesso al reticolo profondo, che fin da subito è apparso molto grande ed articolato. L'anno seguente comincia l'esplorazione in profondità all'A. Aria Ghiaccia (Rivadossi, 1996) e anche lì,

per mezzo di difficili e lunghe risalite, l'abisso iniziale si replica molte volte con un interminabile saliscendi, fino a coprire la distanza che lo separa dall'A. Saragato (Rivadossi, Tanfoglio, 1998).
La giunzione della Buca dell'Aria Ghiaccia con l'A. Saragato è il primo e fondamentale tassello del complesso per come lo conosciamo oggi: il risultato dell'unione di questi due abissi con A. Gigi Squisio, A. Mani Pulite, A. Chimera e la Buca sopra la cava bassa della Carcaraia.
È un sistema carsico ad andamento principalmente verticale, dove si alternano grandi e profondi pozzi a tratti sub orizzontali di origine prevalentemente vadosa. Le morfologie carsiche di origine freatica si trovano principalmente ad una quota altimetrica di 700/800 m slm in tutto il complesso e a quota 1000 m slm nei soli settori A. Gigi Squisio e A. Saragato.
Dal punto di vista idrografico non vi sono grandi collettori interni e l'acqua, molto velocemente, giunge nelle falde frazionata in numerosi arrivi di modesta portata. Le sorgenti del complesso sono due: la Sorgente del Frigido presso Forno sul versante a mare e la Sorgente di Equi Terme presso l'omonimo abitato sul versante interno della catena montuosa.
Tra tutti i numeri del complesso, il rapporto tra lo sviluppo (71 km) e il periodo temporale in cui questo è stato ottenuto (29 anni), pari a 2,5 km/anno circa, è particolarmente significativo e merita una riflessione.
L'entità di questo indice è da attribuire ad alcuni fattori: un alto indice di carsificazione (si ha infatti una media di circa 31 km di sviluppo per km^2 o 25,8 km per km^3, la facile percorribilità interna (sebbene si tratti di grotte profonde, l'impegno richiesto dalla distanza è mitigato da una progressione asciutta e in ambienti mediamente grandi), la facile accessibilità esterna (un avvicinamento agli ingressi raramente superiore a un'ora, data la presenza di una via di cava che attraversa la valle) ma anche la costanza nell'azione del gruppo di speleologi che ha portato avanti l'esplorazione (un gruppo eterogeneo che negli anni si è rinnovato ma che al suo interno conserva in forma operativa la memoria storica).

Cronologia delle esplorazioni

1966/67: Prime informazioni su ricerca di grotte nell'Alta Valle dell'Acqua Bianca da parte del G.S. Fiorentino come conseguenza dell'indagine sulla definizione del bacino di assorbimento della Sorgente del Frigido. In due anni furono accatastate decine di cavità (Prelovsek, Utili, 1967; Salvatici, 1968; Prelovsek, Salvatici, 1969; Sivelli, Vianelli, 1982).
Prima metà anni '70: Ricerche ed esplorazioni del G.S.Savonese (Massucco, 1983) e G.S.Imperiese (Calandri, Ramella, 1977).
Seconda metà anni '70: Ricerca ed esplorazioni del G.S.Bolognese nelle zone alte della valle. Scoperta ed esplorazione del A. Roversi sino alla profondità di -760m e del A. Mescaleros e prima prova di tracciamento delle acque con esito positivo alla sorgente del Frigido (Sivelli et al., 1978; Fabbri, Forti, 1979; Fabbri, 1979).
Prima metà anni '80: Ricerche esterne, scoperta ed esplorazione dell'A. Arbadrix da parte del GSP Gaetano Chierici (Catelani, Davoli, 1984; Davoli, 1985).
1983/84: A. Roversi, nuova importante prosecuzione da parte di speleologi polacchi (Vianelli, 1984; Vianelli, 1985).
Seconda metà anni '80: Ricerca ed esplorazione del G.S. Lucchese e S.C. Garfagnana, del G.S.P.G.C. insieme a G.S.B., scoperta dell'A. Belfagor (GSP, GSL, 1986), A. Perestroika (Da Prato, Roncioni, 1991; Da Prato, 1992), Buca Cino (Cecchi, Terni, 1992; Cecchi, Da Prato, 1992), Mamma Gracchia (Sivelli, 1989; Baroni, 1996).

Primi anni '90: Inizio rivisitazione dell'A. Roversi e A. Saragato da parte del G.S.F. Il G.S.L. trova ed esplora l'A. Mani Pulite fino a -320 m. *Agosto '93:* Il G.S.F. mediante un traverso sul pozzo Firenze trova la prosecuzione della grotta e raggiunge la profondità di -945 m nel Ramo Nord e di -985 nel Ramo Sud-Est (Guidotti, Malcapi, 1998; Guidotti et al., 2001). Contemporaneamente il G.S.P.G.C. disostruisce la Buca dell'Aria Ghiaccia e ne inizia l'esplorazione (Franchi, 1994; Franchi, 1995; Rivadossi, 1996). *1994:* Il G.S.F., con il G.G.Brescia e l'U.S.Veronese raggiunge un nuovo fondo a -1260 m presso l'A. Roversi. L'A. Roversi diventa la grotta più profonda d'Italia (Guidotti et al., 1996; Caramazza, 1995; Piccini, 1995). Alla Buca dell'Aria Ghiaccia e all'A. Saragato iniziano le esplorazioni in risalita.

1998: Giunzione tra Buca dell'Aria Ghiaccia e A. Saragato in un unico complesso di circa 25 km di sviluppo spaziale e con un dislivello di 1150 m (Guidotti et al., 2001; Rivadossi, Tanfoglio, 1998).

2000: A. Saragato e Buca dell'Aria Ghiaccia danno positivo alla sorgente di Equi Terme (Roncioni, 2002). Nuove esplorazioni del G.S.F. all'A. Mani Pulite sino alla profondità di -1060 m (Guidotti et al., 2001).

2003/2004: Il G.S.F. esplora un nuovo fondo a -1160 m all'A. Perestroika (Guidotti, 2008).

2003/2004: Scoperta e esplorazione dell'A. Gigi Squisio da parte dell'U.S.Pratese e prima congiunzione con l'A. Saragato. Il complesso raggiunge circa 30 km di sviluppo (Cecchi, 2004; Cecchi, 2008; Cecchi et al., 2010).

2008: Il S.P.G. trova una nuova prosecuzione alla Buca del Selcifero che diventa l'A. Chimera. Chimera è il quinto -1000 m della vallata. Tracciamento delle acque con esito positivo alla Sorgente del Frigido (Santalmasi, 2008; Del Testa, 2009; Santalmasi et al., 2010).

2010: Tracciamento del collettore del Ramo Sud-Est dell'A. Saragato con esito positivo alla sorgente del Frigido. Inizio delle risalite nel Ramo Sud-Est dell'A. Saragato. Inizio delle esplorazioni del ramo Raimbow all'A. Chimera.

2018: Giunzione A. Mani Pulite e A. Gigi Squisio. Lo sviluppo del complesso si avvicina ai 50 km (Cecchi, 2020).

2020: Giunzione A. Chimera con A. Saragato. Lo sviluppo del complesso supera i 63 km e il dislivello raggiunge 1215 m. Inizio della riesplorazione del ramo E.T. presso l'A. Saragato.

2021: Il G.S.Lunense e G.S.F. trovano una nuova prosecuzione della Buca sopra la cava bassa di Carcaraia che viene congiunta con il ramo E.T dell'A. Saragato.

2022: Nuove esplorazioni dal ramo E.T. portano lo sviluppo del complesso a 71 km.

Riferimenti bibliografici

Baroni M. (1996), "La Buca di Mamma Gracchia", *Talp*, 14: 20-25

Calandri G., Ramella L. (1977), "Attività del Gruppo Speleologico Imperiese del CAI nelle Alpi Apuane dal 1977", in Pipistrelli di Fiesole (a cura di) *Atti del 4° Congresso della FST*, Fiesole, 217-218

Caramazza L. (1995), "La banda del buco colpisce ancora", *Speleologia veronese*, 19: 39-40

Catelani C., Davoli A. (1984), "Arbadrix, la caccia al Frigido", *Speleologia*, 10: 15-17

Cecchi G., Da Prato C. (1992), "Buca Cino", *Talp*, 5: 18-20

Cecchi G., Terni R. (1992), "Buca Cino", *Spelucola*, nu: 34-35

Cecchi M. (2004), "U.S.P.: Abisso Gigi Squisio", *Talp*, 29: 12

Cecchi M. (2008), "Abisso Gigi Squisio: il 'comunicare' nell'USP", *Talp*, 37: 18-25

Cecchi M. (2020), "Le Mani nel Gigi", *Talp*, 54: 48-52

Cecchi M., Augugliaro A., Castellani P., Mariannelli G. (2010), "Abisso Gigi Squisio, la terza via", *Speleologia,* 63: 20-26

Da Prato C., Roncioni A. (1991), "Abisso Perestrojka", *Talp*, 3: 47-49
Da Prato C. (1992), "Abisso Perestrojka", *Spelucola*, nu: 13-15
Davoli A. (1985), "Ancora Arbadrix", *Speleologia*, 13: 45
Del Testa S., Marioti S., Santalmasi L. (2009), "Speleo Club Garfagnana, Abisso Chimera", *Talp*, 39: 4-12
Fabbri M. (1979), "Abisso Roversi (ok3): -627 +40", *Speleologia*, 1: 2-3
Fabbri M., Forti P. (1979), "Abisso Roversi: -755, Black Hole: -310m", *Sottoterra*, 53: 18-28
Franchi M. (1994), "Aria Ghiaccia l'abisso trasversale", *Talp*, 10: 32-33
Franchi M. (1995), "Aria Ghiaccia: il mito soffiante (appunti preliminari)", *Ipoantropo*, 7: 42-43
Gruppo Speleologico Pisano e Gruppo Speleologico Lucchese (1986), "L'abisso Belfagor", in FST, Gruppo Speleologico Lucchese (a cura di) *Atti del 5° Congresso della FST*, Lucca, 62-64
Guidotti G., Malcapi V. (1998), "L'abisso Saragato…e altri abissi", La rivista del Club Alpino Italiano: 62-65
Guidotti G., Malcapi V., Piccini L. (1996), "Un re messo a nudo: l'abisso Paolo Roversi", *Speleologia,* 34: 35-43
Guidotti G., Malcapi V., Piccini L. (2001), "Ventimila metri sotto i mari", *Speleologia,* 44: 11-66
Guidotti G. (2008), "Perestroika apuana", *Speleologia*, 59: 12-17
Massucco R. (1983), "1972-1981 Relazione consuntiva dei primi dieci anni di attività del Gruppo Speleologico Savonese sulle Alpi Apuane", in Pipistrelli di Fiesole (a cura di) *Atti del 4° Congresso della FST*, Fiesole, 209-215
Piccini L. (1995), "Abisso Paolo Roversi", *Speleologia veronese*, 19: 40-41
Piccini L. (2013), "Monte Corchia", *Speleologia*, 68: 23
Prelovsek V., Utili F. (1967), "Il fenomeno carsico nei pressi della Sorgente del frigido in provincia di Massa", *Notiziario della Sezione Fiorentina del CAI*,3/4:37
Prelovsek V., Salvatici L. (1969), "L'Abisso Pietro Saragato ed il fenomeno carsico nel versante nord del monte Tambura", *Notiziario della Sezione Fiorentina del CAI*, 2/3: 17-40
Roncioni A. (2002), "La FST e le ricerche idrogeologiche nelle cavità carsiche delle Alpi Apuane", in FST (a cura di) *Atti del convegno - Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo"*, 103
Rivadossi M. (1996), "La Buca dell'Aria Ghiaccia", *Speleologia,* 34: 13-23
Rivadossi M., Tanfoglio L. (1998), "Giunzione Aria Ghiaccia-Saragato", *Speleologia,* 38: 115
Salvatici L. (1968), *"Esplorazione dell'Abisso Saragato"*, La Sezione Fiorentina del Cai 1868-1968
Santalmasi L. (2008), "Speleo Club Garfagnana, Abisso Chimera", *Talp*, 37: 6
Santalmasi et al. (2010), "Tra le dure pietre e il paleo una Chimera", *Speleologia,* 63: 27-35
Sivelli M. (1994), "Mamma Gracchia e la sua buca", *Speleologia*, 19: 25-27
Sivelli M., Vianelli M. (1982), *"Abissi delle Alpi Apuane"*, Società Speleologica Italiana, Bologna
Sivelli M., Vianelli M., Mandini S. (1978), "Le esplorazioni al Tambura", *Sottoterra*, 50: 11-17
Vianelli M. (1984), "Abisso Paolo Roversi: nuovo fondo a -760", *Sottoterra*, 67: 16-24
Vianelli M. (1984), "Don Ciccillo. Bolognesi e Polacchi: cose di casa nostra", *Speleologia*, 12: 41-42

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Esplorazioni nel massiccio del Grignone (Lecco)

Andrea Maconi ([a]), Marco Corvi ([b]), Marzio Merazzi ([c]), Felicita Spreafico ([d])

([a]) Gruppo Grotte Milano CAI – SEM, progetto INGRIGNA!, *andrea.maconi@fastwebnet.it*
([b]) Speleo Club Ribaldone, progetto INGRIGNA!, *marco.corvi@gmail.com*
([c]) Speleo Club CAI Erba, progetto INGRIGNA!, *marzio.merazzi@yahoo.it*
([d]) Speleo Club CAI Erba, progetto INGRIGNA!, *feli.sprea95@gmail.com*

Parole chiave: Grigna; W Le Donne; Abisso delle Spade; Complesso del Grignone Alfredo Bini
Keywords: Grigna massif; W Le Donne; Spade Abyss; Grigone Alfredo Bini cave Complex

Riassunto
La speleologia in Grigna ha preso avvio nel secondo dopoguerra. Ora, a distanza di quasi 70 anni, sono cambiate molte cose dalle prime discese pionieristiche dei pozzi della Grigna, ma rimane ancora l'approccio metodico e il rigore scientifico che da sempre hanno caratterizzato l'esplorazione delle grotte del massiccio. A partire dal 2002 l'attività speleologica in Grigna ha avuto un nuovo impulso a seguito del ritrovamento di vari nuovi ingressi sui ripidi versanti del Releccio da parte dello S.C. Erba. Ad esso si sono uniti nelle esplorazioni altri gruppi lombardi ed è nato il progetto di ricerca INGRIGNA!, che ha coinvolto e attualmente coinvolge numerosi gruppi speleologici italiani e stranieri.
L'attività è orientata su due distinti fronti: la ricerca di nuovi ingressi e l'esplorazione delle grotte. Per quanto riguarda il primo aspetto la ricerca ha interessato tutti i versanti della montagna, reperendo cavità significative anche in zone precedentemente trascurate. Si è passati da circa 500 grotte note nel 2002 a circa 1100 attuali sul solo bacino idrogeologico del Grignone. Per l'attività in grotta le esplorazioni hanno portato alla nascita del Complesso del Grignone (o del Releccio) "Alfredo Bini", formato dall'unione di diverse cavità già note (in primis W Le Donne) con altre scoperte nel frattempo, per uno sviluppo attuale di circa 29.6 km ed una profondità di −1313 m. Altre novità degli ultimi anni sono l'esplorazione del Pozzo nel Dito (−862m) e dell'Abisso delle Spade (−960m) che è stato collegato al fondo a W Le Donne alla profondità di −1090m.

La Grigna Settentrionale, o Grignone, (2410 m s.l.m.) è un massiccio carsico nelle Prealpi lecchesi situato sulla sponda orientale del Lago di Como, caratterizzato dalla presenza, nella parte alta (principalmente nell'altopiano del Moncodeno), di importanti grotte e da un carsismo diffuso (fig. 1).
Il bacino idrogeologico del Grignone è definito da una blanda sinclinale con

asse SSE-NNW che, dal Moncodeno, immerge verso Varenna e che ha condizionato lo sviluppo del carsismo. Le sorgenti accertate del bacino del Grignone sono tutte nei pressi dell'abitato di Fiumelatte: la Grotta di Fiumelatte (285 m s.l.m), la Fonte Uga (225 m s.l.m.) e una fonte che fornisce una pescicoltura locale. Lo studio idrogeologico è stato oggetto di due tracciamenti, nel 1989 e nel 2019.

Le prime indagini speleologiche in Grigna risalgono ai primi decenni del secolo scorso, ma esplorazioni speleologiche vere e proprie iniziarono solo nel secondo dopoguerra. Oltre alla esplorazione di molti pozzi, le prime indagini portarono alla stesura di carte di dettaglio del fenomeno carsico, essenziali per orientarsi nelle ricerche sul territorio.

A partire dagli anni '80 l'esplorazione delle grotte arriva a raggiungere profondità sempre più notevoli, come nell'Abisso dei Maron Glaces Lo 1809 (-557 m) e in W le Donne Lo 1936 (-1100 m).

In seguito vengono reperiti ed esplorati altri importanti abissi, Orione Lo 5040 (−630 m, +12 m), Capitano Paff 1738 (−795 m), Maestro Splinter Lo 5064 (−525 m), Apaz Lo 1577 (−234 m), I Ching Lo 5079 (−290 m), Il Tigre Lo 1868 (−275 m), Le Bambine Crescono Lo 1839 (−375 m).

Una svolta importante arriva nel 2002, quando, a seguito della scoperta da parte dello S.C. Erba, di numerose grotte sul versante del Releccio, nasce InGrigna!, un progetto di ricerca speleologica che raccoglie informalmente tutti i gruppi, e gli speleologi partecipanti alle esplorazioni. Anche senza alcuna rigida organizzazione, lo spirito collaborativo tra i diversi partecipanti porta ad una impostazione condivisa dell'approccio alle esplorazioni e alla documentazione, in cui i dati raccolti, i rilievi e la documentazione sono distribuiti fra tutti.

Nel corso degli anni si arriva a delineare un vero e proprio complesso carsico, il Complesso del Grignone "Alfredo Bini", costituito dalla giunzione di 15 grotte, tra cui W le Donne, Orione, Kinder Brioschi Lo 5163 (−900 m) e le Spade Lo 1648.

Oltre che sulla esplorazione degli abissi noti, l'attività del progetto InGrigna! è focalizzata sulla ricerca di nuove cavità, e sulla revisione di cavità note alla ricerca di eventuali prosecuzioni, tutto accompagnato da un lavoro di documentazione sistematica che fin dall'inizio ha caratterizzato la ricerca speleologica in Grigna.

In questo lavoro si prendono in rassegna i maggiori risultati esplorativi ottenuti in Grigna nell'ultimo decennio (vedi raccolta bibliografica sotto).

Al fondo di W le Donne sono stati superati due limiti delle precedenti esplorazioni. Nei freatici di destra il superamento di una strettoia ha permesso di raggiungere un ramo in leggera salita, che si sviluppa verso N-NE ed è intervallato da diramazioni in discesa con grossi pozzi. Tutte queste vie si arrestano su sifoni o fessure a profondità comprese fra -1200 m e −1313 m. Nei freatici di sinistra, lo svuotamento del sifone pensile di −1100 m, effettuato con una pompa manuale ha permesso di esplorare circa 2 km di gallerie e rami laterali, che rappresentano la prosecuzione della grotta nella direzione della sinclinale. La via principale è la Forra delle femminucce, con un torrente di 10−15 l/s, e terminante su sifone a −1309 m.

L'esplorazione del Pozzo nel Dito Lo 1967 è stata possibile grazie alla disostruzione di alcune strettoie iniziali. La grotta è caratterizzata da una alternanza di pozzi e stretti meandri. In questa cavità si è raggiunta la profondità di −862 m. La forte aria che si avverte nelle parti superiori fa sperare che la grotta sia collegata al Complesso del Grignone, anche se resta ancora a ragguardevole distanza. La grotta è tuttora in esplorazione.

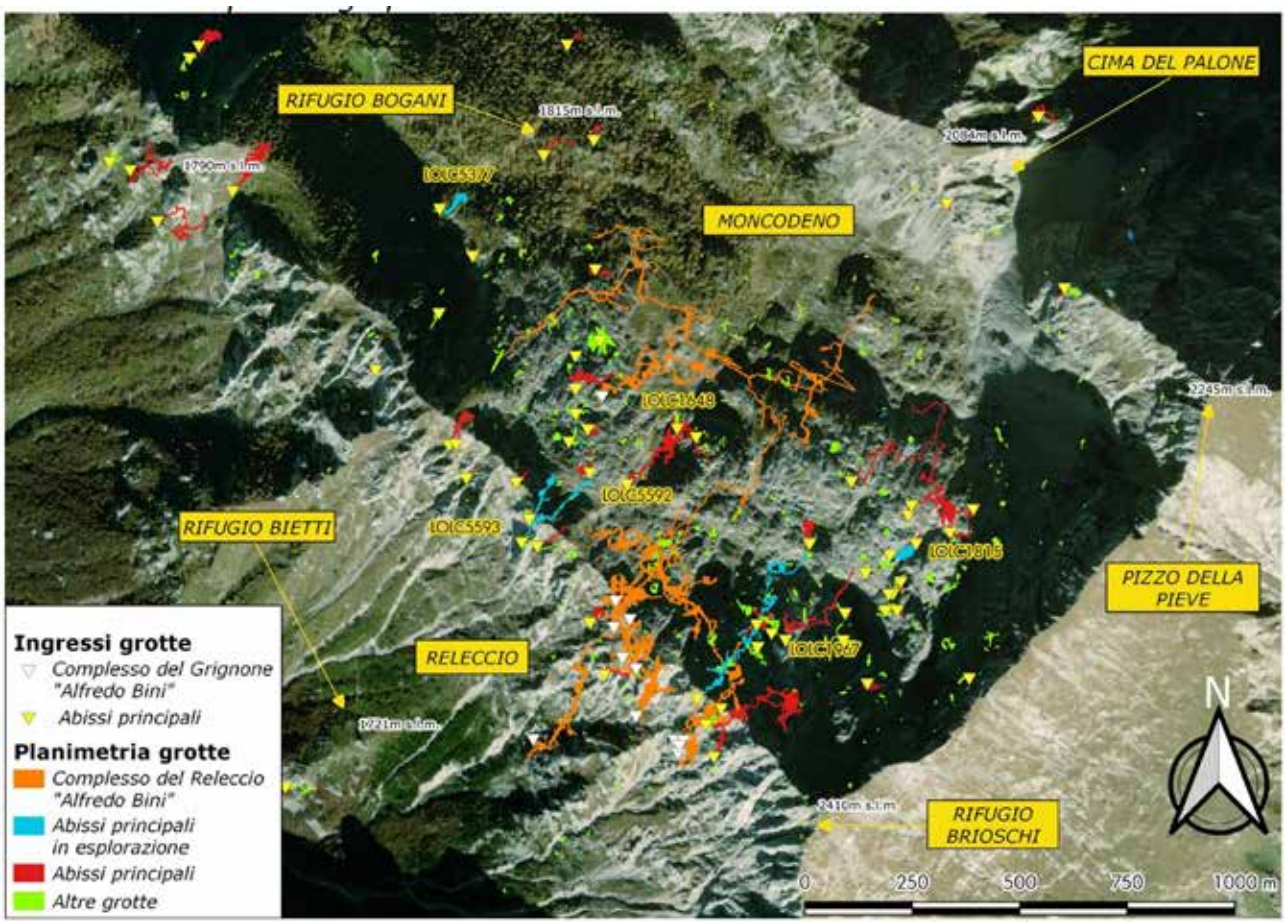


Figura 1 – Andamento delle grotte della Grigna Settentrionale su ortofoto Regione Lombardia 2015 (elaborazione grafica Marzio Merazzi).

Nell'Abisso delle Spade è stata superata l'occlusione a −150 m grazie alla riduzione del deposito di ghiaccio. Inizialmente esplorato fino alla profondità di −750 m, è stato recentemente seguito un nuovo ramo che da −600 m arriva a −960 m dove si unisce a W le Donne, a −1090 m, nella parte oltre il sifone di −1100 m dei freatici di sinistra.

La revisione dell'Abisso sul Margine dell'Alto Bregai Lo 1650 (−189 m), ha portato alla scoperta di una via laterale che si dirige verso il vicino Abisso delle Spade. Il collegamento non è stato tuttavia trovato.

Il Pozzo sul Sentiero per la Piancaformia, o Pozzo del Bambino, Lo 5377 è stato oggetto di scavo ed esplorazione. Il fondo attuale è −225 m.

Tre importanti grotte sono state trovate effettuando calate in parete.

Le prime due, il Pozzo del Nido Lo 5592 e Humphrey Bogaz Lo 5593, sono stati reperiti sulla Cresta di Piancaformia. Entrambe le grotte presentano angusti passaggi iniziali e arrivano a circa −400 m di profondità. Seppure molto vicine non è stato trovato il collegamento fra le due.

Isolato da tutte gli altri abissi, il Pozzo sulla Parete Sbagliata Lo 5648, si apre sul Sasso dei Carbonari. Una serie di piccoli pozzi arriva ad un fondo a −137 m, mentre uno stretto meandro laterale a −60 m, prosegue poi con pozzi piuttosto ampi fino al fondo di −203 m. Questa grotta è la prima cavità di discreta profondità in una zona che resta al confine meridionale del bacino idrogeologico del Grignone.

Hard Rain Lo 1815, di cui era conosciuto il pozzo iniziale di 30 m, è stata scesa ed

è risultata essere un unico pozzo di circa 230 m, con nella prima parte gigantesche frane tenute assieme dal ghiaccio. Il pozzo è occluso al fondo da un deposito di ghiaccio, che resta al momento il più profondo deposito di ghiaccio noto in Grigna.
Una delle caratteristiche infatti più tipiche del carsismo profondo del Moncodeno sono i depositi di ghiaccio e neve che si trovano in circa il 15% degli ingressi e/o alla base di pozzi a cielo aperto. I depositi stagionali sono alquanto variabili da anno in anno. In certi casi ciò ha permesso di accedere alle parti interne dove si trovano ingenti depositi di ghiaccio, come nella Lo 1739, oggetto di uno studio specifico. Altre cavità esplorate grazie alla riduzione del deposito sono: Infermi nel Ghiaccio Lo 1887 (−104 m), Inferno di Ghiaccio Lo 1904 (−95 m) e Lo 1939 (−90 m).

Conclusioni

In conclusione le esplorazioni e gli studi di questi ultimi anni oltre ad ampliare le conoscenze speleologiche della Grigna hanno permesso di elaborare un quadro del carsismo profondo. Tutte le grotte della parte sommitale del Grignone sono idrogeologicamente afferenti al Complesso del Grignone. Morfologicamente le grotte sono caratterizzate da una prima parte ad andamento prevalentemente verticale, e da gallerie suborizzontale a circa 1000 m s.l.m. sviluppate principalmente in prossimità della zona assiale della sinclinale. Queste gallerie sono tagliate da forre attive indipendenti fra loro.
Malgrado l'ampliamento a tutti i livelli delle conoscenze del carsismo del Grignone, ottenuto in questi anni, restano ancora quesiti irrisolti: ad oggi, nonostante la reiterate campagne di ricerca, non sono note cavità significative nelle aree a quote basse (a parte la Grotta di Fiumelatte), probabilmente a causa della diffusa copertura neogenica-quaternaria o per cause geologico-strutturali. Anche nella parte sommitale del massiccio sul fianco nord della sinclinale (Monte Palone, Pizzo della Pieve) sono note poche cavità e perlopiù di modesto sviluppo. Inoltre importanti settori del Moncodeno sono rimasti esclusi dalle attività speleologiche per decenni. La ricerca speleologica in Grigna ha fatto notevoli passi avanti in questi 70 anni. Molto ancora resta da fare.

Riferimenti bibliografici

Aimar L., Corvi M., Maconi A., Merazzi M., Premazzi A., Tognini P. (2015), "Il massiccio del Grignone: un esempio di esplorazione condivisa", *Atti XXII Congresso Nazionale di Speleologia "Condividere I Dati", Pertosa-Auletta (SA) 2015*, 559-564

Bini A., Cappa G., Pellegrini A. (1977), "Ricerche sugli aspetti del fenomeno carsico profondo del Gruppo delle Grigne (Lombardia): V - il carsismo nella zona Bregai – Val laghetto (Circo di Moncodeno) parte II", *Le Grotte d'Italia*, IV(6): 5-72

Bini A., Pellegrini A. (1998), "Il carsismo del Moncodeno. Ricerche sugli aspetti del fenomeno carsico profondo nel Gruppo delle Grigne", *Geologia Insubrica*, 3 (2)

Focarile A., Cigna A., Cappa A. (1960), "Ricerche sul fenomeno carsico profondo nel gruppo delle Grigne (Lombardia)", *Atti Società Italiana. Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale, Milano*, 99 (I): 25-168

Pavia R. (1994), "Idrologia del sistema W le Donne - Grotta di Fiumelatte", *Grotte di Lombardia*, 1: 23-27

Premazzi A., Aimar L., Maconi A., Merazzi M., Corvi M., Ferrario A. (2010), "Il Complesso del Releccio: cronaca e storia dell'evoluzione", *Speleologia*, 62: 30-39

Servida E. (1954), "Fenomeni carsici del Gruppo delle Grigne", *Tesi di laurea, Università Cattolica 1953/54*, Milano

Spreafico F., Basiricò S., Frattini P., Crosta GB., Ferrario A., Tognini P. (2022), "Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale", *XXIII Congresso Nazionale di Speleologia*, Ormea 2022

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Nuovi rilievi ed esplorazioni al Complesso Carsico del Monte Corchia (Alpi Apuane, Toscana)

Leonardo Piccini ([a]), Salvatore Iannelli ([b])

([a]) Commissione Catasto, Federazione Speleologica Toscana
([b]) Gruppo Speleologico Archeologico Versiliese

Parole chiave: complesso carsico, rilievo speleologico, Alpi Apuane
Keywords: karst complex, cave survey, Apuan Alps

Riassunto
Il Complesso carsico del Monte Corchia si trova nel settore meridionale delle Alpi Apuane, una delle più importanti aree carsiche in Europa, e rappresenta una delle grotte più note e frequentate in Italia. L'esplorazione di questo vasto complesso sotterraneo, iniziata nel 1841, dopo 181 anni, continua a riservare sorprese. Dopo le intense fasi esplorative degli anni 80, che hanno portato alla giunzione dei vari settori, negli ultimi anni il complesso è stato oggetto di un meticoloso lavoro di revisione dei rilievi che ha permesso di scoprire nuove importanti diramazioni, portandone lo sviluppo complessivo a oltre 70 km. Il nuovo rilievo è in fase di completamento grazie all'utilizzo di strumentazione moderna e software che hanno permesso di ricavarne un modello tridimensionale in grado di evidenziare la complessità geometrica ed evolutiva di questo vasto complesso sotterraneo.

Introduzione

Nel marzo del 1983 nasce il Complesso Carsico del Monte Corchia, in quegli anni la grotta più profonda e lunga d'Italia. Negli anni Ottanta nuove esplorazioni aggiungono altri tasselli al sistema e rendono perciò necessario un grosso lavoro di topografia sotterranea, sotto l'egida della Federazione Speleologica Toscana, per riuscire finalmente ad avere, nel 1991, una pianta aggiornata e quasi completa, che ufficializza i 50 km di sviluppo spaziale del complesso. Nel 2010, in occasione di un corso di rilievo ipogeo organizzato dalla FST, nasce l'idea di aggiornare il rilievo con le ultime importanti esplorazioni, nonché, ora che la tecnologia lo permette, di realizzare il modello 3D del sistema. Nasce così il progetto "Operazione Rilievo COrchia" (ORCO). Negli anni seguenti sono organizzate molte uscite dedicate al rilievo. Sino al 2017 si è provveduto prima alla revisione della parte del sistema considerato come "Antro del Corchia", cioè dall'ingresso di Buca d'Eolo sino al fondo con tutte le diramazioni, esclusi però i Rami dei Fiorentini e i Rami di Valinor, che sono stati considerati settori a sé, essendo le uniche parti del complesso di cui esistono dei rilievi omogenei. Dopo un

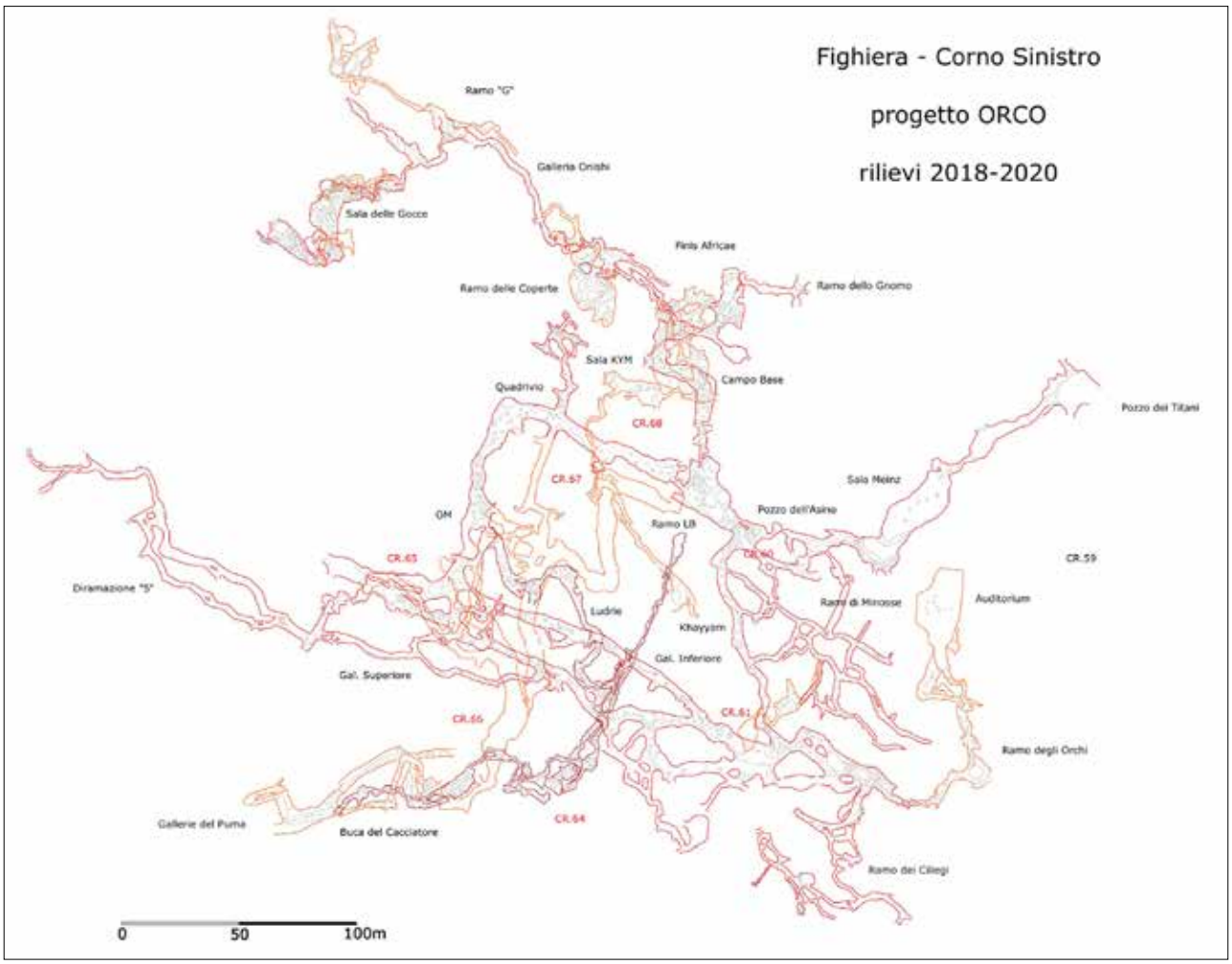


Figura 1 – Pianta della parte orientale del settore Fighiera (Corno Sinistro) con i rilievi eseguiti sino al 2020 (elaborazione grafica Leonardo Piccini).

lungo lavoro a tavolino di revisione delle poligonali, alcune delle quali estratte dai disegni, il settore "Antro del Corchia" conta ora uno sviluppo rilevato di 21 km a cui mancano solo alcune diramazioni minori. Il settore "Valinor", dopo le campagne di rilievo del 2016 e 2017, raggiunge ora circa 8 km di sviluppo, mentre i Rami dei Fiorentini mantengono i 9,2 km di sviluppo da diversi anni, in attesa che qualcuno vada a riaprire anche quel fronte. I settori in cui il lavoro di revisione è invece ancora incompleto sono quelli del Fighiera e del Farolfi, le cui poligonali risultano attualmente pari a circa 21 e 12 km di sviluppo con però molte diramazioni ancora mancanti.

Proprio in virtù di dare un nuovo impulso al rilievo e alla ri-esplorazione di questo grande complesso, nell'estate del 2018 sono riprese le campagne di rilievo con anche lo scopo di trovare nuove diramazioni. Nella seconda metà del 2018 si sono quindi succedute diverse uscite con l'obiettivo di installare un campo ben attrezzato nella zona del Fighiera da cui partono quelli che sono stati i primi "fondi" esplorati tra il 1976 e il 1978 e da allora mai più rivisitati.

Il Ramo G e oltre

Le prime uscite della nuova fase del progetto ORCO sono state indirizzate alla zona del Ramo "G", il primo dei fondi del Fighiera, esplorato nel 1976 e da allora mai rivisitato. Il nuovo rilievo ha confermato grosso modo sviluppo e

profondità, pur evidenziando qualche errore nell'andamento in pianta. Nessuna nuova diramazione è stata individuata, lasciando irrisolta la questione della notevole circolazione d'aria presente nei pozzi iniziali, probabilmente legata a qualche arrivo dall'alto. Oltrepassato il pozzo d'inizio di questo ramo, una facile arrampicata ha invece permesso di accedere ad una diramazione apparentemente inesplorata che si tiene in alto oltrepassando vari sfondamenti che ricadono in una forra già vista in passato. L'aria, pur presente, si perde in zone di frana che lasciavano presagire ambienti superiori. Infatti, risalendo ancora più in alto, una breve condotta ha permesso di accedere ad un nuovo grande ambiente, la Sala delle Gocce, che intercetta un meandro collassato. Verso valle un pozzo da 60 (Pozzo dei Bisbigli) porta ancora su frane arieggiate ma difficili da passare, verso monte, invece, un aereo traverso conduce su un terrazzo di frana sospeso su un'altra sala, sopra il quale occhieggia una galleria da raggiungere con una risalita. Questa diramazione potrebbe portare in settori nuovi verso NW, situati cioè a quote superiori ai principali piani di gallerie del Farolfi, aprendo quindi nuovi promettenti fronti esplorativi.

Minosse e Black Magic

Un altro attento lavoro di revisione è stato dedicato ai Rami di Minosse, un intricato dedalo di condotte situato tra la fine della galleria principale e la sala Meinz. Con l'occasione è stato anche ridisceso il grosso pozzo da 120 m, chiamato Black Magic, su cui all'inizio degli anni Ottanta si erano concentrati gli sforzi per trovare il collegamento con i Rami dei Fiorentini. Questo lavoro ha fruttato varie centinaia di metri di rilievo ma nessuna nuova scoperta.

Figura 2 – A sinistra, l'aereo traverso nel ramo della sala delle gocce (foto Salvatore Iannelli); a destra – la galleria concrezionata da Sala Kym a Khayyam (foto Salvatore Iannelli).

Da Finis Africae a Khayyam

Finis Africae è invece l'ultimo, tra i rami del Fighiera che si approfondiscono dal piano di gallerie di quota 1300 (-350 circa), ad essere stato esplorato (1985) ed ha il grosso vantaggio di iniziare a soli 5 minuti dal nuovo campo base.
Riarmati i primi pozzi ci si è spostati su una diramazione descritta in vecchie relazioni ma non rilevata. La diramazione ha inizio da una sala laterale, rispetto alla sequenza dei pozzi, in cui si trova una enigmatica scritta "Kym" lasciata da precedenti esploratori. L'enigma è stato risolto esplorando un ramo orizzontale, prima piuttosto stretto e poi splendidamente concrezionato, che collega con Khayyam, il noto approfondimento che aveva portato nel 1983 alla giunzione tra Fighiera e Rami dei Fiorentini e quindi alla nascita del grande complesso sotterraneo del Corchia. Il collegamento avviene per fortuna alla base del P60, cioè a valle dei temibili "Castighi di Dio". Anche questa diramazione, percorsa durante le esplorazioni di Khayyam, non era mai stata rilavata e ha consentito di aggiungere un nuovo importante settore al sistema.

Galleria Principale

Nei ritagli di tempo o in uscite di minore impegno è stata fatta anche una accurata revisione delle tante diramazioni secondarie che dipartono dalla galleria principale nel settore del Corno Sinistro del Fighiera, scoprendo alcuni tratti di condotte apparentemente mai percorsi e sicuramenti mai rilevati. Alcuni di questi settori sembrano avvicinarsi alla superficie, forse in collegamento con ingressi nascosti sui ripidi pendii sudoccidentali della cresta sommitale del Corchia. Sul settore meridionale della galleria principale ci si è invece dedicati a forzare la frana terminale, già oggetto di vari tentativi in passato, portando alla scoperta del Ramo degli Orchi. Un nuovo grande approfondimento che, dopo una serie di pozzi, immette in una forra che sbuca nei Rami dei Fiorentini, non lontano dalla giunzione con Khayyam.

Conclusioni

Il lavoro di revisione del settore Fighiera del complesso del Corchia è lontano dall'essere concluso. Molte importanti diramazioni aspettano ancora di essere rivisitate, in particolare gli approfondimenti del Ramo dello Gnomo e del Pozzo dei Titani. Anche qui è probabile che ci siano diverse diramazioni non rilevate e nuove possibilità esplorative, tenuto conto che si tratta di esplorazioni della fine degli anni Settanta, quando, nonostante l'indiscusso valore di quei primi esploratori, i mezzi tecnici erano ben diversi da quelli di oggi, soprattutto in termini di illuminazione e di possibilità di effettuare risalite e traversi con relativa facilità.

Riferimenti bibliografici

Badino G. (1983), "Un articolo lungo", *Grotte*, 80: 19-36.

Badino G. (1977), "Le esplorazioni di giugno al Fighiera", *Grotte*, 60: 11-13.

Chiabodo R., Sconfienza S., "Finis Africae: nuovo fondo al Fighiera", *Grotte*, 90: 13-16.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

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 caparbietà, 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'interno 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, Patagronia, 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/

La ricerca di grotte e di prosecuzioni attraverso le nuove tecnologie

di Tommaso SANTAGATA, Riccardo POZZOBON

La sessione sulla ricerca di grotte e prosecuzioni attraverso le nuove tecnologie ha come principale finalità quella di presentare i lavori realizzati negli ultimi anni a livello nazionale tramite l'utilizzo di nuove strumentazioni e tecnologie che permettono agli speleologi di intraprendere attività di ricerca e studi all'interno ed all'esterno delle grotte.
Per comprendere al meglio l'evoluzione tecnologica che sta avvenendo in ambito speleologico negli ultimi anni è importante descrivere le tecniche e gli strumenti di ultima generazione che possono essere utilizzati per la ricerca di nuove cavità e per diverse attività quali ad esempio il rilievo topografico, i tracciamenti delle correnti aeree o la documentazione attraverso diversi tipi di sensori.
I lavori presentati in questa sessione riguardano proprio questi temi, ormai sempre più presenti nelle ricerche effettuate da speleologi in Italia e all'estero.
Le novità più importanti riguardano sicuramente il settore del rilievo topografico, che viene sempre più realizzato attraverso tecniche e strumenti quali ad esempio la fotogrammetria o l'utilizzo di sensori LIDAR come scanner terrestri o mobili. Tali tecnologie permettono di acquisire una grande quantità di dati sotto forma di *nuvole di punti*, cioè un insieme di coordinate XYZ definite in un comune sistema di riferimento in cui ad ogni punto possono essere associate le informazioni di intensità del segnale registrato e/o il reale colore delle superfici scansionate. Le nuvole di punti rappresentano quindi il risultato della scansione che, nel caso degli scanner terrestri, vengono acquisite da diverse posizioni ed in seguito allineate tra loro in modo da ottenere un'unica nuvola di punti come risultato del rilievo di uno o più ambienti in modo continuo, ad esempio una galleria che conduce ad un grande salone di crollo.
Un'altra tecnica molto interessante ed utilizzata da diversi anni anche in ambito speleologico è la *fotogrammetria*, ampiamente impiegata in molti settori come l'architettura e la cartografia soprattutto grazie allo sviluppo di aeromobili a pilotaggio remoto, meglio noti come droni. Questa tecnica permette di determinare la forma, la dimensione e la posizione di oggetti o superfici attraverso l'acquisizione di due o più fotogrammi, successivamente elaborati tramite programmi appositi per ricostruire modelli fotogrammetrici.
Oltre all'utilizzo di questi strumenti, anche l'analisi effettuata attraverso dati e immagini satellitari sta prendendo sempre più piede per identificare aree interessanti dal punto di vista speleologico. L'utilizzo di immagini satellitari ad alta definizione e la possibilità di accedere facilmente a questi tipi di informazioni permette infatti di dare un primo sguardo utilizzando dispositivi molto comuni come *computer*, *smartphone* o *tablet* con il vantaggio di identificare le vie di accesso più facili o addirittura effettuare studi sulla geologia e l'inquadramento geomorfologico di tali aree.
Anche la ricerca di nuove prosecuzioni all'interno delle grotte può essere avvantaggiata dall'utilizzo di nuove tecniche. Infatti, già da diversi anni l'utilizzo di diversi sistemi per lo studio dello sviluppo delle correnti aeree all'interno delle cavità permette di comprendere al meglio la complessità degli ambienti ipogei,

sia dal punto di vista esplorativo per identificare le aree potenzialmente più interessanti, ma anche in questo caso per cercare di comprendere come le variazioni delle correnti aeree che si verificano all'interno delle grotte incidano sul loro sviluppo.

The search for caves and continuations through new technologies

di Tommaso SANTAGATA, Riccardo POZZOBON

The main purpose of the session on the research of caves and continuations through new technologies is to present the works carried out in recent years at a national level through the use of new instruments and technologies that allow speleologists to undertake research and studies both inside and outside caves.
To better understand the technological evolution that is taking place in the speleological field in recent years, it is important to describe the latest generation techniques and tools that can be used to search for new cavities and for various activities such as topographic survey, air flow tracking or documentation through different types of sensors.
The presentations in this session concern precisely these themes, which are now increasingly present in the research carried out by speleologists in Italy and abroad.The most important innovations certainly concern the field of topographic survey, which is increasingly carried out through techniques and tools such as photogrammetry or the use of LIDAR sensors as terrestrial or mobile scanners. These technologies allow to acquire a large amount of data in the form of point clouds, i.e. a set of XYZ coordinates defined in a common reference system in which each point can be associated with the intensity information of the recorded signal and / or the real color of the scanned surfaces. The point clouds therefore represent the result of the scan which, in the case of terrestrial scanners, are acquired from different positions and then aligned with each other in order to obtain a single point cloud as a result of the survey of one or more environments, for example a gallery that leads to a large collapse hall.
Another very interesting technique used for several years also in the speleological field is photogrammetry, widely used in many sectors such as architecture and cartography especially thanks to the development of remotely piloted aircraft, better known as drones. This technique allows you to determine the shape, size and position of objects or surfaces through the acquisition of two or more frames, which are subsequently processed through special programs to reconstruct photogrammetric models.
In addition to the use of these tools, the analysis carried out through data and satellite images is also becoming increasingly popular to identify areas of interest from a speleological point of view. The use of high-definition satellite images and the ability to easily access these types of information allows you to take a first look using very common devices such as computers, smartphones or tablets with the advantage of identifying the easiest or shortest access routes, or even to carry out studies on the geology and geomorphological classification of these areas.The search for new continuations inside the caves can also be benefited by the use of new techniques. In fact, for several years the use of different systems for the study of the development of air flows inside the cavities allows to better understand the complexity of the underground environments, both from the exploratory point of view to identify the potentially most interesting areas, but also in this case to try to understand how the variations of the air currents that occur inside the caves affect their development.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Progetto esplorazione Faglie del Lazio

Vincenzo Bello, Emanuele Gizzi Arturo Valli, Ruggero Valli

Associazione Speleologica Gullivert - Gruppo Speleologico CAI Roma

Parole chiave: geologia strutturale; speleogenesi; idrogeologia
Keywords: structural geology; speleogenesis; hydrogeology

Inquadramento geologico dell'area

La piana dei travertini sotto Tivoli (fig. 1) è attraversata da una faglia trascorrente destra con direzione Nord-Sud, su questa si trovano diversi sinkhole allineati e che rappresentano sorgenti geotermali attive segnalate in mappa. Nella sezione sottostante si può notare come da un modello numerico dei flussi d'acqua (fig. 2) sviluppato dal dott. F. La Vigna viene previsto un acquifero di profondità che porti il flusso dal p. del Merro fino ai sinkhole della piana. Lo studio riguarda la morfologia di alcune grotte diaclasiche che si ipotizza che possano irreggimentare i flussi previsti nel modello numerico.

Il progetto di esplorazione delle Faglie del Lazio

Come da proiezione del documentario "Racconto di un progetto di esplorazione speleologica" che racconta la nascita e lo sviluppo del progetto oggetto di questo studio, di seguito la cronistoria sulle esplorazioni effettuate nelle zone dei monti Cornicolani e monti Lucretili dal 2015 al 2019.

L' esplorazione del "*Pozzo del Merro*":
Il pozzo del merro è stato per molti anni il sinkhole più profondo del mondo, le esplorazioni dei primi anni 2000 hanno riportato grazie a ROV dei vigili del fuoco il record mondiale in una piccola località del Lazio. Le esplorazioni cominciate nel 2016 erano mirate a spiegare l'origine di questo mostro carsico

Campagna di misurazione dei flussi d'aria Barometrici previsti e concettualizzati da G. Badino:
seguendo le indicazioni e gli studi di G. Badino sulla meteorologia ipogea è stata condotta una campagna di rilevazione dei flussi di aria in alcune grotte dei Cornicolani probabilmente connesse con un sistema molto più ampio, i risultati ottenuti sono molto incoraggianti. Lo scopo era di capire l'entità dei vuoti delle grotte dei Cornicolani, visto che le disostruzioni necessarie erano troppo difficoltose fino a quel momento. I risultati hanno permesso di capire che quello a cui si poteva accedere era un sistema speleologico.

Stato attuale delle esplorazioni:
la stesura dei rilievi delle grotte scoperte nell'area dei Cornicolani permette di fare alcune considerazioni di carattere geomorfologico dell'area, per esempio incrociando i dati relativi ai rilievi speleo, ai sinkhole in tutta l'area ed alle sorgenti solfuree. I risultati hanno permesso di pianificare una campagna di campionamento dell'aria in grotta.

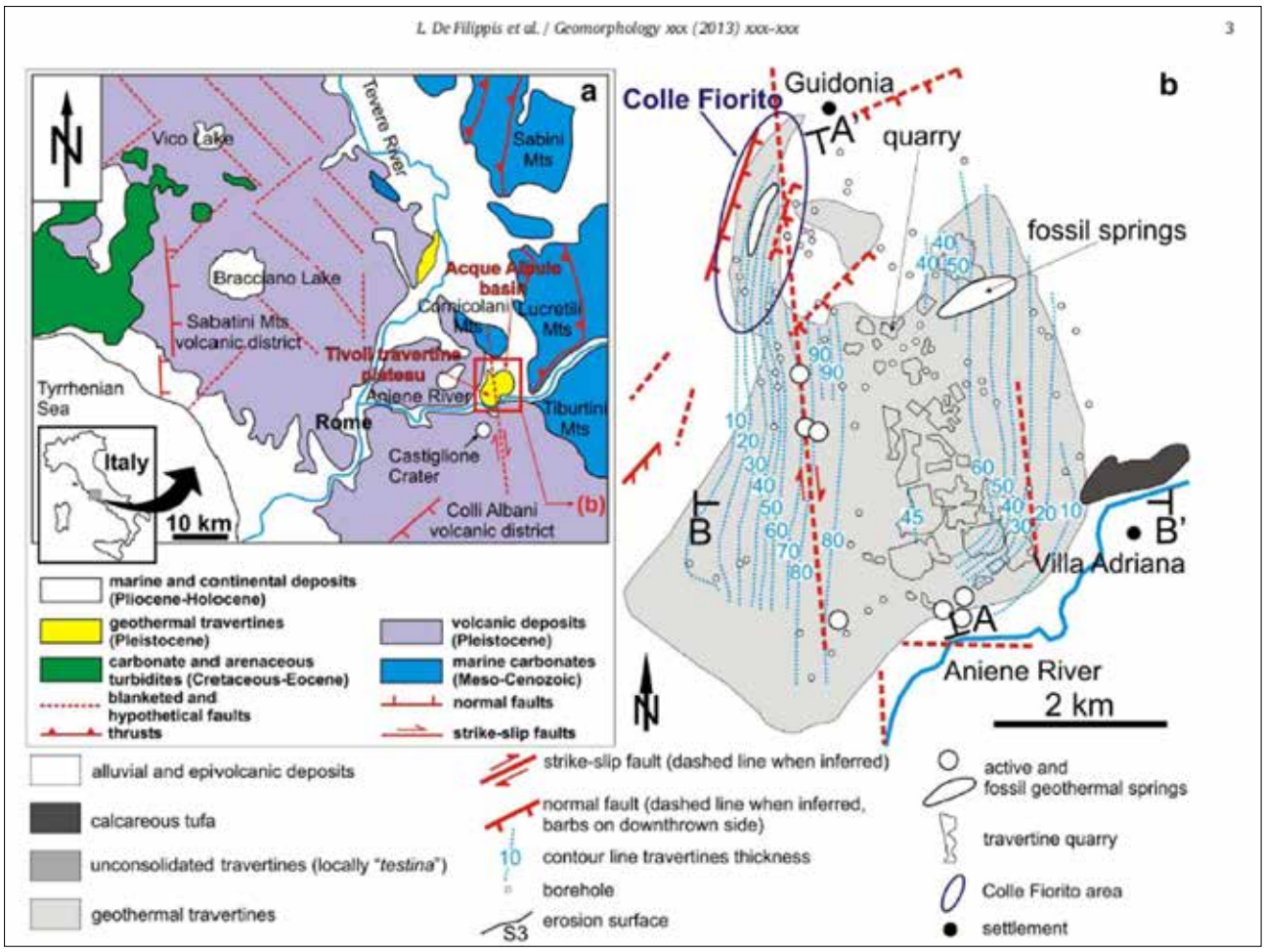


Figura 1 – Inquadramento geologico area dei Monti Cornicolani e Piane dei Travertini

Progetto di trappolaggio della specie Niphargus cornicolanus:
la specie endemica del Pozzo del Merro può attraverso meccanismi di studio genetico rivelare una possibile connessione con il pozzo del Merro. Il progetto prevede di piazzare nasse nella grotta dell'Elefante.

Inquadramento dei siti geomorfologici e proposta di stesura di carta speleotematica del sistema:
Grazie all'uso di software GIS si è potuto mettere in mappa i rilievi (Fig. 3) delle grotte e il censimento dei siti carsici di una vasta zona, la stesura di una Mappa speleotematica delle grotte ritrovate potrebbe essere lo strumento per creare un modello di riferimento per spiegare il fenomeno. In particolare, incrociare i dati con alcuni rilievi di Georadar effettuati nella città di Guidonia ha permesso di capire dove passano alcuni rami della grotta. Inoltre il campionamento di alcuni speleotemi hanno permesso di creare una carta spelotematica della grotta che potrebbe essere un ottimo strumento per la comprensione dei fenomeni che hanno creato la grotta.

Discussione finale sui contenuti e le collaborazioni con gli Enti di Ricerca:
Applicare i modelli di Badino alla meteorologia ipogea, usare i rilievi delle grotte ed abbinarli ai nuovi strumenti come i Software GIS, definire e stendere delle carte speleotematiche delle grotte sono strumenti che dovrebbero entrare in ogni ricerca scientifica applicata alle grotte.

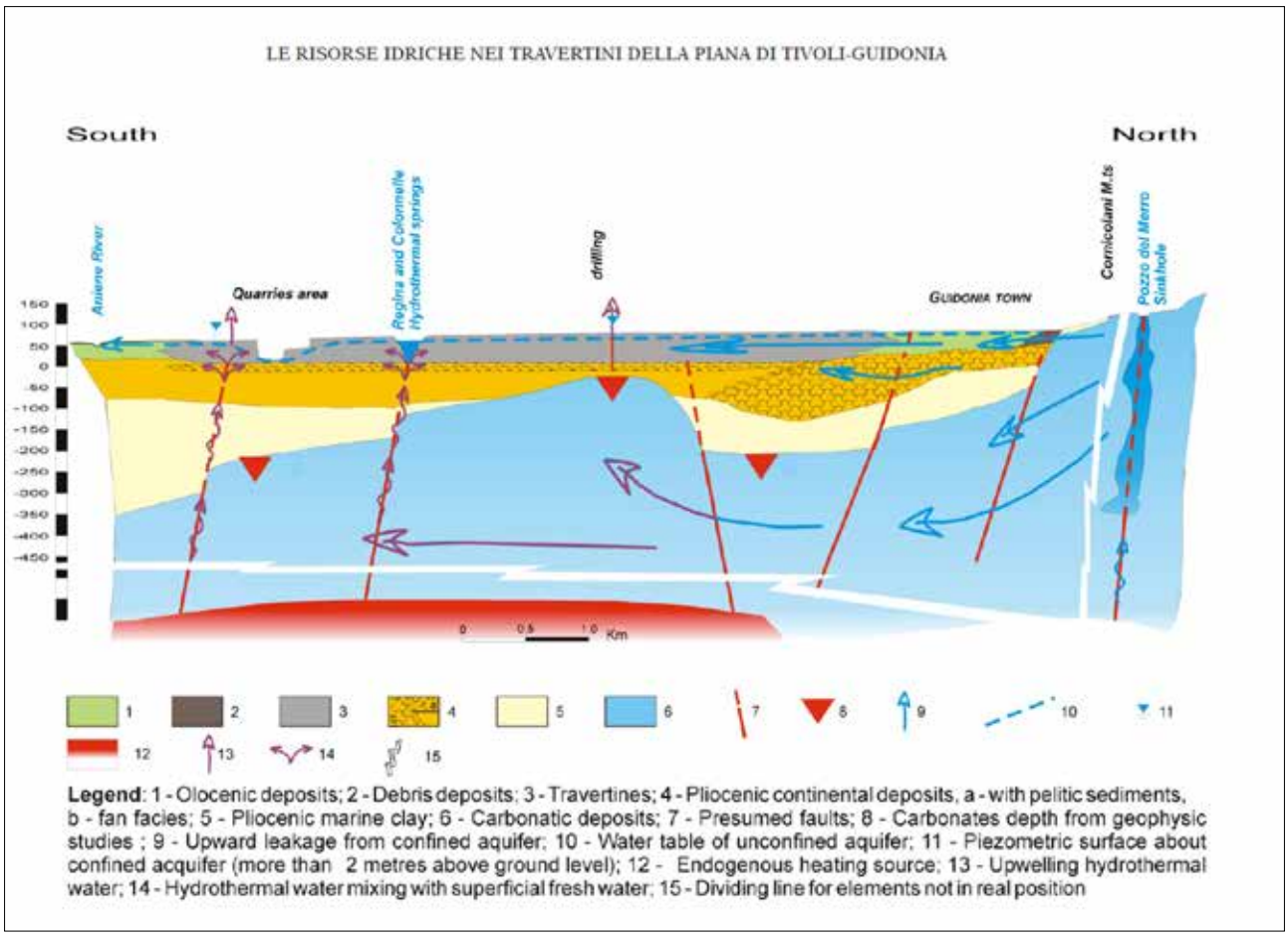


Figura 2 - Modello numerico dei flussi d'acqua

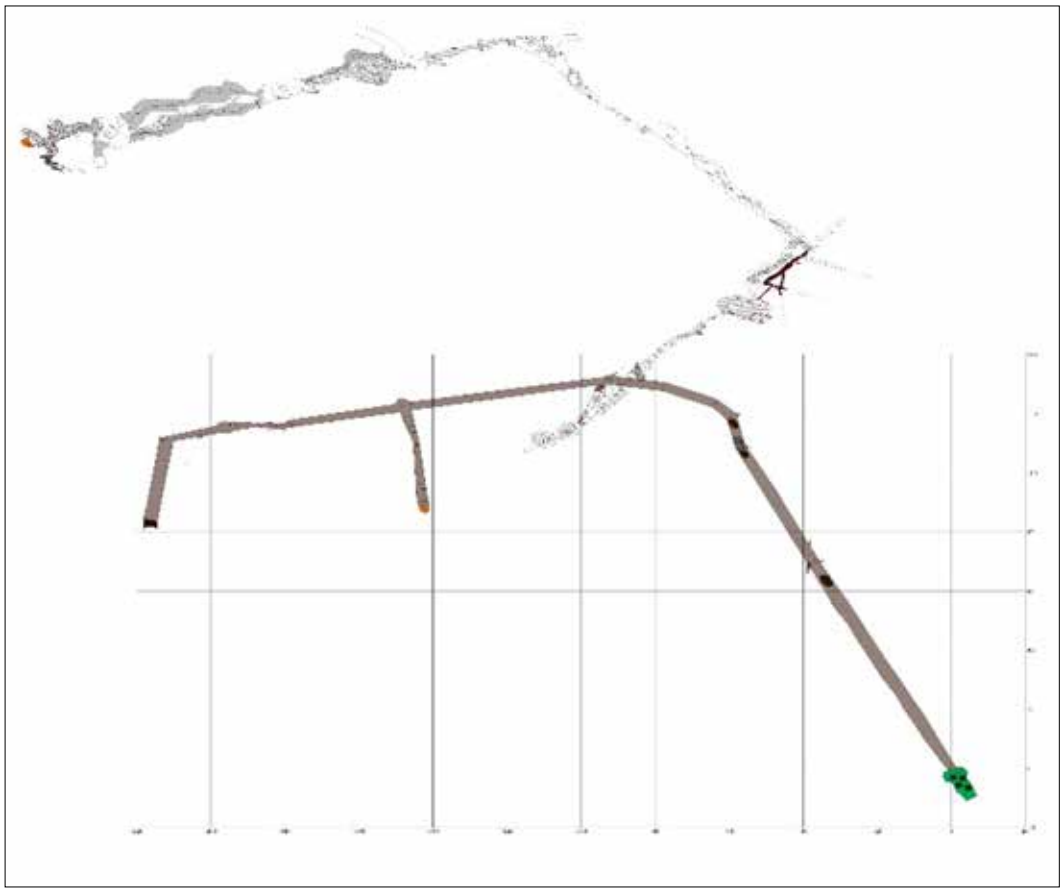


Figura 3 - Rilievo della grotta dell'elefante.

Riferimenti bibliografici

Bello V., Gizzi E., Valli A., Valli R. (2019), "Racconto di una esplorazione speleologica" https://www.youtube.com/watch?v=IDzydSewbI4&t=1225s

La Vigna F. (2013), "Le risorse idriche nei travertini della piana di Tivoli-Guidonia. La modellazione numerica come strumento di gestione degli acquiferi", *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 27: 77-85.

De Filippis F. et al. (2013), "The origin and Growth of a recently-active fissure ridge travertine over a seismic fault". *Geomorphology*, 195: 13-26.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Tracciamento dei flussi sotterranei dell'aria: stato dell'arte e prospettive

Gian Domenico Cella

Gruppo Grotte CAI Novara, Comitato Scientifico SO Bossea CAI,
cellagd@hotmail.com

Parole chiave: traccianti aerei, ambienti sotterranei
Keywords: underground aerial tracers

Abstract
Preliminarily, the author mentions typical measurements on hypogean atmosphere, like temperature, pressure, speed and oscillations of air currents, useful for providing information on the unknown sectors of caves.
He then describes some techniques for aerial tracing: they can be qualitatives or quantitatives and allow to reconstruct the underground air flows and typology of crossed sectors. The author finally lists some tested tracers and how to detect them.

Premesse e inquadramento

Si sa che per gli speleologi che conducono esplorazioni, è molto utile avere informazioni preliminari circa i settori sotterranei non ancora noti, al fine di indirizzare al meglio le ricerche. Le correnti aeree e le loro modalità di movimento sono in grado di fornirci molte informazioni quali percorsi, distanze, dislivelli tra gli ingressi, volume e forma dei vani ignoti.
Lo studio della pressione, della temperatura, della velocità dell'aria e della sue variazioni è stato già ampiamente trattato in letteratura; un lavoro di sintesi di taglio divulgativo in lingua italiana, completo di opportuna bibliografia è stato recentemente fatto da Miragoli (2019), cui rimando.
Non va poi dimenticata una tecnica di tracciamento molto originale, messa a punto dagli speleologi triestini, che consiste nel variare la pressione dell'aria all'interno della cavità facendo ricorso ad aspiratori molto potenti, previa sigillatura dell'ingresso (Metodo Florit-Zanini, descritto da Diqual, 2015): i risultati avuti in sistemi di media estensione sono stati molto positivi.
In questo lavoro desidero invece approfondire l'aspetto "tracciamento" dell'aria, riassumendo brevemente quanto finora riportato in letteratura, integrato da vari test condotti sul campo.
In campo "civile" tecniche di tracciamento, alcune normate (ISO 16000-8, ASTM E741), permettono di calcolare volumi di ambienti chiusi, i vuoti nelle frane, fino a mappare il movimento dell'aria in ambienti sotterranei complessi quali miniere e metropolitane urbane.
Classicamente un'unità di tracciamen-

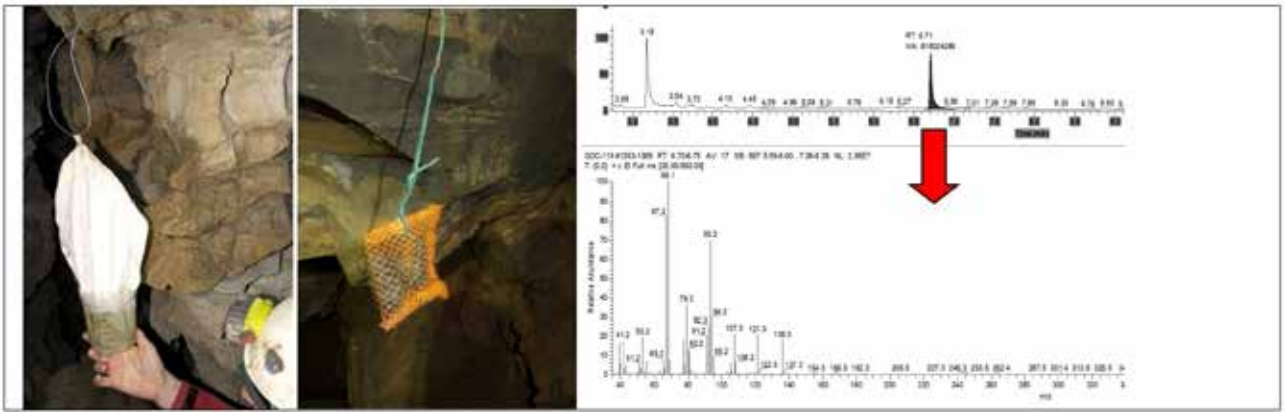


Figura 1- Tracciamento qualitativo con D-Limonene (Sistema del Sebrino, BG)
Sin.: Stazione rilascio Centro: captore a carbone attivo Dx: riconoscimento con GC-MS

to è composta da due parti: una o più sezioni di rilascio del tracciante e una o più sezioni di rilevamento. Le stazioni di rilevamento sono quelle che maggiormente condizionano la scelta del tracciante da usare e le modalità operative generali.
In linea generale possiamo raggruppare le modalità di un tracciamento in tipi: 1- qualitativa, di tipo passa/non passa; 2- qualitativa con curva di concentrazione del tracciante transitato; 3-quantitativa.

Tracciamenti qualitativi
Un tracciamento è definito qualitativo quando permette unicamente di verificare se il tracciante è transitato.
Questa situazione si verifica quando il rilevamento è di natura puramente sensoriale (tipicamente il naso o la vista dello speleologo). In letteratura viene riportato l'impiego di numerosi traccianti di natura "casalinga": fumo, profumi, essenze, incensini ma anche combustione di pneumatici, zolfo ecc. ecc. In genere la distanza coperta da questi traccianti, non sempre salutari, è piuttosto breve.
Di particolare interesse si sono invece rilevati i derivati usati per odorizzare i gas combustibili, che vengono avvertiti a concentrazioni infinitesime (10 ppb): tralasciando aspetti legali e di sicurezza, essi si sono mostrati molto efficaci. Classicamente vengono utilizzati mercaptani, quali il tetra-idrotiofene (THT; in Italia considerato gas tossico) e ter-butil mercaptano (TBM). Personalmente consiglierei il derivato (bis-metil-tio)-metano, l'aroma sintetico del tartufo, prodotto alimentare di libera vendita, che se non altro ci espone meno ai rigori della legge.
Se il rilevamento si basa sull'uso di una sostanza (captore) che cattura il tracciante in transito, come ad esempio il carbone attivo, risulterà poi necessario estrarlo dal captore per riconoscerlo; l'estrazione può venire effettuata con solventi o, in alcuni casi, previo riscaldamento.
Le tecniche di riconoscimento più usate più utilizzate sono la gas-cromatografia (GC) o meglio ancora la gascromatografia associata alla spettrometria di massa(GC-MS); con questa ultima tecnica il riconoscimento è assoluto, anche a bassissime concentrazioni.
I traccianti possono essere moltissimi e vengono scelti in funzione del contorno al tracciamento: traccianti fluorurati inodori (sensibilità nell'ordine delle ppt; non necessitano di bianco), terpeni (D-limonene, α e ß pinene) e altri; anche i mercaptani più pesanti vengono fissati dal carbone attivo. Questa tecnica permette di effettuare

tracciamenti multipli senza particolari problemi.
Il riconoscimento richiede il ricorso a laboratori specializzati e dà unicamente risposte del tipo passa/non passa e una vaga idea delle concentrazioni in gioco. Si possono avere misure quantitative spot del tracciante transitato ricorrendo all'impiego di aspiratori volumetrici (dosatori) e misurando in parallelo la portata globale della galleria in cui il ricevitore è posto. Si tenga presente che la reazione che fissa il tracciante al carbone attivo è reversibile: quindi a lungo andare, il tracciante fissato viene rilasciato.

Tracciamenti con curve di transito e quantitativi

Se il rilevamento viene effettuato con sonde specifiche è possibile ottenere le curve di transito tracciante/tempo, dato che fornisce utili informazioni circa forme e dimensioni del tratto ignoto (Cella, 2022). Conoscendo la portata di aria della galleria è anche possibile risalire alla quantità assoluta del tracciante transitato e, di conseguenza, ricostruire la ripartizione quantitativa dei flussi aerei.

Con questa tecnica buoni risultati sono stati ottenuti usando come tracciante l'anidride carbonica: il metodo, pur non dotato di spiccata sensibilità, ha però il vantaggio di non richiedere grossi investimenti ed è alla portata di ogni gruppo speleologico.
Ottimi risultati in sistemi complessi sono stati anche ottenuti usando acetilene (Standish, 1988).
Un'originale metodologia è stata recentemente messa a punto da Alessandro Vernassa. Si basa sull'impiego di bombolette spray di deodoranti contenenti sostanze profumate; in realtà viene tracciato il propellente (idrocarburi gassosi), facilmente rilevato da sensori VOC (Volatile Organic Compounds), dal costo di qualche euro. Rilevatori quantitativi dal costo accettabile sono già disponibili sul mercato, ma gli speleo volenterosi potranno facilmente assemblarne uno al costo di qualche decina di EU. La tecnica è in avanzata fase di ottimizzazione: i vantaggi sono molteplici, specie in termini di trasporto del tracciante e della sensibilità.
Chiudo riassumendo in tabella 1 quanto a noi noto al momento.

Figura 2 – Tracciamento quantitativo con CO_2 - Antro del Corchia (LU)
Sin: Lancio nella galleria turistica – Dx: acquisizione alla Buca del Serpente (dx). Da qui fuoriesce il 13% dell'aria che circola nel settore turistico (foto GDC e FST).

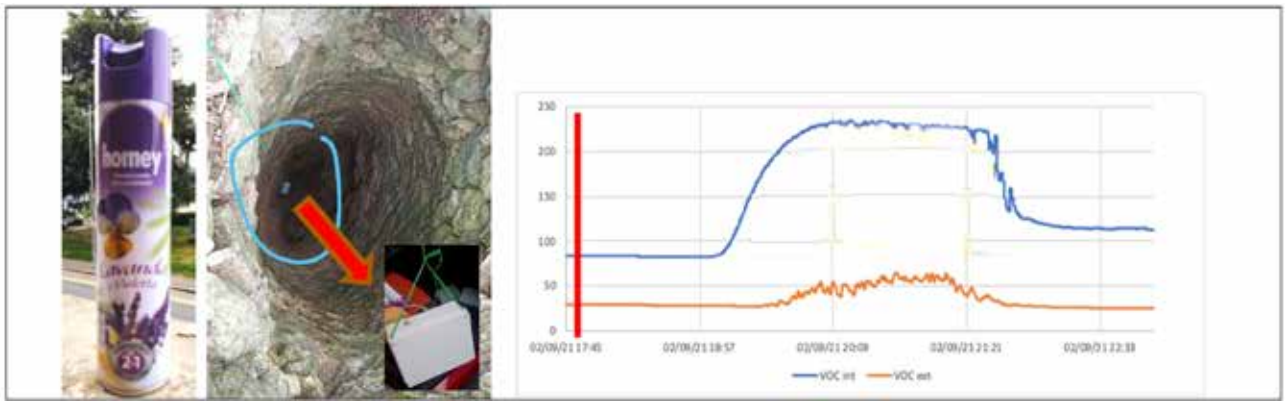


Figura 3- Tracciamento semi quantitativo con VOC - (cort. di A. Vernassa)
Sin.: Bomboletta di tracciante - Centro: Rilevatore - Dx: curva di transito (Turbiglie, CN)

Tracciante	Rilevatore	Risposta	Sensibilità	Note
Fumo	Vista, telecamera	Diretta, qualitativa	Bassa	
Incensini	Olfattivo	Diretta, qualitativa	Bassa	
Aria calda	Termocamera	Diretta, qualitativa	Molto bassa	
Profumo	Olfattivo	Diretta, qualitativa	Bassa	
Mercaptani	Olfattivo	Diretta, qualitativa	Elevata	
Idem, alto PM	Carbone attivo	Indiretta, qualitativa*	Medio alta	
Terpeni	Carbone attivo	Indiretta, qualitativa*	Elevata	Limonene, pineni
Idrocar. fluorurati	Carbone attivo	Indiretta, qualitativa*	Elevata+	No bianchi
An. carbonica	Sensore specifico	Diretta, quantitativa	Medio bassa	CO_2 da estintori
Acetilene	Sensore specifico	Diretta, quantitativa	Elevata	
Idrocarburi VOC	Sensore specifico	Diretta, quantitativa	Medio alta	Propellenti spray

Tabella 1 – Traccianti aerei e modalità di impiego di tracciamenti aerei sotterranei
*: necessaria analisi gas-cromatografica, meglio se associata a spettrometria di massa.

Prospettive

In prospettiva, l'approccio traccianti aeriformi finalizzato alla ricerca e definizione di zone inesplorate è aperto a infinite possibilità. Non ci sono limiti, se non economici, alla progettazione di sonde specifiche per ogni tipo di tracciante; i costi analitici per analisi indirette sui captori sono in caduta libera. Queste indagini richiedono in ogni caso a priori "cervello".

Ringraziamenti

L'autore è grato a tutte le persone che hanno collaborato alla messa a punto dei metodi e alla raccolta dati sul campo, in particolare Marina Abisso, Lia Botta, Maurizio Miragoli, Alessandro Vernassa.

Riferimenti bibliografici

Diqual, A. (2015), "Un insolito metodo di indagine speleologica", in *https://www.boegan.it.*

Maurizio Miragoli (2019), "Ricavare le dimensioni di una grotta dalle misure meteo", *Labirinti,* 38: 40-49.

Cella G.D. (2022), "Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica ", in *atti del XXIII Congresso Nazionale di Speleologia, in stampa*.

Standish, P.N., (1988), *Dispersion Mechanism in underground mine ventilation*, in *University of Wollongong Thesis Collection.*

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

L'utilizzo del drone per individuare obiettivi celati. Il caso della Grotta delle Rondini (*Shpella e Dallandysheve*)

Alessandro Marraffa, Claudio Pastore, Orlando Lacarbonara

Gruppo Speleologico Martinese

Parole chiave: Drone; Esplorazione; Tecnologia; Grotte
Keywords: Drone; Exploration; Technology; cave

Abstract
Gli strumenti e le tecnologie continuano a giocare un ruolo importante, anche nel mondo della speleologia, che sia per esplorazione, documentazione o qualsiasi altro tipo di attività. In particolare, in questo lavoro si vuole risaltare l'importanza e le possibilità che ci offrono le tecnologie, evidenziando il ruolo dei droni nella scoperta di cavità celate altrimenti irraggiungibili. Questo è il caso della grotta delle rondini, la cavità che si apre a 50 metri su una grande parete verticale di difficile accesso. L'imbocco è stato osservato durante una battuta in esterno, grazie all'utilizzo di un binocolo. Per raggiungere l'imbocco e confermare la presenza di una cavità escludendo la possibilità che si trattasse solo di un'ombra o di un vicolo cieco, sarebbe stato necessario intraprendere una via alpina con un dispendio di energie e tempo non indifferente. Grazie all'utilizzo del drone è stato possibile confermare attraverso un serie di voli, prima di intraprende questa risalita, la presenza di un pozzo un motivo in più per decidere di raggiungere l'imbocco. L'uso del drone ha velocizzato e ha dato l'opportunità di sapere già a cosa saremmo andati in contro, infatti, grazie alle immagini catturate durante i voli non solo si è potuta osservare meglio la cavità ma anche la parete che saremmo andati ad affrontare per raggiungere l'imbocco. Difatti, il drone è stato un'importate mezzo di esplorazione e progettazione, che ha portato alla luce una grotta altrimenti celata all'uomo.

La grotta delle Rondini e l'uso del drone

Nel 2017 è cominciata l'esplorazione della *Shpella Shtares*. Contestualmente l'attenzione è stata rivolta alla ricerca di possibili altri ingressi e cavità presenti sull'aspra parete che ospita l'ingresso della cavità.

Arrivare nelle zone alte della montagna per fare delle battute di ricerca richiede molti giorni di permanenza in campi logisticamente impegnativi. Ciò rende necessario individuare obiettivi quanto più possibile circoscritti e ad alto potenziale affinché le energie siano ben investite.

Geograficamente ci troviamo sulle Alpi Albanesi, nel distretto di *Tropoje* nella piccola comunità di *Vrane e Madhe*. Gli ingressi conosciuti (*Shpella Shtares* e

Grotta delle Lumache) si aprono alla quota di 1500 metri dove la vegetazione è assente, solo pini loricati svettano lungo la cresta del *Maja* e *Shtrezës*. Il contesto geomorfologico è quello tipico di una valle glaciale circondata da pareti estremamente verticali e di difficile accesso, alla cui base è presente un imponente ed acclive *talus* (fig. 1).
È possibile studiare le imponenti pareti soltanto da lontano e la ricerca di ingressi a quote elevate richiede l'utilizzo di classici binocoli, oppure a tavolino con lo studio di immagini fotografiche e satellitari (*Google Earth*). Da qualche anno il drone è entrato a far parte delle tecnologie che possono dare un punto di vista del tutto nuovo, efficace e a basso costo per un'indagine preliminare approfondita utile per la definizione di obiettivi validi.
Il caso della Grotta delle Rondini è un esempio di come questo "terzo occhio" abbia aiutato nel dare conferma della presenza di un grande ingresso già intravisto in fotografia. Le immagini catturate dall'alto del pozzo grazie al drone hanno convinto ad intraprendere una risalita alpina impegnativa per potervi accedere. La stessa via di risalita è stata scelta e studiata sfruttando le immagini e i video acquisiti durante i voli del drone.
Per raggiungere la Grotta delle Rondini ed esplorarla sono state necessarie due spedizioni e quattro giorni in parete, rivelando un grande pozzo di 25 metri durante la prima spedizione (2018). Nonostante le speranze e le buone prospettive esplorative la cavità chiude alla base di un secondo pozzo altrettanto imponente profondo

Figura 1 - Foto della parete che ospita la grotta delle Rondini e le cavità Shtares e Lumache (GS Martinese)

Figura 2 - Foto dell'ingresso della grotta delle Rondini scattata durante un volo con il Drone Phantom 4 DJI

61 metri, esplorato durate la seconda spedizione (2019). L'imponente ingresso della grotta delle rondini si apre sulla parete ad un'altezza dalla base di circa 50 metri, la sua presenza non è possibile da individuare ad occhio nudo dal piede della parete verticale, bensì è necessario osservare la parete da un punto lontano e rialzato, ma comunque questa apparirà solo come un'ombra sull'immensa parete. L'utilizzo del drone ha quindi permesso non solo di osservare l'imbocco del pozzo in parete restituendo una serie di immagini con una risoluzione spaziale centimetrica, che confermano la precedente supposizione della presenza di una cavità, ma attraverso queste immagini è stato possibile poter costruire il percorso alpino più adatto per raggiungere l'imbocco. Il drone utilizzato per poter osservare meglio la cavità è un *Phantom 4 DJI*. Questo presenta una camera 4k con sensore da 12 megapixel effettivi, obiettivo FOV 94° 20 mm e messa a fuoco a infinito, con una dimensione dell'immagine massima di 4000X3000. Oggi le tecnologie sempre più in espansione permettono di poter esplorare con più semplicità luoghi che richiederebbero un dispendio di energie molto alto. Difatti un volo con il drone di 15 minuti ha permesso di scoprire e in seguito esplorare una cavità che altrimenti sarebbe rimasta celata per molto tempo ancora.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Esplorare dall'alto. La ricerca di nuove grotte tramite telerilevamento nella Cordillera de la Sal (Cile)

Luca Pisani [a,b], Jo De Waele [a,c]

([a]) Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali; *luca.pisani4@unibo.it, jo.dewaele@unibo.it*
([b]) Gruppo Speleologico Bolognese-Unione Speleologica Bolognese (GSB-USB)
([c]) La Venta - Esplorazioni Geografiche

Parole chiave: telerilevamento; immagini Pleiades; rocce evaporitiche; geomorfologia.
Keywords: remote sensing; Pleiades images; evaporites; geomorphology.

Riassunto
La Cordillera de la Sal (Deserto di Atacama, Cile) è uno dei luoghi più aridi della Terra. Il suo clima iper-arido ha preservato importanti affioramenti di roccia salina che ospitano oltre quaranta grotte ad oggi esplorate, alcune delle quali tra i più lunghi sistemi al mondo nel sale (sistema carsico Dario Cressi, oltre 5 km di sviluppo totale). Questo lavoro presenta i principali risultati di un'indagine di telerilevamento che ha preceduto la spedizione "Reading the salt caves of Atacama", finanziata dalla National Geographic Society e organizzata dall'Università di Bologna e dall'associazione "La Venta - Esplorazioni Geografiche" nel mese di marzo 2018. L'elaborazione di 660 km^2 di coppie di immagini stereografiche dai satelliti Pleiades-1A e Pleiades-1B forniti dall'ESA (European Space Agency), prodotti multispettrali con risoluzione spaziale fino a 0.5 m, ha permesso l'estrazione semi-automatica di modelli di elevazione digitali (DEM) ad 1 m di risoluzione spaziale. Ulteriori fasi di elaborazione delle immagini e dei DEM hanno permesso di mappare manualmente i potenziali ingressi di grotte lungo gli affioramenti evaporitici. Questo database di potenziali ingressi (n=371) *è stato utilizzato per costruire una mappa di potenzialità speleologica in* otto settori morfo-strutturali in cui è stata suddivisa l'area di studio. Il potenziale di "successo" degli ingressi mappati nelle zone inesplorate in seguito alla spedizione speleologica è pari all'83%. Oltre 3 km di nuove grotte sono stati esplorati e documentati.

Introduzione

Il telerilevamento offre la possibilità di indagare in maniera indiretta vaste aree, spesso inaccessibili o impervie. Le forme di telerilevamento più comuni, versatili, e accessibili si basano su fotografie aeree e immagini satellitari, che sfruttano sensori passivi per misurare la radiazione trasferita (riflessa, emessa e trasmessa) dalla superficie terrestre in specifiche bande dello spettro elettromagnetico. Il recente sviluppo dell'ingegneria aerospaziale e satellitare, insieme alle politiche di "*open access*" di molti database cartografici, permette di avere una coper-

tura completa dell'intera superficie terrestre (ad esempio tramite il software gratuito *Google Earth*) con prodotti ad alta o altissima risoluzione. Tuttavia, questi software consentono osservazioni solo nella finestra dello spettro RGB visibile (380 nm – 740 nm), senza possibilità di gestire i dati ed elaborarli per ulteriori analisi quantitative. Inoltre, l'elaborazione di immagini satellitari stereografiche, acquisizioni LiDAR o fotogrammetriche, consentono indagini morfometriche molto dettagliate, che possono essere funzionali anche alla ricerca speleologica. Negli ultimi anni, questo tipo di tecniche ha iniziato a "contaminare" anche il mondo della speleologia, che vede nel telerilevamento un interessante ed utile strumento preliminare alle ricerche sul terreno. Questo è ancor più significativo per quanto riguarda spedizioni estere o in territori remoti e selvaggi, dove l'assenza di prodotti cartografici o mappe accessibili richiede notevoli sforzi preparatori.

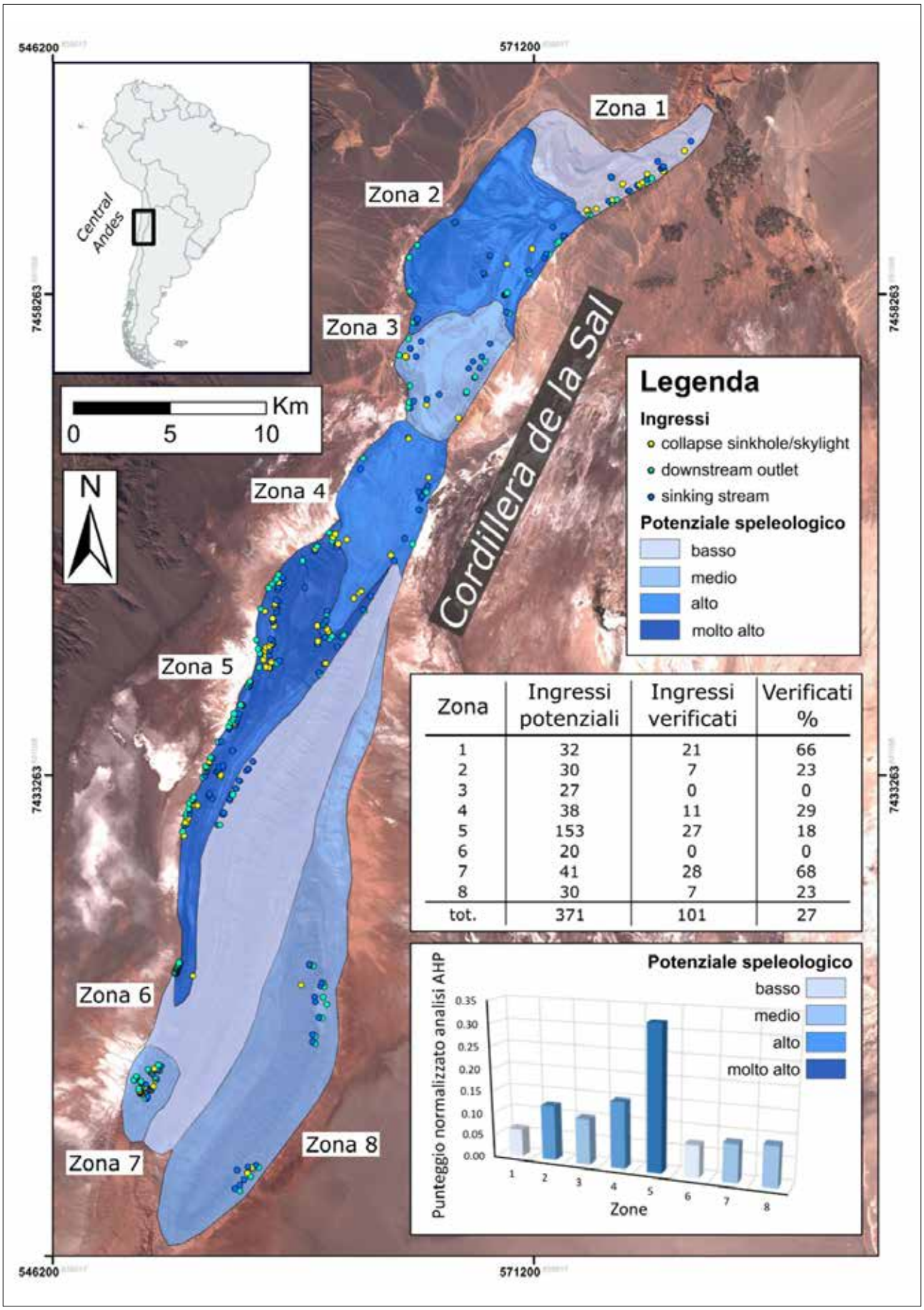
Inquadramento geologico

L'area di studio della Cordillera de la Sal (CDS) si trova nelle Ande cilene centrali. L'evoluzione tettonica delle Ande ha generato un paesaggio complesso caratterizzato da aspre montagne separate da bacini sedimentari. Uno di questi bacini è il Salar de Atacama, confinato ad ovest dalla catena a pieghe della CDS. Questa catena è costituita da una successione di depositi Oligo-Miocenici appartenenti alla Formazione di San Pedro, un'unità spessa oltre 3000 m prevalentemente composta da arenarie, siltiti ed evaporiti (sale e in maniera minore gesso), ampiamente deformate (Rubilar et al., 2017). L'elevato spessore di affioramenti salini rende questo paesaggio un patrimonio geologico inestimabile, in quanto le scarsissime precipitazioni, in media meno di 20 mm/anno (De Waele et al., 2020), hanno permesso la conservazione di grandi volumi di roccia estremamente solubile. Con oltre 22 km di grotte conosciute, esplorate principalmente da speleologi francesi, statunitensi e italiani (Padovan, 2015; De Waele et al., 2019), la CDS presenta ancora numerose potenzialità esplorative, sia dal punto di vista speleologico che scientifico.

Materiali e metodi

Una prima fase di osservazione preliminare è stata realizzata utilizzando il software gratuito *Google Earth*. Questo ha permesso di inquadrare le principali aree saline in maniera qualitativa. Successivamente, sono state utilizzate immagini satellitari stereografiche Pleiades con una risoluzione spaziale di 0.5 m (pancromatico) e 2 m (bande RGB e near-IR) per estrarre in maniera semi-automatica modelli di elevazione digitali (DEM) ad 1 m di risoluzione spaziale tramite il software *PCI Geomatica*. Utilizzando un software GIS, i DEM sono stati elaborati al fine di creare raster di *residual topography*, *surface roughness,* e *curvature* (Pisani e De Waele, 2021). Questi sottoprodotti sono stati usati insieme alle immagini Pleiades come base per mappare manualmente gli elementi carsici lungo gli affioramenti evaporitici (Fig.1). Gli elementi carsici mappati consistono principalmente in: *downstream outlets* (risorgenze), *skylight/collapse sinkholes* (ingressi a pozzo/dolina di crollo), e *sinking streams* (punti di inghiottimento di canali/valli cieche).

L'area di studio è stata quindi suddivisa in otto unità morfo-strutturali in base a criteri geologici (Pisani e De Waele, 2021). Un procedimento di gerarchia analitica (*AHP*) è stato utilizzato per classificare il potenziale speleologico di queste zone carsiche. La classificazione ha utilizzato un approccio multicriterio, combinando per ogni zona: (i) numero



Zona	Ingressi potenziali	Ingressi verificati	Verificati %
1	32	21	66
2	30	7	23
3	27	0	0
4	38	11	29
5	153	27	18
6	20	0	0
7	41	28	68
8	30	7	23
tot.	371	101	27

Figura 1 – Mappa con gli ingressi mappati e la stima del potenziale speleologico delle 8 zone carsiche. È inoltre indicato il numero di ingressi mappati e la percentuale di quelli verificati.

di ingressi mappati ancora sconosciuti; (ii) superficie di affioramento di sale; (iii) topografia (elevazioni medie sopra il livello di base); (iv) lunghezza cumulativa delle grotte già note.

Risultati

Il risultato dell'indagini di telerilevamento e di analisi statistica, in un'area totalmente priva di vegetazione e carte topografiche dettagliate, ha permesso di pianificare gli obiettivi della spedizione del 2018 e infine di esplorare oltre 3 km di nuovi ambienti ipogei in territori sconosciuti della Cordillera meridionale (De Waele et al., 2019). Dal punto di vista speleologico, dei 371 potenziali ingressi mappati, solo 101 (pari al 27%) sono stati verificati, dando accesso ad oltre 40 cavità (alcune che presentano molteplici ingressi) per uno sviluppo cumulativo di oltre 22 km. Dall'analisi delle corrispondenze tra ingressi potenziali (da telerilevamento) ed ingressi verificati sul terreno che hanno dato accesso ad una grotta percorribile, si può calcolare una percentuale di "successo" media dell'83% (Pisani e De Waele, 2021).

Conclusioni

Il lavoro di telerilevamento nella CDS si è dimostrato particolarmente affidabile nell'individuare nuovi ingressi potenziali di grotte. Questo è dovuto anche all'ottima esposizione degli affioramenti salini, che non presentano alcuna copertura vegetale che complicherebbe l'estrazione di DEM accurati, oltre a nascondere le morfologie nelle immagini ad altissima risoluzione. Studi simili potrebbero essere eseguiti anche in altre aree carsiche, utilizzando immagini satellitari o tecniche LiDAR/fotogrammetriche. Infine, crediamo che nuove ricerche speleologiche nelle zone ad alto potenziale della CDS possano offrire ancora grandi (ed inaspettati) risultati esplorativi.

Riferimenti bibliografici

De Waele, J., Pisani, L., Pastore, C., Vattano, M. (2019), "Leggere le grotte nel sale di Atacama (Cile)", *Speleologia*, 81: 44-51.

De Waele, J., Picotti, V., Martina, M.L., Brook, G., Yang, L., Forti, P. (2020). "Holocene evolution of halite caves in the Cordillera de la Sal (Central Atacama, Chile) in different climate conditions", *Geomorphology*, 370: 107398.

Padovan, E. (2015), "L'Esplorazione delle grotte nella Cordillera de la Sal Salar de Atacama – Chile", Atti XXII Congr. Naz. Spel. "Condividere i Dati", Pertosa-Auletta, Salerno. 14 p.

Pisani, L., De Waele, J. (2021), "Candidate cave entrances in a planetary analogue evaporite karst (Cordillera de la Sal, Chile): A remote sensing approach and ground-truth reconnaissance", *Geomorphology*, 389: 107851.

Rubilar, J., Martínez, F., Arriagada, C., Becerra, J., Bascuñán, S. (2017), "Structure of the Cordillera de la Sal: a key tectonic element for the Oligocene-Neogene evolution of the Salar de Atacama basin, Central Andes, northern Chile", *Journal of South America Earth Sciences*, 87: 200-210.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Droni e ricerca speleologica: tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio

Massimo Pozzo ([a]), Marco Tremari ([b])

([a]) Underland, *underlandweb@gmail.com*, *maximopozzo@gmail.com*
([b]) 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 poter 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)

nere 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

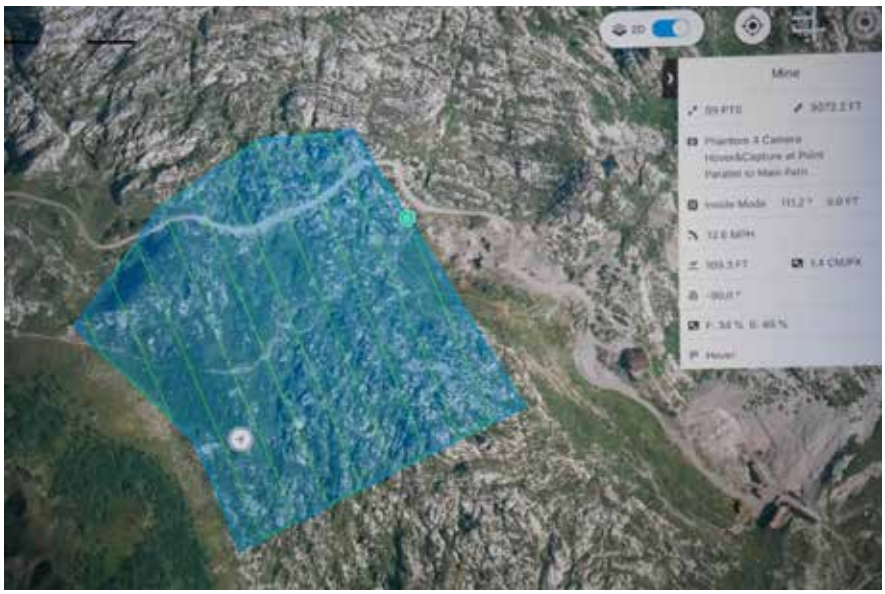


Figura 3 - Piano di volo per fotogrammetria aerea con prova di copertura di un'area di circa 100x100metri (Mare in Burrasca – Presolana Bg) (M. Pozzo)

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. Ulteriori 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 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

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio di nuove cavità vulcaniche attraverso droni e immagini termiche

Tommaso Santagata ([a,b]), Riccardo Pozzobon ([a,b,c]), Francesco Sauro ([a,b,d]), Marco Vattano ([a,b,d])

([a]) La Venta Esplorazioni Geografiche, Treviso; *tommaso@vigea.it, riccardo.pozzobon@vigea.it, cescosauro@gmail.com, marco.vattano@gmail.com*
([b]) Vigea – Virtual Geographic Agency, Reggio Emilia
([c]) INAF – Istituto Nazionale di Astrofisica, Padova
([d]) Miles Beyond, Padova

Parole chiave: telerilevamento; tubi lavici; Islanda
Keywords: remote sensing; lava tubes; Iceland

Riassunto
In Islanda nella notte tra il 19 e 20 marzo 2021, dopo circa 800 anni di riposo, ha avuto inizio l'eruzione del vulcano Fagradalsfjall situato nella penisola di Reykjanes (regione di Suðurland).
Tale evento è stato preceduto da un'intensa attività sismica e dal rapido sollevamento del terreno nei pressi di una montagna nelle vicinanze del vulcano (monte Þorbjörn). L'attività eruttiva ha avuto una durata di oltre sei mesi portando alla fuoriuscita di circa 150 milioni di metri cubi di lava attraverso eruzioni di tipo effusive, lungo fratture laterali del vulcano ed esplosioni improvvise con fontane di lava alte fino a 500 metri.
Dal punto di vista speleologico questo fenomeno ha da subito attirato l'attenzione di geologi e ricercatori dell'Associazione La Venta che, nel mese di ottobre dello stesso anno, hanno organizzato una spedizione per indagare sulla possibile formazione di nuove cavità vulcaniche.
Nell'ambito di queste ricerche è stato utilizzato un drone equipaggiato con una camera termica con l'obiettivo di identificare accessi di nuovi tubi lavici e misurarne le temperature interne.
I risultati, descritti nel presente articolo, hanno portato all'identificazione di diversi collassi e condotte che si sviluppano a poche decine di metri di profondità e che attualmente risultano ancora difficilmente accessibili a causa delle alte temperature e presenze di gas solfurei.

Introduzione e inquadramento geografico

L'Islanda è un'isola di origine vulcanica e geologicamente molto giovane (circa 20 milioni di anni), nota per le sue particolarità geologiche e caratterizzata da un'intensa attività geotermica dovuta alla presenza di numerosi vulcani. Situata sulla dorsale medio atlantica, nell'Oceano Atlantico settentrionale ad

est della Groenlandia e a sud rispetto al Circolo Polare Artico, tra le isole europee l'Islanda è seconda solo alla Gran Bretagna in termini di superficie con un'estensione di poco superiore ai 100.000 km^2. Le rocce che compongono questo paese segnano la divisione tra la piattaforma europea e quella nord-americana (fig. 1).
Circa la metà del paese è ricoperta da rocce di origine vulcanica, mentre l'11% della superficie è caratterizzata dalla presenza di diversi ghiacciai tra cui il Vatnajökull, il più esteso ghiacciaio in Europa (circa 8.100 km^2).
Tra i vulcani presenti, attivi e non, è possibile osservare fenomeni di vulcanismo di tipo fissurale, una tipologia di eruzione caratteristica dei complessi vulcanici della dorsale oceanica. Questo tipo di vulcanismo porta a fuoriuscite di lava attraverso spaccature che si aprono sulla superficie terrestre e che possono raggiungere lunghezze di diversi chilometri. Tali spaccature, al termine dell'attività eruttiva possono essere riempite dalla solidificazione della lava stessa e ricoperte da eventi successivi.
L'eruzione del vulcano Fagradalsfjall è iniziata nel mese di marzo 2021 ed è stata caratterizzata proprio da questo tipo di vulcanismo. Situato nella penisola di Reykjanes (regione di Suðurland), questo piccolo vulcano è stato inattivo per oltre 800 anni e il suo risveglio è stato preceduto da un'intensa attività sismica della durata di circa un anno, con una particolare concentrazione nei due mesi precedenti all'inizio dell'eruzione.
Oltre a fenomeni di vulcanismo fissurale, le eruzioni avvenute nei mesi successivi sono state caratterizzate da forti esplosioni che hanno prodotto fontane di lava alte diverse centinaia di metri, attirando turisti da tutto il mondo. Per queste ragioni, le attività sono state dettagliatamente documentate non solo dall'istituto meteorologico dell'Islanda (Veðurstofa) ma anche da numerosi ricercatori e semplici appassionati che hanno costantemente documentato tali fenomeni.

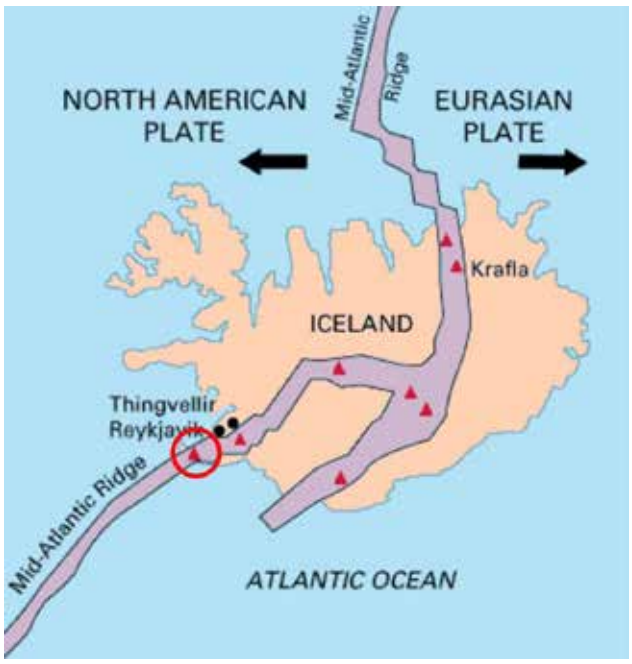


Figura 1 - Sviluppo della dorsale medio atlantica con indicazione dei principali apparati vulcanici indicati nei triangoli rossi (fonte: USGS, 2021). Con il cerchio rosso è indicata la posizione del vulcano Fagradalsfjall.

Metodi di indagine e risultati

Dopo aver seguito e osservato da remoto per oltre sei mesi le attività di questo vulcano, nel mese di ottobre 2021 è stata organizzata la prima prospezione in Islanda per iniziare un progetto di monitoraggio e studio sulla formazione di nuove cavità vulcaniche. Organizzato dall'associazione La Venta, il progetto "Hraun" ("lava" in lingua islandese) ha diversi obiettivi tra cui l'identificazione dei principali collassi e tubi vulcanici formatesi in seguito all'eruzione del vulcano Fagradalsfjall che hanno riguardato le attività realizzate in ottobre. In linea generale il progetto prevede anche di effettuare ricerche direttamente all'interno delle cavità individuate per documentarle e per studiare i minerali metastabili che si formano solo a determinate condizio-

Figura 2 – Operazioni di pianificazione dei voli effettuate a ridosso del vulcano (F. Lo Mastro).

ni di temperatura. Considerando però le alte temperature e le alte concentrazioni di gas presenti, queste attività non si potranno svolgere se non dopo diversi mesi o anni dal termine delle attività eruttive.

Durante la prima prospezione le attività sono state focalizzate sull'identificazione di collassi e condotte vulcaniche, visibili chiaramente osservando la superficie delle colate dall'alto.

Per effettuare queste ricerche è stato utilizzato un Aeromobile a Pilotaggio Remoto (APR), più comunemente noto come drone, equipaggiato anche con una camera termica, in modo da identificare facilmente le aree di maggiore interesse con presenza di collassi e misurarne le temperature superficiali (fig. 2).

Il mezzo APR utilizzato è un Mavic Advanced Dual Enterprise 2 dell'azienda cinese DJI, modello equipaggiato con una termocamera con risoluzione termica di 640x512 px con precisione di misura della temperatura di ±2 °C, dotata di diverse funzioni quali "spot meter" e "misurazione area", per misurare temperature su singoli punti o aree, di uno zoom 16x e frequenza fotogrammi di 30 Hz nella funzione di registrazione video (fig. 2). Il drone è inoltre dotato di una fotocamera visiva di 48 MP, sensore CMOS ½'' e zoom digitale di 32x e permette di visualizzare contemporaneamente le immagini in modalità termica e visibile (Figura 3), operando in un range di temperatura di lavoro tra i -10 °C e +40 °C.

Nel corso dei numerosi sorvoli sono state acquisite 324 immagini termiche e 21 video coprendo diverse aree di interesse, tra cui una con un grande portale da cui è fuoriuscita l'ultima colata attiva nel mese di settembre 2021. All'interno degli imbocchi e dei collassi al momento delle riprese sono state misurate temperature intorno ai 200 °Celsius.

Al termine delle fasi di acquisizione delle immagini e delle riprese è stato possibile elaborare diversi modelli fotogrammetrici di alcuni canali sia attraverso le immagini RGB e dalle immagini termiche che serviranno come base per le prossime ricerche (fig. 3).

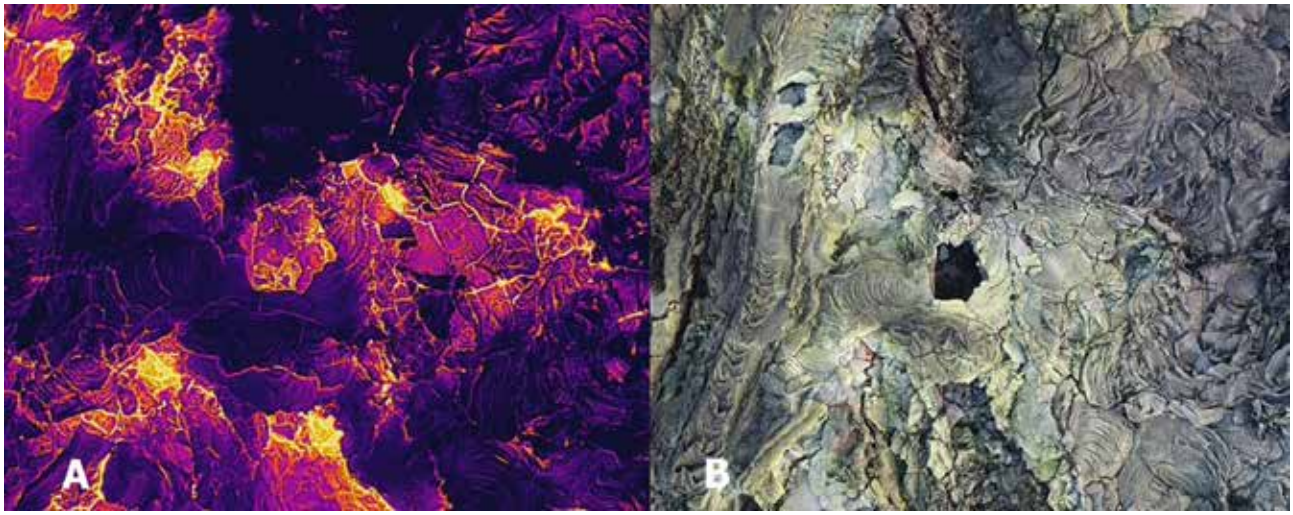


Figura 3 – Identificazione di collassi vulcanici attraverso immagini termiche (A) e RGB (B). Da notare che le due immagini hanno scale differenti.

Conclusioni, prospettive future e Ringraziamenti

Le attività preliminari del progetto "Hraun" hanno messo in luce il potenziale speleologico di questo campo lavico formatosi dal marzo del 2021 e ci hanno permesso di delineare diverse zone di maggiore interesse, dopo un'indagine da remoto che ha coperto 5,2kmm^2 di affioramento. I dati raccolti ci hanno permesso di identificare cinque aree su cui concentrare le prossime fasi di indagine. Queste verranno condotte dapprima con l'utilizzo di altri mezzi APR, per poi cercare di poter effettuare dal vivo le esplorazioni dei nuovi tubi lavici del Fagradalsjall.

USGS (2021), Iceland and Plate Motions (Kinematics), https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Esplorazione, documentazione e rilievo 3D di cavità glaciali attraverso droni e mobile scanner

Tommaso Santagata ([a,b,c]), Alessio Romeo ([a,c]), Francesco Sauro ([a,c]), Adrien Briod ([d]), Jeoffroy Le Pivain ([d])

([a]) La Venta Esplorazioni Geografiche, Treviso (IT), *tommaso@vigea.it, alessio-romeo71@gmail.com, cescosauro@gmail.com*
([b]) Vigea – Virtual Geographic Agency, Reggio Emilia (IT)
([c]) InsideTheGlaciers Project – www.insidetheglaciers.wordpress.com
([d]) Flyability, Paudex (SW), *adrien.briod@flyability.com, jeoffroy.lepivain@flyability.com*

Parole chiave: droni; laser scanning; speleologia glaciale; fotogrammetria
Keywords: unmanned aerial vehicles; laser scanning; ice caves; photogrammetry

Riassunto
Nato nel 2014 in seguito al primo campo internazionale di speleologia glaciale, il progetto "Inside the Glaciers" ha come obiettivi lo studio e la documentazione di mulini e cavità glaciali anche attraverso le più innovative tecnologie. Nel 2021, le attività di questo progetto si sono svolte in diversi ghiacciai alpini ed in particolare, nei due campi svolti in agosto e ottobre, sono stati utilizzati droni e strumenti per effettuare scansioni 3D in movimento per esplorare e documentare alcune grotte di contatto nei ghiacciai svizzeri Gorner e Aletsch. L'utilizzo di queste tecnologie ha permesso di ricavare immagini anche in alcune delle aree più inaccessibili delle cavità esplorate, realizzando inoltre dettagliati rilievi attraverso tecniche di fotogrammetria e laser scanning. L'integrazione dei dati ottenuti all'interno delle grotte con rilievi fotogrammetrici effettuati all'esterno, ha permesso inoltre di posizionare le cavità ottenendo dati e informazioni utili per studiare il loro sviluppo al di sotto della superficie dei ghiacciai. I risultati ottenuti rappresentano una base di partenza fondamentale per effettuare ulteriori studi in futuro e per affinare queste tecnologie per l'utilizzo in ambito speleologico.

Introduzione

Il primo campo internazionale di speleologia glaciale si è svolto nel 2014 in Svizzera, sul ghiacciaio del Gorner, nell'ambito del progetto "Inside the Glaciers" (ITG). Erano gli anni in cui in ambito speleologico si iniziava a parlare di laser scanner e droni, ma non esistevano ancora modelli tascabili e commerciali come quelli che ora abbiamo a disposizione. Così per realizzare la prima mappatura 3D di un mulino glaciale fu' utilizzato un grosso quadricottero auto costruito che venne tra-

sportato sul ghiacciaio con non poche difficoltà. Con i dati ottenuti fu' possibile realizzare il modello fotogrammetrico dell'ingresso del mulino G6, uno dei più imponenti tra quelli esplorati nel ghiacciaio del Gorner in oltre 20 anni di attività. Al tempo trasportare uno strumento così delicato e ingombrante sembrava un'assurdità, mentre gli speleologi ancora non credevano che davvero si potessero ottenere risultati degni di nota.
Da allora, sono passati solo pochi anni ma queste tecnologie hanno fatto progressi inimmaginabili. Durante le attività svolte nel 2021 sempre nell'ambito del progetto ITG, sono stati utilizzati i droni della società svizzera Flyability, azienda specializzata nello sviluppo di "collision-tolerant drones", cioè mezzi capaci di volare in ambienti indoor resistendo a urti, schizzi d'acqua e basse temperature e per questi motivi capaci di raggiungere profondità che talvolta risultano inaccessibili o troppo pericolose per un'esplorazione diretta.

Metodi e tecnologie

La rapida diffusione della nuova tecnologia degli Unmanned Aerial Vehicles (UAV) sviluppata negli ultimi anni sta contribuendo a migliorare diverse attività di ricerca scientifica, anche nel campo della speleologia (Santagata, 2015).
Lo stesso discorso vale per le tecnologie di scansione 3D, ormai sempre più utilizzate in ambito speleologico per rilievi e monitoraggi anche in cavità con presenza di ghiaccio (Sauro et al., 2016). Dal 2013, l'azienda svizzera Flyability sviluppa droni sicuri per luoghi inaccessibili, per essere utilizzati in sicurezza all'interno delle città, edifici e a contatto con le persone, consentendo nuove interazioni e servizi con gli UAV e risolvendo i problemi critici di collisione. Il prodotto principale di Flyability è il drone Elios (modello 1 e 2) i cui rotori sono protetti da una rete che consente al drone di rimbalzare contro gli ostacoli senza alcun danno. Questi tipi di UAV sono comunemente chiamati "collision tolerant drones" (droni resistenti alle collisioni) e per le loro caratteristiche vengono utilizzati principalmente per ispezione e la documentazione in ambienti inaccessibili, difficili e pericolosi. Per questi motivi, dal 2014 l'associazione La Venta collabora costantemente con Flyability per testare e utilizzare le loro tecnologie a supporto di numerose attività in ambito speleologico, con particolare riguardo per l'esplorazione e la mappatura 3D di mulini glaciali e grotte di contatto. Durante le due spedizioni organizzate nei mesi di agosto e ottobre del 2021 nell'ambito del progetto ITG, è stato utilizzato il drone Elios 2 per documentare e rilevare grotte di contatto nei ghiacciai Gorner e Aletsch. Gli obiettivi principali riguardavano la mappatura delle cavità nel periodo estivo e invernale in modo da ottenere dati di partenza utili per effettuare confronti in futuro e studiare l'evoluzione che si stanno verificando fuori e dentro questi ghiacciai.
Attraverso i voli effettuati con il drone Elios 2 è stato possibile ricostruire modelli fotogrammetrici (dai video realizzati dalle camere dei droni) del principale sistema di cavità di contatto del ghiacciaio del Gorner (fig. 1).
Oltre ai droni di Flyability, durante la spedizione effettuata in agosto è stata effettuata una mappatura 3D della cavità più lunga esplorata anche attraverso un laser scanner portatile di ultima generazione, il BLK2GO, prodotto dall'azienda Leica Geosystems. Questo strumento ha permesso di scansionare in pochi minuti le aree più facilmente accessibili in cui l'operatore è stato in grado di camminare e scansionare semplicemente tenendo in mano lo strumento e illuminando l'area attraverso una comune lampada frontale

Figura 1 – Fasi di rilievo con il mobile scanner all'interno di una delle grotte di contatto del ghiacciaio Gorner (Foto A. Romeo)

(fig. 1), quindi senza la necessità di installare sistemi di illuminazione fissi come spesso avviene nella maggior parte dei lavori effettuati in grotta con un laser scanner.
Con una portata di 60 m e una risoluzione di 3 mm (ad una distanza media di 10 m), il BLK2GO permette di calcolare la traiettoria attraverso diversi componenti tra cui un sistema definito di Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) e diverse camere installate nelle parti frontali e laterali dello strumento, che oltre ad effettuare di continuo fotografie necessarie per ottenere nuvole di punti in colori reali, aiutano il dispositivo a calcolare la traiettoria permettendo di ridurre la deriva che si può verificare dopo un lungo utilizzo. Per la fotogrammetria della superficie esterna al di sopra della cavità è stato utilizzato un drone Mavic 2 Enterprise Advanced Dual dotato anche di camera termica.

Risultati ottenuti

Le fotografie e i filmati ottenuti dal drone Elios 2 sono stati analizzati per ricavare modelli tridimensionali attraverso tecniche di "structure from motion", utilizzando software e algoritmi in grado di riconoscere punti in comune tra fotogrammi e immagini per ricostruire una nuvola di punti delle aree documentate. Questa tecnica, nota come fotogrammetria, è molto utilizzata in diversi contesti in cui vengono utilizzati droni commerciali e non. In mancanza di sistemi di posizionamento, i dati ottenuti risultano però fuori scala ma grazie alle scansioni effettuate con il laser scanner portatile BLK2GO ed al rilievo fotogrammetrico effettuato nelle aree esterne, è stato possibile scalare e orientare i dati ottenuti dal drone all'interno delle cavità. Per quanto riguarda i dati ottenuti dal BLK2GO, sono stati processati allineando le diverse nuvole di punti e successivamente sono stati realizzati modelli interattivi che permettono di interagire con i dati e le fotografie ricavate attraverso un'applicazione open source. Una volta ricavate le nuvole di punti da entrambi gli strumenti, è iniziata la fase di digitalizzazione che ha portato alla realizzazione di classiche planimetrie e sezioni 2D. Inoltre sono stati realizzati modelli 3D in forma di mesh (solidi tridimensionali ottenuti tramite la triangolazione dei singoli punti) (fig. 2).

Conclusioni e prospettive future

Le tecnologie utilizzate hanno ampiamente dimostrato le loro potenzialità in ambito speleologico, risultando facilmente utilizzabili anche in contesti difficili come possono essere le grotte di contatto con presenza di fiumi sotterranei.
Tali tecnologie risultano però ancora accessibili per pochi e non solo per i loro costi, ma anche per le competenze necessarie nel loro utilizzo sia in fase di acquisizione e soprattutto per quanto riguarda le fasi di processamento dei dati, in cui è necessario acquisire esperienze nell'utilizzo di determinati software per il trattamento di nuvole di punti e digitalizzazione degli elementi.
I lavori realizzati durante le due spedi-

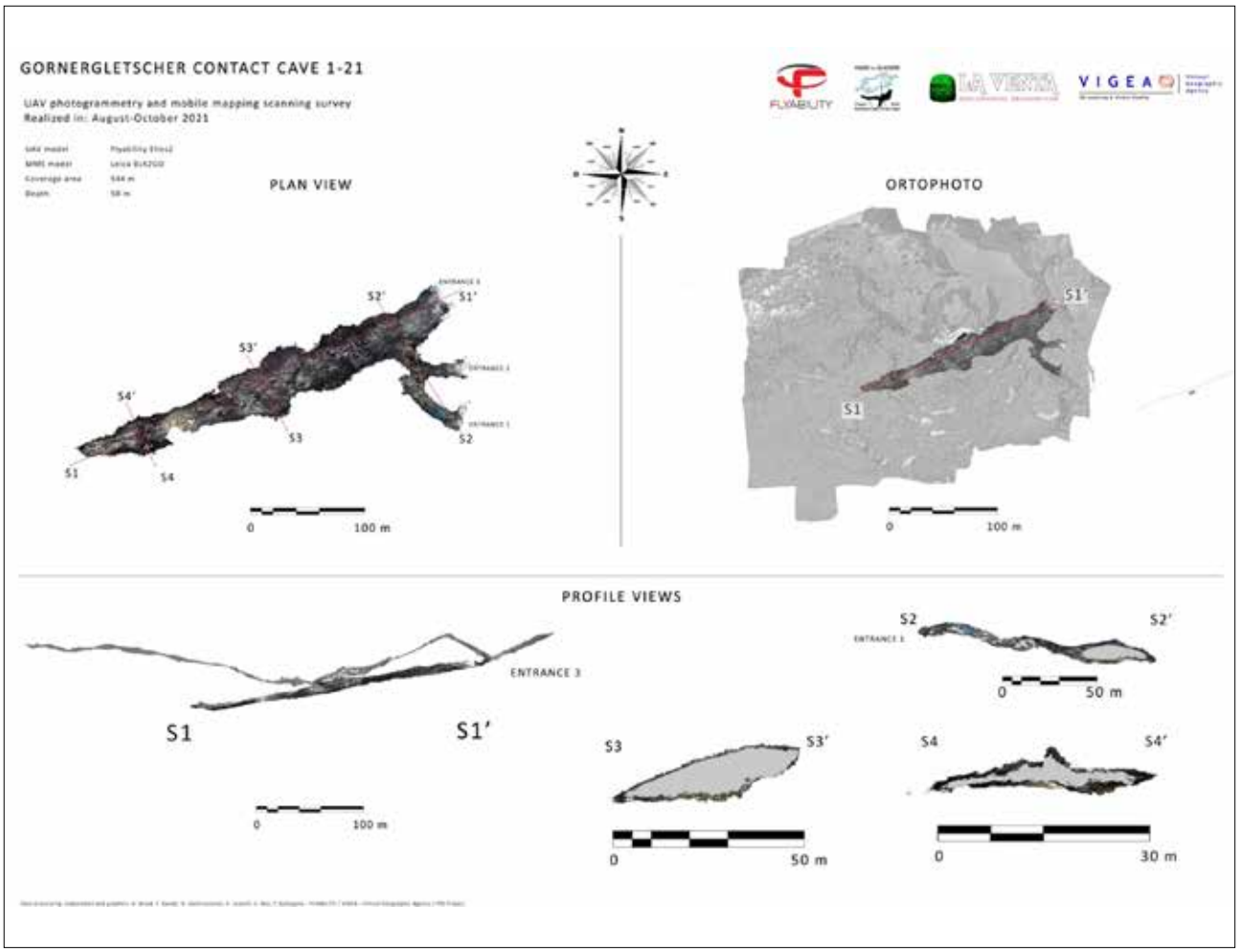


Figura 2 – Elaborati 2D della principale grotta di contatto documentata nel ghiacciaio Gorner (Elaborazioni e disegni: T. Santagata)

zioni hanno permesso di ottenere dati fondamentali per realizzare confronti nei prossimi anni e per quanto riguarda le prospettive future del progetto ITG, le attività si concentreranno nelle stesse aree per ripetere i lavori descritti in questo articolo.

Ringraziamenti

Coordinato da Alessio Romeo e Francesco Sauro, il progetto ITG 2021 "Northern side of the Alps" è stato realizzato in collaborazione con le aziende Flyability, Vigea – Virtual Geographic Agency e Miles Beyond e grazie al supporto delle associazioni La Venta Esplorazioni Geografiche, ASPROS.

Riferimenti bibliografici

Santagata T. (2015), "New systems for monitoring glacier moulins", 19th Alpine Glaciology Meeting, conference paper.

Sauro F., Santagata T., Spōtl C., Festi D., Oeggl K., Dal Molin L., De Waele J. (2016), "A multi-year monitoring project of the high-altitude Cenote ice cave, Dolomites", Italy, *EGU General Assembly*, EPSC2016-13646.

Esplorazioni al Marguareis

di Igor CICCONETTI e Enrico MASSA

La sessione sul Marguareis è stata principalmente dedicata al resoconto delle più significative attività esplorative condotte dai vari gruppi speleologici operanti in zona negli ultimi dieci anni, con contributi da quasi tutti i settori geografici dell'area carsica.
Il primo contributo, di Gilberto Calandri, presenta una meditata analisi sulle potenzialità di esplorazione di numerose cavità quali l'Abisso Carciofo S2, L'Abisso Omega 3 e la Grotta Labassa, elencando dettagliatamente quanto sino ad oggi è stato fatto in termini di scavi, forzamenti di strettoie e risalite e individuando puntualmente le possibilità esplorative ancora da tentare.
Sul versante della Conca delle Carsene, Stefano Calleris, racconta il grande lavoro esplorativo svolto dagli speleologi dal 2015 da quando in particolare si sono riprese con sistematicità le attività di ricerca sia presso il complesso del 6C e sia presso il sistema Cappa, lavoro che ha portato inizialmente alla giunzione dei due grandi abissi (proprio nel 2015) e successivamente all'esplorazione di oltre 10 chilometri di nuove diramazioni. Ora le conoscenze ipogee sul vallone delle Carsene sono decisamente più ampie, molte grotte restano ancora da rivedere e, anche se idrologicamente connesse, attendono ancora l'individuazione di connessioni percorribili.
Ancora dalla Conca delle Carsene, Mauro Consolandi illustra il suo lavoro di implementazione di un modello digitale tridimensionale delle cavità della zona, che consente la visualizzazione nello spazio delle poligonali topografiche implementate, divenendo quindi un interessante strumento di analisi sulle possibilità esplorative, utile all'individuazione di possibili linea tettoniche, discontinuità nella montagna nonché delle zone di prossimità tra differenti cavità, difficilmente osservabili tramite i consueti rilievi bidimensionali riportati su carta.
Dal Colle dei Signori Jo Lamboglia relaziona sul grande lavoro effettuato dal nuovo gruppo transalpino ASMPG nato dalla collaborazione tra speleologi francesi e italiani. Dalla rivisitazione della grotta F33, riarmata nel 2013 con l'idea di ritopografare la cavità e rivedere le zone più a sud del complesso, vengono in pochi anni scoperte due nuove cavità: l'Abisso Fiat Lux e l'Abisso Aldo Giordani, entrambe collegate al sistema F5-F33, che hanno portato il complesso a oltre 6 chilometri di sviluppo, ampliando sensibilmente le possibilità esplorative della zona F. Ora una terza nuova cavità è in corso di esplorazione. È l'Abisso Lou Presepi che, posto sul limite settentrionale del complesso può diventare la chiave di accesso alla zona di Navella.
Da Piaggiabella Igor Cicconetti, Thomas Pasquini ed Andrea Benedettini illustrano l'attività esplorativa svolta all'interno del complesso di Piaggia Bella, nel periodo tra il 2018 e il 2021, principalmente focalizzata su tre differenti settori: l'Abisso dei Grassi Trichechi, unito al complesso nel 2010, le Gallerie Fossili nella zona della Confluenza e il ramo di Itaca nell'Ombra giuntato nel 2021 all'Abisso Deneb e trasformandolo nell'ingresso numero 17 del Complesso di PiaggiaBella.
Conclude la sessione il contributo di Nicolò Fiori con un dettagliato resoconto sugli studi sino ad oggi condotti sul Sistema carsico del Vallone degli Alberghi (Palanfrè, CN) che, anche se non propriamente ricompreso nell'area carsica del Marguareis, è per vicinanza stato inserito nella sessione congressuale.

Explorations in Marguareis

by Igor CICCONETTI and Enrico MASSA

The session on Marguareis was mainly dedicated to the account of the most significant exploratory activities conducted by the various speleological groups operating in the area over the last ten years, with contributions from almost all geographical sectors of the karst area.
The first contribution, by Gilberto Calandri, presents a thoughtful analysis of the exploration potential of numerous cavities such as the Abyss Artichoke S2, the Abyss Omega 3 and the Grotta Labassa, listing in detail what has been done up to now in terms of excavations, forcing of bottlenecks and ascents and punctually identifying the exploratory possibilities still to be attempted.
On the slope of the Conca delle Carsene, Stefano Calleris, describes the great exploratory work carried out by speleologists since 2015, especially when the research activities were systematically resumed both at the 6C complex and at the Cappa system. This work that led initially to the junction of the two great abysses (in 2015) and subsequently to the exploration of over 10 kilometers of new branches. Now the underground knowledge of the Carsene valley is much wider, many caves still remain to be reviewed and, even if hydrologically connected, the identification of viable connections still awaits to be achieved.
Again from the Conca delle Carsene, Mauro Consolandi illustrates his work to implement a three-dimensional digital model of the cavities in the area, which allows the visualization in space of the topographic polygonal lines, thus becoming an interesting analytical tool with exploratory possibilities, useful for identifying possible tectonic lines, discontinuities in the mountain as well as of the closest areas between different cavities, difficult to observe through the usual and traditional two-dimensional surveys.
From Colle dei Signori Jo Lamboglia reports on the great work carried out by the new transalpine group ASMPG born from the collaboration between French and Italian speleologists. From the review of the F33 cave, rearmed in 2013 with the idea of resurveying the cave and reviewing the southernmost areas of the complex, two new cavities were discovered in a few years time: the Fiat Lux Abyss and the Aldo Giordani Abyss, both connected to the F5-F33 system, which brought the complex to more than 6 kilometers of development, significantly expanding the exploration possibilities of area F. Now a third new cavity is being explored: Abyss Lou Presepi which, placed on the northern edge of the complex, can become the key to access the Navella area.
From Piaggiabella Igor Cicconetti, Thomas Pasquini and Andrea Benedettini illustrate the exploratory activity carried out within the Piaggia Bella complex, in the period between 2018 and 2021, mainly focused on three different sectors: the Abyss of the "Grassi Trechechi", combined with the complex in 2010, the Fossil Galleries in the Confluence area and the branch of Ithaca nell'Ombra joined in 2021 at Abisso Deneb and transforming it into entrance number 17 of the PiaggiaBella Complex.
The session concludes with the contribution of Nicolò Fiori with a detailed report on the studies carried out to date on the karst system of the Vallone degli Alberghi (Palanfrè, CN) which, although not properly included in the karst area of Marguareis, has been included in this congress session.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il Sistema Piaggiabella-Labassa (Marguareis, CN) alcune potenzialità esplorative

Gilberto CALANDRI[1]

([1]) Gruppo Speleologico Imperiese CAI

Parole chiave: neotettonica; congiunzioni;, disostruzioni; sifoni.
Keywords: neotectonics; conjunctions; unblocking; sumps.

Abstract
Some points (explored by the G.S.I.) of the Piaggiabella-Labassa karst system are described with significant exploratory potential (unblocking, ascents, sumps), little know and frequented. The Marguareis system: Piaggiabella-Labassa-Colle dei Signori-Lupo-Fus would have a potential development of over 80 km.

Riassunto
Nelle Alpi Liguri vi sono parecchi abissi "dimenticati" (magari lontani e difficili) che meriterebbero una "rivisitazione": tra i tanti cito, ad esempio, l'Abisso del Cacciatore Gilberto (R 5), sull'ultima cresta calcarea dei Revelli (Gruppo Mongioie-Conoia), estremità settentrionale del sistema C 1-Regioso (6,5 km di sviluppo), una congiunzione porterebbe il dislivello a -550 m (aggiungendo almeno un paio di chilometri di sviluppo) (cfr. Calandri, 2003). Di seguito ci limitiamo ad alcuni punti chiave del sistema Piaggiabella-Labassa (legati alle esplorazioni del G.S.I. e collaboratori).

Abisso S 2 (Carciofo) (895 Pi/CN)
Uno degli ingressi nordorientali del Complesso di P.B.. Di particolare interesse il ramo di Mezzagosto (-385 m) non più frequentato dal 1983: si sviluppa nei carbonati dell'Anisico a contatto, tettonico, con intercalazioni di scisti verdi (Peliti di Case Valmarenca). Dal bivio con il Ramo di Baal (congiunzione con Reseau A di P.B.) si sviluppa per ca 800 m, in direzione ca. SW (grossomodo parallelo al Reseau A). L'attuale punto terminale (a ca. 300 m di distanza, planimetrici, dal settore dell'Olonese Volante di P.B.), con forte corrente d'aria, è caratterizzato da freatici e camini non risaliti: concrete le potenzialità di prosecuzione (auspicabile una colorazione).
Ancora all'S 2 il Ramo di Aristerà inferiore ("a valle") con grandi accumuli di ciottoli silicei (a diametri pluridecimetrici) di esarazione delle lingue glaciali pleistoceniche (sviluppato, in parte, parallelo a R.A. e Mezzagosto) termina con cunicoli discendenti in frana, con possibilità di accorte disostruzioni.

Abisso Omega 3 (654 Pi/CN)
Il ramo terminale "a monte" (Via del Sale), ormai sotto il colle Saline-Masche, termina con freatici fossili e bas-

si passaggi intasati da argilla (con rumore d'acqua poco distante): dal 2012 nessuno è più ritornato, tantomeno a disostruire (Calandri, Massa, 2014).
Ad Omega 3 da rivedere il Ramo del Vecchio Fondo (-468 m) che si sviluppa nettamente ad Ovest (prossimo ai Rami dei Grassi Trichechi-Reseau D).

LABASSA (948 Pi/CN)

Sifone a monte verso P.B. Il sifone 2 a monte" di Labassa (ca. 50 m., -10 m. non difficile, con acque limpide) porta sino al Salone Riviera-Bruxelles: questo grande vacuo, esplorato solo da S. Delaby, è caratterizzato da potenti depositi clastici. Verso P.B. sembra presentare uno stretto sifone tra i massi (ma nessuno lo ha mai tentato, come i camini che caratterizzano il vasto vacuo): il sifone di P.B. è ad un centinaio di metri (anche il sifone di Piaggiabella non è facile: -40 m di F. Vergier). Tutta la parte terminale "a monte" di Labassa, ed in particolare il Salone Riviera-Bruxelles, sono caratterizzate da intense zone di taglio frizionali, riprese dall'esasperata neotettonica postwurmiana (la sovrastante piana della Chiusetta era una conca di sovraescavazione glaciale pleistocenica) (Calandri, 2004, 2013). Organizzare lavori di disostruzione a Re Mida- Che Schifo di P.B. (distanti ca. 80 m da Labassa) è un impegno molto gravoso: più logico puntare su risalite, disostruzioni, sifoni a Riviera-Bruxelles. La congiunzione Piaggiabella-Labassa porterebbe ad un Complesso di oltre 60 km.

Il sifone dei Grandi Laghi

A Labassa all'inizio dei Grandi Laghi (sotto le Selle di Carnino) il sifone drena le acque del complesso di abissi del Colle dei Signori e dell'estremo settentrionale (Aven de l'Ail) del sistema Piaggiabella-Labassa-Fus (Calandri, 2017). Il sifone (a quota ca. 1590) è stato tentato solo una volta dagli speleosub dello CSARI, per una lunghezza di 50 m e 32 m di profondità (acque leggermente torbide) (nessuna immersione al sifone dell'F 5, q. 1650 m ca.). Il dislivello tra il Complesso del Colle dei Signori (Abissi F 5-F 33-Fiat Lux-Giordani), sviluppo 6 km, ed i Grandi Laghi di Labassa sarebbe di ca. 60 m, su una distanza planimetrica di ca. 1700 m: quindi indicativamente zona freatica, ma la struttura "a cascata", verticale, della serie calcarea mesozoica (specie Dogger e Malm) fa supporre l'esistenza di gallerie fossili, considerata l'evoluzione della carsificazione del Marguareis (Calandri et al., 2018).

Le Stalattiti Storte

Le Stalattiti Storte (intasate da riempimenti) sono l'inizio della Lunga Strada dell'Ovest, grandi gallerie freatiche cenozoiche, fossili, sviluppate, a quote ca. 1650 m, grossomodo parallele a tutto il ramo attivo (a valle) di Labassa (ma più in alto di 250-300 m rispetto alla via dell'acqua). Verso SE si dirigeva l'ampio condotto freatico (e la corrente d'aria): nessuno ha mai tentato uno scavo, sicuramente molto impegnativo, ma le condizioni geologiche fanno presupporre gallerie freatiche in direzione delle Fascette (oltre 2 km in linea d'aria), come paiono indicare i condotti della Porta del Sole sopra la Gola.

Le gallerie fossili sopra l'Iperspazio

Nel settore "a valle" di Labassa il grande salone dell'Iperspazio, con poderose morfologie clastiche, è sormontato da vari camini che danno accesso a complessi rami fossili molto concrezionati: a monte le estese Gallerie Vai Vai Pastasciutta, mentre le ultime esplorazioni (Ramò, Tallone 2018), 400 m di freatici, forse tardocenozoici, sopra l'Iperspazio confermano (oltre a vari camini da verificare) la continuità verso

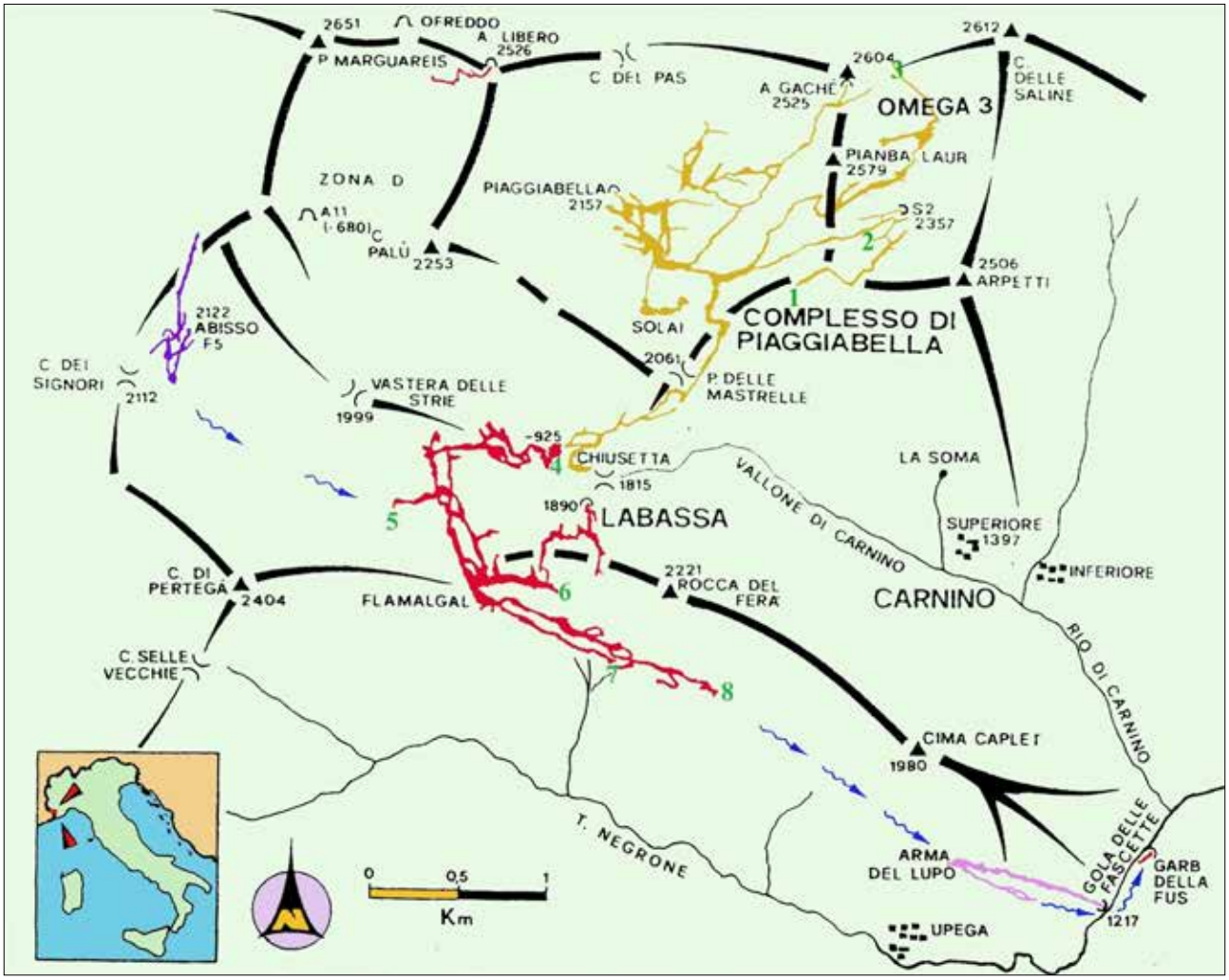


Figura 1 - Pianta del sistema Piaggiabella-Labassa-Fus e bacino di assorbimento.1) Abisso S 2: Mezzagosto. 2)Abisso S 2: Aristerà "a valle". 3)Abisso Omega 3: la Via del Sale. 4) Labassa: sifone a monte-Salone Riviera-Bruxelles. 5) Labassa: sifone Grandi Laghi. 6) Labassa: Stalattiti Storte. 7) Labassa: Rami sopra l'Iperspazio. 8) Labassa: sifone "a valle". (dis. G. Calandri, D. Gobis, C. Grippa).

valle dei grandi fossili di Labassa. L'omogeneità della situazione geotettonica (grande piega occidentale rovesciata ad occidente dei calcari mesozoici del Brianzonese Ligure) fa presupporre che i freatici fossili siano sviluppati in tutta la fascia verso i settori di risorgenza (Arma del Lupo sup., Porta del Sole, Fus) lungo le Fascette. Anche nel tratto sino al sifone terminale di Labassa non mancano possibilità di risalite (sinora poco è stato fatto).

Il sifone a valle

Il sifone terminale "a valle" di Labassa (q. 1290 m ca.) è stato "tentato" solo nel 2011 (Maifredi et al., 2011) da speleosub francesi (con squadre di appoggio liguri-transalpine) e percorso per 85 m, sino ad una profondità di 35 m (-650 m dall'ingresso), con ulteriore visibilità di 35-40 m discendenti (acque sempre limpide). Con gli attuali mezzi tecnici il sifone è potenzialmente promettente. La distanza dal sifone terminale dell'Arma del Lupo inferiore (sceso da Cavedon sino alla quota di 1114 m) è di ca. 1700 m, con un dislivello quindi di 161 m. La via dell'acqua ha spiccati caratteri freatici, ma vista l'omogeneità della struttura geologica (e dell'evoluzione almeno plioquaternaria) è facile immaginare anche livelli fossili a varie quote (come sopra cen-

nato).
Per gli speleologici del terzo millennio congiungendo il Sistema Piaggiabella-Labassa al Colle dei Signori e, a valle, alla Fus si realizzerebbe un Complesso di oltre 80 km di sviluppo.

Riferimenti bibliografici

Calandri G. (2003), "Il Pozzo del Cacciatore Gilberto (Abisso R 5) (Cresta dei Revelli, Alpi Liguri)*", Boll. G.S. Imperiese CAI*, 55: 19-26.

Calandri G. (2004), "Sulla congiunzione Piaggiabella-Labassa (Alpi Liguri): considerazioni geologiche e geomorfologiche", *Boll. G.S. Imperiese CAI*, 56: 17-24.

Calandri G. (2013), "Congiunzione Piaggiabella-Labassa: cenni tettonico-speleologici", *Boll. G.S. Imperiese CAI*, 65: 23-25.

Calandri G. (2017), "La colorazione all'Aven de l'Ail ed il sistema idrico sotterraneo Labassa-Fus (Alpi Liguri)", *Boll. G.S. Imperiese CAI*, 69: 3-9.

Calandri G., Lamboglia J., Massa E. (2018). *L'Abisso Giordani e la speleogenesi nel settore Colle dei Signori-Carsene-Labassa (Marguareis, Alpi Liguri).* Boll. G.S. Imperiese CAI, 70: 3-8.

Calandri G., Massa E. (2014). "L'Abisso Omega 3 (Cima Saline, Alpi Liguri)", *Boll. G.S. Imperiese CAI*, 66: 14-22.

Maifredi A., Massa E., Denegri P. (2014), "Labassa: tentativo di forzamento del sifone a valle", *Boll. G.S. Imperiese CAI*, 63: 20-23.

Ramò P., Tallone G. (2018), "Labassa: sopra l'Iperspazio", *Boll. G.S. Imperiese CAI*, 70: 9-12.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Novità esplorative in Conca delle Carsene 2015-2021

Stefano Calleris ([a]), Filippo Canavese ([b]), Thomas Pasquini ([c])

([a]) GSAM, *stefano.calleris@gmail.com*
([b]) SCT, *filippocanavese95@gmail.com*
([c]) GSP, *capomanipolo@gmail.com*

Parole chiave: Esplorazione; Marguareis; Cappa
Keywords: exploration; Marguareis; Cappa

Riassunto
L'area carsica della Conca delle Carsene si sviluppa su entrambi i versanti della catena dei Monti delle Carsene. Il complesso della Conca delle Carsene qui inteso è l'abisso Cappa-Straldi-Diciotto-Denver-Belushi, che si sviluppa sul versante settentrionale dei monti. Le prime esplorazioni di queste zone da parte di speleologi risalgono al 1953. La risorgenza principale è il *Pis del Pesio*: nota da sempre, esplorata nel 1900. Nonostante questo inizio precoce, la storia esplorativa del complesso però procede lentamente ed alterna pochi periodi di grande attività ad altri di lunga quiescenza. L'ultima ondata esplorativa, chiusa sul finire del millennio, ha svelato una gran parte delle regioni del fondo, lasciando tuttavia numerosi punti interrogativi lungo la via. Nel 2015 l'esplorazione riprende. Dal 2015 al 2021 viene ripercorso quasi ogni metro noto del complesso e vengono aggiunti nuovi rami che aprono ad interessanti considerazioni sull'origine e sui confini presenti e passati del complesso stesso. I risultati più significativi sono la giunzione con l'abisso Belushi (2015), l'esplorazione dei rami che puntano verso il *Vallone dei Greci* e del *Ramo del Daü*. Nel 2015 il complesso era di circa 16 km di sviluppo, a fine 2021 lo sviluppo totale è di circa 28 km, tenendo conto sia della giunzione con l'abisso Belushi, sia delle nuove esplorazioni (circa 7 km).

Riassunto esteso

L'area carsica della Conca delle Carsene è delimitata a est dalle pareti dello Scarason, a sud da Pian Ambrogi, a ovest dalla cresta che culmina nella Cima della Fascia, a nord dalle pareti alla cui base si trova la risorgenza principale del complesso, il Pis del Pesio.

Prima del 2015, il complesso principale delle Carsene aveva quattro ingressi: Cappa (da Gerard Cappa, presidente del Club Martel di Nizza al momento della scoperta), *Straldi*, *Denver* e *Diciotto*.

La cavità presenta estesi livelli freatici sovrapposti uniti da pozzi tettonici e vadosi principalmente verticali. I livelli freatici principali sono tre: il più basso e di più recente esplorazione si trova nella zona emersa tra i 1450 e i 1550 m di quota. Il livello centrale, con quota compresa tra i 1600 e 1700 m, è il livello più esteso e con diametri di gallerie maggiori. In questo livello si sono concentrate quasi tutte le recenti esplorazioni. Infine, il livello più alto,

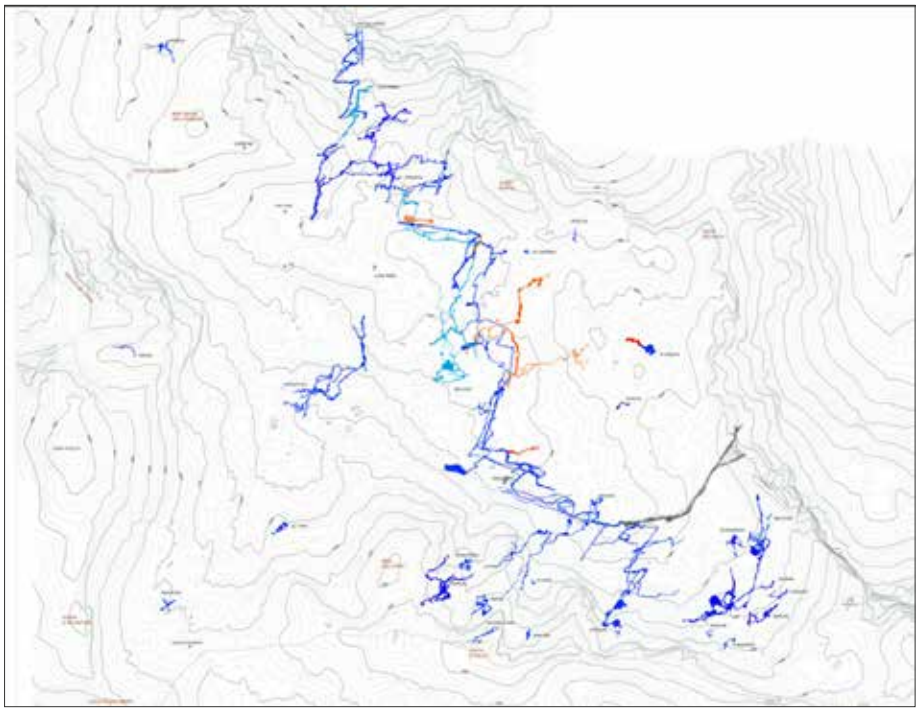


Figura 1 - La Conca delle Carsene a fine 2021

tra i 1800 e 1900 m di quota, oltre a vecchi livelli freatici presenta attivi orizzontali molto estesi (ad esempio la *Rivière Barraja*). Oltre a questi livelli freatici ipogei esiste, ma non viene trattato qui, un livello ormai parzialmente scoperto a quota 1950, nel quale si può camminare mentre ci si avvicina agli ingressi di Diciotto e Denver. Le stesse gallerie sono ancora intatte e a pochi metri dalla superficie nella grotta *Parsifal*, più a valle nella Conca. Le Carsene oppongo da subito grandi ostacoli ai primi esploratori: pozzi di 90 e 188 metri sbarrano la via dei primi due ingressi del complesso, rallentando le esplorazioni e di fatto relegando a poche e vere imprese le punte profonde. Solo la scoperta del Diciotto nel 1982 consente di intraprendere una serie di esplorazioni sistematiche che portano alla conoscenza più approfondita del livello freatico centrale e di quello inferiore. Nel 1987 viene percorsa la giunzione tra *Straldi* e *Cappa* ad opera di una squadra multi-regionale. Nel 1988, la scoperta di Denver rende comodo l'accesso alle regioni profonde e dà lo slancio ad un proficuo periodo di collaborazioni ed esplorazioni che si interrompe bruscamente nell'agosto del 1999, quando una piena improvvisa blocca temporaneamente due esploratori nei rami terminali. Il nuovo millennio si apre con l'operazione "Belushi 2000": grazie a questo capolavoro di logistica ed ai successivi anni di lavori l'*Abisso J. Belushi* (già *6C*) viene ripercorso fino al fondo raggiunto nel 1987, che venne abbandonato a causa dell'infinita serie di strettoie che lo precedono. L'ovvia risalita nel grande salone di *Hotel California* porta ad un grande piano di gallerie che viene esplorato in due fasi successive fino a superare in pianta il vecchio fondo del *Cappa*. Questa prima stagione esplorativa porta a oltre 5 km di nuove gallerie, ma invece che chiudere i capitoli aperti se ne aprono di nuovi. Le ultime punte esplorative del 2014 in Belushi svelano un ramo che parla di giunzione con il vicino Complesso delle Carsene.
Su queste premesse si apre la stagione esplorativa dell'estate 2015. L'approccio è fin dall'inizio volutamente e fortemente trasversale: una prima punta esplorativa che coinvolge quattro diversi gruppi speleologici porta alla scoperta di 800 m di gallerie. Poche

settimane dopo viene organizzato un incontro con speleologi da più regioni, oltre ai francesi da sempre attivi nelle Carsene. In quella sede si concorda una strategia comune per la stagione che sta per arrivare.
Nelle tre settimane di campo estivo viene ri-attrezzato e rivisitato il complesso a partire dall'ingresso Denver. Viene ripercorsa la strada che porta a *Salle Favouio* e rivista la scritta della giunzione tra *Straldi* e *Cappa*. Fin dalle prime punte appare evidente che i numerosi punti interrogativi aperti ne celano tanti altri. Il risultato più importante è la giunzione tra Belushi e Cappa, avvenuta nei pressi del pozzo *Escampobariou*, che non solo porta il complesso ad uno sviluppo totale superiore ai 25 km, ma soprattutto connette topograficamente due sistemi di gallerie che in realtà son sempre stati un unico. Il livello principale delle gallerie, quello centrale tra i 1600-1700 m di quota, si estende ininterrotto dalle gallerie più meridionali dello *Straldi* fino al *Destra-Destra*, remota propaggine settentrionale del Belushi. Chilometri di gallerie che appartengono allo stesso livello freatico sono ora percorribili interamente lungo l'asse principale della Conca. L'attività del 2015 si può separare in due macro-zone del complesso principale: quella verso la giunzione del *Belushi* e quella verso lo *Straldi*. Nella prima vengono esplorati alcuni rami che, sempre partendo dal livello centrale di gallerie, risalgono verso est in direzione del "*Vallone dei Greci*". Sono il *Serpente Bianco*, importante freatico fossile, e il *Barrajetto*, ramo vadoso attivo con tracce di freatico che risale in direzione di Testa Murtel. Infine, nei pressi della Salle Favouio vengono ripercorse parzialmente alcuni sistemi di gallerie minori, mentre nel *Reseau Nable* viene trovato ed esplorato il ramo *Perché Seguiamo Te*. Per quanto riguarda le regioni di Straldi, vengono scesi molti dei pozzi che tagliano la grande galleria principale

L'avvio di stagione del 2016 è decisamente in salita: l'ingresso di *Denver*, pozzo avvolto nel ghiaccio, è franato. L'ovvia mossa seguente è il riarmo dell'abisso Diciotto, poco lontano ma assai più scomodo. Questo lavoro assorbe quasi tutte le energie a disposizione. Oltre a ciò, il risultato più significativo è il rifacimento in digitale di una buona parte del rilievo del livello freatico principale. La strada da Diciotto a Belushi è ora collegata da rilievi con dati affidabili.
Nel 2017 si cerca, invano, la giunzione del *Serpente Bianco* con il vicino abisso *Pi Greco*, che viene approfondito di circa 100 m. Sempre nel settore orientale, viene proseguita l'esplorazione del *Barrajetto* sino a giungere al limite attuale.

Nel 2016 viene individuato un punto del livello freatico del Belushi molto vicino al fondo del *Cappa*: da un lungo e partecipato scavo nel 2017 nasce il ramo che, con una breve serie di pozzi, collega il livello freatico fossile a quello attivo nei pressi di *E bun ca l'è*. Questa esplorazione concorre a chiarire le dinamiche principali del flusso d'aria del complesso: i grandi volumi d'aria che si muovono nei due livelli freatici inferiori si riuniscono nel livello centrale. In quest'ottica il livello freatico inferiore (la cui circolazione d'aria è interrotta dal sifone terminale) si comporta come un ramo parallelo del circuito delle arie. Al finire del ramo i due flussi si riuniscono nel piano di gallerie centrali tramite i numerosi pozzi che collegano i due livelli. La via esplorata in questo contesto non è che una delle tante vie percorse dall'aria dal basso verso l'alto nella sua corsa verso le risorgenze gassose del complesso. Il percorso che segue questo flusso d'aria "arric-

chito" dal ricongiungimento alle pareti esterne non è ancora del tutto chiaro: probabilmente esiste una diffluenza ancora non esplorata che sottrae alla galleria principale buona parte del flusso d'aria prima delle fessure terminali note ad oggi al fondo del Belushi. Sempre nello stesso anno viene ripercorsa quasi interamente la galleria *Zabriskie* e viene esplorato un interessante dedalo di gallerie nella zona prossima alla giunzione con lo *Straldi*. Infine, viene ritrovata la via della giunzione verso lo *Straldi*, e vengono ripercorse e ri-topografate tutte le gallerie percorribili dalla giunzione sino al grande specchio di faglia meridionale, che taglia la grande galleria di 1700 m slm.

Nel 2019 Viene riattrezzato l'Abisso *Straldi* fino ai -350 per verificare la presenza di un piano freatico suggerito dal vecchio rilievo. Alcune risalite e una breve galleria non concedono i risultati sperati. Al contrario, dalle gallerie esplorate l'anno prima nelle zone di 1700 m slm di Straldi nasce il *Ramo del Da*ü, che cambia completamente la geografia del complesso. Fino ad allora si pensava al Complesso delle Carsene come un insieme di gallerie orientate S-N e E-W, che con successivi zig-zag di fatto portavano l'acqua da zone di assorbimento meridionali a risorgenze settentrionali. Questa nuova galleria invece sembra suggerire uno sviluppo E-W di rilevanza molto maggiore a quella pensata fino ad allora. Il *Ramo del Daü*, che giunge sin quasi alle pareti est dello Scarason, sembra suggerire l'esistenza di un collettore antico che convogliava importanti flussi da regioni oggi scomparse. Sempre nelle regioni di Straldi una risalita apre l'accesso al *Ramo dei Vagabondi*, impostato su un'evidente falda tettonica che porta a risalire verso il Vallone del *Goiran* (*Straldi 2*).

Nel 2020 vengono rivisitate in modo sistematico le gallerie Zabriskie. Numerose risalite non portano a sviluppi apprezzabili a rilievo. Come incidente di percorso viene però trovata una via comoda e logica che collega le gallerie storicamente del *Cappa* a quelle dello *Straldi*, evitando completamente la parte stretta esplorata nel 1987.

Nel 2021 l'attenzione torna a concentrarsi nella parte centrale del complesso. Dopo aver fugato la possibilità di connettere per una via parallela il *Reseau Nable* e la *Longue Route du* Héros, la seconda viene raggiunta per la via classica. Il ramo consiste nel freatico semi-attivo del livello inferiore, che viene ripercorso verso monte per più di un km. Il limite dell'esplorazione precedente è stato superato e sono attesi sviluppi nella stagione 2022.

Questo gran numero di esplorazioni non sarebbe stato possibile senza l'approccio accogliente e inter-gruppo ricercato e voluto sin dall'inizio di questa ondata esplorativa.
Per quanto riguarda l'approccio legato strettamente alle esplorazioni, contrariamente alla storia della Conca delle Carsene si è fatto un grande uso di campi interni leggeri e in zona esplorativa. Questi campi sono poi stati spostati più volte assecondando le necessità del momento. Questa strategia ha permesso di combinare maggior tempo passato in esplorazione ad una migliore qualità dello stesso.

Riferimenti bibliografici

AA. VV. (2010), *Atlante delle aree carsiche piemontesi*, AGSP, Vol 1, 152-295

Baldracco P., Vigna B. (1983), "Carsene e Pian Ambrogi", *Grotte, 83: 34-37*

Badino G. (1973), "L' Abisso Straldi", *Grotte, 51: 31-32*

Badino G. (1974), "Abisso Straldi -545", *Grotte,* 53: 13-14

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Modello 3D delle Grotte della Conca delle Carsene

Mauro Consolandi ([a])

([a]) Gruppo Speleologico Biellese C.A.I., *vrmmll@yahoo.it*

Parole chiave: carso; rilievo 3D; Carsene
Keywords: karst; 3D survey; Carsene

Riassunto
I rilievi presentati in questa revisione sono derivanti dal lavoro svolto dai diversi gruppi che hanno lavorato nella Conca delle Carsene durante gli ultimi 80 anni. Molti dati sono frutto di estrazione da vecchi rilievi, mentre altri sono stati consegnati dai diversi gruppi partecipanti alle esplorazioni.

Introduzione

La metodologia utilizzata è stata di digitalizzare i rilievi presi dalla bibliografia (vedi sotto) tramite il software Csurvey e convertire in formato 3D i rilievi. All'interno del progetto sono state inserite tutte le grotte della Conca delle Carsene, ma solo alcune sono state evidenziate, poiché sono state e saranno oggetto di studio per le prosecuzioni future.
Il quadro complessivo delle cavità dovrebbe portare a una discussione, su come continuare la ricerca di collegamenti con la risorgenza e infine ipotizzare una spiegazione per l'assenza di affluenti dai vari versanti della conca. Infatti il lavoro ha possibili applicazioni ad esso connesse; ad esempio lo studio idrogeologico approfondito dell'area con individuazione scorrimento delle acque in profondità.

Conclusione

Per comprendere meglio il quadro complessivo della conca si è reso necessario lo sviluppo di un modello 3D che è da consultare in modalità attiva. Con Csurvey e il pacchetto di Therion si possono ruotare le grotte della conca delle Carsene nelle diverse direzioni, in modo tale da risolvere spazialmente grotte che sembrerebbero alla stessa quota o troppo vicine.

I rilievi sono stati presi da: Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi (2010), *Atlante delle aree carsiche piemontesi*. Volume 1., Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi (1995), *Atlante delle grotte e delle aree carsiche piemontesi*, Gruppo Speleologico Piemontese (1987) "Grotte n. 95", Gruppo Speleologico Piemontese (1989) "Grotte n. 99", Gruppo Speleologico Piemontese (1995) "Grotte n. 118", Gruppo Speleologico Piemontese (1999) "Grotte n. 131", Gruppo Speleologico Piemontese (2005) "Grotte n. 144", Gruppo Speleologico Piemontese (2006) "Grotte n. 146", Oddou A., Sounier J. (1986) *Spéléo sportive au Marguareis*.

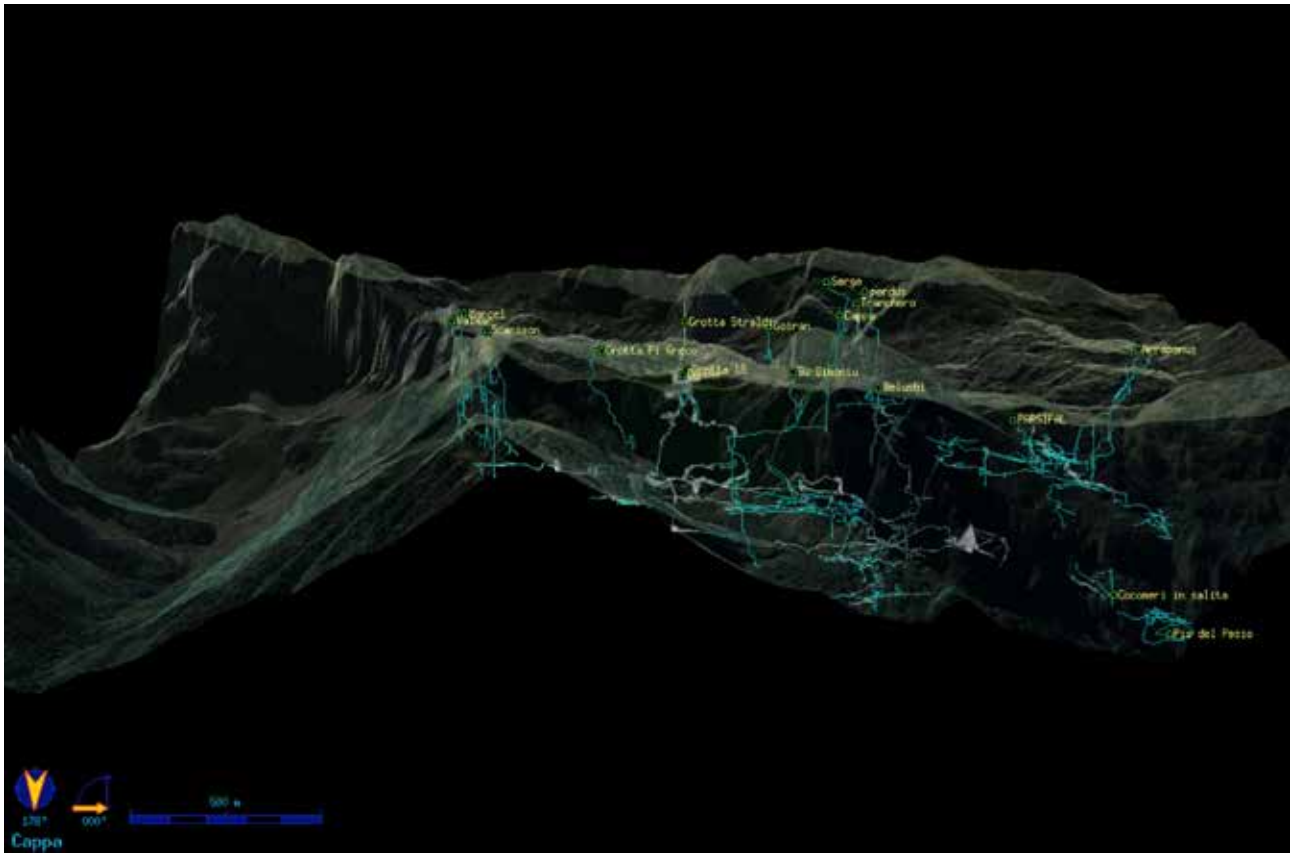


Figure 1 e 2 - Modello 3D delle principali grotte della Conca delle Carsene.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio preliminare del Sistema carsico del Vallone degli Alberghi (Palanfrè, CN)

Nicolò L. Fiori

Gruppo Speleologico Alpi Marittime (CAI Cuneo), via Porta Mondovì 5 - 12100 Cuneo, *sir.flowers.nl@gmail.com*

Parole chiave: carsismo; idrogeologia; geologia; Alpi Marittime
Keywords: karst; hydrogeology; geology; Maritime Alps

Riassunto
La recente scoperta della Grotta Spirito da parte del Gruppo Speleologico Alpi Marittime (GSAM) - CAI Cuneo (Fiori, 2019), la prima grande grotta nell'area carsica della Val Vermenagna-Val Grande (Elia, 1986), permette di definire il "Sistema carsico del Vallone degli Alberghi". Lo scopo del lavoro è quello di descrivere la configurazione dell'acquifero carsico e formulare ipotesi circa i deflussi idrici sotterranei. Raffrontate con dati di colorazioni precedenti (AGSP, 2010), sono qui presentate le prime sommarie misurazioni di regime.

Introduzione

L'area carsica della Val Grande (fig. 1; affluente sinistro della Val Vermenagna), è interessata dall'affioramento di imponenti bancate carbonatiche che dal Colle di Tenda raggiungono la Valle Gesso, ed è nota alla letteratura speleologica come un ambiente meno carsificato rispetto alle vicine Alpi del Marguareis. AGSP (2010) evidenzia una sorgente di fondovalle (Sorgente degli Alberghi), dimostrando tramite tracciante come questa sia alimentata dal Rio degli Alberghi, che più a monte subisce sensibili perdite di subalveo. Sebbene approfonditamente esplorata (Calandri, 1996; GSP, 1969; GSP, 1959) non è stato possibile per molti anni accedere a cavità rilevanti (Elia, 1986). È merito del Gruppo Speleologico Alpi Marittime (GSAM) – CAI Cuneo la recente scoperta della "Grotta Spirito" (quota ingresso 1585m, 1,4Km sviluppo, -92m, in esplorazione; Fiori, 2019), ovvero il primo passo all'interno di quello che ora è concretamente definibile come il "Sistema carsico del Vallone degli Alberghi".

Assetto geologico e configurazione dell'acquifero carsico

L'area carsica della Val Grande ha sede in una zona ove affiorano successioni sedimentarie intensamente deformate, suddivise in unità tettoniche da faglie e sovrascorrimenti a scala regionale. È imputabile alla tettonica alpina l'assetto geologico mostrato in fig. 1. Ci si è affidati alle considerazioni di Barale et al. (2016) per chiarire il contesto geologico nel quale è inserito il Sistema carsico in oggetto: le rocce coinvolte appartengono alla successione di copertura sedimentaria del Massiccio

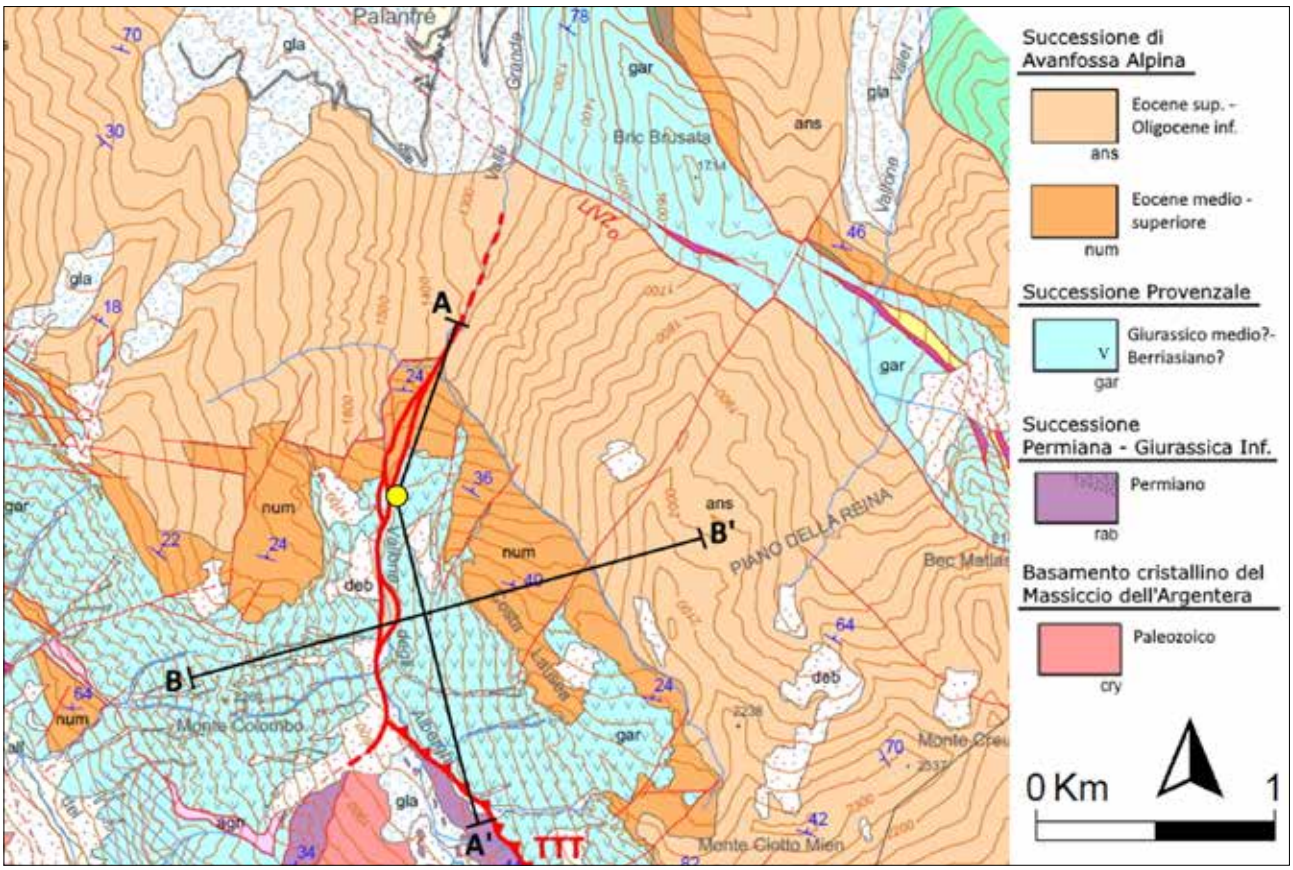


Figura 1 – Carta geologica dell'area studiata. Riferimenti della legenda nel testo. Modificato da Barale et al. (2016). m: il cerchio giallo identifica l'ingresso Grotta Spirito

dell'Argentera e alla successione del Bacino di avanfossa alpino. Risultano di primario interesse le unità elencate (in ordine stratigrafico) di seguito. 1) Basamento Cristallino del Massiccio dell'Argentera (**Cry**), costituito da migmatiti e ortogneiss (non carsificabile). 2) Formazione della Rocca dell'Abisso (**Rab**), arenarie e conglomerati con minori intercalazioni pelitiche (non carsificabile). 3) Calcari del Garbella (**Gar**), 200-300m di calcari massivi, principalmente composti da *packstones* bioclastiche, *rudstones* e *boundstones* a coralli ad alto contenuto micro e macro fossilifero. 4) Calcare a Nummuliti (**Num** - Bacino di avanfossa), 20-25m di conglomerati, areniti conglomeratiche e calcari arenitici. 5) Arenarie di Annot (**Ans** - Bacino di avanfossa), alcune centinaia di metri di alternanze di arenarie e peliti scure (non carsificabile). Per quanto riguarda l'assetto strutturale, l'area è caratterizzata da una monoclinale immergente a N-NE con polarità normale. La successione giurassico-oligocenica sormonta, con un sovrascorrimento immergente a NE (il *Thrust* TTT), le unità permiane e di basamento. Le rocce carbonatiche sono dunque sigillate a letto e a tetto da unità non carsificabili (fig. 2-3). Una faglia "a fiore" subverticale N-S, spezza la continuità laterale dell'assetto strutturale, tagliando lungo il fondovalle del Vallone tutte le strutture coinvolte, ribassandole a W. L'assetto geologico descritto, unito alle osservazioni idrologiche di questa sede, permette di definire l'architettura dell'acquifero carbonatico e quindi del Sistema carsico del Vallone degli Alberghi.

Il Rio, al di sopra dei 1800m, ruscella sul basamento impermeabile, strutturalmente al di sotto del TTT. Incontrata la roccia carbonatica, l'acqua si infiltra (in magra) a quota 1750m circa. Si segue pertanto un lungo tratto di *thalweg* secco (con una parte a forra), fino

ad una risorgente di subalveo (quota 1400m): la Sorgente degli Alberghi. La connessione idrologica tra questa e l'assorbimento è stata comprovata da un tracciamento (AGSP, 2010): transito di 117 ore, lungo 1500 m e una portata di ingresso di 5 l/s. Secondo questo quadro, i limiti dell'acquifero sarebbero definiti a monte dal contatto tettonico (TTT) con le rocce impermeabili (Rab e Cry), mentre a valle corrisponderebbero all'affioramento della superficie piezometrica presso la quota della risorgente (1400 m), in prossimità del contatto con Ans (fig. 2): trattasi dunque di sorgente di sbarramento per limite di permeabilità sovraimposto. La definizione dei limiti laterali dell'acquifero risulta più difficoltosa vista l'assenza di superfici strutturali/di permeabilità che lo delimitino (fig. 3).

Sono state condotte in questa sede misure di portata del Rio a monte dell'assorbimento e alla Sorgente. È stato utilizzato il metodo a galleggiante: la sua scarsa affidabilità rende significativo soltanto l'ordine di grandezza dei dati. Le misure sono state condotte a settembre (come in AGSP, 2010) del 2019: circa 15 l/s in ingresso all'assorbimento e circa 150-170 l/s in uscita dalla risorgente. L'acqua in uscita risulta quindi 10 volte maggiore di quella in ingresso. I dati, seppur puntuali, ci permettono di intuire come una componente massiccia di acqua venga addizionata durante il tragitto ipogeo. Risulta evidente che al di sotto del Vallone giaccia un collettore che convoglia le acque verso la Sorgente raccogliendo presumibilmente anche quelle provenienti dalla Costa Lausea e dal Monte Colombo (fig. 3). Queste considerazio-

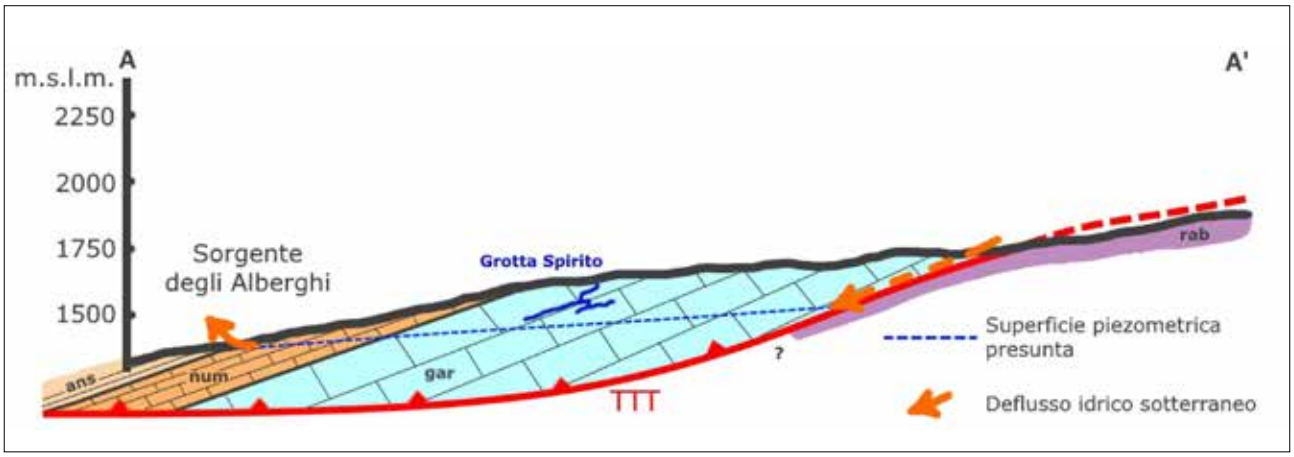


Figura 2 – Sezione geologica A-A' (traccia in fig. 1).

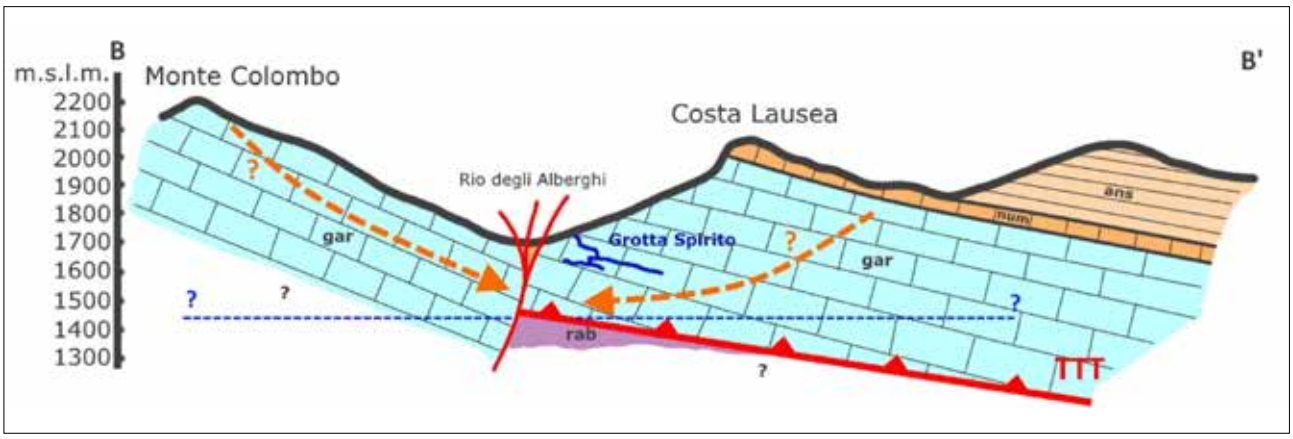


Figura 3 – Sezione geologica B-B' (traccia in fig. 1).

ni preliminari permettono di ipotizzare prosecuzioni del sistema al di sotto di entrambi i fianchi vallivi, immaginando un ipotetico ramificato e imponente complesso carsico.

Conclusioni

Lo studio del sistema in termini geologici e idrogeologici costituisce un utile strumento di ricerca e prospezione per gli speleologi. Il peculiare comportamento del Rio degli Alberghi permette di ipotizzare l'esistenza di più apporti sotterranei: eventuali acque provenienti dalle aree di Costa Lausea e/o del Monte Colombo potrebbero essere responsabili del *surplus* di portate osservato in corrispondenza della sezione di chiusura dell'acquifero (fig. 3). La quota del livello piezometrico, sita un centinaio di metri al di sotto del punto più profondo della grotta (a partire dalla quota della Sorgente degli Alberghi, 1400m), messa in relazione all'assetto geologico-strutturale, permette di ipotizzare uno sviluppo potenziale di un sistema carsico dell'ordine dei 700-800m di dislivello e di circa 1km^2 di estensione areale.

Riferimenti Bibliografici

AGSP (2010), *Atlante delle aree carsiche piemontesi,* Associazione dei gruppi speleologici piemontesi - AGSP, Torino.

Barale L., Bertok C., d'Atri A., Martire L., Piana F., Domini G. (2016), "Geology of the Entracque–Colle di Tenda area (Maritime Alps, NW Italy)", *Journal of Maps*, 12:2, 359-370

Calandri G. (1996), *Gruppo Speleologico Imperiese CAI 1967-1997 Trent'anni di attività*, Supplemento al *Bollettino del Gruppo Speleologico Imperiese CAI*, 47, CAI Imperia

Elia E. (1986), "Il carsismo della Val Grande di Vernante", in Associazione dei Gruppi Speleologici Piemontesi - AGSP (a cura di), *Sintesi delle conoscenze sulle aree carsiche piemontesi*, 35

Fiori N.L. (2019), "La scoperta e l'esplorazione della "Grotta Spirito": il Sistema carsico del Vallone degli Alberghi, Palanfrè (CN)", *Piccolo Mondo Ipogeo*, 82: 18-23

GSP (1969), "Grotte della val Grande di Vernante". *Grotte*, 40: 25-26.

GSP (1959), Ricognizione nella Valgrande. *Grotte*, 9.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il Complesso del Colle dei Signori e la Zona F

Jo Lamboglia

Association Sportive du Marguareis et des Pré-Alp de Grasse (ASMPG)

Parole chiave: congiunzioni, disostruzioni.
Keywords: conjuntions, unblocking.

Il massiccio del Marguareis si trova all'estremità orientale della catena del Mercantour. Misura circa 10 chilometri di lunghezza per 5 di larghezza. La zona carsica si estende su entrambi i lati del confine franco-italiano, ma l'area più vasta è ubicata in Italia. La struttura carsica si estende ad est attraverso la "Cima delle Saline" (2612 m) e soprattutto verso il "Mongioie" (2330 m). I punti più alti sono "Cima Marguareis" (2650 m) e il "Bec de l'Aigle" (2513 m).
Circondato da profonde vallate, il massiccio del Marguareis presenta una morfologia di alti circhi glaciali caratteristici dei Carsi Alpini.

Abisso "F3 Cesare Volante"
Coordinate X: 102.826 Y: 220.679 Z: 2218 m. Profondità: -342 m.
L'abisso fu scoperto nel 1963 da G. Clerici, ed esplorato dagli speleologi del GSP fino alla quota di -342 m; nel 1985 venne trovato un nuovo ramo in cima al P40. La sua vicinanza al Complesso F5/F33/Aldo Giordani/Fiat Lux e alle cavità Joël e Souffleur lascia presagire possibili interessanti giunzioni.

Abisso "F5 Eraldo Saracco"
Coordinate X: 1026.770 Y: 220.452 Z: 2122 m. Profondità: -520 m.
L'abisso fu scoperto nel 1964 dagli speleologi del GSP. L'"F5" è una grotta molto difficile da esplorare, sia per l'aspetto tecnico della progressione (con profondi pozzi) sia, soprattutto, per la complessità dei suoi rami labirintici. L'abisso richiederebbe un totale riarmo e un rifacimento completo della topografia ormai troppo datata e imprecisa.

Abisso F33, noto come "I passi perduti"
Coordinate X: 1026.887 Y: 22.274 Z: 2060 m. Profondità: -478 m.
L'F33 fu trovato nel 1976 da G. Baldracco e A. Gobetti e collegato all'Abisso F5 già durante le prime punte esplorative assieme ai francesi del CMS. L'F33 è un tipico abisso del Marguareis per l'alternanza di stretti meandri e grandi verticali. Ancora oggi è una grotta molto impegnativa a causa dei numerosi passaggi stretti e per la presenza di una violentissima corrente d'aria che accompagna lo speleologo sino al fondo.

Voragine Fiat Lux
Coordinate X: 3942.266 Y: 4890424 Z: 2164 m. Profondità – 482 m.
Fiat Lux è stata scoperta da Jo Lamboglia durante il campo 2015 dell'appena

costituito club ASMPG. La cavità viene subito chiamata "Fiat Lux" (Sia fatta la luce). Fino ai -260 m di profondità, Fiat Lux si sviluppa nei calcari del Malm (Giurassico medio), un brusco cambiamento di calcare (Doggër) forma il meandro del fondo. La giunzione con F5 avviene a -482 m dall'ingresso. Nel 2019 un team composto da Dominique Cassou, Jean-Paul Sounier, Gustave Archangeli e Romain Lamboglia scopre un nuovo ramo a livello del grande meandro a quota -240 m. Si tratta di un susseguirsi di P20, P35 poi soprattutto P110 (molto bagnato) che porterà gli speleologi a ricongiungersi al vecchio ramo di quota -410 m. Sempre nel 2019, viene richiesto l'intervento del Corpo Nazionale del Soccorso Alpino Speleologico per liberare Gustave che è rimasto bloccato in un meandro fangoso a -300, sospeso sopra il vuoto. Il salvataggio durerà in totale 60 ore (di cui oltre 30 ore sottoterra) e Gustave ne uscirà illeso grazie all'intervento degli speleologi italiani. Oggi Fiat Lux è ancora in fase di esplorazione. Nel 2020 Dominique Cassou, Enrico Massa e Romain Lamboglia scoprono un nuovo affluente. Questo ramo, il cui orientamento è totalmente opposto ai due rami principali, è stato esplorato lo stesso anno da Dominique Cassou, Pascal Vilatte, Marc Thiallier, Jean-Paul Sounier, Romain e Jo Lamboglia. Vi viene effettuata una risalita di 80 m, che si conclude su un ulteriore camino, dove circola abbondantemente l'aria ed in cima al quale emerge un meandro ancora inesplorato. Fiat Lux è una cavità verticale, molto fredda ma di facile accesso fino ai -240 m di profondità. Oltre, essendo l'armo realizzato solo durante i periodi di esplorazione, l'abisso richiede solide capacità fisiche e abitudine alla progressione in abissi di montagna.

Abisso Aldo Giordani

Coordinate 32T 394237 4890832 (WGS84) Z: 2126 m. Profondità – 478 m (giunzione con il sifone di F5).

Al termine del campo 2017, due giorni dopo l'incredibile esplorazione a Fiat Lux, gli speleologi dell'ASMPG scoprono una nuova voragine presso una dolina a ovest della zona F. Questa cavità è denominata "Aldo Giordani" in omaggio al marito di Gabriella, compianto speleologo italiano, che sul Marguareis scoprì il secondo ingresso di Labassa: "L'Ombelico del Margua". Il 17 agosto 2018 due squadre di speleologi realizzano due giunzioni tra l'Aldo e F5: una prima a livello del "Grand Burrone" e poi una seconda a livello del sifone terminale F5 a -478 m. Questi collegamenti fanno comprendere come l'Aldo in realtà sia la rete di base di drenaggio dell'intero complesso di grotte F5, F33 e Fiat Lux. L'Aldo è probabilmente la voragine più bella e maestosa della zona F, è costituita da calcare beige chiaro (Malm, Giurassico medio), che forma un susseguirsi di grandi volumi, pozzi e canyon. Si sviluppa su una frattura orientata Nord-Sud, con una pendenza molto acclive. La cavità, ventilata da violente correnti d'aria, è percorsa da tre corsi d'acqua. La temperatura dell'abisso è compresa tra 1 e 1,5 °C. La cavità è ancora in fase di esplorazione; data l'immensità dei volumi, probabilmente restano da scoprire molti passaggi, finestre ed altri meandri.

Gouffrè Joel

Coordinate: X: 1026.495 Y: 220.669 Z: 2149 m. Profondità: -405 m.

Il Gouffre Joël è stato scoperto il 21 agosto 1981 da P. Besançon dello Speleo Club di Vallauris (SCV). Nel settembre dello stesso anno, un ramo viene sceso fino alla profondità di -296 m (fermo su un meandro stretto). Il Joël è una

cavità molto complessa: la difficoltà principale, durante la sua esplorazione, è la ricerca di un itinerario. Questo abisso, infatti, presenta un'alternanza di meandri, pozzi e rami sovrapposti, che gli conferiscono un carattere labirintico. Nell'agosto 2021, a più di 30 anni dalle ultime grandi esplorazioni, l'ASMPG riprende le ricerche. Antoine Audeix e Romain Lamboglia, con l'aiuto di altri speleologi franco-italiani, credono di esplorare nuove diramazioni, forzando un passaggio oltre la "Stanza dello scheletro del pipistrello". Sfortunatamente, si rendono conto che Jo e Cathy Lamboglia erano già stati lì 40 anni prima, scendendo una verticale da un ramo superiore parallelo. Il Gouffre Joël è una cavità particolarmente difficile da esplorare, tuttavia, riuscendo a superare le sue difficoltà, il Gouffre Joël rivela magnifiche concrezioni di aragoniti e grandi vuoti. Il fondo dell'abisso, a -300 m, rimane poco esplorato perché decisamente moto stretto.

Trou Souffleur

Coordinate: X: 1026.500 Y: 220.469 Z: 2141 m. Profondità -420 m.

Il Trou Souffleur fu scoperto nel 1962 dai membri del Club Martel. È una cavità interessante per il suo posizionamento e il suo sviluppo. Tuttavia, rimane difficile da esplorare (numerosi passaggi stretti). Questa voragine alpina è molto fredda, in gran parte umida, e attraversata da una violenta corrente d'aria. Il Trou Souffleur termina su uno stretto meandro molto ventilato, a circa -420 m di profondità.

Voragine "Lou Présépi"

Coordinate: 32T 394.237 4890832 (WGS84) Z: 2212 m. Profondità: -350 m.

Durante il campo speleologico 2018, Marc Thiallier e Jo Lamboglia trovano un nuovo buco sul sentiero della Galina che porta alla Cima Marguareis. L'ingresso del buco è orizzontale, e si trova sul lato francese del confine franco-italiano. Rapidamente, si formano diverse squadre che si alternano per liberare l'ingresso della cavità. Al termine del campo 2019, una squadra riesce ad entrare trovandosi bloccata, una trentina di metri più in basso, presso uno stretto meandro. Per tutta l'estate del 2020, speleologi francesi e italiani (in particolare Pascal Vilatte, Francesco Sisti e Robert Maccario detto lo "Yéti") si susseguono per allargare il meandro. Finalmente, alla fine del campo 2020, il meandro è superato. Seguono un piccolo salto, una sala in pendenza e soprattutto un bellissimo P18 che termina in una grande sala a -56 m. Replica nell'estate del 2021, dove Robert, Pascal e Francesco (con il resto del gruppo speleologico) sgomberano la frana presso la stanza terminale, scendendo poi due pozzi (P18 e P12), per arrivare ad una magnifica galleria verticale (una specie di diaclasi) la cui estremità si apre su un P100. Dopo questa scoperta, gli speleologi si affrettano e diverse squadre franco-italiane riescono a condurre una delle esplorazioni più belle della zona F, con l'armo del Présépi, quasi senza interruzioni, fino ai -340 m di profondità. A -340 m Antoine Audeix e Romain Lamboglia percorrono l'ultimo meandro e superano diversi stretti passaggi. Arrivati a -350 m, i due non possono proseguire: il meandro è troppo stretto. Sentono però un'enorme eco dietro il meandro, e ammirano, grazie alla "vaporette" di Antoine, una formidabile corrente d'aria aspirata, che suggerisce un grande volume. La voragine del Lou Présépi è una cavità di facile percorribilità senza eccessive strettoie. I volumi dei pozzi sono molto impressionanti e la corrente d'aria è molto forte durante tutta la progressione. Molti passaggi rimangono

inesplorati e danno speranza per i prossimi anni di esplorazioni.

Riferimenti bibliografici

Arcangeli G., Lamboglia, R., Massa, E. Cassou, D. (2019), "Esplorazione del Complesso del Colle dei Signori (F3-F5-F33-Fiat Lux-Aldo Giordani) nel massiccio del Marguareis", *Speleologia*, 80: 9-10.

Calandri, G., Lamboglia, J., Massa, E. (2019), "L'Abisso Giordani e la speleogenesi nel settore Colle dei Signori-Carsene-Labassa (Marguareis, Alpi Liguri)", *Bollettino del Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*, 70: 3-8.

Calandri, G., Lamboglia, J., Massa, E. (2018), "La colorazione all'Aven del L'Ail ed il sistema idrico sotterraneo Labassa-Fus (Alpi Liguri)", *Bollettino del Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto*, 69: 3-9.

Eusebio, A. (1999), "Attività francese al Marguareis", *Grotte,* 129: 7.

Eusebio, A., Lamboglia, J. (1989), "Il complesso carsico del Colle dei Signori", *Speleologia*, 20: 8-12.

Giordani, G., Chiesa, A., Massa, E. (2019), "Complexe du Col des Seigneurs, Massif du Marguareis, Alpes Maritimes (06)", *Speleo Magazine*, 105: 21-25.

Leoncavallo, G., Olivetti, M. (1974), "L 'esplorazione dell'abisso "Eraldo Saracco" (Pi-Cn 602) sul Marguareis", *Atti XI Congresso Nazionale Speleologia*, Genova, 1972, 135-139.

Lovera, U. (2003), "F5 (Abisso Saracco)", *Grotte,* 140: 21.

Lovera U. (1994), "Condanne", *Grotte,* 116: 34-35

Oddou, A., Sounier, J.P. (1986), *Spéléo sportive au Marguareis*, Édisud, La Calade, Aix-en-Provence, 175 p.

Sconfienza, S. (1987), "Perché continui ad andare in F5?", *Grotte,* 95: 27-31.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le esplorazioni nel complesso Piaggia Bella 2018-2021

Thomas Pasquini, Igor Cicconetti, Andrea Benedettini

Gruppo Speleologico Piemontese

Parole chiave: Grassi Trichechi; Deneb; Itaca nell'Ombra; fossil passages
Keywords: Grassi Trichechi; Deneb; Itaca nell'Ombra; Gallerie Fossili

Riassunto
L'attività esplorativa svolta all'interno del complesso di Piaggia Bella, nel periodo tra il 2018 e il 2021, ha seguito tre principali linee esplorative, in particolare nell'Abisso dei Grassi Trichechi, nei rami delle Gallerie Fossili e nel ramo Itaca nell'Ombra.
Nei Grassi Trichechi, abisso congiunto con Piaggia Bella nel 2010, è stata esplorata nella parte superiore, prevalentemente verticale, una via parallela alla principale; si è inoltre rivista la zona inferiore, di morfologia invece sub-orizzontale.
Più lunga e complessa è stata la prosecuzione dal basso delle risalite nel ramo Itaca nell'Ombra, situato nella regione della Confluenza e fino ad oggi percorso unicamente nell'estate del 1975 nella sua parte basale; da qui è stata realizzata la giunzione con l'Abisso Deneb, che era stato scoperto e in breve abbandonato negli stessi anni.
Le Gallerie Fossili, e più in generale il reticolo di antiche condotte fossili soprastanti il corso attivo di Piaggia Bella, anch'esse nella regione della Confluenza, sono stati oggetto di una intensa rivisitazione, che ha dato alcuni risultati.

I Grassi Trichechi

L'abisso dei Grassi Trichechi si apre a quota 2450 m s.l.m. sul fianco destro del vallone di Zona Omega, sulle pendici orientali di Cima Pian Ballaur. Venne scoperto negli anni '70 da membri del Gruppo Speleologico Piemontese (GSP) ed esplorato nel 1983 dal Gruppo Speleologico Imperiese (GSI) fino alla profondità di -75 m. La prosecuzione decisiva venne trovata nel 2001 dal GSP. Le esplorazioni che seguirono vennero condotte a più riprese fino all'estate del 2010, quando l'abisso fu congiunto a -550 con il Reseau E, affluente di destra di Reseau B.
La struttura della grotta è condizionata fino a circa -100 da un intricato fascio di fratture, che le danno una morfologia piuttosto tormentata. A partire da questa quota l'andamento si fa prettamente verticale, fino a circa -450 m. Nei successivi 100 metri di profondità la cavità diventa invece prevalentemente orizzontale, muovendosi decisamente in direzione S-SO. Pur conoscendo alcuni tratti di morfologia vadosa, e al fondo anche freatica, l'abisso ha una

impostazione nel suo complesso vistosamente tettonica.
Dall'estate del 2020, partendo dal termine della galleria di -100, è stata scesa una serie di ampi pozzi, già individuata nel 2001 ma mai affrontata: a un P15 seguono un P30 e poi un P120, nominato *L'Estasi dell'Ellero*, che traversato poco sopra la base porta a un P19 e dunque a un terrazzo già precedentemente conosciuto. Non è stato possibile appurare con certezza il punto del collegamento, ma con ogni probabilità è stato intercettato il P52 della via per il fondo, a circa -270 dall'ingresso. La verticale intersecata è stata così traversata fino a raggiungere sul versante opposto (cioè N-E) un meandro secondario, tuttavia attivo, che potrebbe raccogliere le sue acque dalle doline situate nell'area di Passo Pian Ballaur, situato tra Cima Pian Ballaur e Cima delle Saline. L'assenza di corrente d'aria non lascia invece supporre che vi siano collegamenti con i buchi aspiranti di Cima delle Saline. L'esplorato ammonta a circa 250 metri.
Nella parte più a valle, là dove un nuovo incrocio di fratture impone alle gallerie del fondo brusche svolte ad angolo retto, evidenti sul rilievo, confluisce un abisso di cui si conosce solamente il punto d'arrivo, ossia il camino *Bello Ma Inutile*. Qui è stato trovato un breve tratto di collegamento (circa 30 m) tra le *Gallerie Marilena* e il suddetto camino, il ché ha permesso di fare chiarezza sulla circolazione delle arie nella zona. Possiamo così disegnare uno schema delle arie dell'abisso, il quale vede in sostanza due sub-circolazioni: la prima, più superficiale, prende aria da un ingresso alto ancora sconosciuto e affluisce assieme a un arrivo d'acqua alla sala di -250, dopodiché risale l'Estasi dell'Ellero e i soprastanti pozzi fino a raggiungere l'entrata dei Grassi Trichechi, la quale infatti funge nonostante la quota da ingresso soffiante; la seconda, ben più imponente, viene con ogni probabilità assorbita anch'essa nel Ballaur e affluisce in gran parte dal Bello Ma Inutile, per poi percorrere le gallerie basali e confluire in Piaggia Bella; una frazione minore dell'aria del fondo dovrebbe provenire invece dal grande camino che chiude a monte il ramo PIT I, non rivisto.
Non trascurabile è infine l'apporto d'acqua di RE alla confluenza con RB, stimabile attorno ad 1 l/s nell'agosto del 2020. Da quanto ne sappiamo allo stato attuale, parte dell'acqua giunge nei Grassi Trichechi dal summenzionato arrivo che si incontra nella sala di -250, percorrendo poi solo per brevi tratti lo stesso percorso della progressione speleologica; altra parte confluisce da destra orografica dal camino Bello Ma Inutile, situato nella regione del fondo.
Possiamo così concludere che i Grassi Trichechi, per quel che ne conosciamo adesso, costituiscano lo scheletro di una più estesa rete di abissi affluenti in Piaggia Bella, presumibilmente legati al versante orientale del Ballaur.

Itaca nell'Ombra e l'Abisso Deneb

L'ingresso di Deneb si apre a quota 2254 m s.l.m. alle pendici dell'omonimo canalone, sovrastante la Valletta dei Pensieri, sul versante occidentale del Ballaur. Venne scoperto ed esplorato nell'estate del '73 da speleologi del GSP e del Centre Méditerranéen de Spéléologie de Nice et Toulon (CMS). Abisso fortemente aspirante, consta di una verticale d'ingresso da 95 m, seguita da un lungo meandro, alto e stretto, intervallato da numerosi salti e diverse strettoie piuttosto selettive, in particolare l'ultima alla profondità di -200. Tale fessura, superata una sola volta da Maurice Rousseau nello stesso '73 e mai più ripetuta, si affaccia secondo il suo esploratore su una forra di considerevoli dimensioni. Vi si per-

de un rivolo, stimato attorno ai 5 l/min ad agosto 2021, il quale prende circa metà della sua acqua da un affluente di sinistra orografica, potenzialmente risalibile ma che è da mettere in relazione al meandro (chiuso in frana) che si stacca sullo stesso lato alla base del P95.

Il ramo Itaca nell'Ombra corrisponde all'affluente A1 dei Piedi Umidi, situato poco a monte della Confluenza. Venne risalito per circa 110 m nell'estate del '75. Dal 2018 sono state continuate a più riprese le risalite, arrivate all'inizio del campo estivo del 2021 alla quota di +280 dalla base. Nel corso dello stesso campo vengono proseguite in diverse direzioni, toccando la quota di +330 a poche decine di metri dalla superficie. Inseguendo la corrente d'aria si è finalmente giunti all'imbocco di uno stretto meandro soffiante e discendente, a +305. Meandro che ha portato a riarmare Deneb e scoprire il punto del suo arrivo in quest'ultima. Da qui infine la giunzione tra le due grotte, disostruendo il ramo in una punta congiunta sia da Deneb sia da Piaggia Bella. Non sono state trascurate in tutto ciò le diverse diramazioni presenti, nessuna delle quali si è tuttavia rilevata decisiva.

Itaca nell'Ombra si sviluppa di fatto in un unico meandro che col tempo si è ramificato in numerosi ringiovanimenti, i quali in più punti sono andati a tagliare la struttura originaria. Vi è dunque una parte fossile, spesso vistosamente concrezionata e a volte riscavata, e una attiva che le rimane vicina. La progressione percorre prevalentemente la prima delle due. Nella parte basale, al di sotto dei +50, sono evidenti i resti di antiche condotte forzate, evidentemente afferenti al reticolo di cui fanno parte anche le vicine *Camelot* e *Gallerie Fossili*. È in questo punto, proprio a +50, che da una esile fessura affluisce un corso d'acqua che con buona probabilità, data la portata compatibile, è lo stesso che si lascia al fondo di Deneb. Tale acqua costituisce il grosso di ciò che poco più a valle si getta nei Piedi Umidi, e non sembra avere relazione con la genesi di Itaca. Il ramo della giunzione, che ha preso il nome di *Talebani a Kabul*, è invece un meandro secondario, che ha avuto la ventura di incrociare sia Itaca (a quota 2160 m s.l.m.) che, poco più a valle, Deneb (2110 m s.l.m.), ma che nulla spiega circa i destini del fondo di quest'ultimo. Il percorso delle correnti d'aria continua così ad esser poco chiaro. La quantità d'aria che entrando in Deneb risale Talebani a Kabul per poi discendere alla Confluenza lungo Itaca è una frazione minima del totale. La gran parte di essa segue invece invece il percorso di Maurice Rousseau e si perde nell'ignoto, anche se molto probabilmente fa il suo ingresso in Piaggia Bella in qualche punto delle Camelot, le quali nella zona della Confluenza vengono tagliate da numerosi arrivi.

Il totale delle esplorazioni del settore ha aggiunto approssimativamente 500 m al rilievo del Complesso di Piaggia Bella, oltre ai già conosciuti ma precedentemente separati 275 m dell'abisso Deneb. Le possibilità di ulteriori esplorazioni riguardano la forzatura del fondo di quest'ultimo, nonché in misura minore alcune diramazioni lungo il meandro di Itaca.

Le Gallerie Fossili

Le Fossili appartengono a un antico reticolo di freatici a pieno carico che attualmente collegano varie zone di Piaggia Bella tra loro. Le prime esplorazioni delle Gallerie Fossili risalgono alla fine degli anni '60, quando il giovane Claude Fighiera imporrà un nuovo modo di esplorare Piaggia Bella. Nel 1975, in un campo interno, il GSP trova la giunzione tra le *Galerie Sableuse* e l'abisso Solai. Nel 1984 la zona delle Fossili vie-

ne congiunta con le gallerie *Camelot*. Le esplorazioni degli ultimi anni hanno unito le Fossili sulla via dell'*Artiglio Sinistro* di Caracas, stretta via percorsa negli anni '70 che congiunge Caracas alla zona del *Sifon Aval*. Attualmente la zona più interessante risulta essere l'area posta in direzione delle Camelot. Nell'estrema zona a monte, in direzione est la grotta cambia aspetto diventando una frattura in leggera salita con alcuni approfondimenti. Un nuovo ramo, esplorato nell'estate del 2021, supera i Piedi umidi e prosegue in direzione della dorsale di Deneb, nel versante sud-occidentale del Ballaur. La buona corrente d'aria che giunge da ingressi alti fa sperare una nuova via verso il Ballaur. In una saletta a metà del ramo si apre invece un pozzo, sceso per 15-20 metri, che porta ad un livello inferiore non ancora percorso.

Per quello che riguarda la circolazione delle arie, le Fossili hanno un alto grado di complessità, andando a intersecare molte zone di Piaggia Bella. Quasi tutti i rami portano aria da ingressi alti, anche se le zone principali sono tre: il ramo nuovo drena aria da un'area di assorbimento ancora ignota; le Camelot fanno affluire aria dai Piedi Umidi e forse dall'Abisso Deneb; la parte iniziale delle Fossili prende aria anche da Caracas. Questi afflussi alimentano varie zone di Piaggia Bella: una parte dell'aria scende per i pozzi ancora da esplorare nel nuovo ramo; l'aria di Caracas viene per lo più drenata dalle gallerie del Sifon Aval. La restante aria si divide: una parte va verso il sifone del Solai, una parte verso la Carsena del Pas e altra verso la Confluenza.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (2010), *Atlante delle aree carsiche piemontesi*, volume 2, AGSP e Regione Piemonte, Torino, 80-84, 110-113, 136-137

AGSP e GSP (1990), *Il complesso carsico di Piaggia Bella*, AGSP e Regione Piemonte, Torino: 81-84

Calandri G. (1983), "Attività 1983 sulle Alpi Liguri", *Bollettino del Gruppo SApeleologico Imperiese*, 21

Dondana R. (2007), "Trichechi ultimo atto (o quasi)...", *Grotte:* 148, 17-20

Eusebio A. (1983), "Sintesi delle esplorazioni della conca di Piaggia Bella", *Grotte*, 83: 24-26

Eusebio A. (1984), "Ancora da PB: le Camelot", *Grotte,* 84: 20

Gabutti A. (1984), "Cercando alle Camelot", *Grotte*, 85: 42

Gobetti A. (1973), "L'abisso di Deneb", *Grotte*, 51: 12-13

Gobetti A. (1975), "L'idrologia nota, probabile e possibile del Complesso di Piaggia Bella", *Grotte*, 55-56: 12-22

Gobetti A. (2001), "Il campo del 2001 a Piaggia Bella", *Grotte,* 136: 12-22

Gobetti A. (2020), "A proposito dell'idrologia sotterranea delle Saline", *Grotte,* 174: 24-26

Longhetto A., Villa G. (1975), "Operazione 'Piaggia Bella 75'", *Grotte*, 57: 7-12

Lovera U. (1994), "Condanne", *Grotte,* 116: 34-35

Lovera U. (2001), "Trichechi parte seconda", *Grotte,* 136: 32-34

Lovera U. (2003), "Tormentone Trichechi", *Grotte,* 140: 38-42

Lovera U. (2010), "I Trichechi visti da PB", *Grotte,* 154: 26-27

Marovino M. (2010), "Quattrochechi dall'Omega in PB", *Grotte:* 154: 23-25

Pasquini T. (2021), "Della giunzione PB-Deneb", *Grotte*, 176

Pozzo R. (2002), "L'abisso dei Trichechi", *Grotte,* 138: 24-34

Speleologia in Cavità Artificiali

Michele BETTI e Maria Luisa GARBERI

Il buio plasmato dall'uomo, i censimenti tematici, gli ipogei costieri, le trasformazioni antropiche delle grotte, l'importanza della documentazione e la riesplorazione attraverso il 3D sono stati gli argomenti principali della sessione.
Le cavità artificiali sono opere sotterranee di interesse storico, archeologico, geologico e antropologico realizzate dall'uomo (artificiali) o riadattate alle proprie necessità (naturali antropizzate) diffuse in ogni parte del mondo diversificate per:

- tecnica di realizzazione (come?),
- epoca (quando?),
- funzione/destinazione d'uso (perché?).

Infatti, con il passare del tempo l'ambito sotterraneo ha assolto a funzioni sempre più complesse ed articolate che ben poco avevano da invidiare alle architetture costruite in elevato. La speleologia in cavità artificiali, indagando le strutture sotterranee artificiali, necessitava di una classificazione delle cavità suddivise in categorie secondo la destinazione d'uso, identificandone in modo sintetico la natura e utilizzando una simbologia nazionale di riferimento, nonché di una catalogazione tipologica delle opere ipogee che convergesse in un database catastale dove riversare e confrontare i dati raccolti, oltre ad una rivista dove divulgare i risultati ottenuti.
La riscoperta, lo studio e la documentazione di strutture ipogee dimenticate, talvolta perché ormai inutilizzate, ricopre grande interesse dal punto di vista archeologico, storico, antropologico ed anche urbanistico ed architetturale e non di rado si riscoprono opere che da tempi antichi o antichissimi continuano a fornire un prezioso ma ignorato contributo al controllo del territorio, specialmente in termini di gestione delle acque.
La Commissione Nazionale Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana (CNCA-SSI), sin dalla sua costituzione nel 1981, si è posta come obiettivi di mettere in comunicazione gli speleologi che svolgono attività scientifiche nel settore, di curare il Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali, di catalogare e classificare le cavità artificiali in tipologie, di analizzare i dati acquisiti, di produrre una simbologia nazionale e internazionale di riferimento (condivisa dalla UIS) e censimenti tematici (la Carta degli antichi acquedotti ed il Censimento degli Emissari artificiali dei bacini endoreici). Dal 1999 cura la pubblicazione della rivista della Società Speleologica Italiana "Opera Ipogea –Journal of Speleology in Artificial Cavities" garantendone l'elevato standard qualitativo grazie ad un Comitato Scientifico internazionale di alto profilo e che, dal 2022, *è* rivista dell'area 10 "Scienze dell'antichità, filologico-letterarie e storico-artistiche" classificata dell'Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR) quale rivista scientifica rilevante ai fini dell'Abilitazione Scientifica Nazionale (ASN).
Lo studio delle cavità artificiali spazia in un ambito molto vasto che non prescinde mai la presenza dell'uomo in qualità di artefice o di semplice frequentatore, che però con la sua presenza ha lasciato il segno trasformando fenomeni naturali in testimonianze storiche che ci narrano la storia di un territorio.
Nello studio e nel racconto di una cavità artificiale *è necessario affidarsi* a uomini

e donne del passato, che vi hanno vissuto, lavorato, transitato, pregato… sono loro, con le loro opere, ad innescare l'intreccio di motivazioni che ci spingono a riesplorarle e a studiarle in modo scientifico e rigoroso, anche attraverso strumentazioni innovative.
Una cosa accomuna tutte le cavità artificiali: sono luoghi della memoria, sono biblioteche sterminate riservate a chi ha occhi per esplorarle e riconoscere i segni dell'uomo: la struttura sociale, la storia, le lotte sociali, l'arte sacra e profana, la fatica nel costruirle, la fede religiosa, l'esistenza di un inframondo, la paura che ha spinto nel profondo, la sofferenza, l'ingegno, la tecnologia…
Le cavità artificiali sono beni culturali che, nella maggioranza dei casi, aspettano di essere protetti e valorizzati.
I lavori della sessione hanno coperto tutta l'Italia, partendo dalle Alpi Orobiche fino alla Sicilia, indagando e approfondendo aspetti molteplici della materia. Oggetti dello studio sono stati acquedotti storici, sotterranei termali romani, cavità costiere adattate dal tempo dei romani, sotterranei di castelli e di cinte murarie cittadine, ipogei artificiali scavati per uso abitativo e infine complessi minerari.
Alcuni lavori hanno proposto l'utilizzo di strumentazioni relativamente nuove, che trovano sempre più utilizzo come la modellazione 3D, sia essa ottenuta con laser scanner o con altri strumenti di ricostruzione; questo utilizzo oltre ad uno scopo documentale, viene utilizzata sempre di più per una riesplorazione degli ipogei, per intuirne gli sviluppi e cercarne le prosecuzioni.

Speleology in Artificial caves

Michele BETTI and Maria Luisa GARBERI

The dark environments shaped by man, thematic catalogues, the coastal hypogea, the anthropic transformations of caves, the importance of documentation and re-exploration through 3D were the main topics of the session.
Artificial cavities are underground works of historical, archaeological, geological and anthropological interest made by man (artificial) or adapted to their needs (natural anthropized) spread all over the world diversified by:
• construction technique (how?),
• age (when?),
• function / intended use (why?).
In fact, through the ages, the underground area has fulfilled increasingly complex and articulated functions that had little to envy to the architectures built above the ground. Speleology in artificial cavities, investigating artificial underground structures, required a classification of the cavities divided into categories according to the intended use, identifying in a synthetic way their nature and using a national symbolism of reference, as well as a typological cataloguing of the underground works that converge into a cadastral database where the collected data can be classified and compared, as well as a journal where the results can be published.
The rediscovery, study and documentation of forgotten underground structures, sometimes because they are now unused, is of great interest from an archaeological, historical, anthropological and also urban and architectural point of view and often works that have continued to be rediscovered from ancient or very ancient times, provide a valuable but ignored contribution to the control of the territory, especially in terms of water management.
The National Commission of Artificial Cavities of the Italian Speleological Society (CNCA-SSI), since its establishment in 1981, has set itself the objectives of connecting speleologists who carry out scientific activities in the sector, of taking care of the National Cadastre of Artificial Cavities, to catalogue and classify artificial cavities into typologies, analyze the acquired data, produce a national and international reference symbol list (shared by the UIS) and thematic censuses (the Charter of ancient aqueducts and the Census of artificial emissaries of endorheic basins). Since 1999 the Commission has edited the publication of the journal of the Italian Speleological Society "Opera Ipogea - Journal of Speleology in Artificial Cavities", guaranteeing its high quality standard thanks to a high-profile international Scientific Committee and which, since 2022, is a magazine of area 10 "Antiquity, philological-literary and historical-artistic sciences" classified by the National Agency for the Evaluation of the University and Research System (ANVUR) as a relevant scientific journal for the purposes of National Scientific Qualification (ASN).
The study of artificial cavities ranges over a very vast field that never ignores the presence of man as an architect or a simple visitor, who however with his presence has left his mark transforming natural phenomena into historical testimonies that tell us the story of a territory.
In the study and story of an artificial cavity it is necessary to rely on men and

women of the past, who have lived in, worked in, passed through, prayed there ... it is them, with their works, who trigger the intertwining of motivations that push us to re-explore them and to study them in a scientific and rigorous way, also through innovative instruments.
One thing unites all artificial cavities: they are places of memory, they are endless libraries reserved for those who have eyes to explore them and recognize the signs of man: social structure, history, social struggles, sacred and profane art, effort in building them, religious faith, the existence of an underworld, the fear that drove them deep inside, suffering, ingenuity, technology ...
Artificial cavities are cultural assets that, in most cases, are waiting to be protected and valued.
The session's works covered all of Italy, starting from the Orobic Alps to Sicily, investigating and deepening multiple aspects of the subject. Objects of the study were historical aqueducts, Roman thermal undergrounds, coastal cavities adapted from Roman times, basements of castles and city walls, artificial hypogea dug for residential use and finally mining complexes.
Some works have proposed the use of relatively new instruments, which are increasingly being used such as 3D modeling, whether obtained with laser scanners or other reconstruction tools; this use in addition to a documentary purpose, is used more and more for a re-exploration of the hypogea, to understand their developments and look for their continuations.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il rilievo per guidare la ri-esplorazione di due antiche miniere in Valle di Scalve (BG) attraverso la ricostruzione 3D

Giovanni Belvederi ([a]), Maria Luisa Garberi ([b])

([a]) Gruppo Speleologico Bolognese-Unione Speleologica Bolognese Aps, Commissione Cavità Artificiali SSI, *Giovanni.Belvederi@gmail.com.*
([b]) Gruppo Speleologico Bolognese-Unione Speleologica Bolognese Aps, Commissione Cavità Artificiali SSI, *durito58@gmail.com.*

Parole chiave: Val di Scalve; cavità artificiali; ricostruzione 3D; miniera
Keywords: Scalve Valley; artificial cavities; 3D reconstruction; mine

Riassunto
Il presente lavoro tratta dell'utilizzo del rilievo e della ricostruzione 3D per guidare la ri-esplorazione delle miniere di ferro Gaffiona e Molarice in Val di Scalve in provincia di Bergamo, nelle Alpi Orobie. La mancanza di mappe ha reso necessario effettuare un rilievo accurato delle gallerie e dei grandi vuoti di coltivazione incontrati durante la ri-esplorazione. L'analisi del rilievo e della ricostruzione tridimensionale, durante l'avanzamento, ha permesso di indirizzare le esplorazioni dei potenziali sviluppi delle miniere verso le zone più probabili dal punto di vista giacimentologico.

Introduzione

Da alcuni anni il Gruppo Speleologico Bolognese - Unione Speleologica Bolognese Aps (GSB-USB) collabora con la Società Sky Mine, che gestisce l'apertura al pubblico delle Miniere di ferro di Schilpario (BG). Nell'ambito della collaborazione gli speleologi stanno riesplorando le gallerie del corposo complesso minerario che chiameremo "Barisella" dal nome del consorzio che riunì tutte le concessioni attive nella valle.

Inquadramento geografico

La Valle di Scalve è una tributaria occidentale della Val Camonica ed è percorsa dal torrente Dezzo. È situata nella parte nord-orientale della Provincia di Bergamo in Lombardia. Si presenta formata da tre porzioni con caratteristiche fisiografiche e geologiche ben distinte: un tratto inferiore profondamente inciso e orientato N-S; un tratto intermedio, dove la valle si allarga e riceve alcuni tributari come il Povo, il Tino e il Vo orientato NE-SO; infine, il tratto superiore orientato OSO-ENE. La valle si snoda dal Passo dei Campelli a 1892 metri sul livello del mare fino ad Angolo Terme a quota 426 metri.

Inquadramento geologico

Le miniere di ferro della Valle di Scalve si aprono nella Formazione geologica del Servino, il cui nome deriva dai "servini", rocce, sottilmente stratifica-

te e laminate, che venivano utilizzate, in passato, per la costruzione dei tetti. Il Brocchi introdusse tale nome, in geologia, per indicare una caratteristica successione di sedimenti da transizionali a marini, che ospitano 4 banchi mineralizzati a siderite e barite di tipo *strata-bound*. L'unità si estende da Campione d'Italia alle Valli Giudicarie e raggiunge la sua massima diffusione nelle Prealpi Orobiche e nel Massiccio delle Tre Valli Bresciane. Lo spessore medio si attesta con regolarità attorno ai 150 metri. L'interpretazione sedimentologica della suddetta successione stratigrafica induce a riconoscere nella formazione l'espressione di un'estesa piana tidale sabbiosa. Dal punto di vista cronostratigrafico, il Servino coincide in larga misura con il Triassico Inferiore (Induano – Olenekiano) (Schunnach, 2007).
La zona di estrazione del minerale di ferro inizia quattro chilometri a monte di Schilpario e consiste, in particolare oltre i 1500 m di altitudine, di decine di vecchie bocche di miniera. Il pendio della montagna è, con buona approssimazione, conforme alla giacitura dei banchi del Servino, la cui direzione è 30° NE e la pendenza media 40-50° SE (Zasso, 2015).

Inquadramento storico

La valle fu dominata dagli imperatori del Sacro Romano impero, che la emanciparono, consentendo agli abitanti di commerciare il ferro su tutto il territorio dell'impero. Il più antico documento che accerta la produzione di ferro nella Valle di Scalve risale al 1251; si tratta di un atto divisionale tra Vilmaggiore, Barzesto e Schilpario (Zasso, 2015).
Lo Statuto della Valle di Scalve per le miniere del 1488 prevedeva la libertà di ricerca e di scavo a qualsiasi persona nata nella valle di Scalve, erano esclusi da questo diritto tutti gli esterni (De Ponte, 1781). Nel XV secolo la valle passa sotto il dominio della Repubblica Veneta, che tassa con decime il minerale estratto e proibisce la fabbricazione in loco della polvere pirica (Castelli, 1897). Il periodo napoleonico abolì gli statuti e cercò di censire le attività minerarie e di istituire nuove leggi minerarie (Trezzi, 1996). La successiva politica protezionistica austriaca in favore delle miniere di ferro della Carinzia penalizzò la produzione di ferro della valle. La legge mineraria sarda (1859) con l'unità d'Italia introdusse la possibilità per gli esterni di effettuare ricerche minerarie nella valle di Scalve; entrarono quindi società provenienti da altre parti di Italia: Franchi Gregorini, Ferriere di Voltri, Falk, Ferromin e Breda. Negli anni Trenta si formò il Consorzio Barisella, tra Falk e Breda; l'estrazione mineraria in Valle di Scalve cessò definitivamente nel 1971(Zasso, 2015).

Rilievo

Nel luglio del 2018 è stata demolita la sommità di un muro di ripiena in una galleria della Miniera Gaffiona, che ha permesso di ritrovare la Miniera Molarice, già citata nel "*Registro*" di Bortolomeo Cutio nel 1681 (Cutio, 1681). Non è stata trovata alcuna mappa della Molarice, che è citata in una carta allegata alla concessione Gaffiona del 1871 con la segnalazione di due ingressi, quotati rispetto al ponte del torrente Gaffione sulla strada comunale. Si è deciso di partire con un rilievo a tappeto della porzione SO del complesso, per poter collocare le gallerie antiche rispetto a quelle moderne, di cui si disponevano delle mappe, imprecise e prive dei grandi vuoti di coltivazione. Il primo passo è stato la georeferenziazione della mappa del 1871, per la quale si era in possesso di pochi punti e mal distribuiti: ponte e ingresso Gaffiona; è stato necessario trovare altre evidenze, ad esempio il sentiero del Crepado-

re, *Crepadù* in dialetto, e le aiole carbonili che collega tra loro. Il sentiero del *Crepadù* è l'antica mulattiera che dalle miniere basse portava al passo del Vivione verso la Valcamonica. Il versante attraversato dal sentiero è ricco di testimonianze minerarie antiche, come le aiole carbonili per la produzione di carbone di legna da utilizzare nei forni di torrefazione, le *reglane*. Le aiole si riconoscono bene e sono mappate nella carta della concessione, quindi ottime da utilizzare per la georeferenziazione. È stato percorso il sentiero e tracciato un *treklog,* lungo il percorso è stato trovato il punto confinario della concessione del 1872, il che conferma il riconoscimento corretto del sentiero. Effettuata la georeferenziazione, sono state lette le coordinate dei due ingressi e cercati nel bosco sul pendio; nelle vicinanze dei due punti estrapolati dalla carta sono state trovate evidenze: un collasso in corrispondenza dell'entrata più alta e i resti della baita in corrispondenza dell'entrata bassa. Il rilievo è stato impostato con l'origine sulla bocca della miniera Gaffiona, che sul piano storico è quotato a 10,5 m (Fig. 1 e 2). dal ponte, usato come 0 sul piano storico, nel confronto di ogni misura di quota del rilievo era necessario tener conto di questo delta. Procedendo con il rilevo si è valutato che la miniera Molarice si alzava, attraverso vuoti di coltivazione, che sono stati risaliti fino alla quota relativa dell'imbocco più basso, indicata sulla mappa del 1871: 21,6 metri. In corrispondenza è stata trovata una breve galleria con un'iscrizione incisa con cura nella pietra: "G.M.G. 1801", interrotta da un nuovo vuoto di coltivazione. È stato necessario calarsi all'interno del vuoto e risalire per cercare la galleria che portasse verso l'uscita, alla quota dell'entrata bassa; la galleria è stata trovata e percorsa per circa 90 metri. La galleria ha una conformazione ottocentesca, è stata scavata dall'esterno e conserva le nicchie per le lanterne, una frana ne impedisce la prosecuzione. Per cercare l'altra galleria d'entrata, la più antica, già censita nel 1681 è stato necessario salire lungo gallerie fortemente in salita e vuoti di coltivazione sempre più

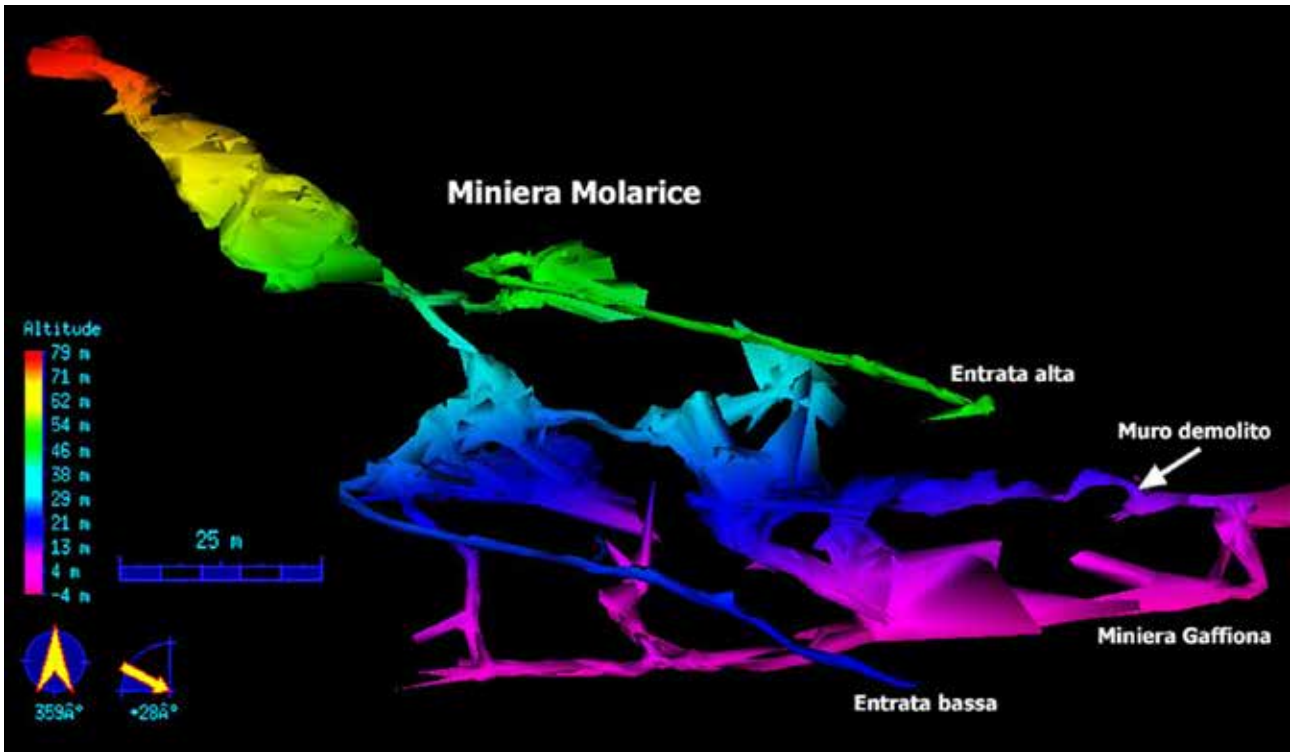


Figura 1 – Ricostruzione tridimensionale della Miniera Molarice.

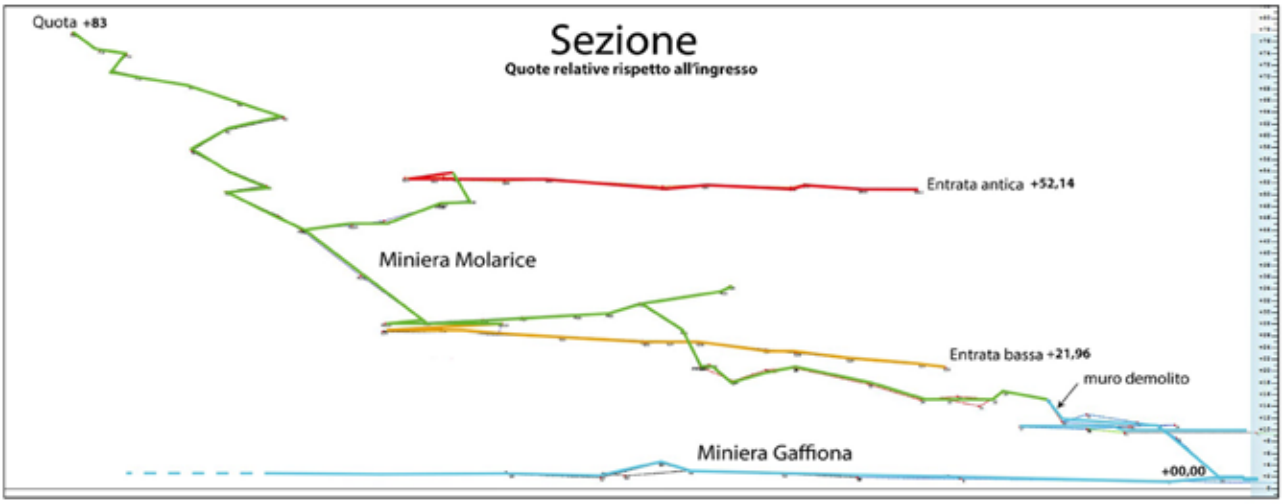


Figura 2 – Sezione quotata della Miniera Molarice

verticali, concordi alla giacitura degli strati mineralizzati.
I vuoti sono stati risaliti fino a 83 metri più in alto senza incontrare nessuna evidenza di galleria, ci si è spostati in un altro vuoto di coltivazione, raggiunto da una galleria in salita la cui bocca si trovava pochi metri sotto alla quota interessante: 52 metri sopra lo 0, risalito un grande blocco di crollo è stato trovato l'imbocco della galleria antica, molto angusta, di forma ogivale, con nicchie per lanterne a olio, scavata dall'esterno, percorribile per 120 metri fino ad una frana. Il rilievo delle due gallerie di uscita ha permesso di effettuare una stima di lontananza dell'esplorazione rispetto alla superficie esterna; nel caso della galleria più bassa e più recente, il caposaldo finale sulla frana, proiettato verticalmente sulla superficie del terreno cade a 59 metri dall'evidenza esterna, una baita, in corrispondenza delle coordinate estrapolate dell'ingresso, segnale che il punto terminale del rilievo è ancora distante dalla bocca. Inoltre, il punto finale è più alto di 49 cm, differenza che si spiega con la distanza dalle evidenze esterne, la pendenza delle gallerie di eduzione era dell'1% e colma il dislivello.
Nel caso della galleria alta, più antica, il punto finale del rilievo, proiettato sulla superficie del terreno, cade a una distanza di 10 metri lineari dal collasso osservato all'esterno, coincidente con le coordinate estrapolate dalla carta della concessione, segno evidente di maggior vicinanza alla superficie. La quota del punto finale del rilievo coincide con quella delle evidenze esterne con una differenza di +14 cm. Queste rilevazioni ci permettono di confermare che le evidenze esterne corrispondono agli ingressi delle due gallerie.

Riferimenti bibliografici

Castelli G. (1897), *La Valle di Scalve*. Club Alpino Italiano in Torino, pp. 82.
Cutio B., (1681) *Registro delle miniere, petrare e terre colorate* Arch. Stato Venezia
De Ponte N. (1781), *Statuti, ordini et leggi municipali di tutta la valle di Scalve, nuovamente reformati anno domini MDLXXVIII die primo Decembris*. Bergamo, p.93.
Schunnach D. (2007), "Servino", *Catal. Formaz., I Quaderni*, s. III, VII, 7, in Roma, pp. 33-41.
Trezzi L. (1996), "Miniera e metallurgia nella montagna lombarda fra '700 e '800: fonti e problemi di fonti." In *La miniera l'uomo e l'ambiente,* Firenze, pp. 121-140.
Zasso L. (2015), *La miniera di Schilpario*. ed. Sestante, pp.72

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ipogei artificiali a confronto nel territorio di Sasso Marconi (BO)

Giovanni Belvederi([a]), Danilo Demaria ([a]), Maria Luisa Garberi ([a]), Sandro Marzucco ([b]), Nevio Preti ([b])

([a]) Gruppo Speleologico Bolognese-Unione Speleologica Bolognese Aps, Commissione Cavità Artificiali SSI, *Giovanni.Belvederi@gmail.com; d.demaria@tin.it; durito58@gmail.com.*
([b]) Gruppo Speleologico Bolognese-Unione Speleologica Bolognese Aps, marzucco.sandro@gmail.com; *nevio.preti@hotmail.it.*

Parole chiave: Sasso Marconi, cavità artificiali, rilievo.
Keywords: Sasso Marconi, artificial cavities*, survey.*

Riassunto
Il presente lavoro mette a confronto alcuni ipogei artificiali che si aprono nel territorio del Comune di Sasso Marconi (BO). Nel territorio sono presenti numerosi rifugi scavati durante la Seconda guerra mondiale. Nell'articolo sono presi in considerazione quegli ipogei che presentano caratteristiche, che suggeriscono uno scavo ed un utilizzo forse precedente a quello bellico. Gli ipogei sono stati inseriti nel Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali della SSI.

Introduzione

Il Gruppo Speleologico Bolognese - Unione Speleologica Bolognese Aps (GSB-USB) si occupa da anni di Cavità Artificiali (CA), con campagne esplorative legate ad acquedotti, rifugi bellici, opere estrattive. Dagli inizi del 2010 si stanno raccogliendo informazioni, effettuando rilievi, di rifugi bellici. L'Associazione Arca Appennino Bolognese ha scoperto un ipogeo con caratteristiche particolari nell'area del Comune di Sasso Marconi (BO), precisamente ai Prati di Mugnano. Gli autori ringraziano l'associazione nella figura di Fabio Righi, che li ha condotti sul posto per effettuare un rilievo 3D.

Inquadramento geografico

Gli ipogei artificiali si trovano nel territorio del comune di Sasso Marconi, in provincia di Bologna, in area collinare (fig. 1). Sono localizzati in quattro posizioni diverse, in valli di torrenti più o meno grandi, tutti tributari diretti o indiretti del Fiume Reno sia in destra che sinistra idrografica.

Inquadramento geologico

La Formazione di Monte Adone (ADO) rappresenta la parte superiore della successione tardoneogenica intrappenninica ed è suddivisa in due membri tra loro sovrapposti, ma anche eteropici. Gli ipogei di cui tratta il presente lavoro sono stati scavati nel Membro delle

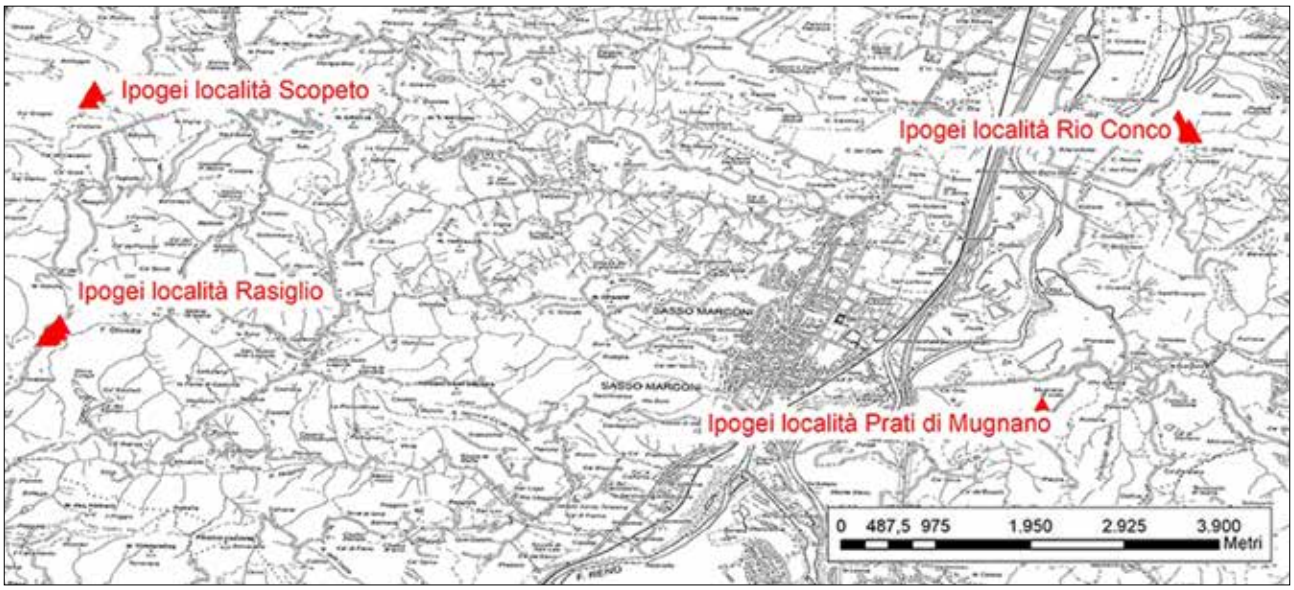


Figura 1 - Posizionamento geografico.

Ganzole (ADO_2), che è costituito principalmente da corpi arenacei caratterizzati da strati da medi o molto spessi, a geometria cuneiforme o concava, piuttosto piatta e tabulare. L'ambiente di sedimentazione è marino costiero (barre deltizie sottomarine con abbondante rielaborazione ondosa) e di transizione verso il largo (prodelta, *off-shore*). L'età della formazione è riferibile al Piacenziano (Panini et al., 2002).

Gli ipogei di Scopeto (CAERBO216 – CAERBO220)

La località Scopeto si trova circa a 9 km ad ovest di Sasso Marconi, in un'area boschiva a circa 300 metri di altitudine, situata tra i torrenti Lavino e Olivetta.

Il contrafforte dove sono stati trovati cinque ipogei, a quote differenti lungo la parete, fa parte di un affioramento di ADO_2 a strapiombo sul torrente Lavino. Il più esteso (CAERBO216) *è stato scavato a quota 330 slm, ha uno sviluppo di* 12 metri, si presenta con un ingresso rivolto a NE ed è formato da due camere divergenti di pianta quadrangolare (fig. 2). Lo scavo appare minuzioso, sono presenti evidentissimi i colpi degli attrezzi utilizzati. Le pareti presentano alcune nicchie, che non hanno corrispondenze nella parete di fronte; quindi, non sembrano essere servite a reggere sostegni lignei. Nella camera di destra, entrando, è presente un solco scavato alla base delle tre pareti di cui sfugge l'utilizzo. Trenta metri più in basso, in un canalone adiacente, si aprono altri quattro ipogei, con tipologia costruttiva simile, di sviluppo inferiore; uno di essi (CAERBO217) presenta un ingresso con nicchie di diverse misure e una cameretta laterale verso S. Gli altri tre presentano un cunicolo semplice orientato a SO.

Gli ipogei di Rasiglio, località Cravalazzo (CAERBO221 - CAERBO225)

La località Cravalazzo, frazione Rasiglio si trova circa a 9 km a nord-ovest di Sasso Marconi, in un'area boschiva a circa 425 metri di altitudine, situata lungo il corso del torrente Olivetta. Sono stati trovati cinque ipogei lungo la strada che unisce la frazione con la località Borra (fig. 3 ne mostra uno). Gli ipogei sono in stato di conservazione peggiore di quelli di Scopeto, presentano nicchie di misure variabili e cordoli lungo le pareti, che potrebbero essere stati usati come sedili o ap-

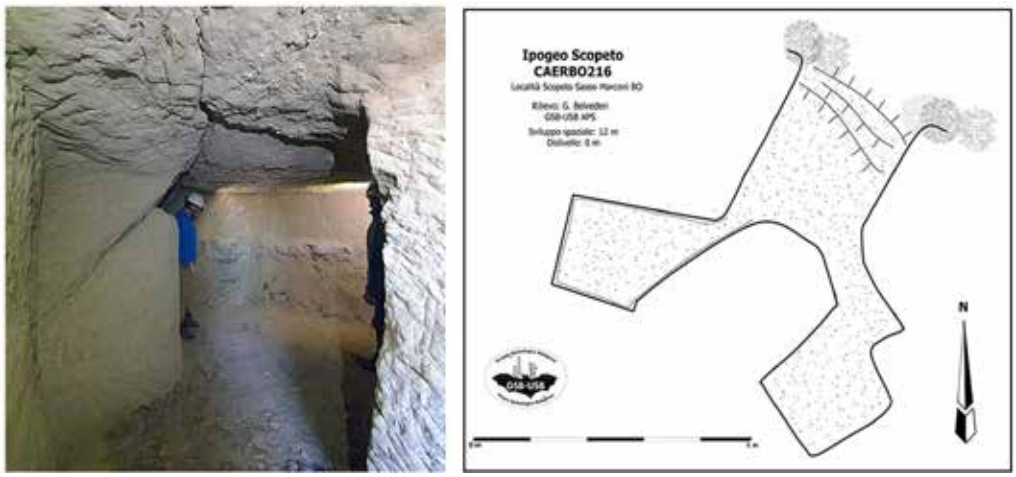


Figura 2 - Interno dell'ipogeo (foto M.L. Garberi) e rilievo.

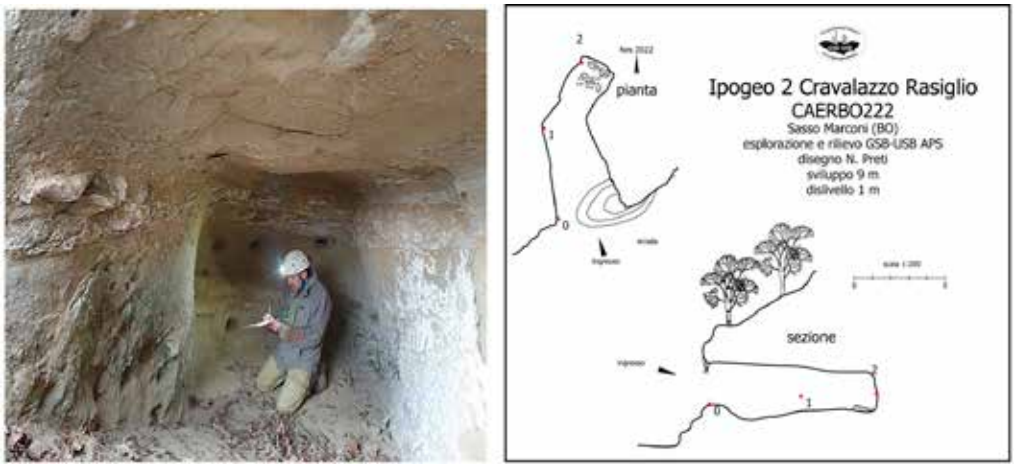


Figura 3 - Interno dell'ipogeo CAERBO222 (foto M.L. Garberi) e rilievo.

poggi di oggetti. Le nicchie, anche in questo caso non hanno corrispondenze nelle pareti opposte. Le aperture sono rivolte a SE, presentano tutti una sola entrata e hanno uno sviluppo massimo di 10 metri, alcuni presentano una cameretta in posizione quasi ortogonale all'ingresso.

L'ipogeo dei Prati di Mugnano (CAERBO237)

L'ipogeo CAERBO237 si apre con tre ingressi sulla parete strapiombante verso il fiume Reno in direzione NE in località Prati di Mugnano, parco pubblico molto frequentato. *È stato scavato nell'*arenaria ADO_2 e sono visibili i segni di scalpelli a punta e le direzioni degli scavi. Nelle volte sono presenti segni di scalpelli a punta piatta e larga alcuni centimetri. Il cunicolo è largo mediamente 1 metro e alto (in origine) circa 150-170 cm. L'accesso principale si raggiunge mediante un'arrampicata con uso di corda di sicurezza ed è un basso pertugio, il secondo ingresso, a causa del distacco di una parte del costone si trova in parete. Il cunicolo interno si sviluppa per alcune decine di metri chiudendosi ad anello con un paio di diramazioni cieche, di cui una probabilmente portava ad un terzo ingresso posto sul medesimo costone ma con una angolazione leggermente diversa; *è* ora chiuso da un crollo. L'ipogeo *è caratterizzato* da numerose nicchie di varie dimensioni: da piccole per lumi a più grandi di dimensioni metriche, scavate a diverse altezze, di cui è difficile capire l'uso. Sono presenti solchi verticali paralleli, forse utilizzati per far scorrere divisori di cui però non sono state trovate tracce, difficilmente riconducibili a ostacoli antiscoppio tipi-

Figura 4 - A sinistra CAERBO228 (foto G. Belvederi); a destra CAERBO237 (foto M. Dondi).

ci dei rifugi bellici. Sono presenti sedili a diverse altezze. È in corso il rilievo con laser scanner (fig. 4, a destra).

Gli ipogei di Rio Conco (CAERBO226 - CAERBO236)

Il Rio Conco è un modesto tributario del fiume Reno, in destra idrografica nel territorio di Sasso Marconi e scorre in una valletta di una lunghezza abbastanza ridotta di 300 metri e una profondità di circa 100 metri. Al termine della valle è presente una delle uscite dell'acquedotto romano che portava acqua a Bologna. Lungo le pareti di arenaria del membro ADO_2 si aprono undici ipogei artificiali, la cui origine è stata interpretata come luoghi funerari di origine etrusca (Altara et al., 1982 e Boschini, 2013). Gli autori ritengono che certamente non siano stati scavati come rifugi bellici, ma potrebbero essere stati usati come tali nella contingenza della Seconda guerra mondiale.

Conclusioni

La ricognizione di questi ipogei è lontana dall'essere conclusa, molte caratteristiche fanno pensare a scopi costruttivi diversi dal riparo bellico: la cura costruttiva; la presenza di nicchie e cordoli a diverse altezze e con misure differenti; l'assenza della seconda uscita in molti casi. Il passaggio della Seconda guerra mondiale può aver favorito il loro uso secondario come rifugio. L'accatastamento nel Catasto Nazionale Cavità Artificiali della SSI è stato un primo passo per lo studio sistematico di questi ipogei.

Riferimenti bibliografici

Altara E. et al. (1982), *La necropoli rupestre del Rio Conco*. Associazione Culturale ESAGONO in Bologna, pp. 37.

Boschini G. (2013), "*La valle del Rio Conco come le Vie Cave etrusche?", al sas*, XIV, I semestre:16 – 22.

Mari M. (2022), *Il cunicolo nascosto dell'Appennino Bolognese.* ERcoleTV, https://www.youtube.com/watch?v=j-vYXw-h9mDI consultato il 16/02/2022.

Panini F. et al. (2002), *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1: 50.00 Foglio 237 Sasso Marconi*, pp. 176.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Nuove esplorazioni in tratti sotterranei dell'Acquedotto Storico di Genova

Henry De Santis ([a]), Andrea Chiozza ([b]), Marco Corvi ([c]),
Alberto Romairone ([d]), Andrea Roccatagliata ([e])

([a]) Ispettore Onorario Ministero della Cultura per la Tutela dei Beni Archeologici, Accademia Archeologica Italiana, Speleo Club Gianni Ribaldone Genova, *henry.desantis@libero.it*
([b]) speleologo indipendente, *chio88@libero.it*
([c]) Speleo Club Gianni Ribaldone Genova, *marco.corvi@gmail.com*
([d]) Speleo Club Gianni Ribaldone Genova, *alberto.romairone@gmail.com*
([e]) Gruppo Speleologico Ligure A. Issel Busalla, *andre.rocca@yahoo.it*

Parole chiave: acquedotto storico Genova, gallerie deviazione, opere idrauliche.
Keywords: Genoa Historical Aqueduct, deviation galleries, hydraulic works.

Riassunto
Nel presente contributo vengono illustrate alcune nuove esplorazioni condotte in tratti ipogei, costruiti tra il XVII ed il XIX secolo, dell'Acquedotto Storico di Genova, alcuni dei quali risultavano completamente obliterati dalla vegetazione infestante e resi accessibili dalla meritoria opera di disboscamento condotta dai soci di un Circolo Culturale. Tutti i tratti in questione, che procedono in canale coperto o in galleria, sono stati oggetto di ricognizione, rilievo topografico e documentazione video-fotografica.

Introduzione e cenni storici

L'Acquedotto Storico di Genova trova le sue antiche origini in un'opera ritenuta di età romana la cui ipotetica costruzione, inizialmente attribuita al 205 a.C. (Mosele, 1938, p. 41) è stata successivamente posticipata al I sec. d.C. (Melli, 1996, p. 309). Il canale, la cui originaria presa d'acqua era visibile almeno fino agli anni 30 del Novecento (Mosele, *op.cit.*, p. 44), partiva nei pressi dell'attuale località di Giro del Fullo, dove vi era una grande disponibilità di acqua grazie al bacino naturale chiamato *Lacus Draconarius* (Podestà, 1878, p. 11). Il condotto, assecondando l'orografia della valle del Bisagno, raggiungeva il centro storico, presumibilmente, nei pressi del colle di Sant'Andrea presso il cui monastero sono stati ritrovati alcuni resti nel 1904, demoliti dopo sommaria documentazione (Melli, *op.cit.,* p. 308). La sua pendenza è stata calcolata in circa 3 metri per chilometro (Stringa, 1988, p.5). Alcuni tratti di questo antico acquedotto, tutelati da vincolo archeologico, sono ancora oggi visibili all'interno del Cimitero Monumentale di Staglieno (Fig. 1) e, nelle sue immediate adiacenze, presso

Figure 1-4 – resti dell'acquedotto ritenuto romano attualmente visibili

Via delle Ginestre e Via Montaldo (figg. 2-3), dove insistono i resti di due ponti-canale (Melli, *op.cit.,* pp. 307-308, Montinari, 2014, pp. 142-143). Inoltre, è di recentissima riscoperta, ad opera di Henry De Santis e Giulio Montinari (Direzione Regionale Musei della Liguria), un tratto di lacerto murario, lungo circa 5 metro, già citato dalle fonti storiche (Banchero, 1846, p. 554; Podestà, o*p.cit. p. 14;* Mosele, o*p.cit.,* pp.41-42) presso la località "La Rocca" (Genova Molassana), attualmente in attesa di provvedimento di tutela da parte delle Autorità competenti (Fig. 4). Tali resti emergenti presentano due paramenti contrapposti, intonacati con malta idraulica, che corrono paralleli con andamento NE > SO, scomparendo nel declivio che sovrasta la strada carreggiabile. I due paramenti sembrano essere di opera cementizia di ottima qualità, molto tenace, realizzata presumibilmente a cassaforma, con pietrisco di media pezzatura (opera a sacco) e legante di colore chiaro.

Dopo l'abbandono della struttura romana, si ha notizia di un acquedotto costruito nell'XI secolo, che aveva inizio sulle alture della località Staglieno, ad una quota molto più alta del primitivo condotto. Solo nel 1355 sembra essere stato aggiunto un prolungamento fino alla località di Trensasco che rimarrà la presa iniziale dell'acqua fino al XVII secolo (Stringa, *op.cit.*, p. 5; Rosselli, 2009, p. 17). Infine, solo nel 1623 partirono i lavori per prolungarne il tracciato fino alla località di Cavassolo, con termine nel 1636 (Mosele, *op.cit.*, p. 50), e via via sempre maggiormente ampliato fino a raggiungere il suo apice di lunghezza e di funzionamento tra il XVIII ed il XIX secolo con la costruzione dei «ponti sifone» sui torrenti Veilino e Geirato.

A partire dagli inizi del Novecento ne inizierà il declino: nel 1917 l'acqua fu dichiarata non potabile (Rosselli, *op.cit.*, p. 246) e nel 1951 cessò di raggiungere, dopo secoli, il centro della città (Stringa, *op.cit.,* p. 6).

Attualmente il tracciato, diventato parco urbano meta di escursionisti e camminatori, è oggetto di continua valorizzazione e studio.

I tratti oggetto delle ricerche dello Speleo Club Ribaldone

Canale presso la galleria di Coverciaro (sec. XVII)

Si tratta di un breve tratto seicentesco superstite, con copertura a doppia falda (fig. 5) che passa sotto un'abitazione nei pressi del fossato di Coverciaro. Il tracciato, che venne aggirato dall'omonima galleria costruita a metà Ottocento (Rosselli, *op.cit.*, p. 70-71), è lungo 26 metri e termina in frana. La sezione del canale è di cm 60 x 110 circa.

Tratti del canale di Ronco e presso il rio Canevaro (sec. XVII)

Nominiamo così questi tratti poiché situati tra il rio Giancardo ed il ponte canale crollato sul rio Ronco e, più avanti, nei pressi del rio Canevaro. Il tracciato lungo cui sono situati è quello seicentesco, lungo circa 5 km, che costeggiava tutta la valle del torrente Geirato, versante soggetto a costanti ed imponenti movimenti franosi. Fu abbandonato dopo la costruzione del ponte sifone sul Geirato, terminato nel 1777 (Rosselli, 2009, p. 158). La sezione dei

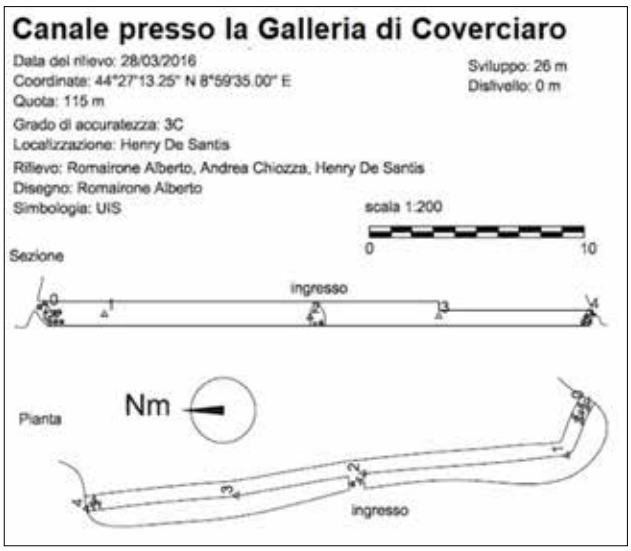


Figura 5 - Rilievo

tratti superstiti va da 60 ad 80 cm, l'altezza attuale, in media di 100/110 cm, varia in funzione del fango e dei detriti all'interno, mentre la copertura è a conci regolari di pietra, a doppia falda. I rilievi, che hanno interessato i tratti di canale ancora accessibili, sono stati suddivisi in diverse planimetrie (Figg. 6-7).

Galleria di deviazione e filtri di Pino Sottano (sec. XVIII-XIX)

Questo tratto è composto da due diverse gallerie costruite per aggirare il tracciato seicentesco martoriato dagli smottamenti (Figg. 8-11). La prima, databile per tecnica costruttiva al XVIII secolo, è in mattoni e malta idraulica.

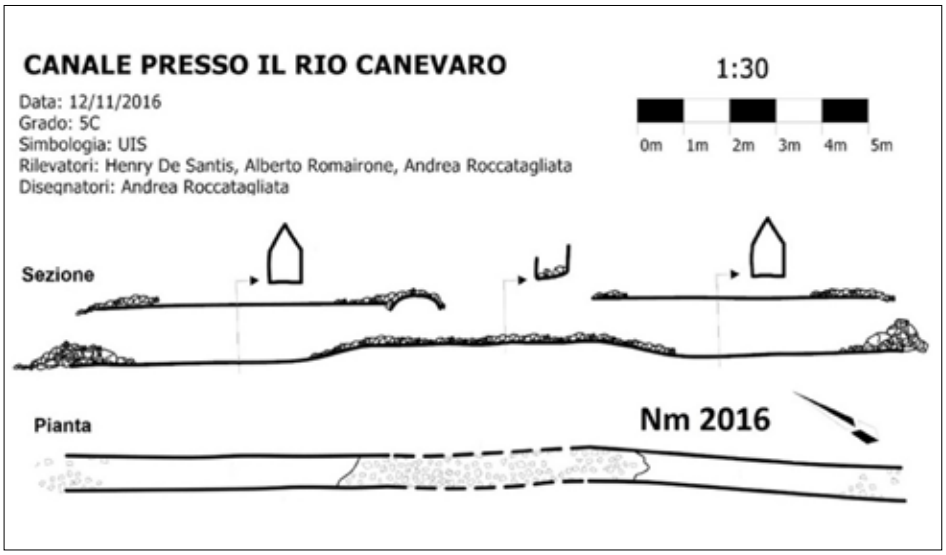


Figura 6 - Rilievo

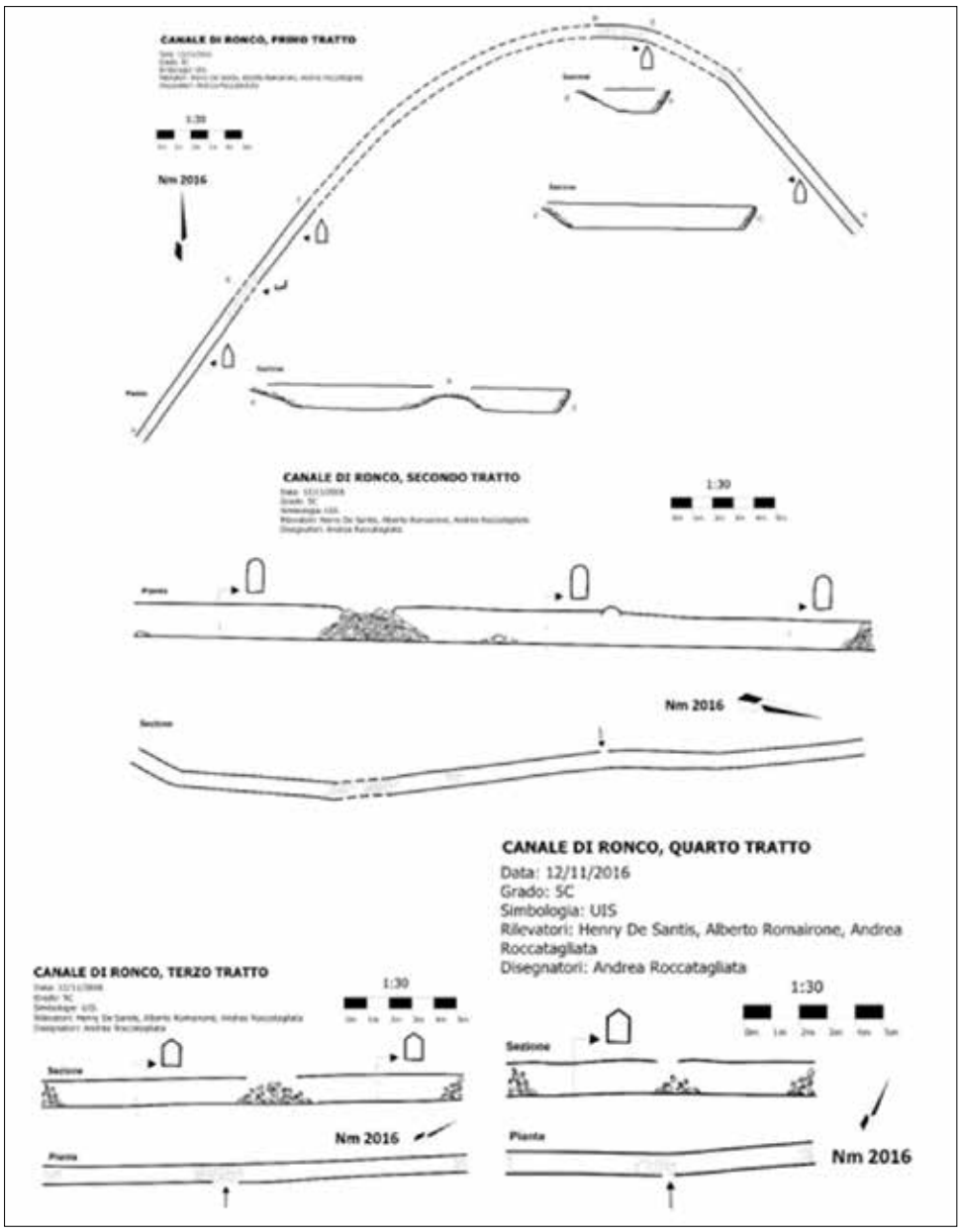


Figura 7 - Rilievo

È stato possibile rilevarne circa un centinaio di metri aggirando le varie interruzioni che la caratterizzano. La seconda è stata edificata, nel XIX secolo, in cemento e mattoni ed era originariamente collegata alla precedente. Il tratto rimasto in elevato, lungo circa 60 metri, costituisce il complesso dei filtri, caratterizzati da tre nicchie di forma a parallelepipedo, alte 2,45 metri e larghe 1,80 metri (Rosselli, 2009, p. 171).

Osservazioni bio-speleologiche

Durante i decenni di abbandono, la frequentazione delle gallerie relative ai filtri di Pino Sottano è stata minima. La vegetazione infestante agli ingressi è stata rimossa solo in tempi recenti, in seguito al progetto di recupero di questi tratti di acquedotto.

Nel corso delle ricognizioni è stata documentata la presenza di una nutrita colonia di *Speleomantes strinatii* particolarmente abbondanti nelle porzioni prossime agli ingressi, mentre i tratti più profondi delle gallerie offrono rifugio ad esemplari di *Rhinolopius ferrumequinum*.

Si segnalano inoltre alcuni esemplari di

Salamandrina perspicillata in prossimità degli ingressi.

Conclusioni

I lavori di rivisitazione e rilievo delle gallerie oggetto del presente contributo hanno permesso di mappare e offrire alla visita alcuni tratti sotterranei che giacevano da decine di anni in stato di abbandono. Va inoltre favorevolmente evidenziato che nonostante la zona presenti una marcata criticità idrogeologica le strutture si siano conservate in condizioni soddisfacenti. Abbastanza enigmatica rimane la funzione dei "Filtri" di Pino Sottano, la cui struttura architettonica appare alquanto sovradimensionata rispetto alla funzione cui erano originariamente destinati.

Riferimenti bibliografici

Banchero G. (1846), *Genova e le due Riviere*, Luigi Pellas Editore, Genova.

Melli P. (1996), "L'acquedotto – Le indagini storiche ed archeologiche", *La Città Ritrovata. Archeologia Urbana a Genova (1984-1994)*, Tormena, Genova, 306-311.

Montinari G. (2014), "L'acquedotto Romano di Genova", *Genova dalle origini all'anno mille*, Sagep, Genova, 140-143.

Mosele G.V. (1938), "Cenni storici sull'acquedotto civico", *Genova-Rivista Municipale*, 16: 41-60.

Podestà F. (1878), *Escursioni archeologiche in val di Bisagno*, Tipografia R. Istituto Sordo-Muti, Genova.

Rosselli L. (2009), *L'acquedotto storico di Genova*, Nuova Editrice Genovese, Genova.

Stringa P. (1988), *L'antica strada dell'acqua*, Sagep, Genova.

Figure 8-11 - Gallerie dei filtri di Pino

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Cavità costiere a Villa Rosebery (Napoli)

Graziano Ferrari ([a]), Raffaella Lamagna ([a]), Elena Rognoni ([a])

([a]) Associazione Cocceivs, *associazione.cocceius@gmail.com*

Parole chiave: Capo Posillipo; Presidenza della Repubblica Italiana; cavità artificiali; grotte marine.
Keywords: Capo Posillipo; Presidency of the Italian Republic; artificial cavities; sea caves.

Riassunto
Si riportano i risultati di un'indagine preliminare effettuata a Villa Rosebery (Capo Posillipo, Napoli), appartenente alla Presidenza della Repubblica Italiana. Sono state identificate e documentate sei cavità artificiali, assieme a notevoli ma poco note strutture di superficie di età romana, ora sommerse a causa del fenomeno bradisismico. Il lavoro suggerisce alcune linee di azione utili per l'approfondimento delle ricerche.

Introduzione

Fra il 2007 ed il 2008 è stato effettuato un primo censimento del fenomeno speleologico costiero del Parco Regionale dei Campi Flegrei. A margine di tale censimento, sono state svolte ricerche preliminari anche nell'area di Capo Posillipo, non compresa nel Parco, ma ad esso adiacente e ricca di importanti emergenze culturali ed ambientali ancora poco valorizzate. Per questi motivi, le ricerche sono state estese agli aspetti biologici, ecologici, archeologici e geologici del sito. Una relazione preliminare su tali ricerche, di carattere principalmente archeologico e geomorfologico, è stata presentata al Terzo Simposio CNR sul Monitoraggio Costiero Mediterraneo (Ferrari et al., 2011). In questo lavoro vengono illustrati i fenomeni speleologici costieri riscontrati all'interno del compendio di Villa Rosebery, che erano rimasti finora inediti.

L'area in esame è situata nel Comune di Napoli (Campania, Italia), in corrispondenza del promontorio di Capo Posillipo, ed in essa si trovano tre proprietà: Villa Barracco (Villa Emma sulle cartografie), Villa Rosebery e Villa Volpicelli. A mare è presente un'importante area archeologica sommersa, in località Pietra Salata, antistante Villa Rosebery. Villa Barracco e Villa Volpicelli sono proprietà private, mentre Villa Rosebery appartiene alla Presidenza della Repubblica Italiana. L'area marina di Pietra Salata è invece di libera fruizione.

Le cavità

Nel tratto di costa preso in esame sono state identificate sei cavità (fig. 1), tutte di origine artificiale e situate a livello del mare o poco al di sopra. Nel seguito, le cavità sono identificate

Figura 1 - Villa Rosebery: le cavità costiere (da Google Earth, modificato).

provvisoriamente dal codice VR (Villa Rosebery) seguito da un numero progressivo da Ovest verso Est.

VR1: la cavità ha due ingressi emersi posti a 1 m s.l.m., aperti nel muraglione di sostegno. A ciascun ingresso corrisponde un vano rettangolare emerso, di circa 11 x 6 m. I due vani comunicano mediante un breve passaggio interno. Alcuni caratteri morfologici differenziano in modo netto i due ambienti: il vano SW ha sezione trapezoidale e pareti in roccia non rivestita; solo la volta è costituita da blocchetti tufacei assai erosi, legati da abbondante malta; il vano NE, invece, ha pareti verticali e volta a pieno centro, ed è rivestito da una muratura tufacea di buona qualità, apparentemente molto più recente di quella del vano SW. I pavimenti dei due ambienti sono in roccia naturale.

VR2: questa grotta è posta a circa 6 m s.l.m. e costituisce il piano interrato della palazzina detta "Piccola Foresteria". È stata completamente regolarizzata, pavimentata ed intonacata ad uso dei servizi dell'edificio. Un tratto della cavità, che si affaccia sulla sottostante darsena, è completamente rivestito da blocchi lavici grezzi, con stile detto 'a grottesca'.

VR3: si tratta di un piccolo locale situato a 1 m s.l.m., con pianta rettangolare di 8 x 2 m e volta a botte alta 2 m. Il vano è intonacato, ma sulla parete di fondo è ancora leggibile il fronte di scavo.

VR4: la cavità è costituita da tre ambienti allineati parallelamente alla linea di costa, a 1 m s.l.m., alla base dell'edificio noto come "Casina a Mare". Günther (1903) riferisce che all'inizio del XX secolo il pavimento di questi locali era posto poco sopra il livello del mare e spesso bagnato dalle onde. Attribuisce perciò un'origine

antica a questi ambienti. Nel 1976 la Casina a Mare è stata oggetto di un intervento di ristrutturazione, che ha interessato anche i locali ipogei. Non sono attualmente visibili particolari che possano confermare l'ipotesi di Günther.

VR5: è una modesta cavità semi-sommersa, inglobata nel muraglione di sostegno. Ha una pianta rettangolare di 6 x 5 m, con il fondale posto alla profondità di 1 m sotto il l.m., ricoperto di sabbia e di detriti rocciosi. Il soffitto è voltato, con un'altezza massima dello spazio aereo pari a 2,7 m.

VR6: la c.d. "Peschiera" è la cavità più interessante e complessa dell'area di Capo Posillipo, posta all'estremo NE della proprietà, in parte sotto al muraglione ed in parte all'interno della roccia. Si tratta di una serie di ambienti che coprono un'area di circa 30 x 24 m, con altezze che variano fra i 5 e gli 8 m. A grandi linee, essa è costituita da un ambiente principale rettangolare, ora parzialmente occupato dal mare, e da due ambienti minori ipogei, pure rettangolari, ora completamente emersi e collegati fra loro da un'ampia galleria emersa. A fianco di questi ambienti si trova una galleria che permetteva di accedere sia alla parte emersa, sia alla parte marina, e che ora è murata verso la parte emersa. È interessante notare che i due ambienti ipogei erano a loro volta occupati dal mare ancora al tempo di Günther (1903), che già identificava il sito come una peschiera impostata su una cava antica di materiale tufaceo.

La parte marittima presenta vari accessi, uno dei quali è dotato di strutture metalliche per la regolazione del flusso idrico, ora in disuso e risalenti all'epoca borbonica.L'accesso principale da terra avviene dal muraglione costiero, mediante una scaletta metallica sostenuta da un arco in muratura che immette in un varco della muratura in prossimità della volta della cavità emersa.

Alla sezione marina si accede mediante un tombino metallico posto sul piano del muraglione costiero, a cui segue una scalinata lunga 7 m che immette su un ballatoio con pavimento in roccia naturale, affacciato sulle opere di regolazione dell'acqua di mare.

Sul lato destro si apre un varco che permette di accedere all'ambiente principale della sezione marina, mentre il corridoio prosegue sempre più intasato di detrito e termina contro un'ostruzione in muratura.

La sezione marina è costituita da un ambiente quasi rettangolare, di circa 16 x 10 m, occupato dall'acqua di mare nella sua metà SE. Qui si eleva anche un grosso pilastro tufaceo trapezoidale, con lati di circa 3 x 3 m. Il fondo è coperto in modo uniforme da detrito fine, fra cui sporadici frammenti di interesse archeologico (ciottoli marmorei e tessere di mosaico).

La porzione destra della parete NE è costituita completamente da roccia naturale, in cui sono evidenti i solchi di erosione selettiva, inclinati verso mare secondo l'andamento degli strati (fig. 2). Alla base di questa porzione, si nota un camminamento lungo circa 6 m e leggermente curvo, posto poco sopra il livello di massima marea, con evidenti soprelevazioni dovute alle variazioni bradisismiche del suolo in epoca storica. Nell'angolo S si trova un varco chiuso da cancello con opere metalliche ottocentesche di regolazione del flusso idrico proveniente dal canale esterno.

La porzione NW dell'ambiente principale è in gran parte a cielo aperto, per il crollo della volta rocciosa. Nell'angolo N, fra il pilastro sporgente e la parete NE, si trova ancora un tratto residuo di volta a botte, mentre l'imposta di

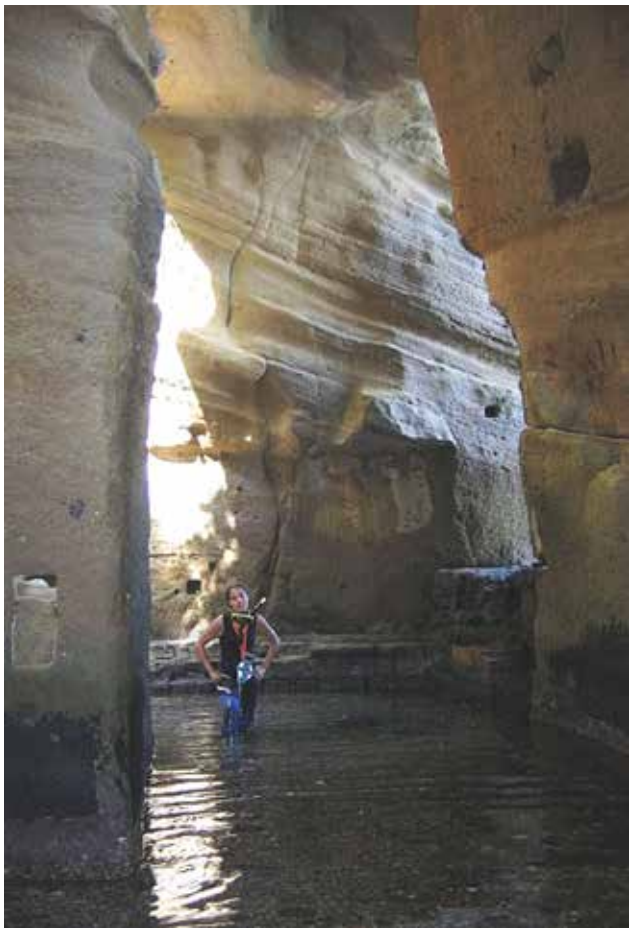


Figura 2 - Peschiera; sono evidenti i solchi di erosione nel tufo.

un'analoga volta è visibile sulla parete SW. La porzione SE dell'ambiente principale è invece coperta dal viale sopra il muraglione costiero, che ha il piano posto a circa 8,15 m s.l.m. Qui, al pilastro trapezoidale centrale si appoggiano due arcate rocciose che sorreggono la muratura del viale. Appare quindi probabile che la cavità fosse costituita da due ambienti paralleli a pianta rettangolare, a cui si affiancavano i due ambienti ipogei più interni. Non vi sono documenti che attestino il momento in cui la volta dell'ambiente 10 sia collassata, e non vi sono in sito tracce dell'evento. È quindi probabile che esso sia antecedente al primo impianto della villa, avvenuto in età borbonica.

L'adduzione d'acqua di mare alla Peschiera avviene tuttora tramite un canale scavato nel tufo, che però non conserva alcuna evidenza che lo assimili ad opere di età romana; va comunque sottolineato che tutta l'area ha subito nel corso degli anni ripetuti dragaggi ed asportazione del banco tufaceo, come ancora bene si legge negli scogli affioranti.

Conclusioni

Nessuna delle cavità documentate a Villa Rosebery era presente nella base-dati dell'Ufficio Sottosuolo del Comune di Napoli. Solo le cavità VR5 e VR6 sono attualmente invase dal mare. Per quanto riguarda la cavità VR4, essa presenta interventi recenti che ne hanno innalzato il livello di base. In entrambi i casi sarebbe opportuno approfondire le indagini nel senso di determinarne con accuratezza il livello di base originale e l'eventuale presenza di indizi che possano farne supporre un impiego come cavità emerse nel passato. Questi dati potrebbero essere messi in relazione con i livelli delle strutture presenti fra la linea di costa e la secca di Pietra Salata, su cui sono presenti ampie tracce di strutture antiche, anche a notevole profondità.

Riferimenti bibliografici

Ferrari G., Lamagna R, Benini A., Donadio C. (2011), "I beni culturali e paesaggistici costieri di Capo Posillipo (Napoli): dati preliminari", *Atti del III Simposio "Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura"*. Livorno, 15-17 Giugno 2010, 323-330.

Günther R.T. (1903), "The submerged Greek and Roman foreshore near Naples", *Archaeologia*, 58: 499-560.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le innovative modalità di catalogazione e censimento delle cavità naturali e artificiali del Comune di Matera

Francesco Foschino ([a]), Raffaele Paolicelli ([a])

([a]) Associazione Antros, via Bradano,45 – Matera, *editore@rivistamathera.it*

Parole chiave: Catasto; cavità carsiche; cavità rupestri
Keywords: Register; artificial cavities; karst caves

Riassunto
Il Comune di Matera dispone di uno strumento altamente innovativo che permette la catalogazione delle grotte e delle cavità artificiali presenti nel proprio territorio. Questo è un modello scalabile o esportabile in altri territori e presenta evidenti vantaggi rispetto agli strumenti di catalogazione attualmente più diffusi.
Si tratta del Catasto dei Beni Culturali, che nasce nella sua prima redazione nel 1997 per testimoniare la presenza e approfondire la conoscenza di beni immobili, pubblici e privati, ricadenti nel territorio comunale e in gran parte nell'area del Sito Unesco "I Sassi e il Parco delle Chiese rupestri di Matera". Difatti per i Beni Culturali ricadenti nei rioni Sassi si poneva la necessità di adottare un regolamento specifico in grado di garantirne rigorosamente la tutela pur consentendo l'affidamento in sub-concessione a privati. Una gran parte degli immobili dei Rioni Sassi sono difatti di proprietà pubblica, e vengono concessi ai privati a seguito della ristrutturazione con fondi propri. Questa procedura è espressamente prevista dalla L. 11/11/1987 n° 771, così si trattava di normare la concessione anche di quei beni che per loro peculiari caratteristiche potevano richiedere particolari vincoli durante i lavori o per limitare alcune destinazioni d'uso ritenute incongrue o che non garantissero una sufficiente fruizione al pubblico. Era, dunque, indispensabile procedere all'individuazione e catalogazione dei Beni da assoggettare a tali norme più restrittive, in base a requisiti di natura storica o artistica.
Una prima schedatura, completata nel 1998 dall'Arch. Domenico Fiore, ha riguardato 521 Beni, di diverse consistenza, natura e caratteristiche, raggruppati sia per tipologie che per areali di ubicazione.
A distanza di oltre venti anni si è reso indispensabile procedere alla revisione e all'ampliamento del Catasto, apportandone notevoli innovazioni. Gli autori del presente contributo ne sono stati i redattori, effettuando sopralluoghi *in situ* all'interno di tutti i Beni attualmente censiti e quindi redigendone le schede. Il lavoro, durato 21 mesi, è stato ultimato nell'autunno del 2021.
La versione del 1998 era composta da schede in pdf con dati catastali e foto-

grafici, e comprendeva generiche note descrittive. I Beni erano suddivisi per macro-tipologie.
La nuova versione del Catasto ha rivoluzionato sia i contenuti che le modalità di fruizione e accesso alle informazioni (fig. 1). Si è creata una architettura informatica basata su sistema *Cloud* e georeferenziata tramite *webGIS*. Il numero dei siti censiti è passato da 521 a 824, e le immagini da 1.200 a 8.000. Importanti novità hanno riguardato sia le informazioni presenti nella singola scheda che l'inedita interazione fra le schede.
Oggi ciascuna scheda dispone di un testo di carattere storico-descrittivo redatto sulla base di bibliografia e fonti archivistiche opportunamente segnalate, di una georeferenziazione puntuale, di informazioni cronologiche, dati sullo stato di conservazione e accessibilità, proprietà, eventuali differenti destinazioni d'uso susseguitesi nel corso del tempo.
Soprattutto, le schede dei singoli Beni non risultano essere isolate e statiche, ma sono collegate in rete ad altre schede con cui i Beni condividono legami di tipo storico, tipologico, strutturale e geografico.
Si badi come nel caso di Matera il Catasto non si limita a catalogare grotte e cavità artificiali, ma censisce tutti i Beni di valore naturale, archeologico, storico, architettonico e artistico. Ciò permette di porre in connessione tutti i Beni fra di loro, incrementando enormemente la loro contestualizzazione nello spazio e nel tempo.
Ciò consente oggi, a titolo esemplificativo, di conoscere i reperti archeologici rinvenuti all'interno di una grotta naturale, la presenza di una rara stazione floristica poco più a valle, con puntuali referenze bibliografiche; di comprendere come una cavità artificiale sia stata una cantina nel XVII secolo ma un frantoio in epoca medievale; di cogliere come una grotta naturale abbia svolto, nel XIX secolo, la funzione di caprile per il ricovero delle capre a servizio della vicina masseria edificata; di esplicitare come il cunicolo dell'acquedotto sia stato scavato contestualmente all'edificazione della monumentale fontana terminale, e che questa è stata progettata dal medesimo architetto di un palazzo nobiliare. A tutti questi rimandi contenutistici fra Beni corrispondono altrettanti link che permettono l'immediata connessione tra le schede. Come è facile dedurre, questa strutturazione consente una comprensione molto maggiore delle grotte e delle cavità artificiali, in quanto queste sono messe in relazione fra di loro, con i loro utilizzi antropici e con Beni di altra natura (sia antropici che naturali) le cui schede sono presenti nel medesimo Catasto. Si evidenzia, inoltre, come è possibile effettuare nel portale una ricerca per filtri, per nome e per geolocalizzazione, individuando così tutti Beni rispondenti alle chiavi di ricerca selezionate.
Il nuovo Catasto dei Beni Culturali diventa, così, uno strumento di utilizzo facile ed intuitivo che può soddisfare le esigenze di un'utenza diversificata e molto ampia, dal semplice visitatore o turista, che potrà tracciare un itinerario personale per visitare i Beni che ritiene più interessanti, allo studioso orientato a conoscere la consistenza e la dislocazione sul territorio di una specifica categoria di Beni (grotte naturali, chiese rupestri, ma anche masserie storiche, monasteri, fortificazioni, etc.), al progettista che ha necessità di conoscere tutto quanto sia disponibile circa un Bene immobile su cui intervenire, all'operatore culturale che necessita delle informazioni di primo livello per approfondire la ricerca su uno specifico Bene, allo speleologo per conoscere l'accessibilità, la consistenza, l'utilizzo antropico di grotte naturali o cavità ar-

tificiali. Questo strumento potrà, inoltre, essere utilizzato anche dagli operatori delle sedi territoriali del MiC per ricavare i dati basilari utili alla verifica dell'interesse culturale.
Con particolare riferimento alle cavità artificiali, i principali vantaggi di questo Catasto rispetto ai diffusi Catasti delle cavità artificiali, sono diversi, e qui si presentano i quattro miglioramenti principali.
Innanzitutto, la possibilità di indagare l'utilizzo diacronico del bene. Difatti, pur se viene privilegiata una sola tipologia prevalente per catalogare il bene (ad esempio cantina o rifugio), è possibile selezionare le altre tipologie a cui quella cavità è stata destinata nel corso del tempo, con la possibilità di collegare ciascuna destinazione a un diverso periodo storico. Ciò consente, al momento della ricerca, di verificare quali cavità avessero quel particolare utilizzo in quel determinato periodo storico, anche nel caso in cui al momento della compilazione della scheda, è stata selezionata una differente tipologia prevalente. Inoltre, si è tenuto conto di come spesso un singolo bene è parte di un insieme più vasto, al quale è intimamente collegato. Si prenda ad esempio un frantoio ipogeo che è parte di una masseria, insieme alla colombaia, al granaio, all'edificio residenziale, alla cisterna, alla stalla. Risulta chiaro come in questo caso il frantoio ipogeo sia un bene accessorio a servizio del bene prevalente, che è la masseria, e non un bene autonomo. O ancora, la cantina di un palazzo nobiliare, così come le casematte di un castello. In questi esempi ad essere schedato è in primis il bene principale, ossia la masseria, il palazzo e il castello. Quindi, all'interno delle schede di tali beni, sono incluse le schede dei diversi accessori: diventa così estremamente intuitivo cogliere la relazione dei beni fra di loro e con la struttura della quale fanno parte. Pertanto al momento della ricerca, interrogando il sistema su quali frantoi siano presenti nel territorio, il risultato mostrerà sia i frantoi indipendenti, sia i frantoi che sono accessori di masseria, evidenziando questa distinzione e permettendo una maggior comprensione della natura dei beni.
La natura del Catasto dei beni culturali del Comune di Matera, che non censisce solo le cavità artificiali, ma tutti i beni di interesse storico, consente inoltre un duplice vantaggio. Da un lato è possibile indagare quali relazioni le cavità artificiali abbiano con i beni presenti nelle vicinanze ma di altra tecnica costruttiva, non solo quando ne sono accessori, come nell'esempio precedente, ma anche quando hanno tratto vantaggio dalla medesima ubicazione, o quando si sono reciprocamente influenzati (un apiario scavato e un ovile costruito traggono vantaggio dalla medesima esposizione; un palazzo ha dovuto tener conto di una preesistente cavità nel momento della sua fondazione etc.). Infine, i beni sono prima catalogati per la loro tipologia (chiesa, rifugio, castello, ovile etc.) e solo in seguito viene specificata la tecnica costruttiva (edificato, rupestre, semi-rupestre). In tal modo, è possibile verificare non solo quanti beni di quella tipologia sono presenti, ma anche quanti sono scavati e quanti edificati. Ciò vale per tutte le tipologie, di beni, dalle chiese (si evince quante sono rupestri rispetto al totale dei luoghi di culto), agli apiari (che erano realizzati con entrambe le tecniche), dai frantoi alle concerie. In tal modo, come è evidente, lo studio delle cavità artificiali di un territorio risulta enormemente facilitato e approfondito, perché grazie alla ricerca computerizzata, in poco tempo è possibile ottenere molteplici informazioni che gli attuali sistemi di catalogazione non permettono. Nel tempo di un click, si può sapere come quella cavità

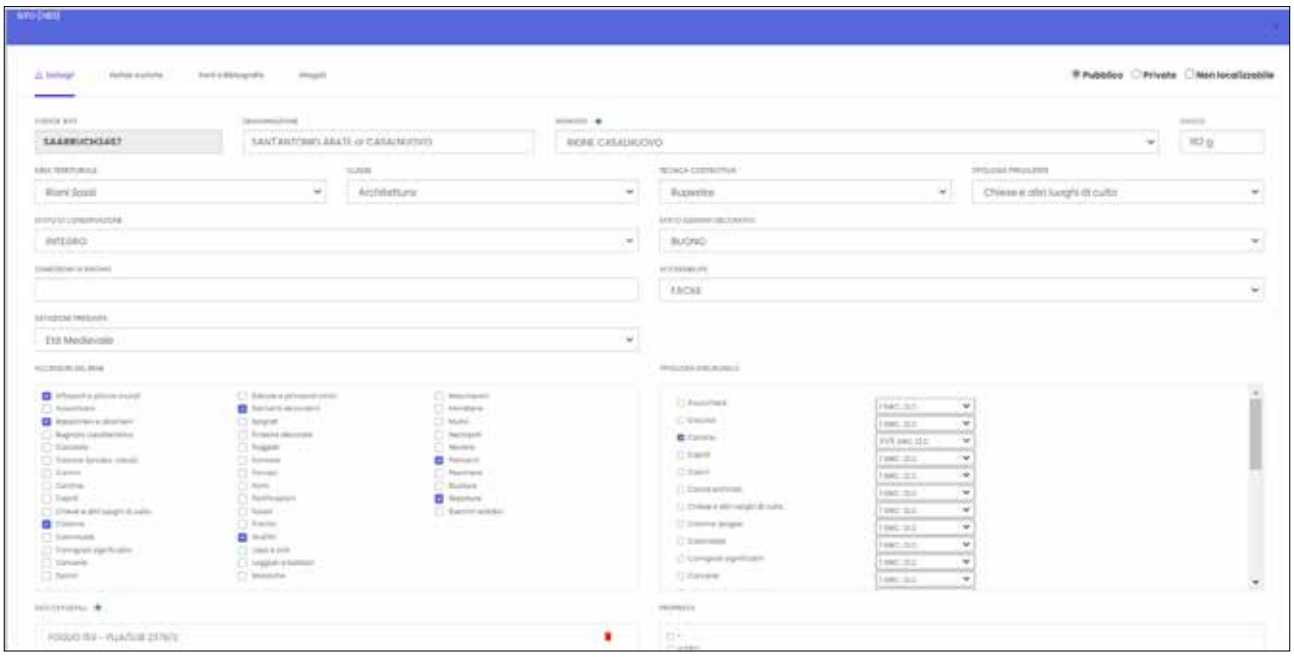


Figura 1 - Cattura di una scheda del Catasto dei Beni Culturali.

artificiale sia nata come cantina in epoca medievale, ma poi sia stata un apiario settecentesco, ed era un bene accessorio di una masseria, che sorgeva nei pressi di una chiesa edificata ove si svolgeva un mercato per la vendita della cera ivi prodotta, che era conservata in un'altra cavità della medesima masseria.
Un limite del Catasto dei beni culturali del Comune di Matera, è che al momento non dialoghi con il Catasto delle cavità artificiali, ma è facilmente superabile in quanto è possibile trasferire qui le informazioni già censite nel nostro catasto, pur con l'avvertenza che in quest'ultimo è possibile trarre informazioni più complete e approfondite di quella medesima cavità.

Da ultimo, occorre evidenziare come tutte le attività sinora descritte siano state possibili grazie ai finanziamenti previsti dalla L. 20 febbraio 2006 n° 77 "Misure speciali di tutela e fruizione dei siti italiani di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella lista del patrimonio mondiale, posti sotto la tutela dell'UNESCO".

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il complesso estrattivo in sotterraneo di C/da Madonna dell'Alto nel territorio di Marsala (TP)

Roberto Grammatico ([a]), Rosario Bonventre ([a]), Luigi Fontana ([a]), Roberto Mazzeo ([a]), Dario Caparotta ([a]), Giuseppe Monteleone ([a]), Daniele Clemente ([a])

([a]) Speleo Team Trapani, *speleoteamtrapani@gmail.com*

Parole chiave: sprofondamento, miniera, arenaria
Keywords: sinkhole, mine, sandstone

Riassunto
Il territorio di Marsala (TP) è stato oggetto, sin dai tempi più remoti, di sfruttamento estrattivo per la produzione di conci di tufo calcareo per uso edilizio, utilizzati per l'edificazione dell'antica Lillibeo (oggi Marsala) nel 397 a.c. (Giglio, 2014), raggiungendo l'apice dello sfruttamento estrattivo dal dopoguerra agli anni 50/60 andando poi a scemare negli ultimi decenni del secolo scorso con l'introduzione in edilizia di prodotti aventi caratteristiche più adeguate alle moderne necessità tecnico-costruttive. Il presente studio pone l'attenzione ad un'area ad est dell'abitato di Marsala dove abbiamo censito 48 cavità verticali legate ad attività estrattive in sottosuolo oltre a diversi *sinkhole* indotti, topografando e successivamente georeferenziando le cavità in modo da avere una mappatura puntuale del sottosuolo e quindi determinando le aree a rischio crollo.

Ubicazione geografica e cenni geologici

L'area oggetto di questo studio ricade all'interno del territorio di Marsala in Provincia di Trapani (Sicilia nord-occidentale) in località Madonna dell'Alto (UTM 33S 278654.14 E 4186880.41 N) ed è litologicamente caratterizzata da affioramenti di rocce calcarenitiche descritti in letteratura come "Calcarenite di Marsala", datati al Pleistocene inferiore (Ruggieri et al., 1975), sovrapposti in discordanza ad argille sabbiose e marne argillose della Formazione Terravecchia; questo rapporto stratigrafico tra le calcareniti permeabili e le sottostanti argille impermeabili fa si che all'interno del complesso calcarenitico stazioni una falda idrica intercettata da pozzi scavati all'interno delle cave sotterranee dove è stato possibile effettuare una misura diretta dell'acquifero posto alla quota di 43,5 m s.l.m..

Le cave ed i metodi di coltivazione

L'estrazione dei conci di tufo calcareo nelle antiche cave marsalesi chiamate "mafie" dagli arabi nei tempi più remoti e "pirrere" in dialetto siciliano, avveniva con la manodopera dei cavatori (pirriatura) che estraevano i conci di tufo calcareo a diversa misura utilizzando una picozza da taglio (mannara) per realizzare le trincee e successivamente una grossa zappa (zappuni) per staccarlo alla base; un "pirriature" mediamente

Figura 1 - a) macchina taglia-tufo; b) operai con "zappuni"; c) tufi pronti per trasporto; d) operai delle cave-miniera.

cavava 40 "cantuna" al giorno (Barraco, 2005) (fig. 1). I "cantuna" impilati in gruppi di 12 venivano sollevati in superficie con l'impiego di argani manuali detti "manganeddro" (Barraco, 2005). Questo metodo di estrazione del tufo calcareo perdurò fino al 1954 quando i fratelli marsalesi Francesco Paolo e Santoro Terranova inventarono e brevettarono la prima "macchina tagli-tufo" che diede un'enorme spinta all'attività estrattiva favorendo lo sviluppo edilizio in tutta la Provincia.

Cava- miniera Terranova

La cava-miniera Terranova presenta uno sviluppo particolarmente labirintico pari a 6.441 m su 9 livelli con 10 ingressi posti lungo una paleofalesia legata ad una regressione marina pleistocenica ad una quota di 66 m s.l.m., un dislivello positivo di 25,3 m ed un dislivello negativo di 28,9 m ed un volume di materiale estratto pari a 121.015 m^3 (fig. 2). Le porzioni di cava più prossime agli ingressi presentano tracce che testimoniano una modalità estrattiva legata agli arnesi manuali mentre le porzioni più interne presentano tracce legate all'utilizzo di macchine da taglio. La modalità di coltivazione avveniva dall'alto verso il basso ed i collegamenti tra i diversi livelli avveniva con piccole scannellature incise sulle pareti a misura di mano e punta di piede dove i cavatori si inerpicavano anche per svariati metri mentre in un solo caso abbiamo trovato una stretta e ripida scalinata intagliata nella roccia. Il ritrovamento di diversi residuati bellici e diverse incisioni lungo i tunnel testimoniano l'impiego della cavità durante la seconda guerra mondiale mentre un'incisione posta all'ingresso n° 10 fa risalire l'inizio dei lavori di coltivazione in sotterraneo al 1821.

Cava-miniera Madonna dell'Alto

La cava-miniera Madonna dell'Alto si sviluppa essenzialmente su un unico pozzo profondo 9,3 m ma la sua peculiarità è legata al fatto che lo scavo ha casualmente intercettato una cavità carsica di tipo "lenticolare" con svilup-

Figura 2 - a) pozzo di estrazione; b) ambiente ipogeo; c) georeferenziazione del rilievo topografico della cava-miniera Terranova.

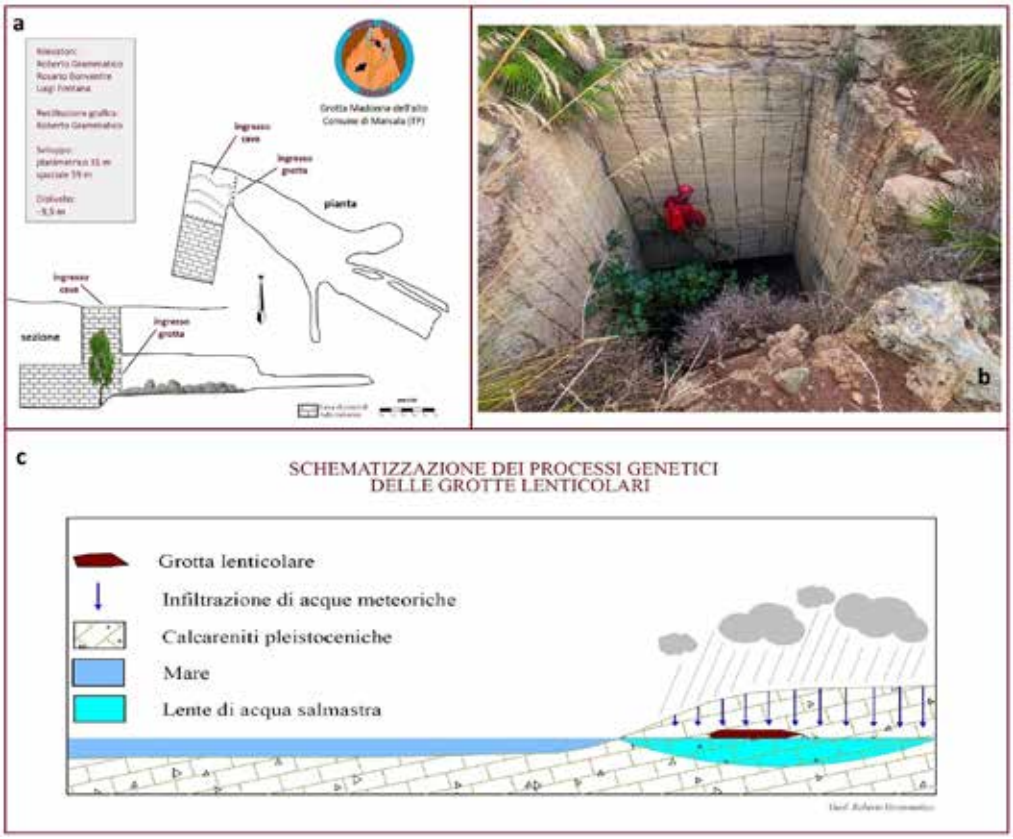


Figura 3 - a) rilievo topografico cava-miniera Madonna dell'Alto; b) pozzo di ingresso; c) schema del processo genetico della cavità lenticolare.

po pari a 35 m (fig. 3) la cui genesi è legata ad una fase di stazionamento, nel Pleistocene superiore, del livello del mare ad una quota di 54 m rispetto allo 0 attuale; le acque di intrusione marina fungevano da livello di base avendo maggiore densità delle acque meteoriche che si infiltravano attraverso i piani di discontinuità della roccia, scorrendo al di sopra del livello di base ed attivando un processo di disgregazione delle calcareniti dando luogo a delle cavità (Liguori et al., 2006) spesso collegabili ad attuali fenomeni di *sinkhole* naturali.

Sinkhole indotti

La coltivazione in sotterraneo di queste cave-miniera ha certamente ridotto l'impatto paesaggistico limitando in superficie le aree interessate dalle attività estrattive ma, considerando il periodo storico di maggiore sfruttamento del giacimento, la programmazione dei lavori era affidata all'esperienza pratica del capo-operaio in mancanza di una progettazione tecnica nell'esecuzione degli scavi in sotterraneo, il tutto in un affioramento geologico dove le caratteristiche geotecniche delle rocce necessitavano di un'attenta valutazione nel dimensionamento dei vuoti sotterranei in relazione al numero, dimensionamento e ubicazione dei pilastri naturali di sostegno delle volte al fine di garantire la stabiltà della miniera. Queste carenze progettuali nella coltivazione in sotterraneo portano oggi al crollo diffuso delle volte di molte cavità sotterranee che spesso interessano strutture edilizie nel territorio (Vattano, 2014) e quindi alla necessità di indagini e mappature del sottosuolo propedeutiche ai progetti edilizi (fig. 4). In questo studio abbiamo censito e mappato per l'area di C/da Madonna dell'Alto tutti i pozzi verticali di estrazione ed i *sinkhole* indotti dalle attività in sotterraneo evidenziando l'estrema fragilità di questo territorio e la necessità della messa in sicurezza degli stessi contro cadute accidentali oltre al gravissimo sta-

Figura 4 - a) stralcio topografico con ubicazione dei pozzi di cava; b) stralcio topografico con ubicazione dei sinkhole indotti.

to ambientale considerando che n° 1 *sinkhole* e n° 44 pozzi su n° 48 censiti risultano colmati da rifiuti di vario genere escludendo tutti quei pozzi censiti in sotterraneo durante il rilievo della cavità Terranova e non più riconoscibili in superficie se non con una georeferenziazione dei punti mappati.

Riferimenti bibliografici

Giglio R. (2014), "Attività di cava nella Sicilia occidentale: cave di cusa e le testimonianze dai nuovi scavi di Lilibeo", *Archivo Español de Arqueología*, Instituto Arqueología *Mérida*, *pp. 271-281*

Liguori V., Manno G., Mortellaro D. (2004), "Rischio nelle aree carsiche in Sicilia, Case History nella Piana di Cinisi (Palermo)", *Workshop sulla conservazione e Difesa del Suolo*, pp. 491-508.

Liguori V., Manno G., Placenti V. (2006), "Sinkholes risk analysis: case history of Marsala (Sicily, Italy)", *International Conference on Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation*, Malta: 107-118.

Barraco L. (2005), "Cave di Tufo", in *Funnurigghie, reminescenze di cultura trapanese*, edizioni Michele Abate, Paceco (TP), pp. 97-109

Ruggieri G., Unti A., Unti M., Moroni M.A. (1975), "La calcarenite di Marsala (Pleistocene inferiore) e i terreni contermini", Bollettino della Società geologica Italiana, 94: 1623-1657.

Vattano M., Bonamini M., Parise M., Di Maggio C., Madonia G. (2014), "Le cave sotterranee di Marsala (Sicilia occidentale) e i fenomeni di sprofondamento connessi", in *Atti VIII convegno nazionale di speleologia in cavità artificiali*, 7-9 Sett. 2012: 97-103, Ragusa (IT).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Gli antichi sistemi di raccolta e smaltimento delle acque piovane del Castello di Sperlinga (EN)

Paolo Madonia

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania – Osservatorio Etneo, *paolo.madonia@ingv.it*

Parole chiave: Cisterne ipogee; Quarzareniti; Regimazione acque piovane; Sicilia
Keywords: Castle; Rainwater harvesting systems; Sicily; Underground cisterns

Riassunto
Il Castello di Sperlinga (EN) è uno dei principali esempi di integrazione tra architettura rupestre e dell'edificato in Sicilia. Di origine pre-greca nella parte ipogea, ha origini normanne nella parte edificata, ed è dotato di un complesso sistema di raccolta e regimazione delle acque piovane, che lo ha reso autonomo nei confronti dell'approvvigionamento idrico, consentendo ad una guarnigione angioina asserragliatasi al suo interno di resistere per oltre un anno ad un assedio all'epoca della rivolta del Vespro Siciliano del 1282. Costruito su un dosso arenaceo di forma stretta ed allungata, si articola su più livelli, dotati di superfici di raccolta ed opere di canalizzazione delle acque piovane, poi distribuite in un sistema misto di accumulo composto da cisterne ipogee e vasche di accumulo esterne. Sono presenti, oltre a quelli destinati al sistema idrico, una serie di ambienti ipogei con varie destinazioni d'uso, dotati di sistemi di drenaggio e smaltimento di acque bianche e di reflui.

Inquadramento storico

Il Castello di Sperlinga (EN), in Sicilia, è un mirabile esempio di integrazione tra architettura rupestre ed edificato. L'area in cui sorge è nota per recare tracce di numerosi insediamenti riconducibili all'età pre-greca, ma i primi documenti storici che citano esplicitamente il Castello di Sperlinga risalgono al XII secolo (1132 A.D.), facendone ipotizzare l'esistenza già all'inizio della dominazione normanna (Farinella, 2007). Notizie più certe datano all'epoca della dominazione in Sicilia di Federico II di Svevia, che risolto il conflitto con i musulmani si dedicò alla riorganizzazione del regno, edificando un sistema di castelli destinato a rappresentarne la presenza. Tra questi, come citato in una serie di lettere da Lodi nel 1239, figura quello di Sperlinga, inserito tra i "*castra exempta citra salsum*", ossia i castelli gestiti direttamente dall'imperatore, e quindi esentati dai contributi locali, ubicati ad est del Fiume Salso (Imera Meridionale),

limite fisico che divideva in due parti la Sicilia federiciana (Maurici, 2020).
Il castello balzò agli onori della cronaca storica durante l'insurrezione del Vespro Siciliano del 1282, che portò alla cacciata degli Angioini dalla Sicilia, quando al suo interno trovarono rifugio i Francesi, che resistettero all'assedio per oltre un anno; tale episodio portò alla formulazione del detto "*quod siculis placuit sola Sperlinga negavit*", iscritto in epoca successiva nella zona di ingresso del maniero. Semidistrutto al termine dell'assedio, venne acquisito dai Ventimiglia e portato a nuovi fasti architettonici. Venne successivamente ceduto nel 1597 al Barone Giovanni Forti Natoli, e dal discendente di questo nel 1658 alla famiglia Oneto, passando successivamente ai Nicosia-Li Destri. Iniziò così un lungo periodo di progressivo decadimento, sino al 1973 quando venne ceduto al Comune di Sperlinga, che ne iniziò il restauro ad oggi ancora in corso (Farinella, 2007).

Inquadramento geoambientale e sistemi di regimazione delle acque

Il castello delimita a nord-est il centro abitato di Sperlinga, in provincia di Enna, dove si trova inoltre un piccolo borgo rupestre abitato oltre la metà del XX secolo (fig.1).
Si imposta su un dosso di arenaria massiva (Formazione del Flysch Numidico, Oligocene Sup., Miocene Inf.), a predominante sviluppo verticale favorito dalla presenza di faglie e di una giacitura a forte pendenza degli strati, caratterizzato da una forma stretta ed allungata in direzione NW-SE. Si articola su 3 diversi livelli, tra i 755 ed i 710 m di quota s.l.m. circa, tutti dotati di sistemi di canalizzazione e raccolta delle acque piovane, sia a cielo aperto che ipogei (Fig. 2 e 3). Sul piano inclinato del livello superiore (755-740 m s.l.m.) si aprono gli ingressi di 3 cisterne ipogee, mentre una quarta ubicata all'interno della torretta riceve alimentazione dalle superfici inclinate del piano di calpestio. La scala di raccordo al livello sottostante (730-720 m s.l.m.) funge da canale che alimenta una vasca di raccolta aperta posta sotto di essa, mentre una canaletta laterale convoglia le precipitazioni in una cisterna ipogea ubicata immediatamente ad est della vasca. Una seconda cisterna ipogea, adiacente alla precedente,

Figura 1 – Inquadramento regionale ed ortofoto del centro abitato di Sperlinga (EN), con ubicazione degli insediamenti rupestri.

Figura 2 – Il sistema idrico (immagine satellitare di sfondo da Google Earth).

riceve alimentazione da altri sistemi di gronda che si articolano lungo le pareti del dosso arenaceo. Di fronte la vasca si apre l'ingresso di una terza cisterna ipogea, che per volumetria è la principale del sistema di raccolta. Il terzo ed ultimo livello è costituito esclusivamente da ambienti ipogei concatenati, con volte a cupola fenestrata ed ulteriori aperture sulla parete verticale che delimita il dosso. Il piano di calpestio di questi ambienti convoglia le acque in un canale di gronda principale scavato sulla parete esterna, la cui imboccatura si trova ad una quota di circa 710 m s.l.m. Per natura litologica ed assetto geomorfologico questo sistema di regimazione e raccolta delle acque piovane presenta caratteristiche costruttive simili a quelli della regione di Petra, in Giordania (Baudo et al., 2001), in quanto le esigue superfici orizzontali hanno obbligato alla realizzazione ed interconnessione di più livelli pensili per garantire una sufficiente volumetria delle riserve idriche (Madonia et al., 2020).

Ringraziamenti

Si ringrazia il Dirigente dell'Area Tecnica del Comune di Sperlinga, Geom. Calogero Lentini, per l'assistenza e la documentazione fornita ai fini del rilievo.

Riferimenti bibliografici

Baudo F., Calderaro F., Madonia G., Madonia P., Nicastro G., Pollicino A., Woodrow A., Comer D.C. (2001), "Gli insediamenti rupestri di Beidha, Giordania", *Opera Ipogea*, 3: 3-38.

Farinella F. (2007), *I Ventimiglia. Castelli e dimore di Sicilia*, Edizioni Editori del Sole, Caltanissetta.

Madonia P., Cangemi M., Oliveri Y. (2020), "Attualità dei sistemi idrici ipogei di raccolta delle acque piovane", *Opera Ipogea*, 1/2: 29-34.

Maurici F. (2020), *Castelli medievali in Sicilia. Da Carlo D'Angiò al trecento,* Edizioni Kalos, Palermo.

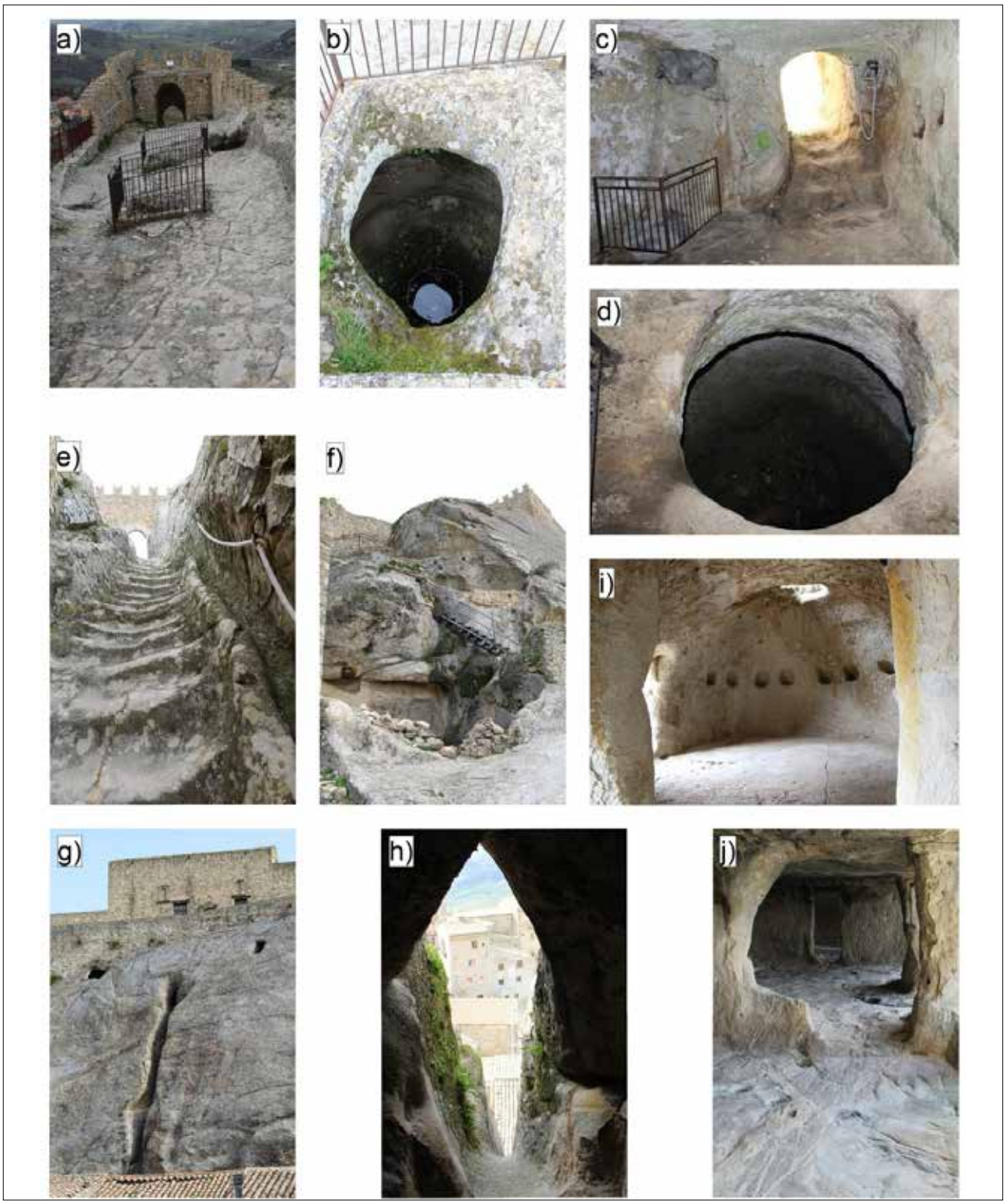


Figura 3 – Livello superiore del castello (a) con cisterne ipogee aperte sul piano di calpestio inclinato (b) o all'interno della torretta (c-d). La scala di raccordo al livello inferiore (e) convoglia le acque in una cisterna aperta realizzata chiudendo con una paratia in muratura, oggi crollata, un riparo sotto roccia (f), alimentando inoltre, attraverso una canaletta laterale (a destra nella foto e), una cisterna ipogea immediatamente a destra di quella aperta. Al di sotto del livello inferiore, in parte edificato ed in parte scavato nella roccia (g), si apre un ulteriore livello ipogeo dal quale si diparte il principale canale di gronda scavato lungo la parete rocciosa (g-h), che drena le acque dal pavimento di ambienti con varie destinazioni d'uso (i). La porzione edificata del livello inferiore (g) prosegue ad est in ambienti ipogei concatenati, gli ultimi dei quali adibiti a prigione in età borbonica (j), i cui pavimenti presentano piccole vaschette circolari, dotate di canaletta di scarico sulla parte rocciosa, probabilmente con funzione di latrine.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Padova: mura, porte e bastioni. La conoscenza dei loro spazi epigei ed ipogei in due libri a distanza di quattro secoli

Adriano Menin ([a]), Alberto Ciampalini ([b])

([a]) Gruppo Speleologico Padovano CAI; Esplorazioni Speleologiche Cavità Artificiali-PD Sotterranea, *meninadriano52@gmail.com*
([b]) Gruppo Speleologico Padovano CAI, *speleoalbe@hotmail.com*

Parole chiave: Padova; mura; ipogei; architettura militare.
Keywords: Padova; walls; artificial cavity; military architecture.

Riassunto
Padova possiede il più esteso perimetro fortificato rinascimentale esistente in Europa, con la sua linea "magistrale" di 11 km, 8 porte (due demolite, una murata) e 20 componenti avanzati (bastioni, baluardi, puntoni, mezzelune, ecc.) disomogenei tra loro per dimensioni e forma. Mura e propugnacoli contengono strutture para-ipogee (casematte, gallerie di collegamento e di "soccorso", piazzeforti gregarie in cortina, postazioni in saliente, gallerie di sortita e contromina, ecc.) che le rendono un insieme variegato di elementi difensivi molto ben congegnati e distinti: un caleidoscopio di soluzioni costruttive, che racconta una storia realizzata in oltre mezzo secolo con il concorso di molteplici idee, progettuali sperimentali e indipendenti, di *inzenieri*, *mastri* e comandanti militari della Serenissima. Nel vasto panorama degli scritti storici e celebrativi di Padova degli ultimi 5 secoli, le mura patavine trovano significativo spazio descrittivo in una sola opera a stampa d'epoca di carattere illustrativo e divulgativo, che ne parla compiutamente inquadrandole in varie epoche. Essa risale a tempi non lontani dal loro completamento cinquecentesco: si tratta del racconto "*historico*" e celebrativo (in nove libri, riuniti) del frate Angelo Portenari. A quel testo, mai superato, si è voluto dare parziale seguito, a distanza di quattro secoli e ad integrazione di una trattazione "antica" delle mura, autentica e dettagliata ma priva degli aspetti ipogei che oggi conosciamo, con la pubblicazione del volume Padova Sotterranea: un contributo che riprende e integra lo studio accurato della cinta cinquecentesca nelle forme, dimensioni, storia e, soprattutto, nei suoi dettagli "occulti".

Gli scritti e lo studio delle mura

Per buona parte del Cinquecento la fortezza "Padova" fu cantiere, modello e caposaldo per la sicurezza della Repubblica Veneta, segnando la *forma urbis* fino ai nostri giorni. Fu rappresentata dai principali cartografi europei (Ghironi, 1985/88), ricordata nei secoli in diverse "descrizioni" edite (Alberti, 1550) ed inedite (Cittadella, 1605),

ma pubblicata nel 1993; in "itinerari" di viaggio del secolo XVII (Scoto, 1669) e guide ottocentesche; saggi e innumerevoli monografie, pubblicazioni storiografiche (Gloria, 1863; Rusconi, 1921) e trattati e pubblicazioni recenti (Fadini, 2013). Marino Sanudo, cronista della Serenissima, riporta molte notizie circa le mura dal 1509 al 1531 (Fulin et al. 1882-1900). Vengono quasi sempre citate nelle Relazioni dei Rettori veneti di terraferma (Podestà e Capitano) presentate al Senato al termine del loro mandato (Tagliaferri, 1975). Compare inoltre in dipinti e affreschi cittadini. A tutt'oggi, il testo più eloquente in materia rimane quello del frate agostiniano Angelo Portenari (Portenari, 1623).

Le cinte murarie veneziane di Padova e Treviso, città "antemurali" di Venezia, rappresentano due esempi molto importanti nel panorama italiano ed europeo per lo stato di conservazione e per la conseguente possibilità di studio approfondito in materia di architettura militare e di evoluzione della stessa nel XVI sec.

La cintura difensiva di Padova in particolare, più di quella cronologicamente e tipologicamente "gemella", ma più piccola, di Treviso costituisce un insieme (meglio sarebbe dire: un "sistema") creato indubbiamente da molti artefici progettuali e materiali, dei quali si conosce il nome, con certezza documentale, solo in piccola parte insieme con i loro sicuri "cantieri" (Angelo Buovo, Michele Sanmicheli e suo nipote Gian Girolamo, Giovanni Maria Falconetto, Michele da Crema, Paolo e Silvestro da Castello). Di altri si ha notizia o certezza di apporto oggettivo e/o fondamentale (Bartolomeo D'Alviano, frà Giovanni Giocondo, Sebastiano Mariani da Lugano, Francesco Maria della Rovere, Francesco Fiorenzuoli e altri) solo dalle testimonianze, coeve o successive, di cronisti e storiografi vari. L'insieme degli interventi edili risulta distribuito nell'arco di oltre mezzo secolo (1510/13- 1563/64) dalla posa "ufficiale" della prima pietra e, complessivamente, compongono qualcosa assimilabile ad un lungo "laboratorio" di sperimentazione costruttiva, militare ed ingegneristica, lungo 11 km e di applicazione continua di nuove soluzioni, ripensamenti, correzioni e migliorie tecniche. Interventi decifrabili dall'analisi attenta delle "fabbriche" giunte sino a noi e in attesa, ancor oggi, di verifiche e studi approfonditi e multidisciplinari su molti aspetti (strutturali, fondali, balistici, aerodinamici interni, ecc.). Rimangono peraltro completamente da riportare in luce ampi tratti dell'anello fortificato, spesso completamente obliterati nei secoli dagli apporti alluvionali (limo e fango), frequentissimi e verosimilmente causa della loro rapida perdita di funzionalità nella seconda metà del XVI secolo; e dall'avanzare disordinato della città che ne ha inglobato (e talvolta distrutto) importanti porzioni (vedi oltre: «Progetto Padova Sotterranea»).

La descrizione seicentesca

La poderosa opera descrittiva su Padova edita dal Portenari nel 1623 (pochi anni prima della terribile pestilenza che ne avrebbe decimato gli abitanti-1630/31) contiene una tra le più vivide e dettagliate descrizioni "tematiche" della città mai pubblicate, suddivisa in nove libri e 549 pagine. Essa abbraccia, una lunga serie di argomenti volti a dimostrare "*con nuovo ordine historico*" che nella sua città esistevano sin dall'antichità "le condizioni alla felicità civili pertinenti", con ampio richiamo alle virtù, pregi e onori dei suoi illustri cittadini e della sua storia; della magnificenza della "forma" e delle sue parti, quella "animata" (la "forma del governo e li cittadini") e quella "inanimata" ("la figura esteriore

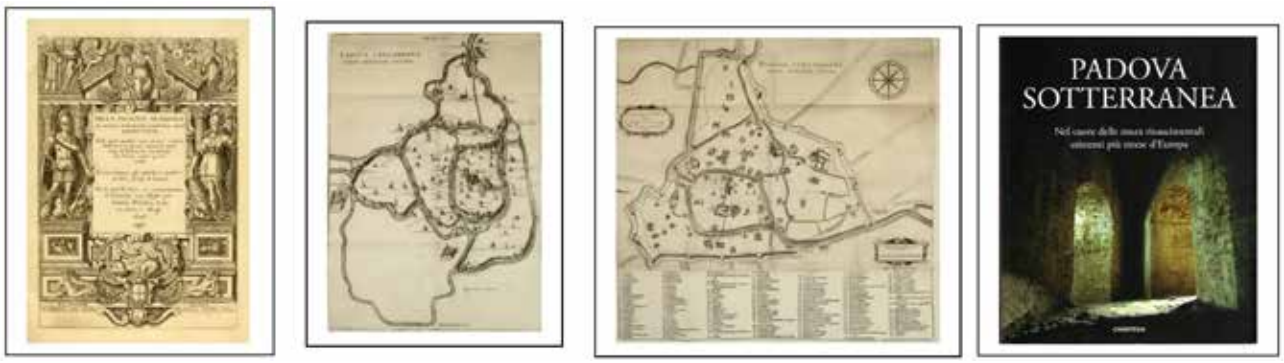


Figura 1 - Partendo da sinistra: Frontespizio del libro, fittamente decorato con figure storico-allegoriche e religiose. Vincenzo Dotto (1623), veduta "anacronistica" (ante 1509) di "Padova circondata da muraglie vecchie". Vincenzo Dotto (1623), veduta "realistica" (post 1509-1513) di "Padova circondata da muraglie nuove". Evento cruciale nella trasformazione definitiva della cinta fortificata patavina fu il sanguinoso e fallito assedio alla città da parte delle truppe collegate di Cambray guidate dall'imperatore Massimiliano I° d'Asburgo nel settembre del 1509 a pochi mesi dalla catastrofica "rotta" veneziana di Agnadello; un fatto clamoroso e traumatico che rese improcrastinabile la rettifica e l'adeguamento moderno delle mura cittadine alle nuove, devastanti tecniche offensive basate sull'artiglieria e sulle bocche da fuoco in genere, leggere o pesanti. Frontespizio del volume «Padova Sotterranea. Nel cuore delle mura rinascimentali esistenti più estese d'Europa»

e gli edifici suoi": le muraglie, le sue costruzioni, chiese, monasteri, piazze, ecc); della sua Università (lo "Studio"); della sua classe nobiliare e della sua potenza bellica; della sua ricchezza commerciale e di popolazione che la rendono "metropoli del paese". Una parte di tutto rilievo e per molti versi straordinariamente argomentata (sulla base di fonti documentali, non sempre specificate dall'autore, ma spesso confermate da riscontri) riguarda la trattazione delle imponenti cinture murate che avvolgevano la città sin dal 1195, successivamente allargate e potenziate nei secoli XIV e XVI. Esse vengono descritte e illustrate nel Libro Terzo (la "città inanimata"), nella Prefazione e ai capitoli I, II, III e IV che espongono: la sua "figura e le fortezze del contado"(I); "le muraglie antiche" di Padova e la sua "prima cinta di mura, del suo castello, cittadella e soccorso" (II); la "seconda cinta di muraglie antiche, e delle porte che la città di Padova aveva anticamente"; del "guasto, delle muraglie nuove e delli bastioni", integrate da due vedute allegate del cartografo padovano Vincenzo Dotto: una "anacronistica", *ante* 1509 ("Padova circondata dalle muraglie vecchie") e l'altra contemporanea ("Padova circondata dalle muraglie nuove"). Il tutto in 14 pagine fittamente scritte (p. 82-96).

La descrizione odierna: Padova sotterranea, il progetto, il libro

Gli elementi costituenti quella "fabbrica" di difesa sono stati a più riprese esplorati, documentati e studiati nel corso di un lungo (e tuttora in corso) progetto di ricerca storica e scientifica denominato Padova Sotterranea, condotto in stretta collaborazione da una associazione speleologica locale (il Gruppo Speleologico Padovano CAI) e da una associazione prettamente culturale (il Comitato Mura di Padova) specializzata nello studio delle difese murate cittadine. I risultati sono stati raccolti e riassunti pubblicamente nel 2018 con l'opera editoriale "*Padova Sotterranea*" (AA.VV, 2018) che ha riassunto dieci anni di attività del Progetto, sotto l'egida del Comune di Padova.

Un volume di 240 pagine, 170 immagini tra fotografie, rilievi e cartografie,

scritto col contributo di sette autori, che illustra in maniera precisa e scientifica la maggior parte degli elementi più importanti o particolari della cinta muraria, mantenendo per quanto possibile un lessico tecnicamente corretto ma consono ad una divulgazione diffusa, atta a raggiungere non solo "addetti ai lavori" ma anche persone meno preparate.

All'attenzione degli interessati di storia cittadina e delle fortificazioni sono state messe in evidenza sia la composizione tipologica-cronologica e di dettaglio dei principali elementi che compongono le mura patavine (soprattutto nella parte ipogea o para-ipogea, o comunque interiore: casematte, gallerie, sistemi strutturali voltati di rinforzo, ecc.), sia l'evoluzione storica della stessa e la situazione reale attuale ai fini di un possibile, e sicuramente interessante, confronto filologico con la "gemella" (ma non troppo) città di Treviso e di un altrettanto auspicabile recupero conservativo di queste preziose testimonianze d'arte militare e di storia del rinascimento.

Riferimenti bibliografici

Alberti L.F. (1550), *Descrittione di tutta Italia. Nella quale si contiene il Sito di essa, l'Origine et le Signorie delle Città et delle Castella…ecc*, per Anselmo Giaccarelli, Bologna

A.A.V.V. (2018), *Padova Sotterranea. Nel cuore delle mura rinascimentali esistenti più estese d'Europa*, in Piaser S., (a cura di), Edizioni Chartesia, Treviso

Cittadella A. (1605/1606), *Descrittione di Padova e suo territorio con l'inventario ecclesiastico, brevemente fatta l'anno salutifero MDCV et in nove trattati compartita con tavola copiosa*, appresso li Fratelli Boni (manoscritto inedito della Biblioteca Civica di Padova, (ms. 214, n.324), in Beltrame G. (1993), (a cura di), Veneta Editrice, Padova.

Fadini U. (2013), *Mura di Padova*. *Guida al sistema bastionato rinascimentale*, Edibus, Vicenza

Franzin E. (1982), *Padova e le sue mura*, Signum Edizioni, Padova

Fulin R. et al. (a cura di) (1882-1900), *I diarii di Marino Sanudo*, vol. IX-LV (1509-1531), coi tipi del Premiato Stabilimento Visentin cav. Federico Editore, Venezia

Ghironi S. (1985/88), *Padova - Piante e vedute (1449-1865)*, Panda Edizioni, Padova

Gloria A. (1863), *Di Padova dopo la lega stretta in Cambray dal maggio all'ottobre 1509. Cenni storici con documenti. Per le auspicalissime nozze Giusti-Cittadella*, Stab. Prosperini, Padova

Martinati P.P. (1860), *Le mura nuove di Padova e il guasto. Ricordi storici. Per nozze Finato-Martinati*, dalla Tipografia di G.B. Merlo, Venezia

Mazzi G. et al. (2002), *Le mura di Padova. Percorso storico architettonico*, Il Poligrafo, Padova

Menin L. (1857), *L'assedio di Padova nell'anno MDIX*, *pubblicata in occasione delle felicissime nozze Tappari-Piacentini*, co' i tipi di A. Bianchi, al Santo, Padova

Portenari A. (1623) *Della Felicità di Padova*, P. Paolo Tozzi, Padova

Rossetti G. (1780), *Descrizione delle pitture, sculture ed architetture di Padova*, nella Stamperia del Seminario, Padova

Rusconi G. (1921), *Le mura di Padova*, Tip. Ditta Antonio Vicenzi, Bassano

Scoto F. (1669), *Nuovo itinerario d'Italia, ampliato con aggiunta, et figure di città, fortezze et altre singolarità…raccolte da Fortunato Musocho*, per Matheo Cadorin detto Bolzetta, in Padova

Tagliaferri A. (1975), a cura di, *Relazione dei Rettori veneti in Terraferma, IV, Podestaria e Capitanato di Padova*, Dott. A. Giuffrè Editore, Milano

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Padova: l'antico ipogeo di S. Eufemia. Note illustrative, osservazioni su una scoperta particolare

Adriano Menin

Esplorazioni Speleologiche Cavità Artificiali- PD Sotterranea,
meninadriano52@gmail.com

Parole chiave: Padova; chiesa; graffito; sotterraneo.
Keywords: Padova; church; engraving; artificial cavity.

Riassunto
Nel cuore di Padova, sotto un palazzo rinascimentale quattro-cinquecentesco eretto su fondazioni tardo antiche e altomedievali, si nasconde uno dei più misteriosi siti ipogei della sua storia, tanto importante quanto misconosciuto e bistrattato: l'ipogeo di S. Eufemia, relitto sotterraneo di un'antica chiesa, forse bizantina, sorta su preesistenze romane (forse una "*domus*") a sua volta sormontata da una residenza signorile veneziana del XV-XVI sec. (Palazzo Mocenigo- Belloni- Querini, in via S. Eufemia: fino al 2012 sede, attualmente dismessa, del collegio universitario femminile "B. Meneghetti"). Vi sono state condotte ricerche preliminari nel 1941 e tra la fine degli anni '90 e nel 2000 tra cui quelle speleologiche che qui raccontiamo. Contiene una serie di elementi archeologici, storici e architettonici che lo rendono unico a Padova: la conformazione planimetrica, collegabile alla chiesa scomparsa e a strutture perimetriche non chiarite; l'articolazione degli ambienti all'interno; la presenza di elementi in elevato e voltati in profondità mai indagati, molto probabilmente romani; l'esistenza di graffiti storici di varie epoche, tra cui spicca uno straordinariamente importante perché unico nel suo genere; una scena di bombardamento riconducibile all'assedio dei Padova (1509) scoperti nel 1999 e che è oggetto di descrizione in questo contributo.

Cenni storici generali e particolari

L'origine del sito è incerta per la mancanza di indagini archeologiche sistematiche e di documenti scritti. C. Gasparotto, sulla base di ritrovamenti nell'area del giardino adiacente ("… *monete di ogni età imperiale, frammenti d'intonaco parietale dipinto e finissimo*…") nel 1941 colloca le strutture ipogee nell'ambito di una *domus* romana del I secolo d.C., forse interessata, per la particolare conformazione dell'ipogeo e le analogie costruttive riscontrate con altri tipi di edificazioni sotterranee tardo imperiali, da culti mitraici (Gasparotto, 1951). Successivamente, sarebbero stati eretti (III sec. d. C.) una *domus orationis*, ad opera di S.

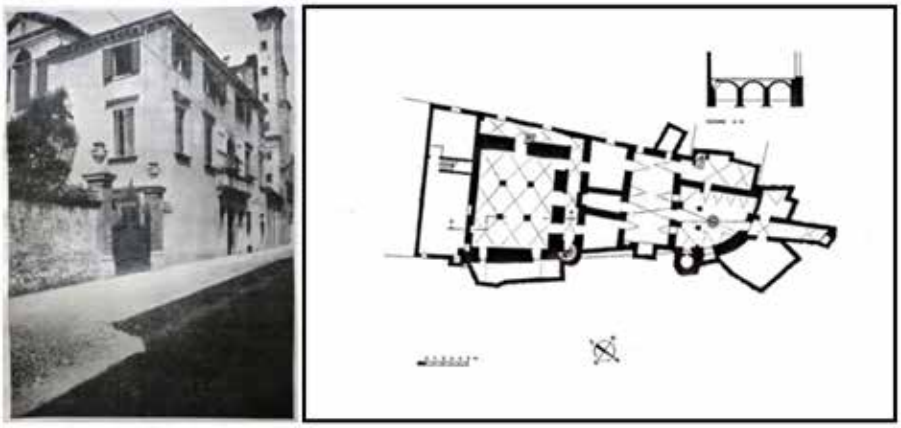


Figura 1 - Palazzo Mocenigo-Belloni-Querini e planimetria del sotterraneo, in via S. Eufemia, Padova.

Prosdocimo, un *hospitium* per pellegrini affiancata dalla chiesa di S. Eufemia: quest'ultima inserita nell'ambito cittadino orientale che, per i connotati storico-religiosi e per il titolo liturgico di vari luoghi di culto esistenti (S. Sofia, S. Cristina e S. Eufemia), esprimeva un chiaro legame con la presenza religiosa bizantina nel V-VI sec. (Gasparotto, 1967) (fig.1).

Avvolta nella leggenda è l'attribuzione del sito a luogo di sosta e di venerazione del dio Apollo (o *Mitra*) da parte dei fedeli che transitavano lungo l'adiacente fiume, nei pressi del nodo stradale della via Annia superiore (la via romana per Altino, attuale via Belzoni): sulla sponda destra, in corrispondenza dell'antica, successiva, chiesa di S. Sofia, un simulacro della divinità si stagliava visibile in una nicchia ed era oggetto di culto (Ongarello, XV sec.). Nel medioevo, vari documenti (a.1091, 1150, 1154, 1178, 1181 e 1221) parlano della chiesa (Gloria, 1877), del suo monastero, e del suo *status* come cappella arcipresbiteriale e parrocchia (Sambin 1941 e 1955). Nel 1308 non compare più tra le parrocchie; nel 1418 un atto notarile parla di "due casette" in quel posto date in dote, mentre nel 1440 pare fosse in piede solo il campanile (Brunetta, 1966). La cartografia offre dati limitati riguardo al momento preciso della demolizione dell'edificio religioso su cui si sarebbero poi impostate e sovrapposte le dimore gentilizie di famiglie patrizie (Alvarotti, Da Vigonza, Mocenigo, Belloni, Battaglia, Lovisetti e Querini, dal Quattrocento fino alla metà-fine Ottocento) con trasformazioni importanti solo nel Cinquecento. Vi visse per alcuni anni, fino alla morte (1708) l'ultimo

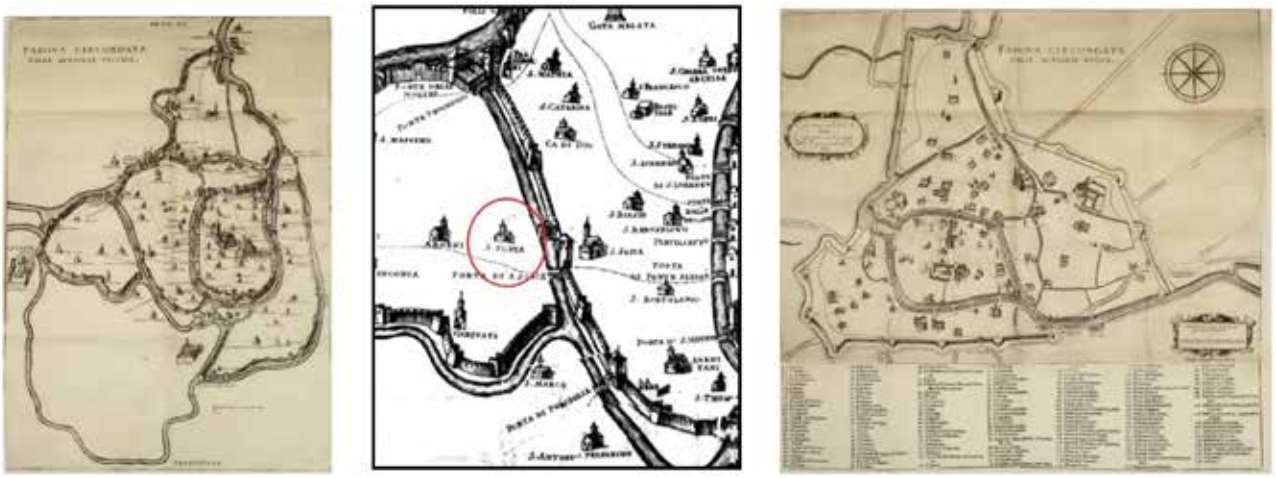


Figura 2 - a sinistra "Padova circondata dalle muraglie vecchie"; al centro Particolare di "S. Fomia"; a destra Padova dopo il 1509.

Figura 3 - A sinistra la "gatta" esposta per sfregio agli assalitori del bastione (Degli A.); al centro "La obsidione di Padua" (Cordo); a destra "L'assedio di Padova del 1509" (Burgkmair).

dei Gonzaga e vi nacque Ippolito Nievo (1831): circostanza narrata dallo scrittore G. Solitro nel 1936, che parlò anche del palazzo, del suo sotterraneo e delle possibili tracce delle fondazioni del campanile (Solitro, 1936). Risulta interessante l'esame, dalle carte di Padova provenienti dall'opera di Angelo Portenari del 1623 (Portenari, 1623), che la ritraggono in modo "dettagliato", due situazioni crono-storiche completamente diverse: *ante* 1509 (cioè prima dell'assedio delle truppe della Lega di Cambray condotte da Massimiliano I° d'Asburgo) quando la città era avvolta dalla cerchia di "mura vecchie" (carraresi); e 114 anni dopo, al tempo delle edizione del libro, quando Padova risultava circondata e protetta, già da un pezzo, dalle "muraglie nuove" interamente completate (sappiamo che l'edificazione del circuito richiese circa 50 anni, dal 1513 al 1563-64).

Nella prima ("anacronistica" perché realizzata molto prima, sulla base di documenti e testimonianze che Portenari dice di aver raccolto) oltre alla configurazione della città connotata dalle mura medievali serpeggianti (fig.2) sono segnate strade e luoghi significativi di Padova, tra cui la chiesetta di *S. Fomia* (S. Eufemia) con campanile. Santa Fomia scompare completamente nella carta del 1509 (fig.2) non viene segnalato neppure il palazzo nobiliare all'epoca occupato dai Belloni). Altre carte seicentesche danno di quel sito un'immagine incerta, che potrebbe far supporre la sussistenza di una costruzione con una sorta di abside, ma senza traccia del campanile.

La "cesura" storica tra le "muraglie vecchie" a quelle "nuove" è rappresentato dall'assedio (fallito) di Massimiliano del 1509 e del suo forsennato bombardamento di Padova con decine (forse 120) bocche da fuoco disposte ad una distanza di circa mezzo miglio dalle mura lungo tutto il settore nord della città, ma concentrate soprattutto davanti alla porta di Codalunga. Esso produsse, si dice con 10.000 proiettili, effetti devastanti sulla cinta (che comunque veniva prontamente riparata di notte per resistere) e sulla città. Vari cronisti (il Guicciardini, il Macchiavelli, il Bembo, il Sanudo ed altri) riportano i momenti drammatici svoltisi tra il 15 e il 30 settembre 1509. Due autori (Nicolò degli Agostini e Bartolomeo Cordo) accompagnano i loro "poemetti" epico-celebrativi in volgare (Degli Agostini, 1521 e Cordo, 1510) con immagini semplificate e schematiche della scena. Oltre alla più nota incisione di Hans Burgkmair il Vecchio ("*L'assedio di Padova*") conservata a Vienna (fig.3) e a un paio di altre "scene" riprodotte su

Figura 4 - Tre viste ravvicinate del graffito, al centro la cuspide e a destra il cannone.

miniature o stampe cinquecentesche, non esistono altre raffigurazioni "d'azione" del bombardamento d'artiglieria sulla città.

All'interno del sotterraneo di S. Eufemia, addossato ad una parete perimetrale e in prossimità del luogo ove verosimilmente sorgeva il campanile, è stato localizzato nel 1999 un eloquente graffito in condizioni estremamente precarie e difficili da rilevare. Si nota il campanile mentre viene colpito dalla palla di cannone; si apprezzano la cuspide e le modanature della torre campanaria; il cannone raffigurato nel graffito è di tipo cinquecentesco identico a quelli riprodotti nelle iconografie note. (fig.4). Si avanza l'ipotesi che il graffito testimoni la distruzione della torre campanaria concomitante con l'assedio del 1509.

Riferimenti bibliografici

Brunetta G. (1966), *Il collegio nelle antiche case dei Mocenigo in via S. Eufemia*, in *Gli interventi della Università di Padova, nel riutilizzo di antichi edifici*, B.U., Coll. I, 242/4

Burgkmair H. (1512-15), *The Siege of Padua*, in *Der Weisskunig*, Internet Archive Phyton Library, Cleveland Museum of Art, https://clevelandart.org/art/1960.32 - CC0 1.0 consultato il 15/03/2022

Cordo B. (1510), *La obsidione di Padua*, Venetia, Biblioteca Civica di Padova, xilografia, BP.73.IV

Degli Agostini N. (1521), *Li successi bellici seguiti nella Italia dal fatto d'arme di Gieradada del 1509 fin al presente 1521*, per N. Zoppino et Vincenzo, Venetia, Biblioteca Civica di Padova, xilografia, BP.45

Gasparotto C. (1951), *Padova Romana*, L'Erma di Bretschneider, Padova, 165-168

Gasparotto C. (1967), "Padova ecclesiastica 1239: note topografico-storiche", in *Fonti di storia ecclesiastica padovana*, Istituto per la Storia Ecclesiastica Padovana, Padova, I°, 89, 93-97

Gloria A. (1877), *Codice Diplomatico Padovano*, I, d. 306, 331 (anno 1091); ibidem, 1879, I, d. 539, 608, p. 393, 436 (anni 1150 e 1154); ibidem, 1881, II, v.2, d. 1307, p. 378 (anno 1178: *limitatio parochialis*)

Menin A. (2000), *L'antico ipogeo di S. Eufemia*, inedito, stampato in proprio, Padova

Menin A. (2006) *Un viaggio nella Padova Sotterranea - L'attività di ricerca svolta dal Gruppo Speleologico Padovano CAI in ambito cittadino, con particolare riguardo ad alcuni ambienti ipogei all'interno del sistema bastionato cinquecentesco, in via S. Eufemia e in Piazza delle Frutta*, in: *Padova e il suo Territorio*, n. 120, anno XXI, aprile, La Garangola, Padova, 14-18.

Menin A. (2014), "*40 anni di speleologia a Padova, sotto: passato, presente e futuro. Il sottosuolo della città come immenso archivio di storia e di storie*", *Speleologia Veneta*, 21: 63-94

Ongarello G. (sec. XV), *Cronaca ms. di Pa-*

dova – fino al 1399 -, copia ms. Biblioteca Civica di Padova, BP 1121, 1602, c. 65r-68r
Portenari A. (1623), *Della Felicità di Padova, libri nove*, per Pietro Paolo Tozzi, Padova
Sambin P. (1941), *L'ordinamento parrocchiale di Padova nel medioevo*, Cedam, Padova, 33/ 56-57, 77-79
Sambin P. (1955), *Nuovi documenti padovani dei sec. 11-12*, in *Deputazione di Storia patria per le Venezie,* Venezia, d. 72,101-104
Solitro G. (1936), *Ippolito Nievo. Studio biografico con documenti inediti, esumazioni e 15 tavole fuori testo*, R. Università di Padova, 1936 XIV, Tipografia del Seminario, Padova
Zanetti P. (1891), *L'assedio di Padova dell'anno 1509 in correlazione alla guerra combattuta nel Veneto dal maggio all'ottobre*, estr. da *Nuovo Archivio Veneto*, tomo II, parte I, coi tipi dei Fratelli Visentini, Venezia.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le trasformazioni antropiche delle grotte in età storica: nuovi dati dal Finalese

Simona Mordeglia

Museo Archeologico del Finale, Istituto Internazionale di Studi Liguri, Gruppo Grotte Borgio Verezzi, *mordixsimona@gmail.com*

Parole chiave: grotte antropizzate; Età storica; Età moderna; riuso
Keywords: anthropogenic caves; Historical Age; Modern Age; reuse

Riassunto
Il contributo illustra i risultati preliminari di una ricerca speleo-archeologica ancora in corso sulle cavità naturali del Finalese (provincia di Savona, Liguria, Italia). Lo studio ha messo in evidenza le numerose trasformazioni apportate dall'uomo alle grotte nel corso del tempo.
Nelle grotte del Finalese risultano ben conosciute e documentate le fasi preistoriche e protostoriche mentre nessuno studio aveva mai affrontato il fenomeno di occupazione dell'ambiente ipogeo in tempi storici e moderni. Si è così avviata una ricerca specifica e sistematica volta a incrociare e mettere in relazione i dati archeologici (ottenuti da scavi stratigrafici e rinvenimenti occasionali), archivistici, toponomastici e provenienti da fonti orali con quelli geologici e speleologici (Catasti Grotte).
I risultati preliminari riguardano oltre un centinaio di siti documentati, tra grandi grotte e piccoli ripari sotto roccia, nei quali si registrano elementi di trasformazione antropica di varia natura: da evidenti muri di chiusura dell'entrata delle cavità a piccoli fori scavati nelle pareti rocciose.

Introduzione

La ricerca è volta a mettere in luce le trasformazioni apportate alle grotte naturali nel comprensorio finalese (nei comuni di Finale Ligure, Borgio Verezzi, Calice ligure, Rialto, Vezzi Portio, Orco Feglino, Noli, Spotorno e Bergeggi per una superficie totale di 120 Km^2).
Il Finalese è caratterizzato dalla formazione miocenica detta comunemente "Pietra di Finale" (Bonci, Firpo, 2013) una roccia calcarea formatasi circa 20 milioni di anni fa, costituita da conglomerati, arenarie, marne e calcari bioclastici con lenti ricche di macro e microfossili. La "Pietra di Finale" si è depositata su di una preesistente superficie topografica costituita da rocce di età, natura e origine assai diverse; numerose cavità si aprono proprio sul contatto tra la "Pietra del Finale" e le rocce sottostanti.
Delle oltre 250 cavità presenti nel Finalese, (inserite al Catasto Grotte con sigla …Li/Sv) o note in ambito speleologico e archeologico (molte

grotte nel Finalese sono state censite, con sigla F seguita da numero arabo, cosiddetto Catasto Borbonese), ben 116 siti in grotta presentano evidenti tracce di una frequentazione avvenuta in epoca storica (Mordeglia, 2017).
Per questo studio si è scelto di adottare le definizioni elaborate e fornite dalla Commissione Cavità Artificiali (CCA) della Società Speleologia Italiana, che offrono un buon modello, peraltro già ampiamente sperimentato, senza la necessità di ascrivere queste grotte al Catasto Cavità Artificiali. I risultati di questo studio portano a meglio definire questi ambienti ipogei come GROTTE ANTROPIZZATE. La CCA per identificare in modo sintetico la natura delle architetture antropiche ipogee fornisce l'albero delle tipologie, organizzato in sette tipologie principali (Opere: A. Idrauliche; B. insediative, civili; C. di culto; D. belliche; E. estrattive; F. transito; G. altre opere) queste opere a loro volta sono suddivise in numerose sotto tipologie (Galeazzi, 2013).L'assegnazione alle diverse tipologie, ha preso in considerazione diversi aspetti, che vanno dalle dimensioni, dalle attività e dagli elementi di antropizzazione, allo studio delle strutture murarie e alla presenza di reperti archeologici; tuttavia per molte grotte permangono dubbi su quale sia stata la prima e originaria funzione. In molti casi le cavità hanno avuto un utilizzo prolungato nel tempo e per questo hanno subito più trasformazioni, difficilmente riconducibili ad un determinato periodo. Inoltre, se per alcuni siti è abbastanza palese comprenderne immediatamente la funzione, ad esempio i piccoli ripari sottoroccia o sottofascia, che date le loro limitate dimensioni non potevano essere utilizzati anche come stalle, per altri è molto più difficile per l'assenza di dati oggettivi. Si aggiunga che il progressivo abbandono della campagna e delle attività contadine e pastorali ha fatto sì che nel giro di qualche generazione si sia quasi del tutto persa la memoria collettiva legata all'uso del territorio. Di seguito, (fig.1) si riporta un grafico riassuntivo sulla classificazione delle grotte antropizzate del Finalese attualmente studiate.

Grotte ad uso abitativo (Opere B1 e B2).
La maggior parte delle cavità studiate presenta aspetti, più o meno evidenti, che inducono a ipotizzarne un uso

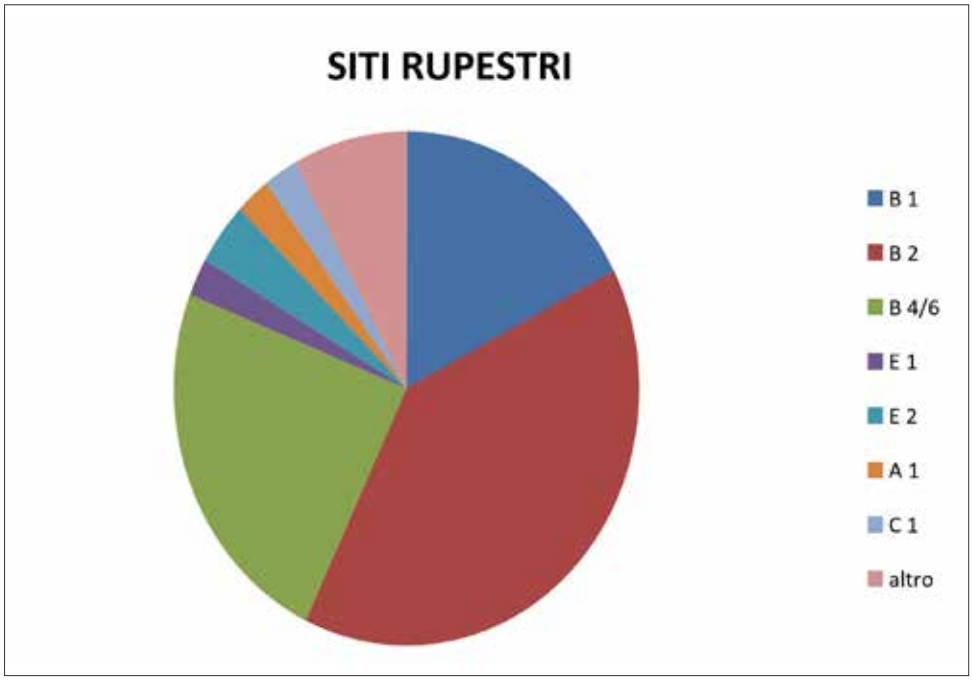


Figura 1 - grafico delle tipologie di utilizzo (0pere) dei siti in grotta del Finalese.

abitativo (72 grotte). Di questa destinazione non è sempre facile capire se la durata sia stata tale da definirla un insediamento civile stabile (22 grotte) o se sia stata una frequentazione abitativa temporanea o stagionale (50 grotte).Tra le grotte, che per le dimensioni e per la presenza di strutture murarie esterne ed interne possono considerarsi delle vere e proprie case "rustiche" a tutti gli effetti vi sono: l'Arma do *Principà* (26 Li/Sv), Arma del Parroco (204 Li/Sv), Grotta di Montesordo (454 Li/Sv), Caverna di S. Eusebio (23 Li/Sv) (fig. 2), Caverna della Matta o del Sanguineto (96 Li/Sv), Grotta del Mulo (476 Li/Sv), Arma dei Rucà (1824 Li/Sv),Riparo Pian del Ciliegio (F3), Arma delle Manie (231 Li/Sv), Caverna delle Fate (33 Li/Sv), Grotta Adriana (450 Li/Sv),Tana della Volpe, Arene Candide (34 Li/Sv). Mentre grotte come Arma dei passi cattivi (203 Li/Sv), Arma della Moretta (332 Li/Sv), Arma delle Anime (F71), Grotta dei Balconi (438 Li/Sv), Caverna dell'acqua (29 Li/Sv), viste o le minori dimensioni, o la posizione potrebbero esser state usate come rifugio temporaneo e stagionale.

Figura 2 - Caverna di S. Eusebio (muro di chiusura visto dall'interno)

Grotte ad uso stalla e magazzino (Opere B4/B6)

In questa categoria rientrano quelle grotte (in totale 30), soprattutto antri di medio piccole dimensioni, occluse con strutture murarie per ricavarne spazi protetti per il bestiame e le attrezzature agricole. I ripari, individuati in località Calvisio Vecchia, sono da considerarsi a tal proposito, proprio come la testimonianza di attività agro-pastorali presenti in passato nella zona.

Grotte connesse ad attività di cava e miniera (Opere E1/E2)

Nel comprensorio analizzato sono presenti anche alcune grotte naturali probabilmente già sfruttate in età medievale, sia per il recupero di Galena Argentifera (Nesti, 2011), sia per l'estrazione di materiale litico, le cosiddette Cave romane della Val Ponci (100 e 139 Li/Sv, F21) (AA VV,2013).

Grotte con opere idrauliche (Opere A1)

Sono presenti tre grotte utilizzate per scopi idraulici.

Grotte legate al culto/religione (Opere C1)

La Grotta di S. Antonino (30 Li/Sv), la cappelletta rupestre del" Colpo di Orlando" (località Cornei) e la Grotta dell'Affresco (F38) sono gli unici esempi di siti riconducibili a luoghi di culto. Vi sono anche una decina di siti che presentano tracce antropiche ma che allo stato attuale degli studi non sono riconducibili a funzioni certe.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (2013), ”La pietra di Finale: un patrimonio storico culturale da valorizzare”, in Stagno A.M. (a cura di), *Archeologia Post-medievale, Montagne incise, Pietre incise*, Firenze, 131-134

Bonci M.C., Firpo M. (2013), ”Milioni di anni prima dell’Uomo. La formazione e l’evoluzione del territorio finalese”, in Arobba et al. (a cura di), *Il Paleolitico, guida del museo Archeologico del Finale,* Edizioni I.I.S.L.,4-7

Galeazzi C. (2013), “The typological tree of artificial cavities: a contribution by the Commission of the Italian Speleological Society”, *Opera Ipogea*, 1/2013:11-20

Mordeglia S. (2017), ”The anthropogenic caves in Finalese (northern Italy) during historical age”, *Hypogea* 2017*, Proceedings of International Congress of Speleology in Artificial Cavities,* Cappadocia*, March* 6/8 2017: 538-546

Nesti W. (2011), *Le antiche miniere del Bric Gettina*, Gruppo Grotte Borgio Verezzi e C.A.I. Sez. Finale ligure.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Rilievo laser tridimensionale alle Terme Stabiane nel sito archeologico di Pompei (NA)

Monika Trümper-Ritter ([a]), Marco Giglio ([b]), Mauro Palumbo ([c]), Marco Ruocco ([c,d]), Mario Cristiano ([c]), Umberto Del Vecchio ([d,e])

([a]) Institut für Klassische Archäologie, Freie Universität Berlin, *monika.truemper@fu-berlin.de*
([b]) Università degli Studi di Napoli, Dipartimento Africa, Asia e Mediterraneo, *mgiglio@unior.it*
([c]) CLIC, Cooperativa Lavori In Corda, *info@clicsocietacooperativa.com*
([d]) Gruppo Speleologico CAI Napoli, *speleologia@cainapoli.it*
([e]) VIGEA Srls, *umbertodelvecchio@vigea.it*

Parole chiave: laser scanner; ipocausto; terme stabiane; Pompei.
Keywords: laser scanner; hypocaust; stabian baths; Pompeii.

In questo lavoro viene presentato quanto eseguito nel 2021 per documentare in modo completo l'ipocausto delle Terme Stabiane nel sito archeologico di Pompei.
Lo scopo del lavoro è stato quello di acquisire una documentazione dei luoghi in grado di fornire una rappresentazione geometrica e topografica utile a poter eseguire uno studio virtuale del sito, data la difficoltà di frequentazione dello stesso a causa delle ridotte dimensioni e le difficoltà di progressione. L'approccio utilizzato dagli autori è stato quello di eseguire un rilievo con *laser scanner* 3D, possibile, in questo caso specifico, soltanto con una progressione di tipo speleologico.

L'ipocausto del complesso delle Terme Stabiane

L'ipocausto consiste nello spazio sottostante il piano pavimentale degli ambienti riscaldati di un complesso termale, utilizzati in epoca romana, funzionale alla circolazione dell'aria calda prodotta attraverso la combustione generalmente di legname nei forni (*praefurnia*). Il sistema era realizzato grazie alla costruzione di un pavimento sospeso, sorretto da un sistema regolare di pilastrini di mattoni che avevano la finalità di sorreggere il pavimento stesso e di garantire, al contempo, una circolazione uniforme dell'aria calda che vi circolava. Per garantire un buon funzionamento del sistema le dimensioni dovevano, necessariamente, essere ridotte, con altezza di circa 50-60 cm e passaggio tra i singoli pilastrini di circa 30-40 cm.
L'ipocausto oggetto del presente lavoro è quello sottostante i due ambienti riscaldati (*tepidarium* e *calidarium*) del settore femminile del complesso delle Terme Stabiane, nel sito archeologico di Pompei. Sono stati rilevati gli ipocausti di due camere di dimensioni 12 X 5 m e 8 X 5 m, rispettivamente, con un unico accesso e collegate tra loro da

Figura 1 – Ambiente dell'ipocausto: pilastrini di sostegno con in alto il pavimento della camera sovrastante; visibile nella foto lo strumento utilizzato, il BLK360 della Leica GeoSystem

più passaggi di collegamento presenti nella parete divisoria. Il primo ambiente è costituito da una struttura di filari di pilastrini nel numero di 17 X 9, con altezza di circa 70 cm e passaggio di circa 30 cm. La camera successiva, di dimensioni minori, presenta struttura simile ed è costituito da una struttura di filari di pilastrini nel numero di 14 X 9, con dimensioni simili (Trümper et al., 2019).

Il rilievo degli ambienti

A causa delle dimensioni molto ridotte degli ambienti si è deciso di eseguirne il rilievo topografico e geometrico tramite l'utilizzo della tecnologia con *laser scanner* 3D, che presenta oltre ai vantaggi di una rappresentazione completa a nuvole di punti, che può essere facilmente georiferita, anche il vantaggio di fornire una rappresentazione virtuale tramite *software* specifici che ne permette una navigazione nel modello elaborato, con la possibilità di fornire immagini di qualità ed eseguire misurazioni degli ambienti, il tutto con una elevata rappresentazione fotografica del sito. Questo approccio permette uno studio del sito da parte di specialisti che non sono necessariamente speleologi.

Il *laser scanner* è uno strumento elettro-ottico che permette di rilevare la geometria di oggetti tridimensionali acquisendo nuvole di milioni di punti tramite la scansione con un distanziometro laser. Lo scanner è munito anche di camera fotografica che permette di fornire alla nuvola di punti l'informazione sul colore. I risultati sono eccezionali come qualità e dettaglio e permettono una ottima base per la ricostruzione degli ambienti finalizzata alla restituzione topografica, modellazione tridimensionale, navigazione virtuale e tanti altri campi di applicazione (Del Vecchio et al., 2017).

Il lavoro di rilievo e documentazione è stato eseguito dalla cooperativa CLIC e dalla società VIGEA, entrambe costituite al loro interno da personale con elevata specializzazione in ambiente ipogeo, in particolare in cavità artificiale, sia per la parte di rilievo topografico e geometrico, sia per la parte di acquisizione di documentazione fotografica e video.

Il lavoro è stato eseguito in due fasi: un primo rilievo eseguito con strumentazione tradizionale ha permesso di fornire un quadro dei luoghi fondamentale per la pianificazione del lavoro da eseguire successivamente mediante *laser scanner*; il secondo rilievo è consistito nell'acquisizione tridimensionale di tutti gli ambienti, mediante *laser scanner* 3D a stazione fissa, modello *BLK360* prodotto dalla *Leica GeoSystem*, che ha fornito una nuvola di punti completa e la possibilità di elaborare un modello virtuale 3D. Il modello *BLK360* utilizzato è stato l'unico in grado di garantire

Figura 2 – Fase di rilievo con laser scanner dell'ipocausto: le dimensioni degli ambienti per l'operatore sono molto ridotte

una buona operatività durante l'acquisizione grazie alle sue dimensioni ridotte e maneggevolezza.
Sono state eseguite 110 scansioni, organizzate su una maglia di posizioni che hanno garantito una buona copertura di tutti gli ambienti rilevati, considerate anche le dimensioni ridotte degli ambienti e le difficoltà dei passaggi. Le operazioni di rilievo sono state completate in due giornate di lavoro nell'ipogeo, condotte nel mese di novembre 2021. I dati acquisiti, opportunamente allineati ed uniti in una fase successiva, hanno permesso di elaborare una nuvola di punti completa e, successivamente, di fornire un modello tridimensionale virtuale di tutti gli ambienti, navigabile in 3D con un *software* specifico.

L'attività di speleologi abituati ad operare in ambienti di dimensioni ridotte, utilizzando tecnologia avanzata nel campo del rilievo topografico e geometrico ha permesso di fornire agli studiosi e agli specialisti un modello virtuale completo e fondamentale per eseguire, con calma e precisione, una serie di misurazioni, studi ed interpretazioni altrimenti estremamente impegnative e dispendiose. La capacità e l'attitudine a lavorare in ambienti impegnativi rendono lo speleologo una figura professionale fondamentale, in particolare quando in grado di portare la moderna tecnologia ad operare nel suo ambiente di elezione.

Riferimenti bibliografici

Del Vecchio U., Santagata T., Damiano N. (2017), "Rilievo 3D in grotta: comparazione di diverse metodologie ", *Atti III Convegno Regionale di Speleologia "Campania Speleologica 2017"*, 67-76.

Trümper M., Brünenberg C., Dickmann J.A., Esposito D., Ferrandes A.F., Pardini G., Pegurri A., Robinson M., Rummel C. (2019), "Stabian Baths in Pompeii. New Research on the Development of Ancient Bathing Culture", *Mitteilungen Des Deutschen Archäologischen Instituts Römische Abteilung*, 125: 103-159.

Figura 3 – Vista estratta dal software di navigazione 3D (JetStream della Leica GeoSystem)

La circolazione dell'acqua negli ammassi carbonatici

di Emma PETRELLA e Luca ZINI

La circolazione dell'acqua all'interno degli acquiferi carbonatici è stata ampiamente dibattuta in campo scientifico. Questo perché gli acquiferi carbonatici presentano una grande eterogeneità causata sostanzialmente dal particolare assetto geologico-strutturale e dai processi di dissoluzione chimico-fisica. Accanto a questi processi, poi, si aggiungono le diverse modalità di alimentazione che giocano un ruolo predominante sull'idrodinamica e quindi nella definizione del modello di funzionamento. In particolare, negli ultimi 40 anni sono stati sviluppati diversi modelli concettuali e numerici che cercano di riprodurre il comportamento idrogeologico degli acquiferi carbonatici. Alcuni di essi si soffermano sui fattori che condizionano il deflusso sotterraneo ponendo l'attenzione sul ruolo svolto dalle zone di faglia e sull'influenza di un esteso epicarso. Altri lavori invece analizzano l'idrodinamica, sia in termini quantitativi che in termini qualitativi, in base ai differenti tipi di alimentazione.La grande varietà di processi e fattori di condizionamento determinano una struttura ben definita ed un particolare comportamento idrogeologico che necessita di adeguati metodi di analisi.
Negli acquiferi carbonatici infatti lo studio delle modalità di circolazione idrica sotterranea e la definizione dei modelli concettuali o numerici passa imprescindibilmente attraverso il monitoraggio di molteplici parametri per il fatto che, a differenza di altre tipologie, tali acquiferi risultano particolarmente complessi. Infatti, diversamente da altri contesti idrogeologici, le rocce carbonatiche presentano una elevata eterogeneità spaziale – si pensi ad esempio all'aspetto duale di tali rocce rispetto alle modalità di infiltrazione, deflusso e immagazzinamento- così come sono soggette ad una evoluzione temporale molto rapida generata principalmente dai processi di dissoluzione del carbonato di calcio (ad es. allargamento di fratture/fessure) e dall'azione della forza di gravità (ad es. crolli di cavità) che modificano i percorsi e quindi le modalità di circolazione sotterranea dell'acqua. Per tale motivo lo studio di questi acquiferi prevede l'utilizzo di specifiche tecniche di indagine. Tra queste, alcune - come le indagini geologiche, geomorfologiche e geofisiche - sono rivolte ad acquisire una migliore conoscenza delle geometrie dell'acquifero ed i principali fattori di condizionamento sulla circolazione. Altre – quali le indagini idrogeologiche classiche e idrauliche - sono indirizzate alla comprensione delle dinamiche di flusso ed alle caratteristiche dei parametri idraulici del mezzo. Altre ancora – quali le indagini geochimiche, isotopiche e microbiologiche – vengono utilizzate non solo per la determinazione della qualità delle acque, ma anche per comprendere meglio le modalità di movimento e mescolamento, nonché le modalità di alimentazione ed i tempi di residenza medi delle acque sotterranee. Inoltre negli acquiferi carbonatici sono molto utilizzate le indagini con traccianti, per determinare in maniera univoca la connessione tra due punti e determinare la velocità di flusso. Peculiari degli acquiferi carsici invece sono le indagini speleologiche, che offrono una opportunità unica di osservare il deflusso sotterraneo dall'interno dell'acquifero.I contributi presentati in questa tavola rotonda forniscono una visione a 360 gradi dell'importanza dell'utilizzo combinato delle tipologie di indagini sopra elencate e dell'importante ruolo svolto dal monitoraggio di diversi parametri per la definizione accurata dei modelli di circolazione idrica sotterranea in acquiferi carbonatici.

Water circulation in karst massifs

by Emma PETRELLA and Luca ZINI

The circulation of water within carbonate aquifers has been widely debated in the scientific field. This is because the carbonate aquifers present a great heterogeneity caused substantially by the particular geological-structural arrangement and by the chemical-physical dissolution processes. Next to these processes, then, are added the different feeding modes that play a predominant role on hydrodynamics and therefore in the definition of the operating model.
In particular, in the last 40 years various conceptual and numerical models have been developed that try to reproduce the hydrogeological behavior of carbonate aquifers. Some of them focus on the factors that affect the underground runoff, focusing attention on the role played by fault zones and on the influence of an extensive epikarst zone. Other works, on the other hand, analyze hydrodynamics, both in quantitative and qualitative terms, based on the different types of power supply.
The great variety of processes and conditioning factors determine a well-defined structure and a particular hydrogeological behavior that requires adequate methods of analysis.
In fact, in carbonate aquifers the study of underground water circulation methods and the definition of conceptual or numerical models inevitably passes through the monitoring of multiple parameters due to the fact that, unlike other types, these aquifers are particularly complex. In fact, unlike other hydrogeological contexts, carbonate rocks have a high spatial heterogeneity - think for example of the dual aspect of these rocks with respect to the modes of infiltration, runoff and storage - just as they are subject to a very rapid temporal evolution mainly generated by the processes of dissolution of calcium carbonate (e.g., widening of fractures/cracks) and by the action of gravity (e.g., cavity collapses) which modify the paths and therefore the modes of underground water circulation. For this reason, the study of these aquifers involves the use of specific survey techniques. Among these, some - such as geological, geomorphological and geophysical surveys - are aimed at acquiring a better knowledge of the aquifer geometries and the main conditioning factors on water circulation. Others - such as classical hydrogeological and hydraulic surveys - are aimed at understanding the flow dynamics and the characteristics of the hydraulic parameters of the medium. Others - such as geochemical, isotopic and microbiological investigations - are used not only for the determination of water quality, but also to better understand the modes of movement and mixing, as well as the feeding modes and average residence times of groundwater. Furthermore, in carbonate aquifers, tracer surveys are widely used, to uniquely determine the connection between two points and determine the flow rate. Peculiar to karst aquifers, on the other hand, are the speleological investigations, which offer a unique opportunity to observe the underground runoff from inside the aquifer.
The contributions presented in this round table provide a 360-degree view of the importance of the combined use of the types of surveys listed above and of the important role played by the monitoring of different parameters for the accurate definition of underground water circulation models in carbonate aquifers.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Progetto Rio Vaat: la falda acquifera del Monte Faeit (Prealpi Carniche, UD)

Antonella Astori ([a]), Clarissa Brun ([b]), Gian Domenico Cella ([c]), Daniele Pascolini ([d])

([a]) Geologa, libera professionista, *anto.astori@gmail.com*
([b]) Club Alpinistico Triestino e Geoisotopical Unit - NLZOH - Koper, *clarissa.brun@gmail.com*
([c]) Gr. Spel. Carnico CAI e Gruppo Grotte CAI Novara, *cellagd@hotmail.com*
([d]) Gruppo Speleologico Carnico CAI Tolmezzo, *breadboy@alice.it*

Parole chiave: geoidrologia, Cavazzo Carnico, falda acquifera Monte Faeit, analisi isotopica.
Keywords: hydrogeology, Cavazzo Carnico, aquifer Faeit Mount, water isotopic analysis.

Riassunto
Viene descritto uno studio biennale condotto alle pendici orientali del Monte Faeit (fig. 1) da una equipe di speleologi (Tolmezzo, Trieste, Novara), che ringraziamo per la mole di lavoro svolto. L'area è interessata da alcune sorgenti perenni che vengono alla luce nel letto dei Rio Vaat ad una quota variabile tra 355 e i 400 m, captate da acquedotti che asservono le comunità di Alesso, Bordano e Cavazzo Carnico. Preliminarmente si è proceduto a individuare le sorgenti e le grotte dell'area e a mettere in opera una stazione meteorologica locale; si è quindi proceduto mensilmente a monitorare le sorgenti e i principali corsi d'acqua superficiali. Alla base del sifone della Grotta del Rio Vaat, in probabile relazione con la falda freatica, è stata collocata una sonda multi-parametrica dotata di data logger. I parametri rilevati sono stati: misura delle precipitazioni locali, por-

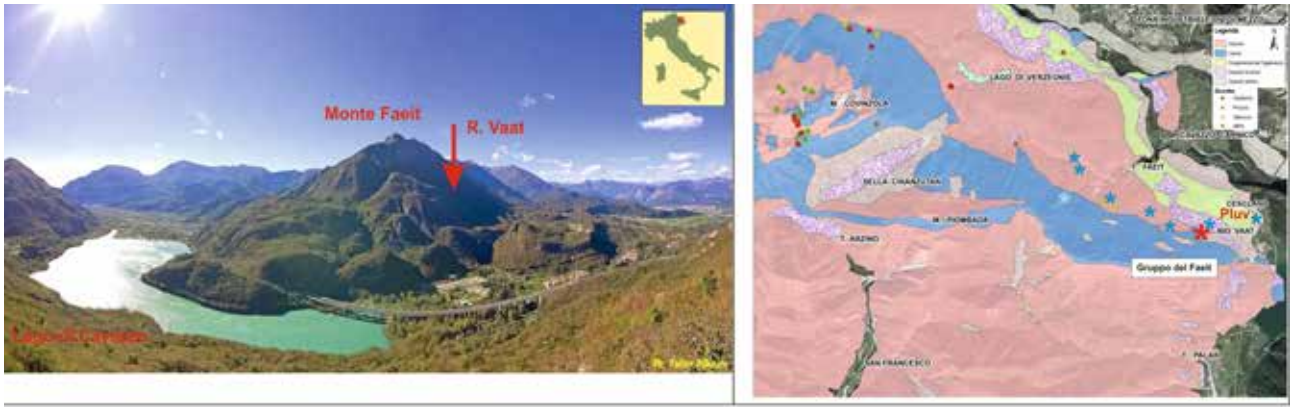


Figura 1 – L'area studiata.

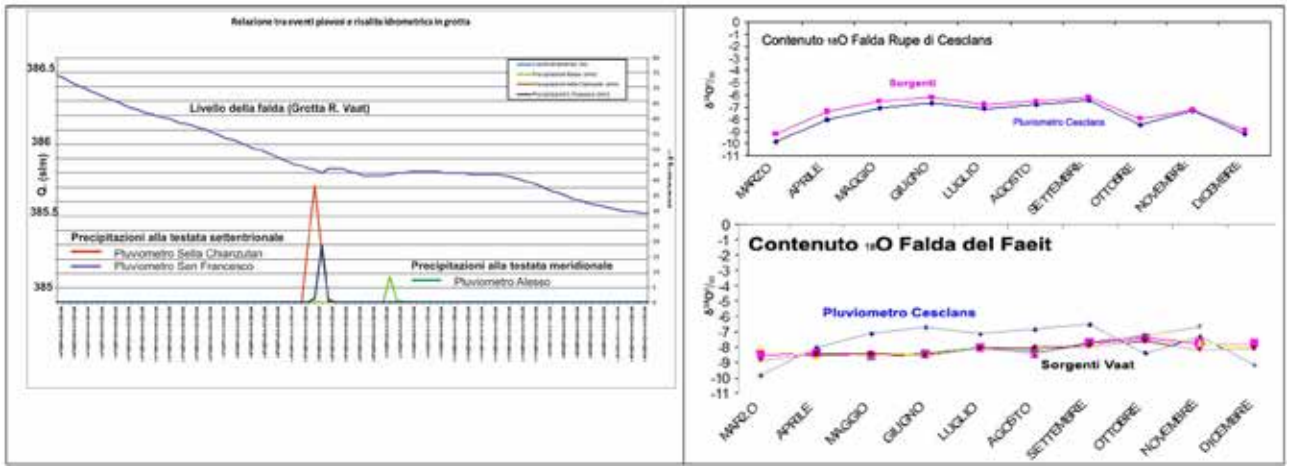


Figura 2 – Sinistra: relazione tra livello della falda e precipitazioni locali - Destra: contenuto di ^{18}O nelle acque delle falde identificate dalla ricerca

tata delle sorgenti e dei corsi di acqua, misura della temperatura, della conducibilità, del pH, del livello del sifone della Grotta di Rio Vaat, nonché la concentrazione isotopica delle acque ($^{16}O/^{18}O$).

L'analisi dei dati raccolti ha permesso di (fig. 2):

- relazionare le unità geologiche locali con l'idrogeologia dell'area;
- individuare due distinti bacini idrologici: uno, più modesto, ospitato da depositi morenico-alluvionali quaternari (Falda di Cesclans); uno, decisamente più esteso, che fa capo a formazioni calcareo-dolomitiche triassiche (Falda del Faeit);
- valutare la capacità di immagazzinamento del bacino principale, stimata in circa 15 milioni di m^3 anno;
- confermarne la relazione tra falda e il bacino interno alla grotta di Rio Vaat; il ritardo temporale tra picchi di precipitazione piovosa e risalita idrometrica è molto variabile (da 3 a 18 ore). La causa potrebbe essere la presenza di più circuiti carsici parzialmente interconnessi tra loro;
- valutare la superficie della falda, all'incirca 12 km^2; la principale area di ricarica è verosimilmente localizzata nell'area settentrionale, fino allo spartiacque con il Monte Verzegnis.
- confermarne ulteriormente l'estensione con tracciamenti specifici;
- individuare, grazie alle analisi isotopiche, i tempi di transito delle acque nell'acquifero, stimati all'incirca in 20-30 giorni;
- individuare, con indagini isotopiche, la quota media di alimentazione dell'acquifero, valutata 850-900 m slm.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio dei parametri chimico-fisici di sei sorgenti carsiche in Piemonte

Valentina Balestra ([a]), Adriano Fiorucci ([a])

([a]) DIATI – Politecnico di Torino, *valentina.balestra@polito.it, adriano.fiorucci@polito.it*

Parole chiave: sorgenti carsiche; idrogeochimica; monitoraggio
Keywords: karst springs; hydrogeochemistry; monitoring network

Abstract
In questo lavoro vengono presentati i risultati del monitoraggio in continuo dei principali parametri fisici (portata (Q), temperatura (T), conducibilità elettrica (EC) dell'acqua) e delle analisi chimiche (ioni principali, metalli e terre rare) effettuate in sei sorgenti carsiche nel Piemonte (NO Italia). I dati utilizzati in questo studio sono stati raccolti su diverse sorgenti da Politecnico di Torino e Regione Piemonte, a partire dal 2006. I risultati delle sei sorgenti più significative esaminate, ovvero Maira, Pesio, Polla delle Anatre, Ray, Dragonera e Fuse sono stati considerati per descrivere i tre modelli concettuali degli acquiferi carsici: sistemi a dreno dominante, sistemi a dreni interconnessi e sistemi a circolazione dispersiva (Balestra et al., 2022). I periodi più significativi (1 anno) di ogni sorgente sono stati presi in considerazione per evidenziare le situazioni idrogeologiche e geochimiche dei tre modelli concettuali, mentre per mostrare alcuni eventi caratteristici sono stati utilizzati dati giornalieri. Per la misurazione dei principali parametri idrogeologici è stato utilizzato un sistema di monitoraggio OTT in tempo reale (sensore EC a doppia cella di grafite: precisione 0,5% mV; sonda di T: risoluzione 0,1 °C, precisione 0,5 °C; cella in ceramica per la misura del livello dell'acqua: risoluzione 1 mm, precisione 0,05% fs), con acquisizione oraria dei dati. I campionamenti delle acque sono stati effettuati in condizioni idrodinamiche differenti (periodi di magra e piena) e le analisi chimiche per determinare il contenuto degli ioni principali (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-} e NO_3^{-}) sono state effettuate presso il Laboratorio di Idrogeologia Applicata del Politecnico di Torino. Calcio e magnesio sono stati determinati mediante titolazione complessometrica con elettrodo iono-selettiva e controllo automatico del potenziale, sodio e potassio attraverso spettrometria ad assorbimento atomico in fiamma, cloruri, solfati e nitrati mediante cromatografia ionica in fase liquida, e i bicarbonati con titolazione acido-base con H_2SO_4 0,5 N e misurazione del pH in continuo. I risultati mostrano tendenze molto diverse dei parametri chimico-fisici delle acque, in particolare a seguito di eventi infiltrativi (pioggia o fusione nivale) significativi. Le sorgenti Fuse e Pesio fanno parte dei sistemi a dreno dominante con sostituzione prevalente, alimentati da acquiferi fortemente carsificati. Queste sorgenti hanno un regime idrodinamico

estremamente variabile, caratterizzato da un rapido aumento della Q in relazione ai principali eventi infiltrativi, e da Q relativamente basse in assenza di apporti. I dati chimici dei campioni prelevati mostrano una chiara differenza tra i periodi di magra e di piena. Nella sorgente Pesio, il chimismo dell'acqua passa da una facies bicarbonato-calcica con sub-facies solfato-magnesiaca nel periodo di magra, a una facies bicarbonato-calcico-magnesiaca in quello di piena. I valori di solfati, calcio e magnesio subiscono evidenti diminuzioni durante gli eventi infiltrativi, a causa dell'arrivo delle acque di neo-infiltrazione, meno mineralizzate. Lievi variazioni sono state osservate per i bicarbonati. Nella sorgente Fuse, il periodo di magra è caratterizzato da una facies bicarbonato-calcico-magnesiaca, mentre durante il periodo di piena si osserva una facies bicarbonato-calcica. Le variazioni più evidenti riguardano i valori di magnesio e solfati, con vistose diminuzioni durante il periodo di piena. Per entrambe le sorgenti, le variazioni di ioni alcalini e cloruri osservate sono molto basse e quindi poco significative. Le sorgenti Dragonera e Polla delle Anatre fanno parte dei sistemi a dreni interconnessi con fenomeno di pistonaggio, alimentati da acquiferi relativamente carsificati. Il regime idrodinamico di queste sorgenti è piuttosto variabile. L'effetto infiltrativo genera un aumento della Q per onda di pressione, rimobilizzando l'acqua presente nei settori fratturati del massiccio roccioso, il cui arrivo alla sorgente è testimoniato dall'aumento di T e EC (fenomeno di pistonaggio). Queste acque sono caratterizzate da flussi a velocità piuttosto bassa. L'acquisizione in continuo dei valori della CE permette di seguire ogni cambiamento nel tempo in dettaglio, mentre il campionamento discontinuo dell'acqua può non essere rappresentativo se non si raccolgono i campioni in corrispondenza dei picchi di piena, quando il pistonaggio è più evidente. Nella sorgente Dragonera, per esempio, i campioni sono stati prelevati alla fine del picco di piena, per cui le concentrazioni di calcio, magnesio, solfati e bicarbonati sono molto simili ai campioni prelevati nel periodo di magra, con facies bicarbonato-calciche. Nella sorgente Polla delle Anatre, le facies sono bicarbonato-calcico-magnesiache sia in piena che in magra. In corrispondenza di un picco di piena è stato possibile osservare un debole aumento del contenuto di calcio e bicarbonato, evidenziando un arrivo di acqua più mineralizzata. La maggior mineralizzazione di queste acque è legata alla loro permanenza nell'acquifero, prolungando il tempo di contatto acqua-roccia, che favorisce la reazione di dissoluzione dei carbonati. Le sorgenti Maira e Ray fanno parte dei sistemi a circolazione dispersiva con omogeneizzazione del segnale chimico. Sono alimentate da acquiferi caratterizzati dalla presenza predominante di rocce carbonatiche molto fratturate, con un carsismo profondo molto ridotto. La circolazione delle acque è condizionata principalmente dal fitto reticolo di fratture, pertanto, la velocità di deflusso sotterraneo è ridotta, consentendo un lungo tempo di contatto acqua-roccia. Di conseguenza, l'acqua sorgiva è caratterizzata da valori elevati di mineralizzazione e valori abbastanza costanti di EC e T (fenomeno dell'omogeneizzazione). Nella sorgente Maira, la facies è solfato-calcica con una sub-facies bicarbonato-magnesiaca. Nella sorgente Ray la facies è bicarbonato-calcico-magnesiaca, tipica delle rocce dolomitiche.

Riferimenti bibliografici

Balestra V., Fiorucci A., Vigna B. (2022), "Study of the Trends of Chemical–Physical Parameters in Different Karst Aquifers: Some Examples from Italian Alps", *Water*, 14 (3): 441

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

"Cassana", "Ginepro" e "Faggiona": ipotesi di un unico sistema idrogeologico carsico collegato per tre cavità naturali della provincia della Spezia

Gianpiero Brozzo ([a]), Mauro Valerio Pastorino ([b]), Stefano Ratti ([c]), Andrea Roccatagliata ([d]).

([a]) ACAM Acque S.p.A., *gianpiero.brozzo@gruppoiren.it*
([b]) ([d]) Gruppo Speleologico «Arturo Issel»
([c]) Gruppo Speleologico Lunense.

Parole chiave: idrogeologia e geochimica delle acque carsiche; linea di degassazione
keywords: hydrogeology and geochemistry of karst waters; degassing line

Introduzione

Il sistema carsico di Cassana è contenuto in una piccola lente calcareo-silicea interposta tra le formazioni della "Scaglia" e dei "Diaspri" geologicamente appartenenti ai terreni della Serie Toscana. La lente, sul lato orientale, è in contatto tettonico con la formazione delle "Arenarie del Gottero" appartenente invece alle unità geologiche liguri, risultando così racchiusa da litologie impermeabili o scarsamente permeabili. Il sistema è alimentato principalmente da inghiottitoi che intercettano le acque dei torrenti Faggiona e Ginepro che attraversano trasversalmente la struttura calcarea; le risorgenze naturali di tali acque sono ubicate a valle, in corrispondenza di contatti tettonici e stratigrafici con le formazioni impermeabili. La risorgente della miniera di Cerchiara è invece originata dal drenaggio artificiale indotto da una galleria scavata per scopi minerari nella formazione dei diaspri, sottostante la formazione calcarea.

Indagini idrogeologiche e geochimiche

Durante le fasi esplorative della grotta di Cassana è stata programmata un'indagine idrogeologica e geochimica sulle acque superficiali esotterranee del sistema con l'obbiettivo di riconoscere le modalità di alimentazione delle diverse cavità attive e delle sorgenti dell'area e di definire quindi il modello idrogeologico concettuale dell'acquifero. I dati geochimici sono stati interpretati nello spazio $SI_{calcite}$/ log Pco_2 elaborando la "*linea di degassamento*" (Peyraube N., et al., 2012) del sistema (fig. 1), che consente di calcolare la concentrazione di CO_2 nel suolo al momento dell'infiltrazione delle acque nel sistema (Pco_{2sat}) che è risultata pari a 0.0044 atm.

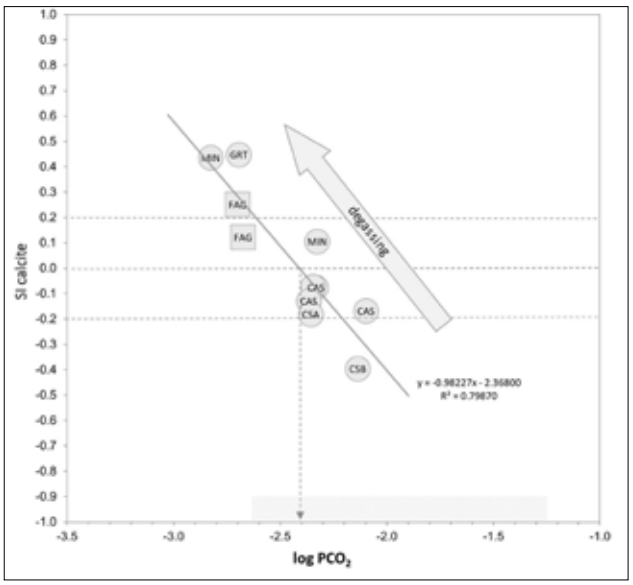


Figura 1 – Grafico della linea di degassamento

Conclusioni

Le indagini condotte hanno fornito un consistente insieme di dati che permette di ipotizzare un modello concettuale dell'acquifero carsico presente all'interno del sistema di Cassana (fig. 2). il sistema può essere suddiviso in due parti: (i) parte prevalentemente freatica e poco carsificata nel settore SE (Casale) con restituzione principale che rappresenta le condizioni di dissoluzioni della zona epicarsica, (ii) parte più carsificata nel settore NW (Cassana) con presenza di cavità carsiche attive e restituzioni acque degassate per scorrimento lungo il sistema vadoso dell'acquifero, alimentato principalmente da perdite concentrate lungo il torrente Faggiona (coincidenza della composizione chimica delle acque delle sorgenti di Cassana e delle acque del corso d'acqua).

Riferimenti bibliografici

Peyraube N., Lastennet R., Denis A. (2012), "Geochemical evolution of groundwater in the unsaturated zone of a karstic massif, using the PCO_2-SIc relationship", *Journal of Hydrology*, 430-431: 13-24.

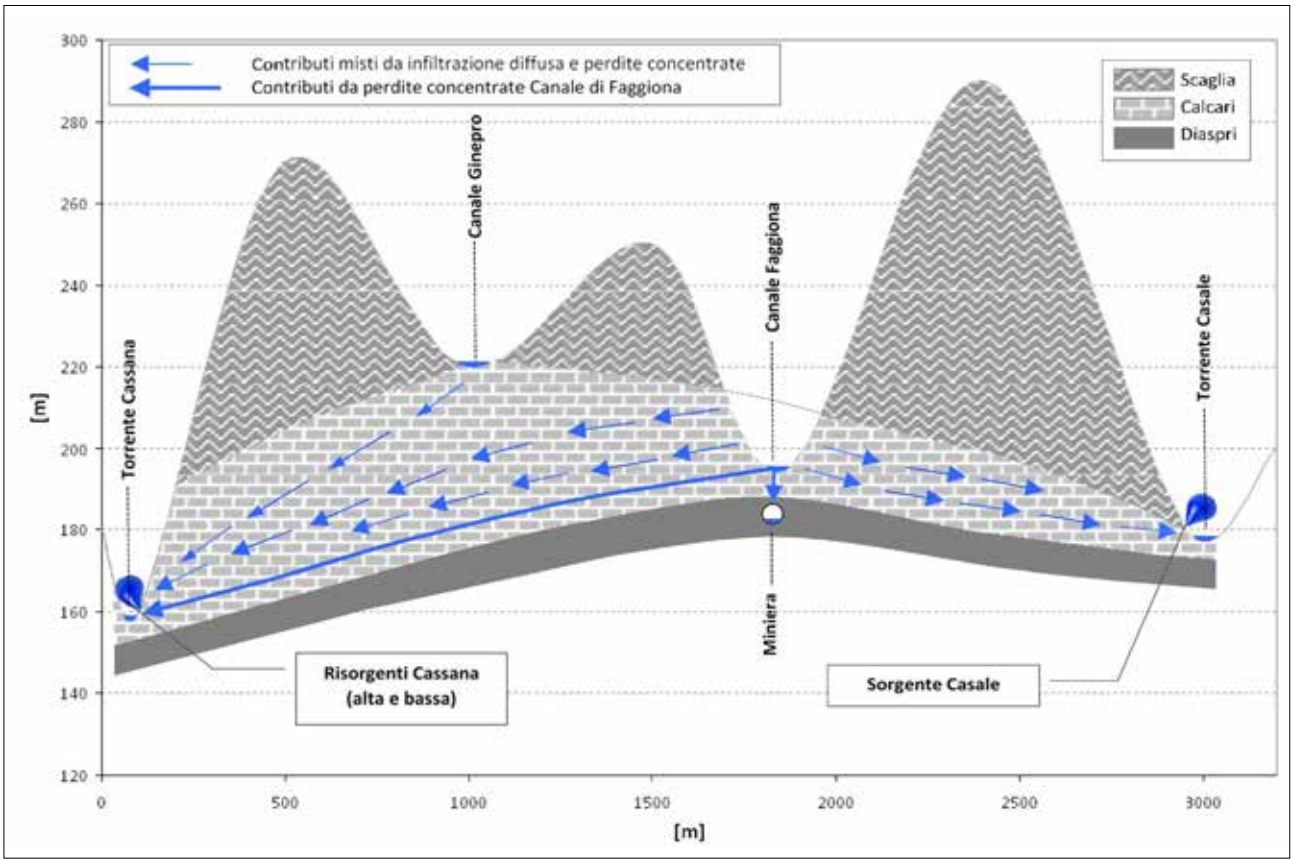


Figura 2 - Sezione NW-SE del sistema carsico.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Bus de la Genziana (Pian Cansiglio): 15 anni di monitoraggio geofisico e idrogeologico

Bus de la Genziana (Pian Cansiglio): 15 years of geophysical and hydrogeological monitoring

Barbara Grillo, Carla Braitenberg, Alberto Pastorutti, Ildikò Nagy

Dipartimento di Matematica e Geoscienze - Università di Trieste,
grillo.barbara@gmail.com

Parole chiave: Geodesia; carso, idrogeologia; GPS; pendoli geodetici; Geofisica
Keywords: Geodesy; karst; hydrogeology; GPS; tilt measurements; Geophysics

Riassunto
Vengono presentati i risultati di 15 anni di ricerche idrogeologiche e geofisiche sul Cansiglio (2006 – 2021) con approfodimento sugli eventi degli ultimi anni: si confrontano le osservazioni dei pendoli geodetici e GPS installati in Cansiglio con l'idrometria del Livenza, le precipitazioni piovose, il monitoraggio delle acque ipogee e in sorgente.
I pendoli Marussi tipo Zöllner sono installati dal dicembre 2005 a 25 m di profondità nel Bus de la Genziana. Al fine di comprendere meglio i movimenti osservati è stata installata a marzo 2013 nel sifone della grotta a 587 m di profondità una sonda multiparametrica. Il livello delle acque ha superato più volte i 50 metri, raggiungendo una volta sola i 100 m, permettendo di dimostrare che vi è una relazione diretta tra i segnali impulsivi registrati dai pendoli geodetici e gli innalzamenti di acqua in grotta. Si possono fare interpretazioni sulla circolazione idrica ipogea: il fatto che i segnali dei clinometri abbiano picchi in alto o in basso indica che ci sono alimentazioni o inneschi di acqua da direzioni diverse, in relazione quindi al differente carico idraulico del sistema o apporto idrologico. Il deflusso principale è comunque sempre verso la fascia delle sorgenti, cioè SE. La correlazione tra il monitoraggio idrogeologico e geofisico ha evidenziato inoltre la presenza di deformazioni gravitative del massiccio del Cansiglio – Cavallo indotte dal carico idraulico, che lo portano a comportarsi come una grande idrostruttura elastica.

Abstract
Geodetic observations (2006-2021) in a natural cave of the Cansiglio plateau (Bus de la Genziana), a limestone karstic area in NE Italy, are discussed. The tilt records include signals induced by hydrologic and tectonic effects. The River Livenza rises from the SW slope of the Massif. The tiltmeters have a clear correlation to the rainfall, the hydrometric series of the river, the multiparametric loggers installed in the siphon at the bottom of the cave and the recordings of a permanent GPS station. The underground water level has passed several times the level of 50 m, one time over 100 m. Interpretations can be made on the underground water circulation: there are water supplies or triggers from different directions because the signals of the clinometers have peaks at the top or at the bottom, therefore in relation to the different hydraulic load of the system or hydrological input. The main outflow is however always towards the line of the springs, that is towards the SE base of the massif.
The analysis of time series suggests an elastic response of a hydro-structure with a drainage system directed along NW-SE: the "breathing" of the slope depends on the local geostructural setting for hydrologically induced slope deformations.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Idrologia della zona insatura nel sistema carsico di Bossea

Alessia Nannoni ([a]), Bartolomeo Vigna ([b]), Marco Antonellini ([c]), Jo De Waele ([c])

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi di Firenze, via La Pira 4, Firenze, *alessia.nannoni@unifi.it*
([b]) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24, Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it*
([c]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Alma Mater Università di Bologna, Via Zamboni 67, Bologna, *m.antonellini@unibo.it, jo.dewaele@unibo.it*

Parole chiave: idrologia carsica, flusso insaturo, idrodinamica, reticolo di fratture
Keywords: karst hydrology; unsaturated flow; hydrodynamics; fracture network

La grotta di Bossea (Alpi Liguri, Piemonte) ospita dagli anni '70 un laboratorio scientifico sotterraneo dedicato allo studio dell'idrologia carsica (Vigna et al. 2017). La grotta è divisa in due settori: quello a monte è costituito da una forra in cui scorre il collettore carsico, quello a valle è impostato lungo il contatto tettonico fra le rocce meta-vulcaniche permiane e la soprastante sequenza meta-carbonatica triassico-cretacica ed è formato da ampi saloni di crollo. Il collettore riceve acqua da una serie di venute che drenano la porzione insatura del sistema carsico. Fra queste si distinguono gli stillicidi che drenano volumi variabili di roccia fratturata e rilasciano acqua da vari punti della volta della grotta (da pochi l/min a massimo 1 l/s), e le cosiddette "polle". Queste ultime sono venute perenni o talvolta stagionali (portata massima pari a circa 2 l/s) che rilasciano acqua lungo il contatto tettonico fra le meta-vulcaniti e la soprastante sequenza di rocce meta-carbonatiche. Numerose venute sono monitorate all'interno della grotta. Nel presente contributo sono presentati i risultati del monitoraggio di un anno idrologico per 4 venute: gli stillicidi Milano (M), Torre (TO), Laghi Pensili (LP) e la Polletta (PTTA). Le venute sono state equipaggiate con un sensore per il livello idrometrico (L), temperatura (T_{acqua}) e conducibilità elettrica dell'acqua (C.E.). Ogni sensore è stato installato in una vasca di calma a valle della venuta e a monte di uno stramazzo. Nel caso di TO il sensore è stato inserito in un recipiente traforato. I dati di precipitazioni (P) e la temperatura dell'aria (T_{aria}) sono stati misurati dalla stazione meteorologica di Borello, posta a 2 km dall'ingresso della grotta.

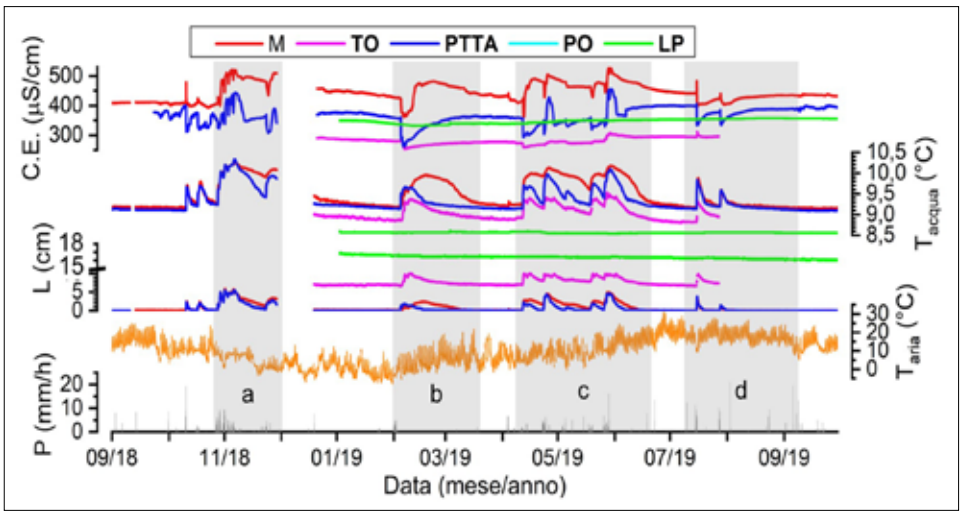


Figura 1 – Confronto fra i dati meteorologici (P, T_{aria}) e il monitoraggio idrologico (L, T_{acqua} e C.E.) degli apporti secondari monitorati all'interno della grotta di Bossea (M, TO, LP, PTTA). Quattro tipi di risposta idrodinamica sono evidenziati (a, b, c, d).

M, TO e PTTA mostrano una risposta idrodinamica molto rapida alle precipitazioni con incrementi di L rapidi e di breve durata, legati alla messa in carico dei reticoli di drenaggio per trasmissione dell'onda di pressione (pistonaggio). LP mostra un andamento differente: questa venuta non risente degli eventi infiltrativi, mostrando soltanto un debole *trend* stagionale, in particolare per C.E. Il fenomeno di pistonaggio avviene con caratteristiche differenti per M, TO e PTTA (Nannoni, 2020). Sia M che PTTA mostrano risposte rapide alle precipitazioni autunnali ("a" in fig. 1), con marcati incrementi di L e di T_{acqua}.

C.E. risponde agli eventi meteorologici con marcati aumenti per M, talvolta preceduti da rapidi decrementi, e con picchi positivo/negativi (o viceversa) per PTTA, legati al drenaggio di reticoli di fratture con acque caratterizzate da diversi chimismi (circolazione in carbonati e/o nelle vulcaniti). Gli eventi di fusione nivale legati alla sola oscillazione della temperatura esterna ("b" in fig. 1) determinano risposte idrodinamiche meno impulsive e più durature condizionate dalle modalità dei processi di fusione nivale. PTTA e TO mostrano pistonaggi con andamenti speculari di T e C.E. mentre M presenta impulsi negativi/positivi. Le precipitazioni primaverili, uniti alla fusione nivale, determinano sempre pistonaggi per M, TO e PTTA ma ciascuna venuta mostra *trend* differenti ("c" in fig. 1). Durante la magra estiva le venute mostrano risposte impulsive solo in caso di precipitazioni intense a causa degli elevati processi di evapotraspirazione e ruscellamento ("d" in fig. 1). I dati raccolti dimostrano l'estrema complessità ed eterogeneità della zona "non satura" del sistema di Bossea. Il modello di funzionamento di questo sistema può essere esteso ad altri acquiferi in rocce carbonatiche.

Riferimenti bibliografici

Vigna B., Peano G., Villavecchia E., De Waele J. (2017), "The karstological subterranean laboratory of Bossea cave (N Italy)", in Moore K., White S. (a cura di), *Proceedings of the 17th International Congress of Speleology, July 22–28, Sydney, NSW Australia*. Australian Speleological Federation Inc., Sydney, 447–451

Nannoni, A. (2020). *Unsaturated flow in a structurally complex karst aquifer*. Tesi di dottorato, Università di Bologna.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Drenaggio e architettura del reticolo di fratture nel volume insaturo di un sistema carsico: l'esempio dello stillicidio Milano, Grotta di Bossea

Alessia Nannoni ([a]), Marco Antonellini ([b]), Guglielmo Persiani ([c]), Bartolomeo Vigna ([d]), Jo De Waele ([b])

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi di Firenze, via La Pira 4, Firenze, *alessia.nannoni@unifi.it*
([b]) Dipartimento di Scienze Geologiche, Biologiche e Ambientali, Alma Mater Università di Bologna, Via Zamboni 67, Bologna, *m.antonellini@unibo.it, jo.dewaele@unibo.it*
([c]) Department of Geography and Earth Sciences, Aberystwyth University, Llandinam Building, Penglais Campus, Aberystwyth, SY23 3DB, *gup4@aber.ac.uk*
([d]) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24, Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it*

Parole chiave: analisi di recessione, analisi frattale, reticolo di fratture, circolazione in zona vadosa
Keywords: recession analysis; fractal analysis; fracture network; unsaturated flow

Lo stillicidio Milano è stato scelto per effettuare una stima di permeabilità del reticolo di fratture drenato nella porzione insatura (spessa circa 70 m) del sistema carsico di Bossea (Alpi Liguri, Italia). La scelta di tale venuta è stata fatta sulla base di due criteri: 1) la disponibilità di una serie di dati idrologici lunga più di 10 anni, 2) lo stillicidio è impostato lungo una superficie di strato nella sequenza carbonatica ed è stato dimostrato che la percolazione lungo tale struttura rappresenta la via di circolazione preferenziale nella zona insatura del sistema carsico in esame (Antonellini et al., 2019). È stata applicata l'analisi di recessione agli idrogrammi di piena caratterizzati da tratti discendenti non disturbati da eventi infiltrativi successivi a quello principale. Questa analisi lega la portata al volume d'acqua immagazzinato nel reticolo di fratture grazie al *fitting* della curva di recessione con un modello appropriato. Nel caso in esame è stato scelto il modello esponenziale multiplo di Maillet. Il coefficiente di recessione α estrapolato dal modello per un certo tratto della curva di recessione dipende dalle proprietà idrauliche del reticolo di fratture drenato durante quello specifico intervallo di recessione. L'apertura delle fratture *b* è stata calcolata con tre metodi: 1) inversione della legge cubica di Darcy grazie ai dati ottenuti con l'analisi di recessione, 2) analisi frattale generando tramite una legge potenza le classi di-

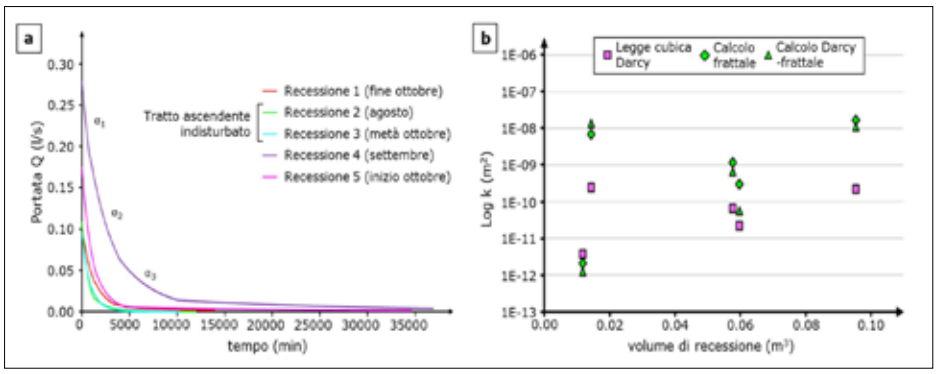


Figura 1 – a) Risultato del fitting del modello esponenziale di Maillet per cinque eventi di piena b) Confronto dei valori di k calcolati per ciascun tratto della recessione 1 con i tre metodi.

mensionali delle fratture a partire dalla classe con le dimensioni maggiori, 3) inversione della legge cubica di Darcy con i dati ricavati dal calcolo frattale. I parametri geometrici ottenuti con i tre metodi sono stati usati per stimare la permeabilità delle fratture *k*. Gli idrogrammi di piena analizzati sono il risultato di eventi infiltrativi avvenuti tra la fine della fase di magra estiva e l'inizio della ricarica autunnale, perciò sono indicativi della dinamica di ricarica del sistema. L'aumento di portata è causato dal fenomeno di pistonaggio per cui il sistema viene messo in carico dalla trasmissione dell'onda di pressione durante le piene (Nannoni et al., 2020). Si distinguono due tipi di idrogrammi, con il tratto ascendente indisturbato o disturbato da eventi multipli di precipitazione. Le curve modellizzate mostrano α progressivamente decrescenti durante la recessione (α_n corrisponde all'inclinazione dell'n-esimo segmento; Fig. 1a). Ciò è causato dal fatto che vengono drenati reticoli di fratture progressivamente più piccole e che aumenta il gradiente idraulico. A riprova di questa ipotesi vi è un buon *fit* fra i volumi calcolati con l'inversione della legge cubica usando i dati dell'analisi di recessione e quelli ricavati con l'analisi frattale. Si osserva inoltre una correlazione inversa fra il valore di α_1, il volume drenato e la durata dell'intervallo di recessione. Gli idrogrammi indisturbati (2 e 3) presentano i valori di α_1 più elevati, gli intervalli di recessione più brevi e condizioni di magra antecedenti agli eventi di piena. Le permeabilità ricavate con i tre modelli mostrano valori comparabili che non differiscono per più di un ordine di grandezza (Fig. 1b). Grazie a queste osservazioni è stato definito uno schema di drenaggio del reticolo che alimenta lo stillicidio Milano: le fratture più grandi vengono drenate per prime ma si disattivano molto rapidamente mentre con il progredire della recessione vengono drenate fratture progressivamente più piccole. Le condizioni antecedenti all'evento di piena determinano la saturazione del sistema di drenaggio e di conseguenza quali reticoli di fratture verranno attivate: in caso di bassa saturazione (ovvero condizioni di magra, recessione 2 e 3) vengono attivate per pistonaggio solo le fratture più grandi, con il risultato di una recessione più breve. Nel caso in cui il sistema sia in condizioni di saturazione elevata tutti i *set* di fratture vengono drenati, con i volumi maggiori drenati dalle fratture più piccole ma più abbondanti.

Riferimenti bibliografici

Antonellini M., Nannoni A., Vigna B., De Waele J. (2019), "Structural control on karst water circulation and speleogenesis in a lithological contact zone: the Bossea cave system (Western Alps, Italy)", *Geomorphology*, 345: 106832

Nannoni A., Vigna B., Fiorucci A., Antonellini M., De Waele J. (2020), "Effects of an extreme flood event on an alpine karst system", *Journal of Hydrology*, 590: 125493

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Effetti delle maree del Mare Adriatico sull'acquifero del Carso Classico

Rino Semeraro ([a]), Federico Valentinuz ([b]), Eduardo Klassen ([c]), Mauro Pincin ([c]), Stefano Rejc ([c]), Luciano Russo ([d]), Michele Soranzo ([c]), Maurizio Tavagnutti ([c])

([a]) Speleologo, *rinosemeraro0@gmail.com*
([b]) Geologo libero professionista, CRC Seppenhofer, *geo.valentinuz@gmail.com*
([c]) Centro ricerche carsiche "C. Seppenhofer", Gorizia, Italy
([d]) Privato, *lcn.russo@gmail.com*

Nel Carso Classico nord-occidentale, vicino al contatto con le alluvioni quaternarie della pianura, si sviluppa il Pozzo dei Protei di Monfalcone (fig. 1) con quota d'ingresso 23,18 m s.l.m. All'interno, il livello medio della falda idrica è alla quota media di 1,89 m s.l.m. Le oscillazioni del livello del mare nel Golfo di Trieste dovute alle maree astronomiche e meteorologiche influenzano il livello piezometrico dell'acquifero del Carso (Ballarin et al., 2000; Cucchi et al., 2015). Il comportamento del sistema è stato assimilato da Drogue et al. (1984) a quello di un acquifero semiconfinato, a causa del carsismo profondo e la contemporanea presenza di fratture subverticali che mettono in contatto l'acquifero con l'atmosfera mantenendo però in molte aree un "confinamento" da parte delle rocce incassanti. Con queste premesse, nel bacino d'acqua sotterraneo del Pozzo dei Protei è stata installata una sonda CTD-Diver con Baro-Diver onde registrare i parametri di temperatura (T), conducibilità elettrica (EC K_{25}) e altezza idrometrica (H), con un monitoraggio di 104 giorni (dal 14/06 al 25/09/2018).

Durante il monitoraggio il livello dell'acqua nella grotta è oscillato tra 1,73 m s.l.m. e 2,32 m s.l.m., la EC è oscillata tra 336 e 387 µS/cm (media 348 µS/cm), la T dell'acqua è variata tra 12,160 e 12,710 °C (T media 12,405 °C). Le oscillazioni del livello piezometrico hanno un periodo compreso tra 11 e 13 h e un'escursione massima giornaliera tra circa 10–12 cm e 5–6 cm rispettivamente durante le maree sizigiali e le maree in quadratura quando le variazioni del livello del mare sono rispettivamente di circa 130 cm e 50–60 cm (fig. 2). Le variazioni del livello rispecchiano l'andamento della marea astronomica che in quadratura è di tipo diurno mentre in occasione dei pleniluni e dei noviluni è semidiurna (fig. 3). Il ritardo tra il colmo della marea e il massimo livello raggiunto nel pozzo è di circa 4–4,5 h e lo sfasamento è dovuto al fatto che l'acquifero carsico viene a contatto con il mare in corrispondenza delle sorgenti del sistema e indirettamente tramite i sedimenti sciolti quaternari, per cui la propagazione della marea subisce uno smorzamento.–La

Figura 1 – Il Carso Classico a est e la pianura del Fiume Isonzo a ovest.

EC media delle acque nella grotta nel periodo è di 348 μS/cm mentre quella di tre pozzi freatici nell'acquifero alluvionale a nord-est di Monfalcone è tra 443 e 463 μS/cm, in chiaro contrasto. Nella grotta si osserva un aumento della EC di circa 51 μS/cm, circa 23/24 h dopo il colmo del livello determinato dall'aumento di portata del Fiume Isonzo e dalle precipitazioni, indice di una mobilizzazione di acque con maggiore mineralizzazione. Inoltre ci sono variazioni cicliche della EC delle acque pari a 4–5 μS/cm in prossimità delle maree sizigiali e 2–3 μS/cm in prossimità delle maree in quadratura, con un andamento sinusoidale, e periodo paragonabile a quello delle maree, compreso tra le 11 e le 14 h, ma con un ritardo di rispetto all'aumento del livello dell'acqua nel pozzo dovuto alla marea di 6,5 h, che potrebbero essere dovute all'ingresso di acque più mineralizzate mobilizzate dall'aumento e dal rilascio di carico idraulico causato dalle alte maree. Il monitoraggio del bacino d'acqua del pozzo ha mostrato che le variazioni idrometriche e della EC risentono sia delle maree del Mare Adriatico che delle variazioni di livello durante le piene del Fiume Isonzo (e dell'acquifero freatico da esso alimentato), oltre che della ricarica determinata dalle precipitazioni che cadono sull'altipiano. Gli innalzamenti del livello piezometrico dipendenti dalle maree hanno oscillazioni da 5 a 12 cm con ritardi di 4–4,5 h. Le variazioni della EC mostrano incrementi tra 2 e 5 μS/cm, a seconda dell'entità dell'oscillazione di marea.

Riferimenti bibliografici

Ballarin L., D'amelio L., Krokos A., Serra F., Semeraro R. (2000), Trieste Karst aquifer: review of hydrogeology and geochemistry. COST Action 621 "Groundwater management of coastal karstic aquifers", 7th Management Committee and Working Groups Meeting, Postojna, 20 pp.

Cucchi F., Zini L., Calligaris C. (2015), Le acque del Carso Classico / Vodonosnik Klasičnega Krasa. Progetto / Project Hydrokarst. Edizioni Università di Trieste EUT, 194 pp., http://book.hydrokarst-project.eu/#1/z

Drogue C., Razack M, Krivic P. (1984), "Survey of a Coastal Karstic Aquifer by Analysis of the Effect of the Sea-tide: Example of the Kras of Slovenia (Yugoslavia)". *Environmental Geology Water Sciences*, 6(2): 103–109.

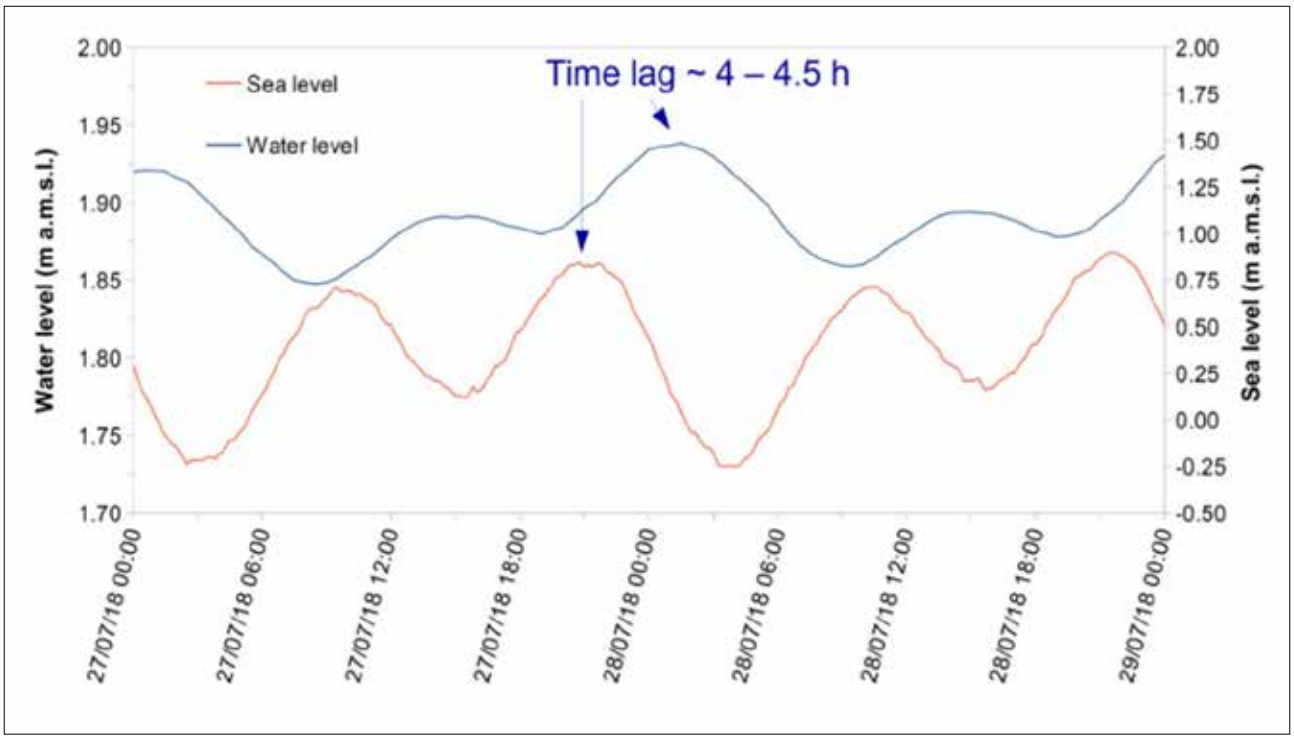


Figura 2 – Confronto tra maree sizigiali e oscillazioni del livello idrico nel pozzo.

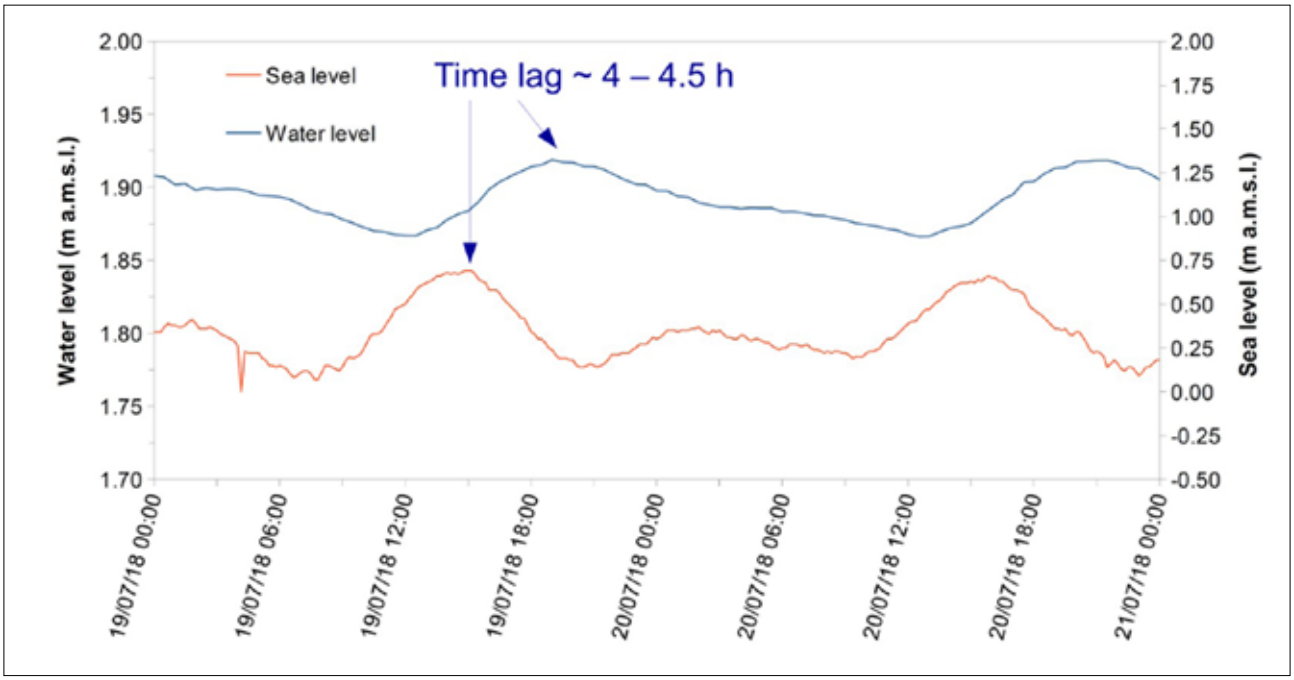


Figura 3 – Confronto tra le maree in quadratura e le oscillazioni del livello dell'acqua nel pozzo.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lecco)

Felicita Spreafico ([a]), Stefano Basiricò ([a]), Paolo Frattini ([a]), Giovanni Battista Crosta ([a]), Andrea Ferrario ([b]), Paola Tognini ([b])

([a]) Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, *f.spreafico12@campus.unimib.it*
([b]) Federazione Speleologica Lombarda, *federspeleolombarda@gmail.com*

Parole chiave: Sorgenti carsiche, test con traccianti, idrogeologia carsica
Keywords: Karst springs, tracer tests, karst hydrogeology

Riassunto
Gli acquiferi carsici rappresentano una risorsa non trascurabile per il territorio italiano, considerata l'estensione dei massicci calcarei delle aree alpine e appenniniche. Tali acquiferi, tuttavia, necessitano di un particolare grado di tutela in quanto estremamente vulnerabili.
Il massiccio della Grigna Settentrionale (2410 m s.l.m.), situato in provincia di Lecco, rappresenta una delle aree carsiche più significative d'Italia in quanto caratterizzato da un'elevata densità di doline e cavità, tra cui il Complesso del Grignone-Alfredo Bini, secondo sistema carsico più profondo a livello nazionale (Maconi et al., 2022), e la Grotta di Fiumelatte, sorgente carsica temporanea da secoli studiata a causa del suo peculiare comportamento idrologico (Guzzi, 1936; Pozzi, 1959; Bini, Sirtori, 1998).
L'acquifero carsico della Grigna è stato oggetto di studi idrogeologici, tra cui un test di tracciamento delle acque sotterranee effettuato nel 1989, grazie al quale è stata stabilita la connessione tra il noto Abisso W le Donne e la sorgente di Fiumelatte, lasciando tuttavia irrisolti alcuni dubbi circa le relazioni con la vicina grotta-sorgente perenne di Fonte Uga (Pavia, 1994).
Lo studio condotto tra il 2018 e il 2019 si colloca nell'ambito di un più ampio progetto nato dalla collaborazione tra l'Università degli Studi di Milano-Bicocca, la Federazione Speleologica Lombarda, Lario Reti Holding S.p.A. (gestore del servizio idrico integrato della provincia di Lecco) e il Parco Regionale della Grigna Settentrionale.
Il presente elaborato illustra solamente alcuni dei risultati dello studio idrogeologico condotto tra il 2018 e il 2019, per il quale sono stati realizzati anche monitoraggi mensili dei parametri chimici e idrologici di alcune delle principali sorgenti del massiccio e un test con traccianti lungo il torrente Esino, le cui perdite in alveo alimenterebbero parzialmente le acque sorgive della Grotta di Fiumelatte e di Fonte Uga (Bini et al., 2005).

Tramite l'installazione di alcuni strumenti all'interno di queste due sorgenti, entrambe captate a scopo idropotabile, tra marzo e luglio 2019 ne sono stati monitorati i parametri idrologici. Nel dettaglio, nei pressi del sifone della Grotta di Fiumelatte sono stati installati uno spettrofluorimetro G-GUN (Albillia-Neuchâtel), un conduttimetro (Insitu Acqua TROLL 100), un misuratore di pressione (Diver Eijkelkamp) e un barometro (Baro-Diver, Schlumberger), acquisendo con una frequenza di 5' temperatura, torbidità, concentrazione dei traccianti fluorescenti, conducibilità elettrica, pressione della colonna d'acqua e pressione barometrica. All'interno di Fonte Uga è stato installato uno spettrofluorimetro della stessa tipologia. Inoltre, con frequenza mensile sono stati prelevati campioni per la determinazione di pH, alcalinità e contenuto dei principali ioni tramite cromatografia (Metrohm 883 IC).L'analisi comparata dei dati, anche geochimici, delle due emergenze ha consentito di stabilire la loro effettiva connessione attraverso un sistema di troppopieno (ovvero il sifone della Grotta di Fiumelatte) e di individuare un sistema di deflusso "a dreno dominante" quale modello concettuale della loro risposta agli eventi meteorici.

Durante la fase di riattivazione della sorgente di Fiumelatte sono state individuate quattro distinte fasi nella risposta idrologica della risorgenza, ovvero: pistonaggio delle acque presenti nel sifone, pistonaggio delle acque di deflusso profondo (collettore), sostituzione prevalente (arrivo delle acque di neoinfiltrazione) e arrivo delle acque di lenta infiltrazione.

Nel giugno 2019 è stato realizzato un test con traccianti fluorescenti all'interno del massiccio carsico con lo scopo di caratterizzare i deflussi sotterranei e le relazioni con le principali sorgenti. Nell'Abisso W le Donne a -900 m sono stati immessi 5 kg di Tinopal CBS-X, mentre nella Grotta Bellaria, situata alla testata della Valle dei Mulini, sul versante Est del massiccio, sono stati immessi 500 g di Fluoresceina sodica. Le principali sorgenti della Grigna sono state monitorate attraverso spettrofluorimetri e captori a carboni attivi. I risultati del test di tracciamento hanno permesso di confermare e approfondire le modalità di connessione tra l'Abisso W le Donne (appartenente al Complesso del Grignone-Alfredo Bini) e il sistema sorgivo di Fiumelatte-Fonte Uga, nonché di ipotizzare l'esistenza di una rete di circolazione sotterranea tra la Grotta Bellaria e la bassa Valle dei Mulini.

Grazie a tale ricerca è stato possibile incrementare le conoscenze dell'idrogeologia del massiccio carsico in termini di connessione tra grotte e sorgenti e di velocità di spostamento dei flussi d'acqua sotterranei in regime idrico estivo.

Riferimenti bibliografici

Bini A., Sirtori F. (1998), "La Grotta di Fiumelatte 1501 LoLc", *Geologia Insubrica*, 3: 101-110

Bini A., Borghi P., Pozzi A., Ciceri E., Credaro A., Tognini P. (2005), "Nuovi dati sull'origine delle acque di Fiumelatte (1501 LO)", *Geologia Insubrica*, 8: 19-31

Guzzi G. (1936), "Il Fiumelatte. Come si spiega il fenomeno dell'intermittenza", *Rivista mensile Club Alpino Italiano*, 55: 403-405

Maconi A., Corvi M., Merazzi M., Spreafico F. (2022), "Esplorazioni nel massiccio del Grignone", XXIII Congresso Nazionale di Speleologia, Ormea 2022

Pavia R. (1994), "Idrologia del sistema W le Donne-Fiumelatte", *Grotte di Lombardia*, 23-27

Pozzi R. (1959), "La grotta di Fiumelatte (1501 LoCo)", *Rassegna Speleologica Italiana*, 11: 98-113

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai Ghiacciai dei Forni e del Morteratsch (CH)

Paola Tognini ([a]), Sebastian Pera ([b]), Andrea Ferrario ([c]), Mauro Inglese ([a]), Paolo Testa ([d]), Margherita Uboldi ([c])

([a]) Gruppo Grotte Milano CAI-SEM, *paolatognini@iol.it*
([b]) SUPSI Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, Istituto di Scienze della Terra, *sebastian.pera@supsi.ch*
([c]) Gruppo Grotte Saronno CAI-SSI, *fanatura14@gmail.com*
([d]) Gruppo Speleologico CAI Varallo, *speleopaolo@hotmail.com*

Pur essendo formate da processi completamente diversi (di natura fisica, e non chimica), le grotte glaciali e le grotte in rocce carsificabili mostrano molte analogie, sia morfologiche, sia per quanto riguarda la circolazione dell'acqua al loro interno. In un ghiacciaio, il ghiaccio si comporta in modo fragile nella sua parte più superficiale (circa 150-200 m nei ghiacciai temperati alpini e subpolari), presentando quindi sistemi di fratture le cui caratteristiche (distribuzione, orientamento, apertura) dipendono dallo stato tensionale a cui è sottoposto il ghiaccio stesso, che è quindi assimilabile ad un ammasso roccioso fratturato, limitato inferiormente da ghiaccio virtualmente impermeabile. Processi di fusione e sublimazione creano sistemi di cavità attraverso le quali si muovono le acque all'interno del ghiacciaio e lungo il contatto con il substrato(roccioso o detritico). La circolazione di queste acque può quindi essere studiata con i metodi normalmente utilizzati in idrogeologia carsica, in particolare con prove di tracciamento. Immettendo un tracciante in un inghiottitoio (mulino), utilizzando un fluorimetro con *data logger* nel punto di recapito alla fronte è possibile ottenere curve di restituzione continue, che permettono di studiare i sistemi di drenaggio endoglaciale.
Tali prove sono anche un metodo efficiente, veloce, semplice e poco costoso per valutare la presenza di bacini di accumulo idrico, all'interno o alla base di un ghiacciaio. Questa situazione è all'origine delle *Glacial Lake Outburst Flow* (GLOF) o piene del ghiacciaio, il cui riconoscimento precoce può essere di grande aiuto nella prevenzione di danni agli insediamenti a valle di un ghiacciaio potenzialmente soggetto a GLOF. Nonostante le prove di tracciamento non permettano di distinguere tra bacini endo- e subglaciali (con rischio di GLOF molto più elevato nel primo caso), questo tipo di test fornisce indicazioni sulla loro presenza, importante specialmente nell'attuale fase di forte instabilità dei ghiacciai, legata alle crescenti velocità di ritiro e riduzione volumetrica della massa glaciale.
A titolo di esempio delle potenzialità del metodo, vengono presentati i risultati di due test di tracciamento eseguiti

al Ghiacciaio del Morteratsch (CH) e al Ghiacciaio dei Forni (SO) (fig. 1).
I test hanno evidenziato non solo differenze nel comportamento dei due ghiacciai, ma anche tra punti di immissione diversi nello stesso ghiacciaio: in particolare, il tracciamento del Ghiacciaio del Morteratsch ha messo in luce la possibile presenza di un bacino di accumulo endo- o subglaciale nella sua lingua laterale della Vadret da Pers, a dimostrazione dell'interesse delle prove di tracciamento per riconoscere eventuali situazioni di rischio potenziale da GLOF.

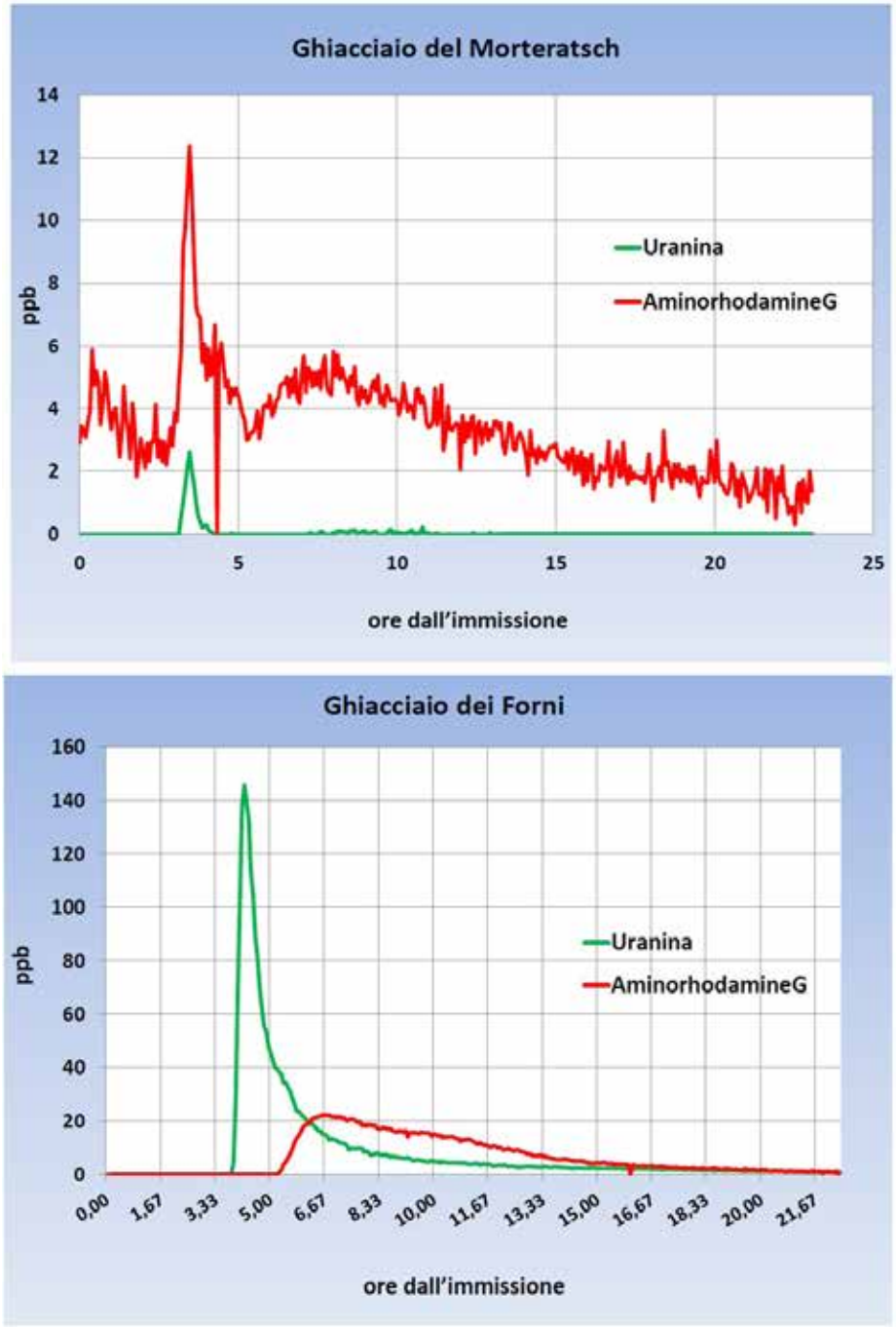


Figura 1 - I grafici della restituzione dei traccianti utilizzati (Fluoresceina sodica e AminorodaminaG, immessi in mulini differenti nei due ghiacciai) mostrano la presenza di vie di deflusso diverse per i diversi punti di immissione dello stesso ghiacciaio, e comportamenti differenti tra i due ghiacciai: in particolare, per il ghiacciaio del Morteratsch, accanto a una rete di drenaggio veloce (indice di condotti ben sviluppati) si evidenzia la possibile esistenza di un bacino di accumulo temporaneo endo- o sub-glaciale, nel ghiacciaio dei Forni invece uno solo dei mulini mostra una rete di condotte ben sviluppata (in verde), mentre l'altro mulino alimenta una circolazione attraverso una rete di fratture (in rosso).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Gli eventi di piena nelle cavità

Bartolomeo Vigna ([a])
([a]) DIATI-Politecnico di Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it*

Parole chiave: eventi di piena; onde di pressione; cavità attive e sorgenti.
Keywords: flood events; pressure waves; active cavities and springs.

Gli eventi di piena nelle cavità carsiche possono costituire oggettivi pericoli sia per gli esploratori che per gli escursionisti che non considerano o sottovalutano tale problematica. Molte grotte sono caratterizzate dall'assenza di una circolazione idrica significativa ma a volte basta anche un solo intenso gocciolio a rendere intransitabile uno stretto passaggio di un tratto a U. Chi ha vissuto in prima persona un evento di piena è senz'altro rimasto colpito innanzitutto dalla rapidità di innesco di questi fenomeni, con attivazione di significativi apporti idrici nell'arco di tempi anche inferiori al minuto. Per prestare attenzione a questi fenomeni occorre innanzitutto considerare la tipologia di apporti meteorici che possono causare problemi in grotta. Sono in genere i temporali di breve durata, ma particolarmente intensi, che si sviluppano nella stagione estiva e che sono molto difficili da prevedere, a causare i pericoli maggiori. Ovviamente è in seguito a piogge prolungate ed intense che si verificano le piene principali in una cavità con attivazione di flussi idrici o incrementi dei livelli anche in zone che in gran parte dell'anno risultato inattive. Il sopraggiungere di una perturbazione importante è ben segnalata dai bollettini meteo e solo gli speleologi più imprudenti possono incappare in situazioni di pericolo. Nelle aree in quota dove sono presenti coltri nevose significative occorre prestare notevole attenzione ai fenomeni di fusione nivale. E' proprio nelle giornate di bel tempo che si possono verificare significativi incrementi delle temperature dell'aria (legati anche a venti di compressione o di scirocco) che causano una rapida fusione della neve con rilevanti apporti idrici nei sistemi carsici. Occorre poi esaminare le diverse zone che costituiscono l'idrostruttura di un sistema carsico ed i settori che possono essere interessati da un incremento dei flussi idrici o semplicemente da una risalita dei livelli idrici che potrebbe impedire il passaggio verso l'uscita. Nelle zone di assorbimento diffuso, dove sono presenti estese porzioni di carso nudo, le acque di precipitazione o fusione nivale si infiltrano molto rapidamente nell'ammasso roccioso e possono raggiungere nell'arco di tempi molto brevi (alcune decine di minuti) i pozzi che costituiscono il reticolo di drenaggio più superficiale. In queste zone, che in genere non sono attive, possono innescarsi improvvise cascate, pericolose anche con portate ridotte. Nelle gallerie non attive ma con tratti ad U bastano anche intensi goc-

ciolii a colmare in poche ore le zone più depresse rendendole intransitabili. Per evidenziare le strette relazioni esistenti tra apporti meteorici e gli incrementi di portata o dei livelli idrici vengono riportati i dati provenienti da monitoraggi eseguiti in cavità e sorgenti delle Alpi Liguri realizzati dal Laboratorio di Idrogeologia carsica del DIATI-Politecnico di Torino. Tali dati vengono acquisiti ad alta frequenza con un intervallo di misura compreso tra un'ora (sorgenti delle Fuse, del Pesio) e 15 minuti (apporti idrici rilevati all'interno della Grotta di Bossea). Questi valori sono stati correlati con i dati di precipitazione misurati dalle stazioni di Arpa Piemonte situate in prossimità delle zone esaminate. Nella grotta di Bossea vengono monitorati attraverso piccolissimi stramazzi o semplici pluviometri oltre 10 apporti secondari che a volte sono rappresentati anche da semplici stillicidi (alimentati dalla circolazione nella rete di fratture). Tali apporti in assenza di precipitazioni sono nulli o costituiti da esigui gocciolii. In seguito a intensi temporali vengono misurati rapidi incrementi del flusso idrico che nell'arco di 3-5 ore passano da valori nulli fino a raggiungere anche 1 l/s. In un'ora quindi, anche un singolo apporto (con un volume complessivo che può superare anche un m^3 di acqua), è in grado di allagare del tutto dei piccoli passaggi con geometria ad U. Il ritardo misurato tra l'inizio della precipitazione ed il picco di portata è dell'ordine di 7-10 ore. Altrettando rapidi sono gli incrementi delle portate che vengono registrate in diverse sorgenti collegate a cavità carsiche attive come la grotta del Pis del Pesio o quella delle Fuse. Al Pesio si rilevano notevoli variazioni di portata anche in poche ore: ad esempio nell'evento del 17/08/2006 in cui sono state registrate portate da 120 l/s a 1470 l/s in 3 ore. Una simile piena ha intrappolato nell'agosto del 1999 due speleologi nelle gallerie attive dell'abisso Cappa, appartenente a tale sistema. Alle Fuse, in seguito a forti precipitazioni, le portate nell'arco di 3-4 ore passano da 30 a oltre 1.800 l/s. Tali rapidissimi incrementi dei flussi idrici, sia nella rete delle discontinuità dell'ammasso roccioso che nei settori profondi dei sistemi carsici (dove sono presenti estese gallerie "a pieno carico") non sono legati all'arrivo delle acque dalla superficie bensì alla trasmissione delle pressioni idriche denominate "onde di pressione". Tale fenomeno, che interessa zone che possono trovarsi anche a migliaia di metri dalla superficie, è legato alla messa in carico del sistema da parte delle acque di infiltrazione con risposte molto rapide dall'inizio della precipitazione e altrettanto repentini incrementi dei livelli idrici con conseguenti allagamenti di porzioni di gallerie che rendono impossibile la fuga verso l'uscita. Nei settori più vicini alla superficie sono invece le acque di infiltrazione a causare le situazioni più pericolose con rapidissimi incrementi dei flussi idrici nei reticoli di drenaggio preferenziale (pozzi semiattivi) legati anche al ruscellamento locale impostato nelle porzioni superficiali delle aree carsiche (vaste zone di carso nudo o valloni e depressioni assorbenti).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La qualità delle sorgenti della Valbrenta in Veneto: alcuni risultati del monitoraggio triennale 2019-2021

Jacopo Zannoni [a,b], Massimo Degetto [a], Chiara Ronchi [a], Francesco Frizzo [b]

[a] Istituto Agrario A. Parolini, Bassano del Grappa (VI),
j.zannoni@istitutoagrarioparolini.edu.it
[b] GGG Gruppo Grotte Giara Modon, Valbrenta (VI),
segreteriagggmodon@gmail.com

Parole chiave: sorgenti carsiche; analisi acque;, Valbrenta; Oliero
Keywords: karst springs; water analyses; Valbrenta, Oliero spring

L'Istituto Agrario A. Parolini di Bassano del Grappa (VI) e il Gruppo Grotte Giara Modon di Valbrenta (VI) nel 2019 hanno avviato un programma di monitoraggio triennale della qualità delle acque delle sorgenti della Valbrenta, nelle Prealpi Venete. Esse sgorgano in destra Brenta dal sistema idrogeologico dell'Altopiano di Asiago e in sinistra Brenta dal Massiccio del M. Grappa (Boscolo et al., 2007). A seconda della quota del punto di emissione scaturiscono dalla Dolomia principale (le più basse) o dai Calcari grigi (le più alte) (Dal Prà et al., 1969). Nei tre anni sono state effettuate complessivamente 4900 analisi strumentali e di laboratorio che hanno caratterizzato le seguenti emittenze sia dal punto di vista chimico-fisico che microbiologico (tab. 1):
Ai campionamenti (la maggior parte a cadenza bimestrale) sono seguite le successive analisi presso i laboratori dell'Istituto Parolini seguendo i protocolli IRSA-CNR (APAT Manuali e Linee Guida, 2003).
Tutte le attività hanno visto il coinvolgimento di numerosi studenti conferendo al programma scientifico anche una grande valenza didattica.
I risultati ottenuti delineano una qualità media delle acque molto buona dal punto di vista chimico, nettamente superiore a quella di altri corpi idrici sotterranei (falde di pianura) o superficiali del Veneto, spesso compromesse da decenni di contaminazioni di origine urbana, industriale e agricola. Il valore dei nitrati, per esempio, è sempre compreso tra 4 e 8 mg/L in tutte le sorgenti senza mostrare picchi durante l'anno; i fosfati e l'ammonio sono quasi sempre inferiori a 0.2 mg/L. Tuttavia in alcune sorgenti sono emerse delle criticità sotto il profilo microbiologico, osservabili in occasione della stagione estiva a causa dell'aumento delle pressioni antropiche di origine turistica e della zootecnia montana nell'area dell'Altopiano di Asiago e del Massiccio del Grappa. Le criticità, quali la carica batterica totale elevata ma soprattutto l'aumento dei batteri di origine fecale (*E. coli* e coliformi totali), emergono in modo evidente in seguito all'effetto dilavante degli eventi piovosi estivi più intensi (fig. 1).
Le più esposte a questa criticità sono le

Comune	Sorgenti monitorate	N. campionamenti
Valbrenta (VI)	- Sorgente Oliero (Cogol dei Veci) - Fontana Moretti-Ponte Subiolo - Sorgente Tovo (ex acquedotto Valstagna) - Fontanella Lebo - Fontanella Valgadena - Sorgente Borin - Sorgente Val Caprile (ex acquedotto S. Marino) - Sorgente Grottella - Fontanella dei Mori (Valstagna)	16 18 11 15 6 16 8 16 2
Solagna (VI)	- Fontanazzi di Solagna	19
Bassano del Grappa (VI)	- Sorgente Nassa (Campese) - Sorgente Stue (Campese) - Fontana S. Eusebio	20 15 10
Totale numero campionamenti		172

Tabella 1 - Sorgenti sottoposte a monitoraggio e numero di campionamenti effettuati

Sorgenti dell'Oliero, Fontana Moretti, i Fontanazzi di Solagna e la Sorgente Nassa di Campese. Si sottolinea il fatto che queste quattro sorgenti sono quelle caratterizzate anche da una maggiore portata tra tutte quelle monitorate in valle.

In sintesi è possibile affermare che le sorgenti con portate maggiori (direttamente collegate alle zone antropizzate in montagna) presentano un rischio di contaminazione microbica rilevante nei mesi estivi e in seguito a fenomeni piovosi intensi, mentre quelle più piccole sono molto stabili e presentano cariche microbiche estremamente basse che, in alcuni casi e in alcuni periodi dell'anno, mostrano una sostanziale sterilità microbiologica.

Merita infine attenzione una sorgente che per qualità e portata potrebbe essere nuovamente valorizzata come fonte sicura di acqua di alta qualità e dove non sembrerebbe necessario alcun trattamento potabilizzante: la Sorgente del Tovo (ex acquedotto di Valstagna), che ha portate variabili tra i 15 L/sec e i 100 L/sec, nei tre anni di monitoraggio ha presentato cariche batteriche prossime allo zero anche in estate e dopo eventi piovosi consistenti.

Riferimenti bibliografici

Dal Prà A., Stevan L. (1969), *Ricerche idrogeologiche sulle sorgenti carsiche della zona di Valstagna, in destra Brenta, ai piedi dell'Altopiano dei Sette Comuni (Prealpi Venete),* Tecnica Italiana.

Boscolo C., D'Alberto L., Mion F. (2007), *Atlante delle sorgenti del Veneto,* ARPAV.

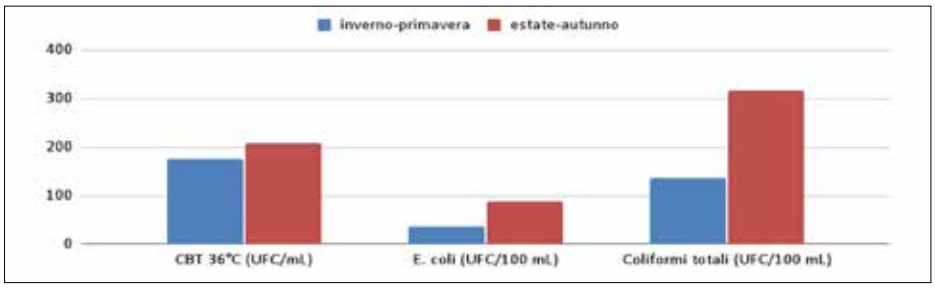


Figura 1 - Innalzamento medio dei parametri microbiologici (medie dei valori del triennio 2019-2021) dal periodo estivo in poi (Sorgente Cogol dei Veci, Oliero)

Geologia e processi carsici

di Luca PISANI, Ilenia D'ANGELI e Leonardo PICCINI

Esistono relazioni molto strette tra le caratteristiche geologiche di un territorio e le modalità (e l'entità) con cui si manifestano i processi carsici. Tali processi (legati essenzialmente a fenomeni di dissoluzione e/o corrosione) «leggono» la geologia di un territorio evidenziandone certe caratteristiche lito-strutturali e adattandosi ad esse.
La litologia, le proprietà petrofisiche delle rocce (porosità e permeabilità), e l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso rappresentano quindi l'impalcatura su cui i processi carsici agiscono, sia in superficie sia nel sottosuolo.
L'entità, la distribuzione e la morfologia delle forme carsiche superficiali e sotterranee dipendono dunque principalmente dalle caratteristiche petrografiche e litologiche, dall'intensità di fratturazione, e dalla presenza di grandi sistemi di pieghe e/o zone di faglia. Riconoscere il ruolo di questi fattori, che possiamo definire "passivi" in quanto rappresentano le condizioni iniziali e sostanzialmente indipendenti dallo sviluppo dei fenomeni carsici, permette di riconoscere il ruolo di altri fattori, che sono invece attivi e interdipendenti con il carsismo stesso, come ad esempio la topografia, l'assetto idrologico e, non ultimo, il clima.
Allo stesso tempo il carsismo è un fattore geologico che si manifesta con morfologie superficiali e sotterranee, assetti idrogeologici e neo-formazioni deposizionali di natura sia fisica sia chimica, e spesso anche biologica. In tal senso le grotte rappresentano delle "finestre" sul sottosuolo che ci consentono di osservare, documentare e comprendere lo sviluppo nello spazio e nel tempo di fenomeni geologici che hanno modellato (o che modellano tutt'ora) i vuoti sotterranei, e degli agenti biologici che si sono adattati a vivere in condizioni estreme.
Andamento e forma dei condotti carsici sono infatti strettamente controllati dalle modalità di circolazione delle acque, dall'evoluzione morfo-tettonica locale e dal variare delle condizioni idro/climatiche in risposta a processi locali, regionali o a scala globale.
Inoltre, le caratteristiche petrografiche e sedimentologiche dei riempimenti clastici (fisici) e chimici (di precipitazione ed alterazione) dipendono principalmente dall'idrologia, dal clima e, talvolta, dall'interazione tra processi di natura geo-biologica.
Esistono quindi varie chiavi di lettura (e di indagine) che possono essere applicate allo studio e alla comprensione dei fenomeni speleogenetici, che trovano oggi un ampio interesse sia nella comunità accademica che in quella speleologica, come dimostrato dalla quantità di lavori presentati in questo congresso.
Comprendere i rapporti tra geologia e processi carsici è quindi condizione imprescindibile per qualsiasi studio che abbia come oggetto forme e fenomeni carsici, compresi quelli di natura biologica e ambientale. Al tempo stesso, inquadrare le forme carsiche (e in particolare le grotte) nel loro contesto geologico è di grande utilità anche per le esplorazioni speleologiche. Le potenzialità esplorative di una grotta dipendono prima di tutto dall'assetto strutturale dell'area, e la "strategia" esplorativa può trarre utili indicazioni dal saper interpretare come tale assetto ne ha condizionato la struttura e l'evoluzione.
Per tale ragione questa tavola rotonda è stata organizzata cercando di stimolare una discussione aperta a un pubblico non specialistico sui temi di ricerca che

rappresentavano le principali categorie delle comunicazioni presentate: controllo geologico/strutturale sul carsismo (2 lavori), speleogenesi ipogenica (7 lavori), analisi morfometriche di strutture e forme carsiche (3 lavori), depositi di grotta (3 lavori).
La sessione è stata introdotta da una *key-note* sintetica da parte dei relatori allo scopo di presentare una panoramica sui principali temi di indagine coinvolti. Per ogni tematica sono state scelte un massimo di due presentazioni orali, in modo da garantire un tempo maggiore per la discussione che si è rivelata stimolante e produttiva, sebbene il tempo a disposizione fosse comunque limitato data la grande complessità (e variabilità) dei temi proposti. La restante parte delle comunicazioni è stata presentata sotto forma di poster.
Nonostante la grande sfida di organizzare una tavola rotonda diversa dalle "classiche" sessioni scientifiche a cui siamo abituati, che racchiudesse in sé un'innumerevole mole di temi di ricerca e discipline diverse tra loro, pensiamo che la scelta di valorizzare le discussioni aperte sia risultata funzionale allo scopo. Anche se molte comunicazioni non hanno avuto tempo di essere presentate oralmente, ciascun lavoro ha trovato spazio nei minuti messi a disposizione per le discussioni di ogni tematica.
La natura inter-settoriale e multi-disciplinare della tavola rotonda ha creato diversi momenti di approfondimento interessanti e, speriamo, di arricchimento culturale per chi vi ha partecipato.

Geology and karst processes

by Luca PISANI, Ilenia D'ANGELI and Leonardo PICCINI

There are very close relationships between the geological characteristics of a territory and the ways (and the extent) with which karst processes occur. These processes (essentially linked to dissolution and/or corrosion phenomena) "read" the geology of a territory, highlighting certain litho-structural characteristics and adapting to them.
The lithology, the petrophysical properties of the rocks (porosity and permeability), and the structural arrangement of the rock mass therefore represent the scaffolding on which the karst processes act, both on the surface and in the subsoil.
The extent, distribution and morphology of surface and underground karst forms therefore depend mainly on the petrographic and lithological characteristics, the intensity of fracturing, and the presence of large systems of folds and/or fault zones. Recognizing the role of these factors, which we can define as "passive" as they represent the initial conditions and substantially independent from the development of karst phenomena, allows us to recognize the role of other factors, which are instead active and interdependent with karst itself, such as for example the topography, the hydrological structure and, last but not least, the climate.
At the same time karst is a geological factor that manifests itself with surface and underground morphologies, hydrogeological assets and depositional neo-formations of both physical and chemical nature, and often also biological. In this sense, the caves represent "windows" on the subsoil that allow us to observe, document and understand the development in space and time of geological phenomena that have modeled (or still model) the underground voids, and of biological agents who have adapted to living in extreme conditions.
The trend and shape of karst conduits are in fact strictly controlled by the modes of water circulation, by the local morpho-tectonic evolution and by the varying hydroclimatic conditions in response to local, regional or global scale processes. In addition, the petrographic and sedimentological characteristics of clastic (physical) and chemical (precipitation and alteration) fillings mainly depend on hydrology, climate and, sometimes, the interaction between geo-biological processes.
Therefore, there are various interpretations (and research keys) that can be applied to the study and understanding of speleogenetic phenomena, which today find a wide interest both in the academic community and in the speleological one, as demonstrated by the quantity of works presented in this congress.
Understanding the relationships between geology and karst processes is therefore an essential condition for any study that has as its object karst forms and phenomena, including those of a biological and environmental nature. At the same time, framing karst forms (and caves in particular) in their geological context is also of great use for speleological explorations. The exploratory potential of a cave depends first of all on the structural grain of the area, and the exploratory "strategy" can draw useful information from knowing how to interpret how this structure has affected its morphology and evolution.
For this reason, this round table was organized trying to stimulate a discussion

open to a non-specialist public on the research topics that represented the main categories of the communications presented: geological/structural control on karst (2 papers), hypogenic speleogenesis (7 papers) , morphometric analysis of karst structures and shapes (3 works), cave deposits (3 works).
The session was introduced by a synthetic key-note by the speakers in order to present an overview of the main research topics involved. A maximum of two oral presentations were chosen for each topic, in order to guarantee more time for the discussion which proved stimulating and productive, although the time available was still limited given the great complexity (and variability) of the proposed topics. The remainder of the communications were presented in the form of posters.
Despite the great challenge of organizing a round table different from the "classic" scientific sessions we are used to, which encompasses an innumerable amount of research topics and disciplines that are different from each other, we think that the choice to enhance open discussions resulted functional for the purpose. Although many communications did not have time to be presented orally, each work found space in the minutes made available for discussion of each topic.
The inter-sectorial and multi-disciplinary nature of the round table created several interesting moments of study and, we hope, cultural enrichment for those who participated.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Nuove conoscenze sull'evoluzione speleogenetica del sistema delle Grotte di Toirano (Liguria)

Philippe Audra ([a]), Andrea Columbu ([b]), Fernando Gàzquez ([c]), Ilenia M. D'Angeli ([d]), Jean-Yves Bigot ([e]), Roberto Chiesa ([f]), Tsai-Luen Yu ([g]), Chuan-Chou Shen ([g]), Cristina Carbone ([h]), Jean-Claude Nobecourt ([e]), Jo De Waele ([d])

([a]) University Cote d'Azur Polytech'Lab, Nice, France *Philippe.AUDRA@univ-cotedazur.fr*
([b]) Dipartimento Chimica, Scienze della Vita e Sostenibilità Ambientale, Sezione delle Scienze della Terra, Università di Parma, *andrea.columbu@unipr.it*
([c]) Department of Biology and Geology. University of Almeria, Spain, *f.gazquez@ual.es*
([d]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, *jo.dewaele@unibo.it, dangeli.ilenia89@gmail.com*
([e]) French Association of Karstology, *jeanbigot536@gmail.com, jcnobecourt@free.fr*
([f]) Gruppo Speleologico Cycnus, Toirano*, bobchurch69@gmail.com*
([g]) High-Precision Mass Spectrometry and Environmental Change Laboratory (HISPEC), Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan ROC*, d00224009@g.ntu.edu.tw, river@ntu.edu.tw*
([h]) DISTAV, Università degli Studi di Genova, C.so Europa 26, 16132 Genova, *cristina.carbone@unige.it*

Parole chiave: speleogenesi; carsismo ipogenico; datazioni; isotopi stabili
Keywords: speleogenesis; hypogene karst; dating; stable isotopes

Il sistema carsico di Toirano (Liguria) comprende diverse grotte, tra cui le più importanti sono la Grotta del Colombo (247 m s.l.m.), di Santa Lucia Superiore o del Santuario (215 m s.l.m.) e Inferiore (201 m s.l.m.), e la Grotta della Bàsura (186 m s.l.m.). In passato la genesi del sistema di grotte era considerata di origine fluviale (Calandri, 2001; Sarigu, 2001). L'azione delle acque correnti avrebbe così creato il reticolo di gallerie freatiche, impostate sulle maggiori direttrici strutturali dell'area. Osservazioni di dettaglio su pareti e soffitti denotano morfologie ad andamento ascendente (cupole e *megacusps*) ed in alcune zone, malgrado il forte concrezionamento che limita la visibilità, sono stati trovati i canali di alimentazione (cosiddetti *feeder*) che portavano le acque in risalita nel sistema in evoluzione (sembrano essere quindi grotte ipogeniche). Le analisi mineralogiche non hanno messo in evidenza minerali tipici delle grotte sulfuree (D'Angeli et al., 2018), come il gesso, l'alunite e la jarosite, ma sono invece abbondanti i minerali carbonatici, come la calcite, l'aragonite, la huntite, la magnesite (minerali tipici di

grotte formate nelle dolomie). È quindi probabile che l'acidità delle acque derivi da CO_2. Sui depositi di guano antichi si trovano gesso, ardealite, brushite, e newberyite (Audra et al., 2019). Attualmente, sia per le forti correnti d'aria che attraversano il sistema dagli ingressi situati a diverse quote (le grotte sono collegate attraverso un tunnel artificiale), sia per la vicinanza del mare e presenza di masse d'aria umide e calde, soprattutto nella stagione calda le aree vicine agli ingressi sono interessate da intensi fenomeni di condensazione, e la relativa corrosione. Gli isotopi stabili indicano che gli speleotemi analizzati sono il prodotto di precipitazione da acque meteoriche con temperature simili a quelle dell'attuale sorgente nel vicino paese di Toirano (acque a bassa termalità, 22-23 °C). Le datazioni U/Th degli speleotemi più antichi superano il limite del metodo, e dimostrano quindi che le grotte sono antecedenti a 600 mila anni. Sabbie quarzitiche di origine marina (anche attualmente le spiagge attorno all'area di studio sono dominate da quarzo) campionate nella Grotta del Colombo (il livello più alto, e quindi più antico) hanno fornito un'età di 1,8 milioni di anni con il metodo $^{26}Al/^{10}Be$, da considerare un'età minima per le limitazioni della metodologia applicata. Queste sabbie sarebbero state trasportate nelle grotte durante le fasi terminali di innalzamento Pliocenico del livello del mare (e di base), attorno ai 2 milioni di anni fa. Prendendo 1,8 milioni di anni come età minima, la Grotta del Colombo dalla sua formazione si sarebbe sollevata (insieme all'intera catena montuosa) da quota -60 m (probabile posizione del livello di mare alla fine del Gelasiano) fino alla quota odierna (250 m s.l.m.), corrispondente ad un tasso medio di sollevamento di circa 0,17 mm/anno. Sulla base di questo dato, la Grotta dell'Ulivo potrebbe avere un'età minima stimata di circa 2,5 milioni di anni, mentre le più recenti (Sistema Santa Lucia Superiore-Grotta della Bàsura) potrebbero essersi formate tra 1,6 e 1,4 milioni di anni fa (Columbu et al., 2021).

Riferimenti bibliografici

Audra P., De Waele J., Bentaleb I., Chroňáková A., Krištůfek V., D'Angeli I. M., Carbone C., Madonia G., Vattano M., Scopelliti G., Cailhol D., Vanara N., Temovski M., Bigot J.-Y., Nobécourt J.-C., Galli E., Rull F., Cailhol D. (2019), "Guano-related phosphate-rich minerals in European caves", *International Journal of Speleology*, 48(1): 75-105.

Calandri G. (2001), "L'evoluzione del carsismo nel Toiranese: nota preliminare", In Atti V Convegno Speleologico Ligure "Toirano 2000", 117-120.

Columbu A., Audra P., Gázquez F., D'Angeli I. M., Bigot J. Y., Koltai G., Chiesa R., Yu T.-S., Hu H.-M., Shen C.C., Carbone C., Heresanu V., Nobécourt J.C., De Waele J. (2021), "Hypogenic speleogenesis, late stage epigenic overprinting and condensation-corrosion in a complex cave system in relation to landscape evolution (Toirano, Liguria, Italy)", *Geomorphology*, 376: 107561.

D'Angeli I. M., Carbone C., Nagostinis M., Parise M., Vattano M., Madonia G., De Waele J. (2018), "New insights on secondary minerals from Italian sulfuric acid caves". *International Journal of Speleology*, 47(3): 271-291.

Sarigu S. (2001), "Il carsismo del complesso turistico di Toirano: descrizione strutturale, morfologica e concrezionale. Ipotesi genetica per la grotta della Bàsura", *Atti V Convegno Speleologico Ligure "Toirano 2000"*, 149-156.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Studio dei cambiamenti di peso di tavolette calcaree in grotte sulfuree del sud Italia

Ilenia M. D'Angeli ([a,b]), Mario Parise ([c]), Marco Vattano ([d,e]), Giuliana Madonia ([d]), Ana Z. Miller ([f,g]), Jo De Waele ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, Bologna, Italia, *dangeli.ilenia89@gmail.com; jo.dewaele@unibo.it*
([b]) Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Italia *ileniamaria.dangeli@unipd.it*
([C]) Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università Aldo Moro, Bari, Italia, *mario.parise@uniba.it*
([d]) Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università di Palermo, Palermo, Italia, *marco.vattano@unipa.it; giuliana.madonia@unipa.it*
([e]) Associazione Naturalistica Speleologica "Le Taddarite", Palermo
([f]) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiologia de Sevilla, IRNAS-CSIC, Spagna, *anamiller@irnas.csic.es*
([g]) HERCULES laboratorio, Universidade de Évora, Portogallo, *anamiller@uevora.pt*

Parole chiave: dissoluzione-corrosione; acque sulfuree; solfati; grotte ipogeniche
Keywords: dissolution-corrosion; sulfuric waters; sulfates; hypogene caves

Nella speleogenesi sulfurea (SAS), l'ossidazione del H_2S rappresenta un processo fondamentale per la formazione delle grotte. Difatti, non appena la superficie carbonatica ($CaCO_3$) viene esposta all'acido solforico (H_2SO_4), il processo di corrosione ha inizio. In condizioni aeree, il carbonato di calcio ($CaCO_3$) viene facilmente sostituito dal gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), uno dei più comuni prodotti in contesti SAS. La comprensione di questo processo nei sistemi attivi SAS risulta importante per la valutazione degli stadi evolutivi di una grotta, da correlare, successivamente, all'evoluzione del territorio.
Il 25% dei sistemi SAS conosciuti al mondo si trovano in Italia, e molti di questi sono ancora attivi. In alcuni sistemi attivi del sud Italia (Grotta delle Ninfe e Terme Sibarite in Calabria, Grotta Fetida in Puglia, e Sorgente della Grotta dell'Acqua Fitusa in Sicilia), tra la fine del 2015 e l'inizio del 2016, sono state istallate diverse stazioni di tavolette carbonatiche (calcare e marmo) per monitorare il processo nell'arco di 5 anni. Le tavolette, di 7x4x1 cm e del peso medio di 74 g, sono state posizionate in tre distinte condizioni: sospese in aria, sott'acqua e nella zona d'interfaccia (fig. 1).
Dalle misure è evidente che l'ambiente di esposizione sia un fattore importante per la perdita/incremento di peso. In generale, le tavolette posizionate

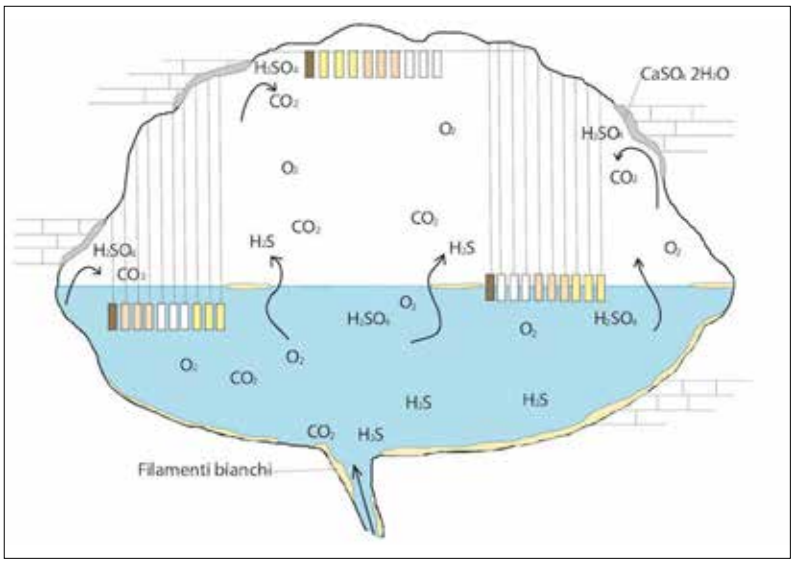
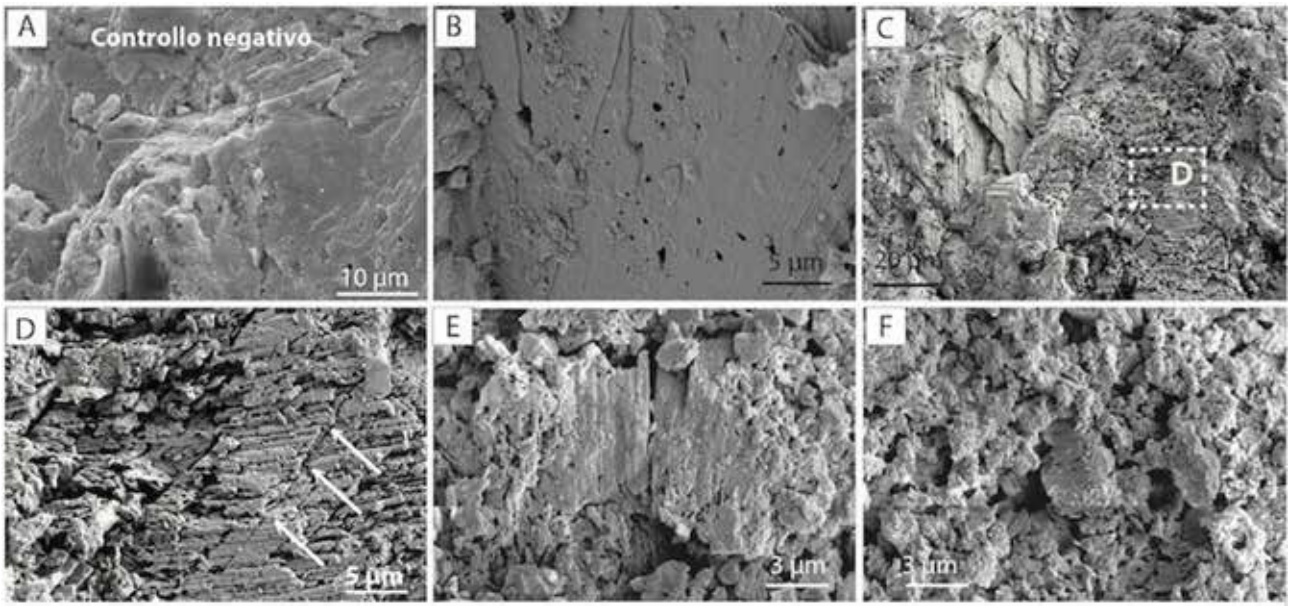


Figura 1 (a fianco) - Nel disegno vengono messe in evidenza le varie condizioni in cui sono state posizionate le tavolette.

Figura 2 (in basso) - A) Controllo negativo (non istallata in grotta); da B a F) Strutture di corrosione osservate sulle tavolette di Calcare di Altamura messe sott'acqua nella grotta Fetida per 3 mesi.



sott'acqua hanno mostrato perdita di peso con valori di 41 mg/cm^2 anno in Grotta Fetida, 9 nelle Terme Sibarite, 38 nella Grotta delle Ninfe, e un aumento di peso di circa 1 mg/cm^2 anno in Acqua Fitusa. All'interfaccia hanno subito perdite di peso di 50 (Grotta Fetida), 16 (Acqua Fitusa), 52 (Grotta delle Ninfe) e un aumento di 15 mg/cm^2 anno (Terme Sibarite). Le tavolette in condizioni aeree hanno invece subito un incremento di peso e i loro valori corrispondono a 11 mg/cm^2 anno per la Grotta Fetida, 0.3 per l'Acqua Fitusa e per le Terme Sibarite e nessun cambiamento nella Grotta delle Ninfe.

Analisi morfologiche effettuate al microscopio SEM dell'Università di Siviglia, su tavolette di Calcare di Altamura, esposte in grotta (Grotta Fetida) per 3 mesi sono visibili in Figura 2. Parallelamente è stato eseguito anche un controllo negativo, ossia osservando tavolette non istallate in grotta (fig. 2A). Le tavolette esposte in grotta mostrano chiari segni di corrosione sulla superficie esterna (Figura 2B-C-D-E-F), dovuti all'interazione del carbonato ($CaCO_3$) con l'acido solforico (H_2SO_4), oppure legati alla presenza di comunità microbiche osservabili come filamenti bianchi, e assenti sul controllo negativo (fig. 2A)

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Perché le concrezioni di fosfati sono ritenute rare?

Jo De Waele ([a]), Paolo Forti ([b])
([a]) Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, *jo.dewaele@unibo.it*
([b]) Istituto Italiano di Speleologia, Università di Bologna, *paolo.forti@unibo.it*

Parole chiave: Idrossiapatite, speleotema, minerogenesi, grotta
Keywords: Hydroxylapatite, speleothem, minerogenesis, cave

Tra i minerali di grotta i fosfati, generalmente correlati alla presenza di guano e/o ossa rappresentano il secondo gruppo con circa sessanta differenti composti (Audra et al., 2019). Nonostante siano molto diffusi nelle grotte di tutto il mondo, solo di rado formano concrezionamenti ben sviluppati, costituiti essenzialmente da un solo minerale: l'idrossiapatite ($Ca_5(PO_4)_3OH$). Lo studio dei processi che sovrintendono alla formazione di speleotemi di questo fosfato ha permesso di evidenziare come tale meccanismo sia praticamente lo stesso di quello delle concrezioni di calcite: la diffusione della CO_2 nell'atmosfera di grotta. L'idrossiapatite viene trasportata facilmente in soluzione in presenza di elevate quantità di CO_2 (pH basso). Non appena la goccia affiora in un ambiente aerato, il fosfato precipita prima della calcite, formando concrezioni morfologicamente identiche a quelle del carbonato di calcio. Il $Ca_5(PO_4)_3OH$ forma quasi tutti i principali tipi di speleotemi, eccetto le cannule e le eccentriche. Per comprendere perché sia così raro trovare concrezioni di idrossiapatite è necessario analizzare come varia in natura la solubilità dei principali minerali fosfatici, e poi elaborare un modello che descriva le condizioni che permettono l'evoluzione degli speleotemi fosfatici. Le curve di solubilità dei fosfati di calcio che più comunemente si rinvengono in grotta (Fig.1) evidenziano come la solubilità di tutti questi minerali sia inversamente proporzionale al pH e, tra questi, l'idrossiapatite è quello che più risente dell'acidità, tanto che la sua solubilità passa da circa 1 g/l a pH 4 a meno di 1 mg/l a pH 8, divenendo quindi meno solubile della calcite a pH superiore a 6.

Questo spiega come mai sia proprio l'idrossiapatite a formare concrezioni, e non gli altri fosfati di calcio. Tuttavia, il meccanismo che porta al trasporto in soluzione e quindi alla formazione delle concrezioni è complesso e richiede, in più occasioni, una drastica variazione di pH (fig. 1). La solubilità del $Ca_5(PO_4)_3OH$, infatti, è più sensibile alla variazione del pH rispetto al $CaCO_3$ (Fig. 1) e pertanto precipiterà prima. Inoltre, il $Ca_5(PO_4)_3OH$, formandosi, sottrae dall'equilibrio chimico una grande quantità di calcio, e impedisce quindi alla calcite di precipitare. Tale meccanismo spiega come mai le concrezioni di questo minerale siano sempre pure o al massimo abbiano al loro interno una presenza minoritaria di

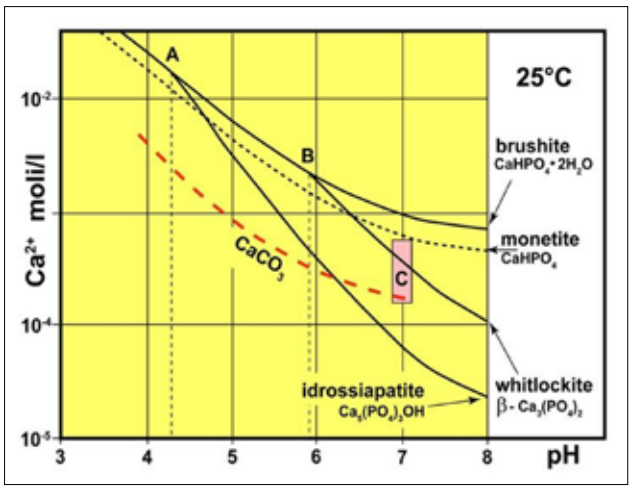


Figura 1 – Concentrazione del Ca^{2+} in funzione del pH in una soluzione satura rispetto a ciascuno dei 4 minerali fosfatici più comuni a temperatura di 25°C. A e B sono i punti in cui la concentrazione della idrossiapatite e della whitlockite diventano uguali a quella della brushite: la curva relativa alla monetite è tratteggiata, perché questo minerale non esiste in presenza di acqua. La linea rossa è quella della saturazione della calcite in funzione del pH. il riquadro C indica la variabilità della solubilità della calcite in funzione della pressione parziale di CO_2 nell'atmosfera (da Brown 1971, modificato)

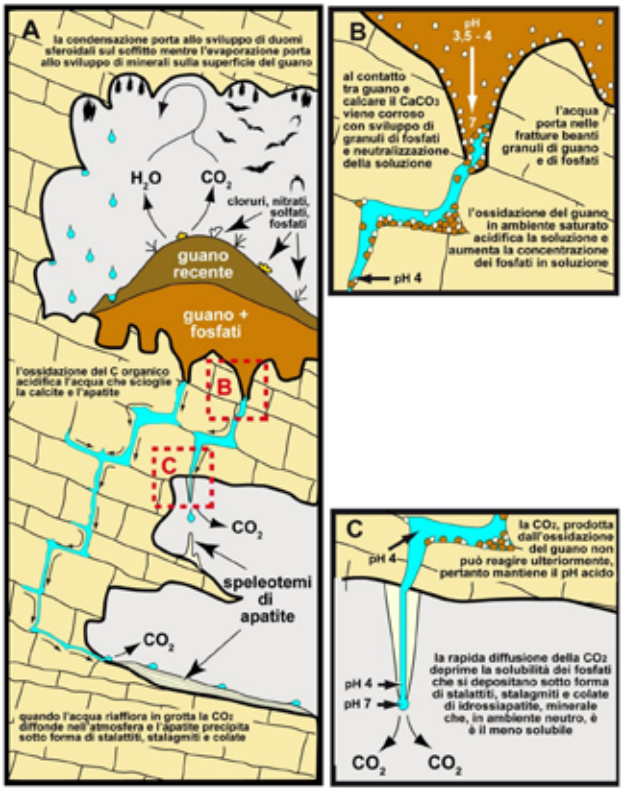


Figura 2 - Schema di una grotta in calcare in cui si sviluppano speleotemi di idrossiapatite.

carbonatoapatite, in cui il gruppo CO_3^{2-} sostituisce nel reticolo cristallino alcuni dei gruppi PO_4^{3-}.

È comunque necessario che il guano sia a contatto con la roccia calcarea (fig. 2A) e che esistano fratture della roccia che permettano la percolazione (fig. 2B). Nei periodi di alto flusso idrico, l'acqua trascinerà nella frattura sottostante granuli di fosfato e particelle organiche, che ossidandosi, causeranno la formazione di CO_2 che acidificherà la soluzione, inducendo una maggiore solubilità dei fosfati. Quando la soluzione arriva poi nella zona aerata (Fig. 2C), si ha la diffusione della CO_2, con un repentino aumento del pH, e conseguente forte diminuzione della solubilità sia dei fosfati che del $CaCO_3$. Ma il calo del $Ca_5(PO_4)_3OH$ è maggiore (con valori attorno ai 5 mg/l), mentre il $CaCO_3$ resta tra i 40-100 mg/l (Fig.1). Così solo la idrossiapatite precipita.

Riferimenti bibliografici

Audra P., De Waele J., Bentaleb I., et al. (2019), "Guano-related phosphate-rich minerals in European caves", *International Journal of Speleology*, 48(1): 75-105.

Brown W.E. (1971), "Solubilities of phosphates and other sparingly soluble compounds", *National Bureau of Standards report* 1059, 6.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Speleogenesi della Grotta Spirito (Vallone degli Alberghi, Palanfrè, CN)

Nicolò L. Fiori

Gruppo Speleologico Alpi Marittime (CAI Cuneo), via Porta Mondovì 5 - 12100 Cuneo, *sir.flowers.nl@gmail.com*

Parole chiave: carsismo; speleogenesi; geologia; Alpi Marittime
Keywords: karst; speleogenesis; geology; Maritime Alps

Introduzione

È merito del Gruppo Speleologico Alpi Marittime (GSAM) – CAI Cuneo la recente scoperta della "Grotta Spirito" (quota ingresso 1585 m, 1,4 km sviluppo, -92 m, in esplorazione; Fiori, 2019), ovvero il primo passo all'interno del "Sistema carsico del Vallone degli Alberghi" (Fiori, 2022), inserito a sua volta nell'area carsica della Val Grande (Elia, 1986).

Considerazioni speleogenetiche

Le perlustrazioni condotte in questa sede presso Costa Lausea, permettono di segnalare innanzitutto la presenza di estese morfologie tipiche del carsismo superficiale, soprattutto a quote elevate. Le morfologie più frequenti sono: forme di dissoluzione, doline, pozzi a neve, campi solcati e piccole grotte. A quote inferiori si annoverano soltanto alcune grotticelle, balme, la forra (carsico-erosiva) di fondovalle, oltre a campi solcati esclusivi degli affioramenti del Calcare a Nummuliti (Barale et al., 2016). Osservando le caratteristiche morfologiche della Grotta Spirito, è possibile avanzare alcune ipotesi circa la sua speleogenesi. Dalle esplorazioni attuali, si evince che la grotta è sviluppata esclusivamente all'interno dei Calcari del Garbella, massivi e scarsamente fratturati (Barale et al., 2016). La cavità è costituita prevalentemente da condotte freatiche/epifreatiche a sezione piuttosto circolare, i cui diametri medi variano dal metro fino ai 3-4 m. Caratteristico è il contesto di formazione della maestosa Galleria dell'Allunaggio, mostrante caratteri tipici di uno sviluppo iniziale in contesto freatico, per poi aver subito vistosi crolli a soffitto in tempi più recenti. Altri ambienti che mostrano invece morfologia tipica dello sviluppo in contesto epifreatico/vadoso, sono costituiti da strette forre meandriformi, riscontrate nelle porzioni altimetricamente più elevate della grotta. A collegare verticalmente questi ambienti, vi sono due pozzi a sezione circolare, di cui uno molto ben sviluppato e continuo (Pozzo dei Fossili, 25 m) e un altro più discontinuo (P15). Attualmente sono stati percorsi soltanto ambienti fossili e non sono stati incontrati corsi d'acqua sotterranei che permettano di definire

l'attuale fascia di fluttuazione del livello piezometrico del sistema. La stratificazione dei calcari risulta il carattere geologico più significativo di controllo della speleogenesi. Osservando infatti la sezione del rilievo, si può notare un allineamento di tutti gli ambienti topografati lungo piani inclinati di circa 20-25° verso nord: dato in accordo con le giaciture della stratificazione. L'esame della pianta del rilievo permette invece di osservare due direzioni principali di sviluppo: i sistemi di faglie N-S e NE-SW (vedi fig. 1 di Fiori, 2022) a cui la grotta è assai prossima, condizionerebbero pertanto l'andamento planimetrico degli ambienti ipogei. La quantità di carico solido deposto è rilevante: trattasi di ciottoli arrotondati di rocce del substrato impermeabile (gneiss e conglomerati). Nel caso del Ramo degli Struzzi, questi raggiungono il diametro decimetrico.

Le osservazioni sin qui effettuate permettono pertanto di ipotizzare che la grotta sia di formazione epigenica per infiltrazione alloctona (Palmer, 2001) in acquifero scarsamente fratturato. Queste considerazioni, inserite nel contesto geologico-strutturale dell'area (Fiori, 2022), permettono di osservare come attualmente le esplorazioni si siano limitate ad antichi ambienti ora sospesi per approfondimento del livello piezometrico. È plausibile che quest'ultimo lambisca più a monte il contatto con le rocce impermeabili presenti al di sotto dei calcari (Fiori, 2022) e che fluttui senza mai raggiungere gli ambienti ad oggi esplorati. Ciò permette di ipotizzare ulteriori sviluppi della cavità al di sotto della quota più bassa ad oggi raggiunta. Verso monte invece, la continuità delle condotte potrebbe essere interrotta o deviata in prossimità di faglie, lungo le quali potrebbero svilupparsi forre o pozzi.

Riferimenti Bibliografici

AGSP (2010), *Atlante delle aree carsiche piemontesi,* Associazione dei gruppi speleologici piemontesi - AGSP, Torino.

Barale L., Bertok C., d'Atri A., Martire L., Piana F., Domini G. (2016), "Geology of the Entracque–Colle di Tenda area (Maritime Alps, NW Italy)", *Journal of Maps*, 12:2, 359-370

Elia E. (1986), "Il carsismo della Val Grande di Vernante", in Associazione dei Gruppi Speleologici Piemontesi - AGSP (a cura di), *Sintesi delle conoscenze sulle aree carsiche piemontesi*, 35

Fiori N.L. (2022), "Studio preliminare del Sistema carsico del Vallone degli Alberghi (Palanfrè, CN)", *Piccolo Mondo Ipogeo* [Manoscritto sottomesso per la pubblicazione].

Fiori N.L. (2019), "La scoperta e l'esplorazione della "Grotta Spirito": il Sistema carsico del Vallone degli Alberghi, Palanfrè (CN)", *Piccolo Mondo Ipogeo*, 82: 18-23

Palmer A.N. (2001), "Dynamics of cave development by allogenic water", *Acta Carsologica*, 30: 13-32.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le septarie della Grotta DeliNpero (Monti Lessini)

Paolo Forti ([a]), Guido Gonzato ([b]), Guido Rossi ([c])
([a]) Istituto Italiano di Speleologia, Università di Bologna, paolo.forti@unibo.it
([b]) Commissione Speleologica Veronese, guido.gonzato@gmail.com, rossigui@libero.it

Parole chiave: sedimenti di grotta; septarie; Grotta DeliNpero
Keywords: cave sediments; septarian nodules; DeliNpero Cave

La septaria è una struttura sedimentaria secondaria, costituita da noduli di marne o argille cementate, di forma subglobosa e di dimensioni variabili da pochi cm a oltre un metro di diametro, al cui interno vi sono una serie di fessure beanti che si incrociano tra loro secondo un reticolo poligonale. Le septarie (fig. 1) erano già ben note nell'antichità (Aldrovandi, 1648), anche se il meccanismo genetico è rimasto nebuloso per un lungo periodo.
Oggigiorno è assodato che si tratta di strutture che si formano per essiccamento e/o contrazione e successiva eventuale degradazione, con conseguente notevole perdita di volume quando si disidratano.
Il processo che porta allo sviluppo delle septarie è chiaro, ma vi sono ancora alcuni aspetti che necessiterebbero di una migliore conoscenza: infatti non è ancora stato stabilito né il tempo necessario alla loro formazione e neppure se il processo di contrazione e di fratturazione interna debba necessariamente avvenire in condizione di sepoltura profonda oppure no (Houslow, 1997).
Recentemente alcune septarie sono state osservate in una grotta del Veronese (Fig. 1): a nostra conoscenza si tratta della prima segnalazione certa di queste particolari forme sicuramente sviluppatesi in una cavità naturale.
Si è ritenuto pertanto utile cercare di definire le condizioni e il meccanismo che ne hanno permesso la genesi ed il successivo sviluppo in un ambiente così differente da quelli sino ad oggi considerati idonei alla formazione di questi particolari noduli sedimentari. Allo stato attuale delle conoscenze, infatti, solo in un caso (all'interno del Puerto Princesa Underground River nell'isola di Palawan nelle Filippine) sono state descritte strutture concrezionarie a nido d'ape all'interno delle fratture dovute a variazioni volumetriche di depositi di grotta. Sulla base delle caratteristiche morfologiche dell'area in cui si sono rinvenute le septarie è stato possibile ipotizzare un meccanismo genetico che ha permesso l'evoluzione delle stesse attraverso vari stadi successivi, che possono essere sintetizzati come segue:

1. Dopo lo sviluppo delle gallerie, le stesse sono state interessate da abbondante sedimentazione di fanghi argillosi con alternanza di fasi anossiche e parzialmente ossigenate.
2. L'abbassamentodellivellopiezometrico ha permesso un progressivo totale svuotamento delle gallerie con conseguente attivazione del

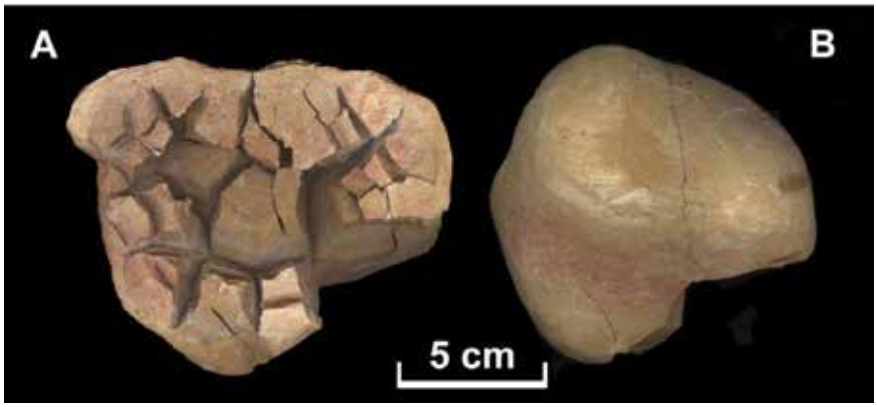


Figura 1 - Grotta DeliNpero: una delle septarie recuperate e aperte per evidenziarne la struttura interna caratterizzata da setti separati da fratture da contrazione (A), al cui interno non si è depositato praticamente nessun altro minerale, (B) (Foto di Paolo Forti).

fenomeno di evaporazione che ha portato da un lato alla perdita di volume e dall'altro alla parziale cementazione del sedimento con carbonato di calcio.

3. Inambientesubaereoladiminuzione anisotropa di volume ha causato la formazione di caratteristici suoli poligonali.
4. Ciclidiemersione-evaporazionee/o sommersione-imbibimento ad opera di acque caratterizzate da scarsa energia cinetica ha portato alla separazione di alcune "zolle", che si sono contestualmente arrotondate
5. Progressivamentel'ambientesempre più secco ha permesso alla parte esterna delle "zolle arrotondate" di essiccarsi totalmente. La parte interna, invece, ha continuato ad essere plastica.
6. Infine, anche il nucleo interno ha subito lo stesso processo e dato che il lento processo di cementazione procedeva dall'esterno verso l'interno le fratture che si sono formate sono progressivamente maggiori verso il centro della septaria.
7. L'ultimo stadio ha visto la progressiva diminuzione dell'energia cinetica delle acque circolanti con conseguente sommersione delle septarie all'interno di un nuovo strato di argilla, entro cui sono poi state trovate dagli speleologi.

Sulla base delle evidenze empiriche le septarie di grotta differiscono quindi notevolmente dalle normali "septarie continentali", sia per il meccanismo con cui le stesse vengono prima isolate e poi plasmate, ma soprattutto per l'evoluzione delle fratture interne.

La presenza di septarie di grotta ha messo infatti in evidenza la possibilità che la formazione delle fratture interne non debba per forza essere correlata a fenomeni avvenuti in condizione di sepoltura profonda, ma possa dipendere, da fenomeni di essiccamento e compattazione in condizioni aerate, come del resto avviene comunemente in grotta per l'evoluzione dei suoli poligonali.

Ovviamente questa è ancora un'ipotesi preliminare, che si basa esclusivamente sull'osservazione di septarie rinvenute in una singola grotta.

Riferimenti bibliografici

Aldrovandi U. (1648), *Musaeum Metallicum*. Ferronius, Bologna, 767-768.

Gonzato G., Castellarin A., Chigola R., Gamberini F., Lazzeri P., Unione Speleologica Veronese (2014), "New dating of paleokarst features at Torricelle hills (Verona, Italy)", *Italian Journal of Geosciences*, 133(3): 427-438.

Houslow M.W. (1997), "Significance of localized pore pressures to the genesis of septarian concretions", *Sedimentology*, 44: 1133-1147.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Appunti sulla geologia del Monte Cich (Lombardia)

Giordano Ghidoni ([a]), Roberto Conti ([a]), Sandro Ghidelli ([a])

([a]) Gruppo Grotte Busto Arsizio, *ghidolan@fastwebnet.it, rcontiggba@gmail.it, sandrocan@email.it*

Parole chiave - *Grigna, Pizzo dei Cich, Esino, Geologia, Meteorologia*
Keywords - *Grigna, Pizzo dei Cich, Esino, Geology, Meteorology*

Riassunto
Il Pizzo dei Cich, che prende il nome dalla parola dialettale con cui si indicano i fossili (gasteropodi) che vi si trovano, costituisce la prima altura significativa lungo il crinale che, a partire dalla Grigna settentrionale, separa la Valsassina dal Lario. Il Pizzo dei Cich è costituito prevalentemente da calcari dolomitici della Formazione di Esino, ma vi si possono rinvenire anche affioramenti di altri terreni coevi della successione Triassica come il Calcare di Angolo e la Formazione di Wengen – Buchenstein).
La parte sommitale del Pizzo dei Cich è speleologicamente interessante per i fenomeni carsici peculiari che vi si trovano. Si tratta di cavità di limitata estensione, ma quasi tutte interessate dal passaggio di forti correnti d'aria. Con questo lavoro abbiamo cercato, nelle peculiarità geologiche della montagna, una spiegazione ai comportamenti anomali di tali cavità.
Le cavità presenti sul versante sud orientale del Pizzo dei Cich (di seguito chiamate grotte "calde") sono caratterizzate da una temperatura media dell'aria insolitamente alta per quella quota (10-12 °C). Presentano inversione termica tra estate e inverno, ma la temperatura interna, sempre insolitamente alta, fa pensare a una circolazione locale dell'aria con qualche collegamento con fratture o cavità a quota più bassa, probabilmente sul piano del Cainallo oppure nel versante verso la Valsassina.
Le cavità che si incontrano sul versante nord occidentale del Pizzo dei Cich (denominate grotte "fredde") sono soggette a inversione termica e presentano temperature interne di pochi gradi sopra lo zero (2-5 °C), tipiche di quote molto superiori, paragonabili a quelle della parte sommitale della Grigna. Per queste cavità si pensa a collegamenti con fessure più profonde, attraverso la Faglia della Freconera.
Per cercare di spiegare meglio le particolarità di questa montagna è stato avviato un rilievo geologico dettagliato della parte sommitale del Pizzo dei Cich, con particolare riferimento alle caratteristiche litologiche delle rocce affioranti e alle famiglie di fratture che le interessano. Laddove possibile sono state raccolte anche le informazioni sulla giacitura degli strati e sulle linee tettoniche principali evidenti in loco. Al termine del lavoro sono state indi-

viduate sei unità litologiche (litofacies) omogenee per caratteristiche litologiche, struttura e carsificabilità riportate in colore diverso sulla carta tematica della zona oggetto di studio. È importante precisare che, le unità da noi identificate, non sono litofacies vere e proprie ma soltanto unità informali, utili nella stesura di questo lavoro, ma non codificate ufficialmente.
Attorno alla cima del Pizzo dei Cich sono state rilevate anche delle torri di roccia isolate (segnate in giallo sulla mappa) che ad un esame più attento svelano di essere ciò che rimane di bio-costruzioni di natura organogena che si innalzavano di qualche metro dai bassi fondali marini. Ciò è dimostrato dalle trame delle madrepore visibili all'interno. Rinvenuti anche fori lasciati dagli spirografi. Queste torri di madrepore che abbiamo rinvenuto sia a monte che a valle della faglia della Freconera ci hanno permesso di avere un'idea approssimativa della dislocazione che ha generato la faglia stessa.
I risultati del lavoro svolto sono stati riportati sulla carta tematica seguente che rappresenta il risultato più importante del nostro lavoro.
Il rilievo geologico ha evidenziato l'esistenza di una situazione complessa in cui le due parti della montagna, tagliate dalla Faglia della Freconera, sembrano racchiudere due sistemi carsici differenti. La parte "fredda", a nord-ovest della faglia, presenta cavità più giovani, percorse da forti correnti d'aria. Le grotte generalmente sono ad andamento subverticale, coerentemente con la stratificazione molto inclinata, orientata verso nord.
La parte "calda" a sud-est della Faglia presenta grotte più antiche con una morfologia che ha conservato più tracce delle azioni che hanno prodotto nel tempo i fenomeni carsici ritrovati. Le cavità sono, in generale più orizzontali, impostate lungo una singola linea di frattura e presentano vani anche di dimensione significativa. Spesso si ritrovano ambienti in cui è presente un ricco concrezionamento.
Al centro della zona "calda" le giaciture rilevate mostrano la probabile esistenza di una paleo depressione con asse NW SE il cui lato meridionale è stato in gran parte asportato dall'attività erosiva dei ghiacciai che occupavano la valle del Lario nel quaternario.
Noi immaginiamo che sotto questa depressione si celi il cuore del sistema carsico antico che potrebbe convogliare le forti correnti d'aria verso le zone più profonde del bacino della Grigna.
Purtroppo il versante del Cich che guarda verso Esino, in cui si aprono tali cavità, è stato pesantemente modificato dal passaggio dei ghiacciai che durante il quaternario scendevano lungo il Lario. Perciò la maggior parte degli ingressi risulta pesantemente intasata da corpi di frana e masse di sedimenti. Questo fenomeno ci ha sinora impedito di accedere al sistema carsico sotterraneo che stiamo cercando.
Le nostre ricerche vanno avanti con un'analisi approfondita dell'andamento stagionale delle temperature interne delle grotte "fredde" e di quelle "calde" mediante l'utilizzo di data-logger posizionati all'interno delle stesse. Dai dati che ci forniranno, aspettiamo risultati interessanti che possano portare ad una migliore comprensione di questi andamenti meteorologici così anomali e magari darci ulteriori indicazioni sulla possibilità che queste cavità siano effettivamente collegate con le zone più profonde del massiccio della Grigna.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Apertura di una nuova condotta in frana tra la Grotta Bella e la Grotta del Fiume. Una possibilità ulteriore di studio della speleogenesi a Frasassi (Italia Centrale)

Amedeo Griffoni ([a]), Antonio Piazza ([a]), Luca Pieroni ([a])

([a]) CAI Sezione di Jesi (Ancona), *amedeogriff@gmail.com*, *antoniopiazza@live.it*, *luca.pieroni61@gmail.com*

Parole chiave: grotte sulfuree; collegamento; ricerca geomorfologica
Keywords: sulfuric acid caves; connection; geomorphological research

Riassunto
Sono riassunti circa 12 mesi di ricerca e di scavo finalizzati alla realizzazione di un passaggio tra due grotte "storiche" a Frasassi, con lo scopo di accedere più facilmente a zone molto interessanti dal punto di vista speleogenetico e biologico, dove posizionare alcune strumentazioni di misura. Si sono prospettate infatti valutazioni del contenuto di CO_2 e H_2S nell'atmosfera di grotta, delle variazioni del livello idrico nei sifoni e del loro contenuto di sostanze disciolte. Oltre a questo saranno in futuro posizionate trappole per la cattura, lo studio e l'immediato rilascio di specie endemiche troglobie. Le ricerche condotte nei rami oltre i sifoni nella Grotta Bella e nella "Sala Del Giornale" della Grotta del Fiume hanno stimolato l'idea di mettere in comunicazione queste due cavità e farne quindi una sola, oltrepassando una frana risalente all'ultimo periodo glaciale (Würm) che le aveva interrotte. Dopo l'apertura di una condotta, protetta da palizzate e tubi da cantiere, la visita e lo studio di alcune emergenze geochimiche e biologiche negli ambienti successivi sono diventati più agevoli sia per i ricercatori che per il trasporto di attrezzature di monitoraggio. Queste sale della Grotta Bella erano infatti raggiungibili solo immergendosi con difficoltà e in alcuni periodi dell'anno in angusti sifoni fangosi, fatto questo che ha preservato gli ambienti in questione. Essi sono interessati da ampia diffusione di depositi gessosi dovuti ad una recente e continua circolazione di acque sulfuree: ciò evidenzia l'importanza delle reazioni ossidoriduttive dello zolfo nella genesi dell'intero complesso carsico "Grotta Grande Del Vento – Grotta Del Fiume". Sono infatti visibili e tuttora in atto quei processi che caratterizzano il mondo speleologico di Frasassi, ovvero lo sviluppo di gallerie in zona freatica poco profonda, dove le acque mineralizzate risalienti si miscelano con acque più ossigenate, e di croste e depositi gessosi al di sopra del livello freatico per effetto dei vapori sulfurei. Le pareti di queste sale sono ricoperte da stupendi cristalli di gesso aciculare, con sfumature di colore che vanno dal bruno, al rosa, all'arancio, da cui il nome "La Caverna delle Meraviglie". Inoltre, il mondo biologico è ampiamente rappresentato dalle tipiche biocenosi troglobie poco disturbate e da colonie batteriche appartenenti al ciclo dello zolfo. È d'obbligo citare la notevole popolazione dei *Niphargus ictus* (Amphi-

poda, Gammaridae) e delle *Islamia pusilla* (Gasteropoda, Hydrobiidae), due invertebrati acquatici rinvenuti nelle polle sulfuree; la *Islamia pusilla* era stata rinvenuta soltanto nella Grotta Sulfurea, mentre il *Niphargus ictus* può essere facilmente ritrovato nelle acque freatiche in diverse parti del complesso carsico. Altri organismi ritrovati sono i vermi anellidi del genere *Rhynchelmis* (Oligochaeta, Lumbriculidae), il crostaceo *Androniscus dentigr* (Isopoda, Oniscidea), e il ragno predatore *Nesticus eremita* (Aranea, Nesticidae). Gli esemplari di *Nesticus* osservati nei rami sulfurei profondi sono più grandi delle popolazioni superficiali, con occhi più piccoli, depigmentati e con appendici allungate, che denotano un certo isolamento genetico.

Conclusioni

In conseguenza dell'apertura della condotta, la Grotta Bella, con i suoi sviluppi oltre i sifoni, entra a far parte del più grande complesso Grotta del Fiume - Grotta Grande del Vento. Ne rappresenta quindi un nuovo ramo ed un nuovo ingresso. Per la rilevanza scientifica e la delicatezza degli ambienti si è regolamentato l'ingresso a questo scrigno geo/biochimico. Questo permetterà il mantenimento dell'integrità degli ambienti e quindi di approfondire lo studio delle emergenze riscontrate, anche coinvolgendo altri esperti nel settore, già in parte contattati dopo l'ufficializzazione della scoperta. Lo studio della corrosione sulfurea potrà essere seguita e controllata in un ambiente dove tutte le caratteristiche del processo carsico ipogenico sono in atto.

Riferimenti bibliografici

Bertolani M., Garuti G., Rossi A., Bertolani M. (1977), "Motivi di interesse mineralogico e petrografico nel complesso carsico Grotta Grande del Vento-Grotta del Fiume", *Le Grotte d'Italia*, 4, 109-144.

Bocchini A., Coltorti M. (1990), "Il complesso carsico Grotta del Fiume Grotta Grande del Vento e l'evoluzione geomorfologica della Gola di Frasassi", *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, II(4): 155-180.

Cigna A.A., Forti P. (1986), "The speleogenetic role of air flow caused by convenction. 1st contribution", *International Journal of Speleology*, 15: 41-52.

Galdenzi S. (1990), "Un modello genetico per la Grotta Grande del Vento", *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, II(4): 123-142.

Galdenzi S., Sarbu S.M. (2000), "Chemiosintesi e speleogenesi in un ecosistema autotrofico ipogeo: i rami sulfurei delle grotte di Frasassi (Italia centrale)", *Le Grotte d'Italia*, V(1): 3-18.

Wilkens H., Culver D.C., Humphreys W.F. (2000), *Ecosystems of the world*. Elsevier, New York

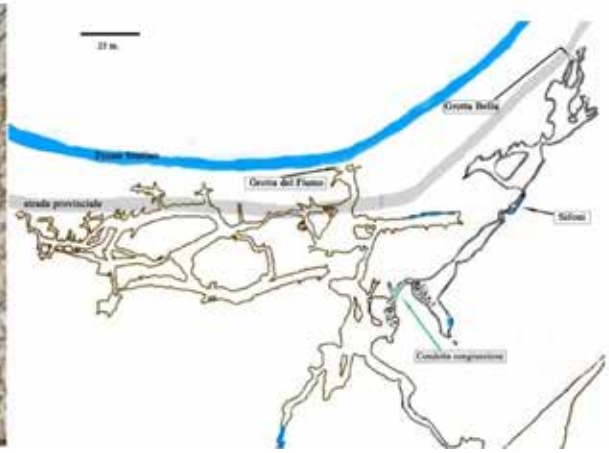


Figura 1 – Rilievo planimetrico delle cavità

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Indagini morfometriche di mesomorfologie parietali tramite laser scanner (Gruta da Lapinha, Brasile)

Simone Guatelli ([a]), Luca Pisani ([a]), Umberto Del Vecchio ([b]), Augusto Auler ([c]), Jo De Waele ([a])

([a]) Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, *simone.guatelli@studio.unibo.it; luca.pisani4@unibo.it; jo.dewaele@unibo.it*
([b]) Vigea - Virtual Geographic Agency srl, Reggio Emilia, *umberto.delvecchio@vigea.it*
([c]) Instituto do Carste, Belo Horizonte, Brazil, *aauler@gmail.com*

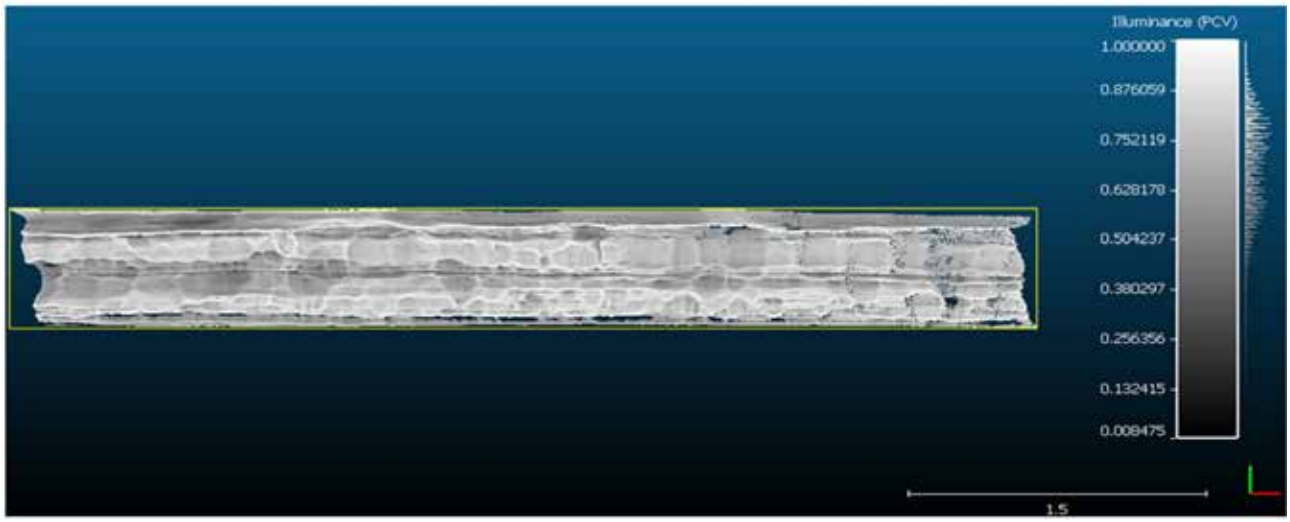
Parole chiave: laserscanner; morfometria; condensazione-corrosione; geomorfologia; carsismo.
Keywords: laser scanner; morphometry; condensation-corrosion; geomorphology; karst.

Le applicazioni del *terrestrial-laser-scanning* (TLS) in ambito geologico e geomorfologico sono sempre più frequenti, soprattutto per quanto riguarda la possibilità di misurare con altissima risoluzione forme e oggetti in ambienti chiusi e di difficile accesso, come grotte e cavità ipogee. Il lavoro presentato si è concentrato sull'analisi di nuvole di punti acquisite tramite stazione fissa (modello Leica-P40) in una grotta ipogenica nei calcari della Salitre Formation, di età Neoproterozoica (Gruta da Lapinha, Bahia, Brasile). La cavità, che ospita una nutrita colonia di pipistrelli, ha una planimetria labirintica, ad andamento ortogonale, ed è sviluppata prevalentemente in orizzontale. I modelli tridimensionali analizzati rappresentano una parete in grotta dove sono presenti numerose mesoforme parietali simili a *scallops* (fig. 1). Queste morfologie si distinguono dai classici *scallops* per un'estensione maggiore, concavità minore, fianchi meno ripidi, e per la loro simmetria (fig. 2).
La nuvola di punti è stata elaborata tramite il software *open-source* "CloudCompare" in modo da creare un DEM ed effettuare delle misure morfometriche sulla distribuzione e la quantità delle mesomorfologie negative presenti sulla parete. La nuvola di punti è stata *rasterizzata* in "CloudCompare" per essere esportata ed analizzata in ambiente GIS. Tramite il software "ArcMap" sono state effettuate analisi quantitative dei parametri morfometrici di 44 mesoforme. Un'analisi statistica ha permesso di quantificare numericamente la morfometria delle mesoforme ed il loro grado di simmetria.
I risultati permettono di ipotizzare un meccanismo genetico per queste mesoforme parietali legato a fenomeni di condensazione-corrosione. Questo processo consiste nella dissoluzione della roccia in un sottile film d'acqua

generato da fenomeni di condensazione. La condensazione è particolarmente efficace al contatto tra le masse d'aria fredde (in basso) e quelle calde (in alto), e variazioni verticali del contatto tra queste masse d'aria spiegherebbero perché tali morfologie siano prevalentemente allineate lungo specifici orizzonti (a metà altezza sulle pareti) delle gallerie. Inoltre, le acque di condensa, povere in sali disciolti e sottosature rispetto al carbonato, possono incrementare la loro acidità assorbendo la CO_2 dall'atmosfera di grotta, fenomeno che può essere particolarmente accentuato in presenza di grandi depositi di guano.
Queste morfologie, qui per la prima volta descritte, si trovano in un corridoio che collega due ingressi della cavità, e non lontano da essi. Alle forme è stato attribuito il termine "*air flow condensation-corrosion cusps*". La genesi di tali morfologie, insieme ad altre concavità più o meno grandi e rotondeggianti, viene spesso attribuito alle acque freatiche. Tuttavia, è sempre più realistico spiegare molte di queste mesoforme enigmatiche con il processo della condensazione-corrosione. Tale processo è talvolta sottovalutato, ma può contribuire notevolmente all'allargamento delle gallerie sotterranee, soprattutto nelle aree prossime agli ingressi.
La metodologia proposta può essere applicata anche in altri contesti speleogenetici (ad esempio su classici *scallops* da flusso in grotte epigeniche o in grotte nel ghiaccio) al fine di ricostruire e confrontare le rispettive caratteristiche morfometriche tramite analisi quantitative.

*Figura 1 (a lato) - Gli "*airflow condensation-corrosion cusps*" su uno strato di calcare Neoproterozoico nella Gruta da Lapinha (Bahia, Brasile).*

Figura 2 (sotto) - Immagine della sezione di parete elaborata con filtro PCV in CloudCompare. La scala è in metri.



XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le prime importanti grotte termali sulfuree dell'Albania (canyon di Holtas, Albania centrale)

Alessandro Marraffa ([a,b]), Ivano Fabbri ([c]), Katia Poletti ([c]), Claudio Pastore ([a,b]), Wainer Vandelli ([d]), Michele Sivelli ([e]), Etmond Cauli ([f]), Jo De Waele ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, *jo.dewaele@unibo.it*
([b]) Gruppo Speleologico Martinese, Martina Franca, alessandro.marraffa@studio.unibo.it, *claudio.speleo@gmail.com*
([c]) Gruppo Speleologico Faentino, Faenza, *ivanofabbri@alice.it, kapoletti@gmail.com*
([d]) Gruppo Speleologico Paletnologico G. Chierici, Reggio Emilia, *wainwe.vandelli@cern.ch*
([e]) Società Speleologica Italiana, Bologna, *michele.sivelli@gmail.com*
([f]) Tirana, *etmond_cauli@yahoo.com*

Parole chiave: grotte ipogeniche; acque sulfuree; carsismo; speleogenesi
Keywords: hypogene caves; sulfuric waters; karst; speleogenesis

Quasi un quarto dell'Albania è caratterizzato dall'affioramento di rocce carbonatiche, con un ampio sviluppo di morfologie carsiche sia superficiali che sotterranee (Eftimi, Zojer, 2015). L'Albania è ancora un paese con una struttura speleologica poco organizzata e le scoperte più importanti sono state realizzate a partire dagli anni '90 da speleologi stranieri: prevalentemente italiani e bulgari, ed in misura minore, da gruppi speleologici di Paesi Bassi, Belgio, Regno Unito, Francia, Croazia, Polonia e Repubblica Slovacca (Zhalov, 2015). Anche per questo motivo il potenziale carsico di questo paese è ancora enorme, e ogni anno vengono scoperti ed esplorati importanti sistemi di grotte, con un crescente coinvolgimento di speleologi albanesi.
Le regioni dove affiorano le unità Albanidi interne ed esterne sono fortemente deformate dalla tettonica alpina e sono ricche di risorse geotermiche, con un gran numero di sorgenti termali con temperature fino a 65°C. Alcuni di queste sono caratterizzate da una chimica Ca-SO_4, con forte odore di uova marce a testimonianza del rilascio di H_2S (Frasheri, 2015). Non c'è quindi da stupirsi che in questi ultimi anni speleologi italiani e cechi, in spedizioni separate, abbianoiniziato a trovare ed esplorare grotte sulfuree (SAS) in diverse aree del paese.
Nel 2018 il Gruppo Speleologico Faentino ha iniziato l'esplorazione delle grotte nell'area dell'Holtas Canyon, nel Distretto di Gramsh nell'Albania centrale. Queste esplorazioni sono state possibili grazie al fondamentale supporto logistico dello speleologo e geografo lo-

cale Etmond Cauli (Brandolini, 2021). Kanioni i Holtes è una riserva naturale situata in una zona caratterizzata da una topografia dolce interrotta da alcune zone montuose che raggiungono altezze di oltre 1300 m s.l.m. Il fiume Holtas, che è un affluente orientale del fiume Devoll (che scorre attraverso la città di Gramsh), taglia una cresta calcarea fortemente inclinata formando una spettacolare gola da est a ovest. Due piccoli villaggi (meno di 50 abitanti) si affacciano sulla valle: Kabash situato a nord-est e Tervol a sud. Nella parte occidentale della gola, dove il fiume lascia le rocce calcaree quasi verticali, diverse sorgenti sulfuree sono in parte utilizzate a scopo turistico. Da un punto di vista geologico l'area di Holtas si trova nella zona tettonica di Kruja (External Albanides) (Velaj, 2012). La sequenza carbonatica affiorante nell'area è di età Cretaceo-Eocene superiore ed è caratterizzata da numerose lacune, superfici erosive e livelli bauxitici. Questa sequenza è suddivisa in tre unità principali: calcari più o meno dolomitici con rudiste (Cretaceo superiore), calcari biomicritici (Eocene) e torbiditi calcaree biomicritiche (Eocene). Questa successione carbonatica forma una stretta anticlinale orientata NW-SE, formando le porzioni alte di terreno circondate da depositi più recenti marnosi e facilmente erodibili.

In quest'area sono stati scoperti, esplorati e censiti importanti sistemi di grotte, tra cui Shpella Avulit (lunga oltre 2 km e profonda circa 500 metri), Shpella Kaceverrit-Baruttit (lunga circa 1 km e profonda 70 metri), Shpella e Kabashit (una grotta più o meno orizzontale), Sgardamene (lunga circa 200 metri), e un paio di grotte minori. La campagna di campionamento ha evidenziato la presenza di acque termali sulfuree, e di minerali secondari di grotta come gesso e jarosite. Tutte le grotte sono caratterizzate da morfologie quali tasche di sostituzione, *feeders* e morfologie parietali ascendenti. Tutte queste osservazioni dimostrano chiaramente che queste grotte si sono formate in un ambiente con acido solforico. I rilievi in grotta mostrano livelli orizzontali che testimoniano la stabilità prolungata del livello della falda acquifera. Il confronto dei dislivelli tra i livelli orizzontali interni alla grotta e quelli dei terrazzi fluviali ha mostrato una chiara relazione tra evoluzione del paesaggio e speleogenesi.

Riferimenti bibliografici

Brandolini L. (2021), "Albania 2009-2019", *Ipogea '21 Cronache speleologiche*, 88-133.

Eftimi R., Zojer H. (2015), "Human impacts on karst aquifers of Albania", *Environmental Earth Sciences*, 74(1): 57-70.

Frasheri A. (2015), "Geothermal Energy Resources in Albania-Country Update Paper", Proceedings World Geothermal Congress, 11 p.

Velaj T. (2012), "Tectonic style and hydrocarbon evaluation of duplex Kruja zone in Albania", *Nafta*, 63(7-8): 236-242.

Zhalov A.K. (2015), "Bulgarian speleological studies in Albania 1991–2013", *Berliner Höhlenkundliche Berichte*, 58: 1-91.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Quantificazione dei cambiamenti morfologici con modelli 3D da laser scanner: Lechuza (Atacama)

Alessandro Marraffa ([a,b]), Tommaso Santagata ([a,d]) Umberto Del Vecchio ([c,d]), Norma Damiano ([c]), Roberto Ferrara ([e]), Laura Sanna ([f]), Stefano Fabbri ([b]), Jo De Waele ([b,c])

([a]) Gruppo Speleologico Martinese, *alessandro.marraffa@studio.unibo.it* ([b]) Università di Bologna (BIGEA), *jo.dewaele@unibo.it; stefano.dr.fabbri@gmail.com* ([c]) La Venta Esplorazioni Geografiche, Treviso, *normadamiano@libero.it*; *delvecchio@geoinformatica.it* ([d]) Virtual Geographic Agency (VIGEA), Reggio Emilia, *tommy.san84@gmail.com* ([e]) Istituto di Bioeconomia (CNR-IBE, Sassari), *roberto.ferrara@cnr.it*
([f]) Institute of Environmental Geology and Geoengineering (CNR-IGAG, Cagliari), *laura.sanna@igag.cnr.it*

Parole chiave: laser scanner; morfometria; grotte nel sale; evoluzione.
Keywords: terrestrial laser scanner; morphometry; salt caves; evolution.

Benché utilizzato da oltre un decennio anche per il rilievo degli ambienti sotterranei, il laser scanner rimane una metodologia topografica in forte espansione per l'esplorazione e la ricerca nelle grotte. Questa tecnologia è stata applicata per indagare l'impatto dei cambiamenti climatici su sistemi carsici in rocce estremamente solubili, come quelle della Cordillera de la Sal nel deserto di sale di Atacama (Cile), una delle aree con carsismo nel sale più importanti del mondo con oltre 50 grotte e più di 20 km di gallerie sotterranee rilevate. I rilievi sono stati eseguiti durante due spedizioni (la prima nel 2015, l'ultima nel 2018) da un'equipe di scienziati e speleologi. I terrestrial laser scanner adoperati sono stati messi a disposizione dalla società Gruppo Servizi Topografici di Marco Camorani (2015) e dalla Virtual Geographic Agency (2018). Con l'ausilio di questi strumenti sono state acquisite in dettaglio la struttura di alcune grotte e di particolari morfologie esterne.

In questo lavoro vengono presentati i risultati dello studio sui cambiamenti morfologici avvenuti nella Cueva Lechuza, nei pressi di San Pedro di Atacama, in seguito agli eventi di alluvione verificatisi nel triennio 2015-2018. Questi fenomeni hanno inaspettatamente attivato lo scorrimento nei torrenti sotterranei di alcune grotte in questa zona estremamente arida.

La Cueva Lechuza è una cavità sub-orizzontale di attraversamento fluviale con uno sviluppo di circa 600 m. Nelle due spedizioni è stata realizzata una sequenza di scansioni in linea a intervalli di circa 10 m (a seconda della morfologia della cavità), con e senza l'utilizzo di target.

Il rilievo è stato effettuato utilizzando i laser scanner terrestri Leica HDS 7000 nel 2015) e P40 (nel 2018), in grado di realizzare un rendering in 3D a 360° che permette di rilevare in modo indiretto geometrie di strutture e aree con una velocità di scansione fino a un milione di punti al secondo, una portata di 180 m e una risoluzione da 3 mm a 10 m.

Il rendering è stato realizzato con il software di gestione e analisi delle nuvole di punti Cyclone della Leica. I dati sono stati restituiti con modellazione 3D, in modo da rappresentare le modificazioni dell'ambiente sotterraneo legate alle dinamiche erosive, in particolare la quantificazione volumetrica e la ripartizione spaziale. Dal modello tridimensionale sono state estratte delle sezioni trasversali utilizzate per fare il confronto da un anno all'altro per le misure morfometriche del sistema sotterraneo, da cui è emerso come le anse siano state maggiormente incise dal torrente rispetto alle zone rettilinee della grotta.

Per poter confrontare le due nuvole di punti ottenute nel 2015 e nel 2018 (L15 e L18) si è reso necessario sovrapporle attraverso il software Cloud Compare. La sovrapposizione è stata possibile con la co-registrazione manuale delle nuvole di punti, individuando un minimo di 3 punti in comune tra le due nuvole con il comando Aligns. Dopo aver sovrapposto due aree ritagliate delle due nuvole si è subito evidenziato l'errore nella co-registrazione. Essendo le due nuvole diverse fra loro a causa delle variazioni dovute all'erosione, per ottenere una co-registrazione adeguata si è reso necessario ritagliare nuovamente le porzioni di L15 e L18 eliminando tutte le aree che hanno subito possibili processi erosivi o di deposizione.

Per questo motivo le nuvole sono state ritagliate fino ad ottenere solo una porzione di soffitto, appartenente ad un'ansa chiaramente in comune tra L15 e L18. Una volta individuati i punti in comune con il comando Aligns e sovrapposte le porzioni di soffitto, la co-registrazione è risultata più attendibile. Durante la fase di sovrapposizione di due oggetti, si prende un oggetto come punto di riferimento (L15) mentre l'altro andrà a ruotare e traslare fino a sovrapporsi (L18). Questo movimento di roto-traslazione è espresso da una matrice, la quale indica gli spostamenti necessari messi in atto per poter sovrapporre i due oggetti. La matrice ottenuta potrà essere sostituita alla matrice di orientamento della nuvola intera così da poter riposizionare la nuvola di punti. Questo ha reso possibile sovrapporre anche la porzione di pavimento dell'ansa, così da individuare la quantità di erosione e i punti focali dove si è concentrata. Per poter quantificare l'erosione registrata tra L15 e L18 sono stati utilizzati due comandi C2C (cloud to cloud) e M3C2, il primo calcola il valore di distanza assoluta tra le due porzioni di nuvola, mentre il secondo esprime una distanza relativa. Per ridurre gli errori, è stata rimossa la parte del soffitto (non interessante per i nostri scopi) dalle nuvole di punti allineate, così che le distanze potessero riferirsi esclusivamente alle porzioni di pavimento (zone che hanno subito erosione o deposizione). I risultati sono verosimili ma non danno un'idea quantitativa dell'erosione, questo è dovuto soprattutto alla modalità di co-registrazione delle nuvole poco preciso per via della manualità nella selezione dei punti in comune (comando Aligns). Per ovviare, dopo l'esecuzione del comando Aligns è possibile, attraverso il comando Clouds registration, allineare nuovamente le nuvole con un processo automatico, meno preciso se utilizzato per due nuvole non precedentemente co-registrate.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Struttura e composizione di croste e noduli fosfatici del sistema carsico del Monte Corchia, Alpi Apuane

Leonardo Piccini, Alessia Nannoni, Pilario Costagliola, Mario Paolieri, Chiara Vigiani

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, via La Pira 4, Firenze, *leonardo.piccini@unifi.it*, *alessia.nannoni@unifi.it*

Parole chiave: deposito di grotta; speleotema; apatite; Alpi Apuane
Keywords: cave deposit; speleothem; apatite; Apuan Alps

Nel complesso carsico del monte Corchia (Alpi Apuane) sono presenti particolari depositi bruno-nerastri lungo le pareti di alcuni condotti freatici o epifreatici riconducibili a due tipi: 1) incrostazioni (Fig. 1A-1, 1B-1), 2) noduli sferoidali (Fig. 1C-1). Le prime si presentano come croste molto friabili con superfici irregolari, che coprono porzioni alterate delle pareti dei condotti freatici o depositi clastici di origine allogenica, o come patine compatte e dall'aspetto lucido sulle pareti di condotti che hanno subito un rimodellamento in condizioni epifreatiche. I noduli invece si trovano solo in pochi luoghi circoscritti. Sono stati prelevati 14 campioni in 8 siti diversi. I punti di campionamento sono distribuiti lungo i tre principali livelli sub-orizzontali paleofreatici (intorno a circa 1400, 1250 e 900 m s.l.m.). La composizione mineralogica di 6 campioni è stata studiata con la diffrattometria per polveri (DFX). 14 frammenti (1-2 cm^2) prelevati da 8 campioni sono stati analizzati in microscopia a scansione elettronica (SEM) corredata di micro-analizzatore EDS. Le microanalisi sulle croste sono state focalizzate sui tre costituenti principali: clasti, matrice e incrostazioni secondarie (fig. 1A-2, 1A-3, 1B-2, 1B-3). Sui noduli sono state eseguite microanalisi della superficie esterna e su sezioni lucide tagliate ortogonalmente alla superficie (fig. 1C-2, 1C-3). Le analisi in DFX mostrano che questi depositi sono composti prevalentemente da minerali del gruppo dell'apatite (idrossi/fluor-apatite), con proporzioni variabili di silicati e ossidi/idrossidi di ferro e manganese. Le immagini SEM in elettroni retrodiffusi (SEM-BSE) mostrano che le croste sono composte da clasti fini cementati e parzialmente coperti da una matrice porosa costituiti prevalentemente da silicati, calcite e ossidi/idrossidi di Fe/Mn (porzioni scure in fig. 2B-3). La matrice appare come un livello irregolare che avvolge i clasti (zone chiare in fig. 2A-2) ed è formata da idrossi/fluor-apatite. I noduli hanno invece composizione fosfatica ed una struttura regolare sia sulla superficie che in sezione (fig. 1C-2, 1C-3). Alcune porzioni delle croste presentano tracce di materia organica (fig. 1B-2). L'aspetto più interessante di questi depositi fosfatici è che non sono legati ad accumuli di guano, al contrario di

quanto osservato in altri sistemi carsici. Inoltre, queste croste sono associate a materiale clastico allogenico e spesso coprono forme di flusso (*scallops*). Questi fatti suggeriscono un'origine allogenica del fosforo, legata alla deposizione di sedimenti ricchi in materia organica in occasione di eventi di piena (Piccini et al., 2021), riferibile a fasi molto precoci di sviluppo del sistema (circa 2,5 Ma; Piccini, 2011), durante la transizione dei condotti da freatici a epifreatici. La formazione del fosfato di calcio è probabilmente avvenuta per precipitazione chimica *in situ* in settori ipogei periodicamente allagati in seguito a periodi di piogge intense. L'interazione prolungata fra le acque stagnanti e il sedimento ha determinato prima l'arricchimento delle acque in ioni (P, Mn e Fe), poi la cementazione di un film di fango sulle pareti dei condotti da parte dal fosfato di calcio e successivamente di ossidi/idrossidi di Fe/Mn. I noduli sono invece legati alla precipitazione di patine fosfatiche sulle asperità delle pareti, probabilmente in un ambiente soggetto a fenomeni di evaporazione.

Riferimenti bibliografici

Piccini L. (2011), "Speleogenesis in highly geodynamic contexts: the quaternary evolution of Monte Corchia multi-level karst system (Alpi Apuane. Italy)", *Geomorphology*, 134: 49–61

Piccini L., Nannoni A., Costagliola P., Paolieri M., Vigiani C. (2021), "Composition and structure of phosphate-rich parietal crusts and nodules in Monte Corchia Cave, Alpi Apuane (Central Italy)", *Frontiers in Earth Science*, 9: 673109.

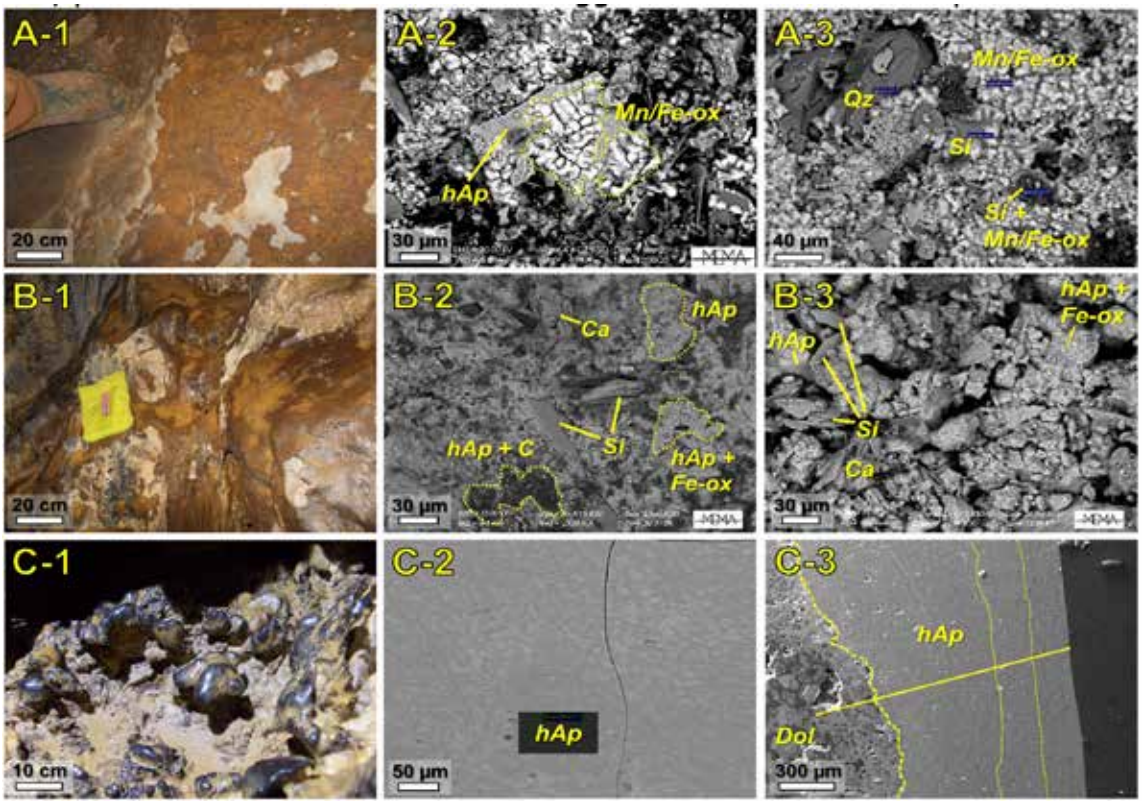


Figura 1 – (A-1) Crosta bruna parietale in un condotto freatico a quota 1200 m s.l.m.; (A-2,3) Immagini SEM-BSE di A-1, i clasti (Qz=quarzo, Si=silicato) sono coperti da croste di apatite (hAp) e di ossidi di Fe/Mn (Fe/Mn-ox). (B-1) Crosta bruna parietale in un condotto a 1400 m s.l.m.; (B-2,3) Immagini SEM-BSE di B-1, i clasti di calcite (Ca) e Si sono cementati da croste di hAp, materia organica (C) e Fe/Mn-ox. (C-1) Noduli di fosfato di calcio sulla parete di un condotto freatico a 1200 m s.l.m.; (C-2) immagine SEM-BSE della superficie esterna di C-1; (C-3) Immagine SEM-BSE che mostra in sezione la struttura regolare e laminata (tratti puntinati) del nodulo accresciuto sopra un substrato dolomitico alterato (Dol).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Speleogenesi ipogenica profonda nei carbonati silicizzati del nord-est del Brasile

Luca Pisani ([a]), Marco Antonellini ([a]), Francisco Hilario R. Bezerra ([b]), Gabriella Koltai ([c]), Cristina Carbone ([d]), Augusto S. Auler ([e]), Philippe Audra ([f]), Vincenzo La Bruna ([b]), Giovanni Bertotti ([g]), Fabrizio Balsamo ([h]), Cayo C. Pontes ([b]), Jo De Waele ([a])

([a]) Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, University of Bologna, Italy, *lucapiso94@gmail.com, m.antonellini@unibo.it, jo.dewaele@unibo.it*
([b]) Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Federal University of Rio Grande Do Norte, Brazil, *hilario.bezerra@ufrn.br; vincenzolabruna@gmail.com; cayopontes@gmail.com*
([c]) Institute of Geology and Paleontology, University of Innsbruck, Austria, *Gabriella.Koltai@uibk.ac.at*
([d]) DISTAV, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università di Genova, Corso Europa 26, Genova, Italy, *carbone@dipteris.unige.it*
([e]) Instituto Do Carste, Ciência e Meio Ambiente, Belo Horizonte, Brazil. aauler@gmail.com
([f]) Polytech'Lab UPR 7498, University Cote d'Azur, Nice, France, *Philippe.AUDRA@univ-cotedazur.fr*
([g]) Department geoscience engineering, Technical University of Delft, Netherlands, *G.Bertotti@tudelft.nl*
([h]) Department of Chemistry, Life Sciences and Environmental Sustainability, University of Parma, Italy, *fabrizio.balsamo@unipr.it*

Parole chiave: Dissoluzione SiO_2; fluidi idrotermali; geomorfologia; reservoir
Keywords: SiO_2 dissolution; hydrothermal fluids; geomorphology; reservoir

Le cavità ipogeniche sono il risultato della dissoluzione di rocce solubili da parte di fluidi aggressivi la cui origine non è geneticamente collegata a processi superficiali (Klimchouk, 2009). In contrasto con la "classica" speleogenesi epigenica, il percorso di migrazione delle acque avviene spesso dal basso verso l'alto, e coinvolge risalite di fluidi la cui aggressività è solitamente acquisita da processi geologici profondi, indipendenti dall'infiltrazione meteorica o dagli acidi presenti nel suolo. Spesso la dissoluzione carsica in condizioni ipogeniche produce un aumento della porosità e della permeabilità dell'ammasso roccioso alla micro-scala. Tuttavia, veri e propri condotti carsici interconnessi (grandi da pochi centimetri fino a qualche metro in diametro) sono stati rinvenuti a profondità elevate in molti bacini sedimentari e *reservoir* carsificati (Andreychouk et al., 2009). L'esumazione di rocce precedentemente sepolte fa sì che alcuni di questi vuoti, qualora preservati dall'erosione e dai

collassi, siano oggi accessibili dalla superficie terrestre e, quindi, percorribili e studiabili.
Diverse grotte situate all'interno del *São Francisco Craton* (Brasile), sono state recentemente studiate a causa della particolare presenza di depositi di SiO_2 (selce, quarzo, calcedonio) e forme di dissoluzione di origine ipogenica (Bertotti et al., 2020; Pisani et al., 2022). Le grotte in questione si sono formate all'interno di sequenze carbonatiche dolomitizzate di età Neoproterozoica (Formazione *Salitre*). In particolare, la Grotta *Calixto*, lunga 1,4 km e profonda circa 60 m, ha permesso di proporre un modello evolutivo e speleogenetico per le distinte fasi di dissoluzione carsica e riprecipitazione di SiO_2. In questo lavoro sono presentate le relazioni tra stratigrafia, *pattern* strutturali, ed organizzazione spaziale-morfologica della grotta. Inoltre, lo studio dettagliato della petrografia, della mineralogia e della variabilità negli stili deformativi e proprietà petrofisiche (porosità-permeabilità), ha permesso di individuare distinti schemi di flusso (verticale vs. orizzontale) e associate unità speleogenetiche. L'analisi della morfostruttura della grotta, della paragenesi dei depositi silicei e delle temperature di omogeneizzazione delle inclusioni fluide (T_h) nei riempimenti di quarzo, permettono di ipotizzare un'origine idrotermale profonda per i fluidi coinvolti nelle principali fasi carsiche. Tali fluidi idrotermali caldi e alcalini (T_h=170-210°C; pH≥8-9) inducono la dissoluzione della SiO_2 alla quale segue, al variare delle condizioni di T e pH, la dissoluzione della dolomia e la deposizione di calcedonio e quarzo. Il livello inferiore della grotta ospita i condotti di alimentazione dei fluidi idrotermali (*feeders* e *rising conduits*), canalizzati lungo zone di fratturazione a giacitura verticale. Il livello sub-orizzontale intermedio, che racchiude il 70-80% del volume della cavità, è invece localizzato negli strati di dolomie silicizzate e intensamente fratturate al di sotto di uno strato meno permeabile (cosiddetto "*seal*"). Questa parte di grotta è poi collegata alla superficie esterna tramite un livello superiore e una dolina di crollo.
L'esempio della Grotta *Calixto* dimostra l'importanza dei processi speleogenetici ipogenici che possono drasticamente modificare le proprietà petrofisiche di rocce a bassa solubilità in tipiche condizioni superficiali (selci, quarziti, carbonati silicizzati) e portare alla formazione di importanti strutture carsiche. Il modello speleogenetico applicato alla Grotta *Calixto* potrebbe infatti chiarire la genesi dei processi di dissoluzione-precipitazione ipogenica in molti *reservoir* carsificati profondi.

Riferimenti bibliografici

Andreychouk V., Dublyansky Y., Ezhov Y., Lisenin G. (2009), *Karst in the Earth's Crust: Its Distribution and Principal Types*, University of Silezia - Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Sosnovec–Simferopol.

Bertotti G., Audra P., Auler A., Bezerra F.H., de Hoop S., Pontes C., Prabhakaran R., Lima R. (2020), "The Morro Vermelho hypogenic karst system (Brazil): Stratigraphy, fractures, and flow in a carbonate strike-slip fault zone with implications for carbonate reservoirs", *AAPG Bulletin*, 104: 2029–2050.

Klimchouk A. (2009), "Morphogenesis of hypogenic caves", *Geomorphology*, 106: 100–117.

Pisani L., Antonellini M., Bezerra F.H.R., Carbone C., Auler A.S., Audra P., La Bruna V., Bertotti G., Balsamo F., Pontes C.C., De Waele J. (2022), "Silicification, flow pathways, and deep-seated hypogene dissolution controlled by structural and stratigraphic variability in a carbonate-siliciclastic sequence (Brazil)", *Marine and Petroleum Geology*, 139: 105611.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le grandi doline di crollo nel plateau basaltico di Azrou (Marocco): un'analisi morfometrica

Jorge Sevil ([a]), Maria Teresa Melis ([b]), Luca Pisani ([c]), Jo De Waele ([c])

([a]) Departamento di Ciencias de la Tierra, Università di Zaragoza, Spagna, *jorgesevil@unizar.es*
([c]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, *jo.dewaele@unibo.it, lucapiso94@gmail.com*
([b]) Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Cagliari, *titimelis@unica.it*

Parole chiave: Telerilevamento; doline; basalto; morfometria
Keywords: Remote sensing; dolines; basalts; morphometry

L'altopiano vulcanico quaternario di Azrou (Medio Atlante, Marocco) si estende per più di 400 km^2 (De Waele, Melis, 2009). Tali basalti coprono i calcari e le dolomie del Mesozoico, un esteso acquifero carsico che dà origine al fiume Oum Er Rbia. Negli anni '70 furono rilevati più di 100 grandi fenomeni di crollo nei basalti utilizzando mappe 1:100.000 e alcune fotografie aeree (Martin, 1981). Williams le definì come "doline di crollo del *caprock*" (Williams, 2004), suggerendo così la presenza di vuoti carsici sottostanti. Tuttavia, in quest'area sono noti alcuni piccoli segmenti di tubi lavici (Martin, 1981) e alcuni dei crolli sono allineati o situati al centro delle colate laviche. Studi recenti hanno mostrato una buona relazione tra lineamenti strutturali mappati tramite telerilevamento e le morfologie carsiche (Menjour et al., 2017; Muzirafuti et al., 2020). Questi studi hanno utilizzato dati LANDSAT 7 ETM+ (risoluzione spaziale di 30 m, 15 m in pancromatico), Sentinel-2 (risoluzione spaziale di 10 m) e ASTER GDEM (risoluzione spaziale di 30 m). Nessuno degli studi ha utilizzato immagini ad alta risoluzione, che permettono indagini morfometriche e mappature più accurate.

Nell'ambito del progetto Europlanet 16-EPN2-007 (autunno 2016) è stata effettuata una campagna di rilevamento sul terreno. Durante questa fase di raccolta dati sono stati misurati profondità e diametri di 89 doline di crollo utilizzando un telemetro Lietz Sokkisha (ora Sokkia, Tokyo) di base 50 cm con una portata operativa di 10-250 m ed una precisione di circa il 5%. La posizione delle doline è stata acquisita utilizzando un palmare GPS (Trimble Juno dotato dell'estensione ESRI's ArcPad), che ha permesso di identificare le doline nelle immagini satellitari. Nel corso del 2019 sono state acquisite immagini tri-stereo della costellazione satellitare Pleiades grazie ad un Progetto intitolato "The Azrou Plateau (Middle Atlas, Morocco): a perfect terrestrial analog

for study both karst and lava tube" finanziato dalla European Space Agency (©CNES 2018, distributed by Airbus DS; RITM0042620 – ESA-TPM4 Project Proposal id43487, PI MTM). Tramite l'elaborazione delle immagini stereografiche è stato estratto un modello di elevazione digitale (DEM) dell'area, calibrato su punti quotati misurati sul terreno. In seguito, è stata effettuata una valutazione qualitativa della precisione orizzontale del DEM utilizzando le immagini Pleiades e le forme delle doline mappate. La valutazione dell'accuratezza del DEM è stata infine realizzata utilizzando test statistici e confrontando la profondità delle doline misurate sul terreno con lo stesso parametro estratto dal modello, constatando una buona corrispondenza tra i dati di campagna e i dati telerilevati (Melis et al., 2021).

A questo punto è stato fatto uno studio morfometrico delle oltre 300 doline mappate dai DEM, mettendo questi dati a confronto con la morfologia del terreno e i limiti geologici telerilevati. La distribuzione spaziale e i parametri morfometrici delle doline di crollo nell'altopiano vulcanico sono stati poi confrontati con altre altre aree carsiche (o vulcaniche con tubi lavici) caratterizzate da presenza di doline. L'obiettivo dello studio è quello di caratterizzare le proprietà morfometriche di queste peculiari morfologie e cercare di capire l'origine enigmatica delle grandi doline di crollo isolate in mezzo alle colate, la cui formazione non sembra essere correlata ai tubi lavici, ma potrebbe rispecchiare la presenza di vuoti sotterranei nelle rocce carbonatiche sottostanti.

Riferimenti bibliografici

De Waele J., Melis M.T. (2009), "Geomorphology and Geomorphological Heritage of the Ifrane-Azrou Region (Middle Atlas, Morocco)", *Environmental Geology*, 58: 587-599.

Martin, J. (1984), "Le Moyen Atlas central. Etude géomorphologique", *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 258: 1-446

Melis M.T., Pisani L., De Waele J. (2021), "On the Use of Tri-Stereo Pleiades Images for the Morphometric Measurement of Dolines in the Basaltic Plateau of Azrou (Middle Atlas, Morocco)", *Remote Sensing*, 13(20): 4087.

Menjour F., Remmal T., Hakdaoui M., El Kamel F., Lakroud K., Amraoui F., El Amrani El Hassani I.-E.; Van Wyk de Vries B.; Boivin P. (2017), "Role of Fracturing in the Organization of the Karst Features of Azrou Plateau (Middle Atlas, Morroco) Studied by Remote Sensing Imagery", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(6): 1015-1030.

Muzirafuti A., Boualoul, M., Barreca G., Allaoui A., Bouikbane H., Lanza S., Crupi A., Randazzo G. (2020), "Fusion of Remote Sensing and Applied Geophysics for Sinkholes Identification in Tabular Middle Atlas of Morocco (the Causse of El Hajeb): Impact on the Protection of Water Resource", *Resources*, 9(4): 51.

Williams, P. (2004), "Dolines", In: Gunn J (Ed.), *Encyclopedia of caves and karst science*. New York: Fitzroy Dearborn, 628-642.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta 5 in Condotta (Lombardia): le forme del tempo

Giorgio Tomasi([a])

([a]) Gruppo Speleologico Valseriana Talpe, *giorgio@tomasi.bg.it*

Parole chiave: Val Canale; sovrascorrimento; corrosione per condensazione; ipogenica
Keywords: Val Canale; thrust-sheet; condensation corrosion; hypogenic

La Val Canale, valle laterale della Val Seriana (BG) si trova in un contesto geologico particolare: si sviluppa infatti lungo un importante lineamento tettonico che separa il basamento cristallino a nord dalla successione carbonatica mesozoica a sud. Qui è stata scoperta nel 2012 la Grotta 5 in Condotta, con una risalita sulle pareti nord del M. Arera, lungo il versante destro della valle. La grotta ha uno sviluppo di 6461 m e una profondità complessiva di 529 m (+ 286, - 243 m) e mostra fin dall'ingresso, tagliato dalla valle, particolarità geologiche e morfologiche che la rendono decisamente diversa dalle altre grotte delle Prealpi Lombarde (Baio et al., 2017). L'elemento che certamente ne ha condizionato la genesi e le morfologie più antiche è la superficie di sovrascorrimento che porta il più antico Calcare di Camorelli (Anisico medio-sup.) sulla più giovane Formazione di Esino (Anisico sup.-Carnico inf.). La grotta si sviluppa lungo il sovrascorrimento, tagliandolo in più punti, e il risultato è un continuo susseguirsi di cambi litologici, sottolineati da zone fortemente tettonizzate, con faglie decametriche che controllano l'andamento e la geometria di molti passaggi.

La grotta si presenta con forme insolite, se paragonate al resto delle grotte lombarde. Essa mostra, infatti, gallerie suborizzontali, non più attive, molto concrezionate, disposte su più livelli e tagliate da una carsificazione molto più recente, prevalentemente vadosa, con pozzi e forre fortemente attivi. Fenomeni di crollo diffusi in alcune zone cancellano in gran parte le morfologie precedenti e sono legati sia alla fratturazione, molto pervasiva, sia a riattivazioni di movimenti lungo faglie: in diversi punti si osservano dislocazioni delle morfologie e piccoli specchi di faglia.

Le forme che più colpiscono in questa grotta sono però legate a fenomeni di intensa corrosione, che lavorano soffitti e pareti in forme bizzarre e molto scenografiche. Si osservano infatti numerosissime cupole, di dimensioni che vanno da pochi centimetri a metriche, che sembrerebbero legate a processi di corrosione per condensazione. Spesso le cupole sono organizzate in gruppi coalescenti, che originano duomi e camini. La coalescenza di cupole e altre forme di corrosione determina

la formazione di *ceiling pendants*, che originano lame, punte sporgenti, archi, diaframmi, piccoli trafori sui soffitti o lungo le pareti. Bellissimi esempi di forme simili a canali di volta impostati lungo faglie o altre discontinuità fanno pensare a un'origine per corrosione in punti preferenziali di condensazione: si tratta quindi di "canali di volta" con un'origine diversa da quelli tradizionalmente ascritti a paragenesi. *Boxwork* originati da vene di calcite sporgono dalle pareti anche di parecchi centimetri: pur essendo forme comuni in diversi contesti, in questo caso indicano una corrosione molto intensa della roccia. In alcuni punti della grotta sono visibili sul pavimento vaschette di corrosione: sono forme molto simili alle normali marmitte di erosione, tuttavia l'intensità e la densità del fenomeno le rendono particolari, e fanno pensare a un'intensa corrosione, forse legata a gocciolamento di acque di condensazione molto aggressive. Inoltre, la roccia delle pareti in alcuni punti appare fortemente alterata per uno spessore di parecchi centimetri, coperta da patine rossastre o nerastre, e da veli biancastri. Questo è indizio di reazioni chimiche che hanno interessato la roccia dopo, o durante, la formazione delle gallerie, reazioni che potrebbero essere dovute alla circolazione di fluidi aggressivi. In diversi punti della grotta sono presenti depositi gessosi, in forma per lo più microcristallina, aciculare o pulverulenta, mentre in altri punti soffitti e pareti sono coperti da resti di mineralizzazioni biancastre, verosimilmente idromagnesite. Queste peculiari morfologie, insieme al particolare assetto geologico della grotta, fanno pensare, per queste forme più antiche, a una probabile origine ipogenica.
Tra le caratteristiche di questa grotta vi è anche la forte circolazione d'aria, responsabile di un fenomeno molto particolare. Sia il Calcare di Camorelli che la Formazione di Esino sono qui in gran parte dolomitizzati: ne risulta una grande abbondanza di sabbia dolomitica, residuo della dissoluzione carsica. Le forti correnti d'aria che spazzano la grotta creano, a volte, delle vere e proprie piccole "tempeste di sabbia" che, analogamente all'erosione eolica in superficie, hanno un effetto di abrasione sulla roccia, che in diversi punti appare levigata e quasi "lucidata".
La dolomitizzazione è sicuramente anche responsabile della grande abbondanza di concrezioni aragonitiche: il magnesio della dolomite ne favorisce infatti la precipitazione a scapito della più comune calcite. Processi di evaporazione hanno prodotto grandi quantità di concrezioni "a pop corn" o coralloidi, che spesso ricoprono ogni superficie libera della grotta.
La grotta è stata oggetto di due tesi di laurea in geologia, da parte di due giovani speleologi (Baio, 2018; Riva, 2018) che ne hanno studiato le complesse relazioni con la struttura geologica, le morfologie e le diverse mineralizzazioni, nel tentativo di ricostruire la storia, lunga e complessa, di questa grotta.

Riferimenti bibliografici

Baio S. (2018), "Relazioni tra litologia e tettonica nello sviluppo della grotta 5 in Condotta (Valcanale – BG)", *Tesi di Laurea Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra*: pp. 69

Baio F., Comotti G., Masserini S., Merisio G., Tomasi G., Tognini P. (2017) "5 in Condotta: una grotta fuoriclasse", *Speleologia*, 77: 14-21

Riva F. (2018), "Analisi petrografica, mineralogica e geochimica di concrezioni carbonatiche nella grotta 5 in Condotta (Valcanale – BG)", *Tesi di Laurea Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra*: pp. 84

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

"Grotta che Parla": un esempio di cavità ipogenica nella Sicilia occidentale

Marco Vattano ([a,b]), Giuliana Madonia ([b]), Ilenia M. D'Angeli ([c,d]), Maurizio Gasparo Morticelli ([b]), Michael Deininger ([e]), Cristina Carbone ([f]), Pietro Valenti ([a]), Martin Arriolabengoa ([g]), Cipriano Di Maggio ([b]), Jo De Waele ([c])

([a]) Associazione Naturalistica Speleologica "Le Taddarite", Palermo, Italia
([b]) Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università di Palermo, Italia, *marco.vattano@unipa.it; giuliana.madonia@unipa.it; maurizio.gasparo@unipa.it; cipriano.dimaggio@unipa.it*
([c]) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, Italia, *dangeli.ilenia89@gmail.com; jo.dewaele@unibo.it*
([d]) Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Italia *ileniamaria.dangeli@unipd.it*
([e]) Institute of Geosciences Johannes Gutenberg University Mainz, Germany, *michael.deininger@uni-mainz.de*
([f]) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita, Università di Genova, Italia, *cristina.carbone@unige.it*
([g]) Department of Geology, University of the Basque Country, UPV/EHU Sarriena, Spain, *martin.arriolabengoa@ehu.eus*

Parole chiave: grotte ipogeniche; speleotemi; solfati; Sicilia
Keywords: hypogenic caves; speleothems; sulfates; Sicily

Le grotte ipogeniche sono connesse alla risalita di fluidi profondi ricchi in gas, quali CO_2 e H_2S, che conferendo loro un elevato grado di acidità, favoriscono lo sviluppo dei processi speleogenetici. Le cavità ipogeniche sono caratterizzate da morfologie e depositi chimici peculiari, spesso diversi rispetto a quelli che contraddistinguono le "classiche" grotte epigeniche con ricarica dall'alto verso il basso. Scarsi o assenti risultano poi i depositi di natura fisica. Considerate rare nel territorio italiano fino a qualche decina di anni fa, le grotte ipogeniche oggi costituiscono una considerevole porzione del patrimonio ipogeo.

Ubicata nella porzione settentrionale del rilievo di Rocca che Parla (422 m s.l.m.), nei pressi di Calatafimi (Trapani, Sicilia occidentale), Grotta che Parla è una piccola cavità portata alla luce durante i lavori di coltivazione di una cava di inerti, oggi non più attiva.

La grotta si apre in corrispondenza di calcari biancastri del Giurassico inferiore afferenti alla Formazione Inici. I calcari risultano stratificati in spessi banchi, mostrano generale immersione verso i quadranti meridionali e sono attraversati da filoni sedimentari, sia verticali che orizzontali, costituiti da litotipi più recenti appartenenti ai calcari ad ammoniti del Giurassico Medio e alle facies pelagiche del Giurassico superiore-Cretacico (Martire et al., 2000; Pavia et al., 2002).

La Grotta che Parla si sviluppa per cir-

ca 200 m, attraverso strette gallerie sub-orizzontali impostate lungo le superfici di strato, assumendo una direzione NO-SE e una inclinazione di circa 25°. Le gallerie sono disposte su due livelli e sono tra loro raccordate da piccoli salti. La profondità massima raggiunta, rispetto all'ingresso, è di 25 m. La presenza di discontinuità fisiche (e.g. faglie e filoni sedimentari) che attraversano i calcari della formazione Inici, ha facilitato il movimento di fluidi e quindi i fenomeni carsici ipogenici che caratterizzano quest'area.

Gli ambienti della grotta sono caratterizzati da forme di dissoluzione, tra le quali: cupole di corrosione per condensazione, *vents*, pilastri e setti di roccia, *boxwork*, *etc*. I sedimenti di natura alluvionale sono assenti, prevalgono depositi di crollo, speleotemi e mineralizzazioni di diversa natura (fig. 1).

Le analisi mineralogiche condotte hanno evidenziato la presenza di calcite, di fillosilicati del gruppo del serpentino, e vari depositi di gesso che si trova sotto forma di aggregati compatti, croste superficiali, cristalli aciculari e *gypsum flowers*. Piccole stalagmiti carbonatiche, alcune delle quali sono oggetto di datazioni assolute e di approfondite indagini isotopiche, interessano i settori più interni della cavità. L'analisi di insieme del pattern della grotta, delle forme di dissoluzione e dei depositi presenti al suo interno, suggerisce una speleogenesi ipogenica, seguita nelle fasi più recenti da un'evoluzione epigenica.

Riferimenti bibliografici

Martire L., Pavia G., Pochettino M., Cecca F. (2000), "The Middle-Upper Jurassic of Montagna Grande: age, facies and depositional geometries". *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55: 219-225.

Pavia G., Cresta S. (a cura di) (2002), "Revision of Jurassic ammonites of the Gemmellaro collections", *Quaderni Museo Geologico "G.G. Gemmellaro"*, 6: 1-406, Palermo.

Figura 1- Galleria principale della Grotta che Parla con visibili forme di corrosione sul soffitto e lungo le pareti. A destra, sul pavimento sono visibili depositi di gesso sotto forma di croste bianche.

Meteorologia sotterranea

di Claudio PASTORE, Alice CRESPI e Luca PALAZZOLO

Per Giovanni Badino era uso iniziare le proprie presentazioni con una frase molto semplice, che però racchiudeva l'intera essenza della fisica ipogea:"*Le grotte non esistono. Le grotte non esistono, sono dei vuoti più o meno complessi all'interno di un isolante termico, la roccia. Il guaio di tutto ciò è che studiare la fisica di qualcosa che non esiste è un qualcosa di estremamente complicato*". Giovanni, pioniere nello studio della meteorologia ipogea, era solito continuare con delle riflessioni in merito al fatto che le grotte sono uno dei pochi sistemi naturali all'equilibrio secolare e pertanto costituiscono un vero e proprio archivio del tempo. La meteorologia ipogea ricopre quindi un importante ambito di studio, sia in ambito accademico, sia in quello prettamente speleologico, in cui tutti i parametri fisici devono essere considerati contemporaneamente. Parlare di meteorologia ipogea significa parlare del risultato delle interazioni di vari processi di scambi termici che avvengono all'interno del sistema carsico, ai quali vanno aggiunti i fattori ambientali, compresa la geologia e la geometria del sistema carsico. Anche la piovosità, l'altitudine e la latitudine contribuiscono ad innescare i vari processi "meteorologici" che possono entrare in gioco. Viene spontaneo affiancare al concetto di meteorologia quello di temperatura della grotta, ma tenendo sempre presente che la temperatura che misuriamo, di qualunque cosa, è il risultato di vari processi di scambio termico avvenuti nel sistema. La circolazione dei fluidi, quindi aria e acqua, che entrano in un sistema carsico classico concorrono con il calore geotermico e la radiazione nel fissare la temperatura di una grotta (e della montagna). Lo studio della temperatura, insieme a quello di portate idriche e aeree devono essere strumenti utili alla comprensione di quali processi entrano in gioco, in che proporzione e per quanto tempo. La geometria della grotta è un parametro fondamentale da tenere sempre presente, in quanto esso determina l'innescarsi di svariati processi, a partire dall'evaporazione e condensazione sulle pareti, fino a determinare la ventilazione del sistema e lo scorrimento delle acque al suo interno. Per esempio, in un sistema a due o più ingressi si innescherà l'effetto camino legato alle differenze di densità dell'aria, in un sistema molto vasto ma con aperture relativamente piccole verso l'esterno una circolazione barometrica, in una grotta con un solo ingresso una circolazione auto-convettiva o una trappola per l'aria fredda. Le combinazioni possono essere varie, a volte i processi si mescolano tra loro rendendone difficile l'identificazione, ma ognuno di questi ha un impatto differente sulla climatologia del sistema e spesso sono utilizzati dagli speleologi per scoprire nuove prosecuzioni o per collegare interi sistemi carsici grazie all'ausilio di traccianti. La stabilità delle temperature nelle grotte è una condizione che si verifica a partire da 50–100 m di profondità, nella zona vadosa stabile (*homothermic zone*). Tuttavia, i suoi limiti sono molto labili e sono sitospecifici. A partire da queste profondità sono state osservate temperature stabili nel tempo e che aumentano verso quote più basse seguendo gradienti (sempre osservati) compresi tra 3.3 e 5 °C/km. È lungo questi gradienti che acqua, aria e roccia raggiungono una temperatura di equilibrio (i valori sono infatti inclusi tra il gradiente idrico di 2.34 °C/km e quello dell'aria umida di 6 °C/km). Anche in questo caso, la ricerca in zone profonde di anomalie di questi equilibri potrebbe permettere di avere dettagli sia speleoclimatici che esplorativi. La zona

freatica invece mostra gradienti nulli lungo il suo spessore, pertanto la temperatura dell'acqua resta costante. Al contrario, nelle zone prossime agli ingressi si è in una condizione di temperature fortemente condizionate da quelle esterne e non hanno gradienti stabili, potendo questi essere postivi o negativi. Lo studio della temperatura nelle prime centinaia di metri rispetto a un ingresso permette di approssimare la *thermal length* (o *penetretion length*), cioè la distanza alla quale le ampiezze delle oscillazioni giornaliere di temperatura all'esterno della grotta sono state smorzate almeno del 36%. È ovvio che se stiamo misurando la temperatura dell'aria, questa sarà fortemente condizionata dai volumi che transitano nell'unità di tempo. In genere l'acqua d'infiltrazione tende a subire uno smorzamento delle oscillazioni giornaliere a profondità inferiori. È nelle prime decine di metri dai punti d'ingresso di aria e acqua che avviene la maggior parte degli scambi termici che permettono ai fluidi di avvicinarsi all'equilibrio con la temperatura della roccia (che a sua volta è influenzata dalla temperatura dei fluidi che vi circolano a contatto). Comprendere a fondo i fattori che influenzano la *thermal length* (sia di una grotta ma soprattutto alla scala di bacino) potrebbe aiutare a stimare il tempo necessario ad una variazione climatica esterna per influire sulla *homothermic zone*, facendo di fatto cambiare la temperatura alla roccia e quindi al sistema. Inoltre è importante il contributo che la meteorologia ipogea può dare alle ricerche paleoclimatologiche, in quanto la formazione degli speleotemi è strettamente legata alle condizioni climatiche a contorno, registrandone di conseguenza le variazioni.
Durante la tavola rotonda sono quindi stati affrontati questi temi e la loro applicazione sia in ambito accademico, sia in ambito esplorativo. Conoscere la fisica del mondo ipogeo, la fisica degli archivi del tempo, porterà anzi tutto una migliore comprensione degli eventi passati, ma anche e soprattutto permetterà una nuova fase esplorativa fatta da pionieri, pionieri della scienza.

Subterranean meteorology

by Claudio PASTORE, Alice CRESPI and Luca PALAZZOLO

For Giovanni Badino it was customary to begin his presentations with a very simple sentence, which however contained the entire essence of underground physics: "Caves do not exist. Caves do not exist, they are more or less complex voids within a thermal insulator, the rock. The trouble with all of this is that studying the physics of something that doesn't exist is something extremely complicated". Giovanni, a pioneer in the study of underground meteorology, used to continue with reflections on the fact that caves are one of the few natural systems with a secular balance and therefore constitute a real archive of time.
Subterranean meteorology therefore covers an important field of study, both in the academic field and in the purely speleological one, in which all the physical parameters must be considered simultaneously. Talking about underground meteorology means talking about the result of the interactions of various thermal exchange processes that occur within the karst system, to which environmental factors must be added, including the geology and geometry of the karst system. Rainfall, altitude, and latitude also contribute to triggering the various "meteorological" processes that can come into play. It is natural to combine the concept of meteorology with that of cave temperature, but always bearing in mind that the temperature we measure, of whatever, is the result of various heat exchange processes that have taken place in the system. The circulation of fluids, therefore air and water, which enter a classic karst system concur with geothermal heat and radiation in setting the temperature of a cave (and of the mountain). The study of temperature, together with that of water and air flows, must be useful tools for understanding which processes come into play, in what proportion and for how long. The geometry of the cave is a fundamental parameter to always keep in mind, as it determines the triggering of various processes, starting with evaporation and condensation on the walls, up to determining the ventilation of the system and the flow of water through it. For example, in a system with two or more entrances the chimney effect linked to the differences in air density will be triggered, in a very large system but with relatively small openings to the outside a barometric circulation will be in place, in a cave with only one entrance a self-convective circulation or a cold air trap will be typical. The combinations can be various, sometimes the processes mix with each other making identification difficult, but each of these has a different impact on the climatology of the system and are often used by speleologists to discover new continuations or to connect entire karst systems with the help of tracers. The stability of the temperatures in the caves is a condition that occurs starting from 50-100 m depth, in the stable vadosa zone (homothermic zone). However, its limits are very vague and are site-specific. Starting from these depths, stable temperatures have been observed over time and increasing towards lower altitudes following gradients (always observed) between 3.3 and 5°C/km. It is along these gradients that water, air and rock reach an equilibrium temperature (the values are in fact included between the water gradient of 2.34 °C/km and that of humid air of 6°C/km). Also in this case, the research in deep areas of anomalies of these balances could allow to have both speleoclimatic and exploratory details. The phreatic zone, on the other hand, shows zero gradients along its thickness, therefore

the water temperature remains constant. On the contrary, in the areas close to the entrances there is a condition of temperatures strongly conditioned by the external ones and they do not have stable gradients, which can be positive or negative. The study of the temperature in the first hundreds of meters with respect to an entrance allows to approximate the thermal length (or penetration length), that is the distance at which the amplitudes of the daily temperature fluctuations outside the cave have been damped by at least 36%. It is obvious that if we are measuring the temperature of the air, this will be strongly conditioned by the volumes transiting in the unit of time. In general, the infiltration water tends to undergo a dampening of the daily oscillations at lower depths. It is in the first tens of meters from the entry points of air and water that most of the thermal exchanges take place, allowing the fluids to approach equilibrium with the temperature of the rock (which in turn is influenced by the temperature of the circulating fluids). Understanding in depth the factors that influence the thermal length (both of a cave but above all at the basin scale) could help to estimate the time required for an external climatic variation to affect the homothermic zone, effectively changing the temperature of the rock and therefore of the system. Furthermore, the contribution that subterranean meteorology can give to paleoclimatological research is important, as the formation of speleothems is closely linked to the surrounding climatic conditions, consequently recording the variations.

During the round table these issues and their application were therefore addressed both in the academic and exploratory fields. Knowing the physics of the underground world, the physics of the archives of the time, will bring a better understanding of past events, but also and above all will allow a new exploratory phase made by pioneers, pioneers of science.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ascoltando l'abisso Davorjevo

Igor Ardetti, Stefano Venica

Commissione Grotte Eugenio Boegan (S.A.G. Trieste), *igor.ardetti@gmail.com*

Parole chiave: pressione; armonica; spettro; transiente
Keywords: pressure; harmonic wave; spectrum; transient

Riassunto
Il presente studio verte sull'analisi degli andamenti spettrali della pressione atmosferica nell'abisso Davorjevo (SLO) osservati in regime naturale e regime perturbato.

Regime naturale

A fronte di variazioni esterne ma rilevabili internamente [cause di natura statica (Cigna, 1968)], l'abisso Davorjevo è descrivibile secondo un comportamento barico e microbarico (Polli, 1956). Applicando la "Fast Fourier Transform" (FFT) ai dati di pressione interna e tralasciando le variazioni riconducibili alle componenti principali associabili alle maree atmosferiche e al segnale diurno (Wu et al., 2003), sono state rilevate due oscillazioni di entità particolarmente elevata di periodo 2h 40min e 3h 25 min (fig. 1). Ipotizzando che queste siano associabili alla 7° e 9° armonica del segnale diurno, quanto osservato potrebbe ricondursi ad una particolare risonanza atmosferica esterna.

Inoltre, applicando la FFT ai dati di pressione suddivisi mensilmente, è stata individuata una variazione mensile del rumore di fondo, apparentemente riconducibile alle fasi dell'oscillazione artica (Zhang, 2021) e rappresentata dall'indice AO (fig. 2a): durante la fase positiva del vortice polare i picchi spettrali associati alle frequenze in oggetto sono ben visibili (fig. 2b), mentre nella fase negativa risultano indistinguibili dal rumore di fondo (fig. 2c).

Regime perturbato

Seguendo l'approccio di Cigna (1968) e Diqual (2015), si è tentato di stimare il volume della cavità perturbandone artificialmente l'atmosfera interna mediante accensione e spegnimento di un ventilatore posizionato all'ingresso. Tuttavia, in seguito all'estrazione forzata dell'aria, non è stato possibile mantenere la decompressione atmosferica dell'abisso (Diqual, 2015), presumibilmente per la presenza di ingressi ignoti.

Sono state inoltre registrate le variazioni di pressione dovute all'onda d'urto generata dall'eruzione del vulcano polinesiano Hunga Tonga-Hunga-Ha'apai (fig. 3).

Dai dati di pressione interna successivi al transiente artificiale e all'onda d'urto non è stato possibile isolare una frequenza riconducibile ad una risonanza di Helmholtz (Cigna, 1968; Plummer,

1969). Tuttavia, l'applicazione ripetuta del transiente artificiale di pressione potrebbe consentire in futuro l'individuazione di un eventuale spettro risonante caratteristico dell'abisso.

Riferimenti bibliografici

Cigna A. A. (1968), "An analytical study of air circulation in caves", *International Journal of Speleology*, 3: 41–54.

Diqual A. (2015), "Un insolito metodo d'indagine speleologica", sito internet Commissione Grotte Eugenio Boegan – Legislazione e tecnica.

Zhang J., Sheng Z., Ma Y., He Y., Zuo X., He M. (2021), "Analysis of the Positive Arctic Oscillation Index Event and Its Influence in the Winter and Spring of 2019/2020", *Frontiers in Earth Science*, 8: 580601.

Wu S.C., Chen F., Fan S.H., Luo J. (2003), "Phase Leading of Temperature Variation in Cavity Caused by Heat Conduction Between Air and Rock", *Chinese Phys. Lett.*, 20(12): 2192-2194.

Polli S. (1956), "La Grotta Gigante del Carso Triestino quale cavità barometrica", *Atti VI Congresso Nazionale di Speleologia 1954*: 277-286, Trieste.

Plummer W. T. (1969), "Infrasonic resonances in natural underground cavities", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 46: 1074-1080.

AO index dataset: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table

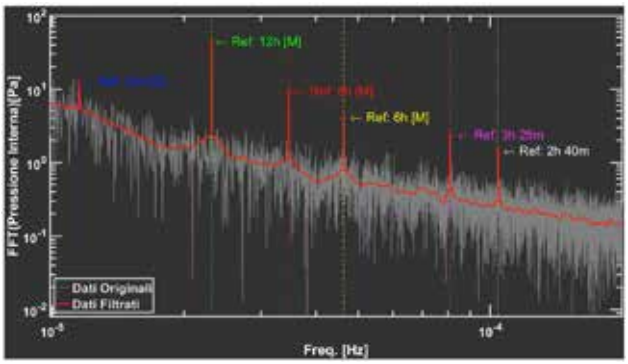


Figura 1 - FFT pressione interna: componente diurna [D] e componenti maree atmosferiche [M].

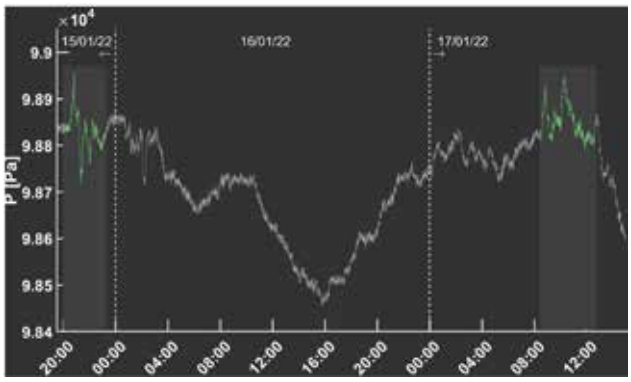


Figura 3 - Variazioni di pressione riconducibili al primo e secondo passaggio dell'onda d'urto.

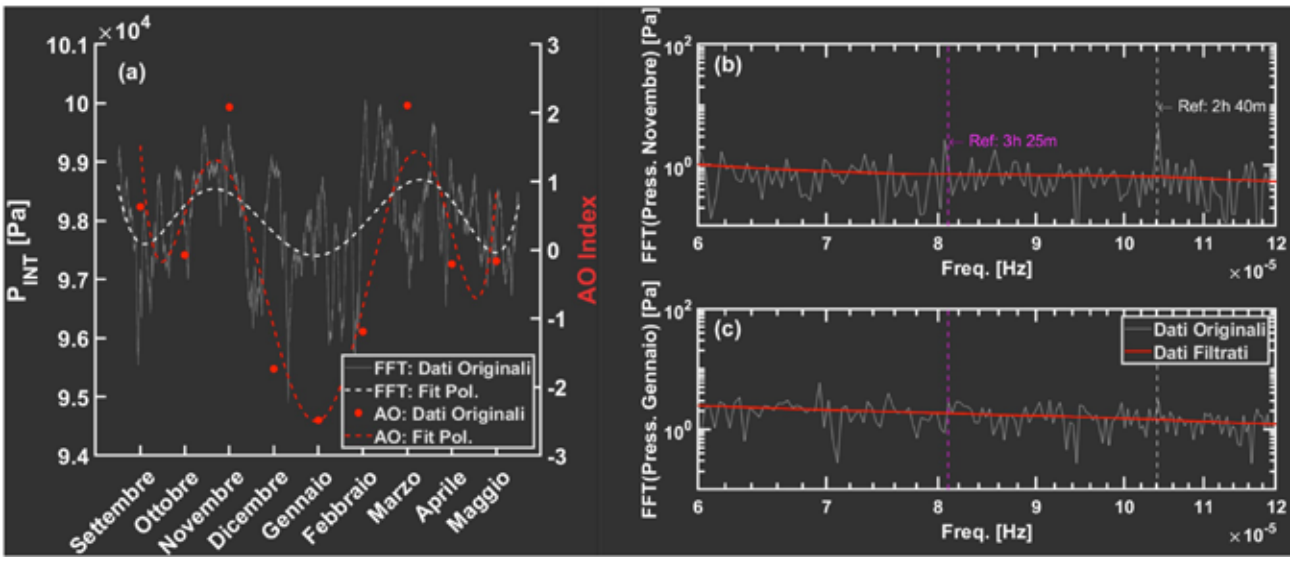


Figura 2 - (a) Fitting polnomiale della pressione interna e dell'indice AO [7]. (b)-(c) FFT pressione interna dei mesi di Novembre 2020 e Gennaio 2021, rispettivamente.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il monitoraggio della concentrazione di CO_2 in aria nelle grotte

Valentina Balestra ([a]), Claudio De Regibus ([a]), Adriano Fiorucci([a]), Bartolomeo Vigna ([a])

([a]) DIATI – Politecnico di Torino, *valentina.balestra@polito.it, claudio.deregibus@polito.it, adriano.fiorucci@polito.it, bartolomeo.vigna@polito.it*

Parole chiave: grotte; CO_2; impatto antropico e naturale; monitoraggio
Keywords: caves; CO_2; natural and human impact; monitoring

Abstract
Nelle grotte, l'aumento della concentrazione di CO_2 in aria, legato a cambiamenti climatici o fattori antropici, può alterare l'interfaccia roccia-atmosfera, danneggiando gli speleotemi e l'ecosistema. Diventa quindi fondamentale conoscere quali sono le dinamiche naturali nell'ambiente sotterraneo oggetto di studio, effettuando il monitoraggio in continuo dei principali parametri ambientali (temperatura, circolazione dell'aria, CO_2, etc.). Tale monitoraggio è stato effettuato per un anno nelle grotte turistiche di Borgio Verezzi, Toirano e Bossea. Grazie alla chiusura delle grotte per le restrizioni da Covid-19, è stato inoltre possibile effettuare delle valutazioni in assenza di turisti, evidenziando le variazioni naturali della concentrazione di CO_2 in aria. Per il monitoraggio della concentrazione di CO_2 in aria sono stati installati dei sistemi VAISALA con acquisitori INDIGO 520 in vari punti delle grotte, con due sonde GMP 252 (errore massimo ±2%) ciascuno. I dati sono stati acquisiti in continuo con intervalli di 10 minuti. La concentrazione di CO_2 in grotta è circa 2-20 volte superiore rispetto all'esterno (380-390 ppm), l'origine della quale è principalmente legata alla respirazione e all'ossidazione di sostanza organica. La distribuzione di CO_2 all'interno delle grotte dipende da molti fattori, ed è strettamente correlata alla circolazione dell'aria (Ek, Gewelt, 1985, Fernàndez et al., 1986, Pla et al., 2016); le zone più vicine all'ingresso, più ventilate, hanno concentrazioni di CO_2 più basse rispetto alle aree più distanti e scarsamente ventilate. Diversi lavori descrivono variazioni cicliche stagionali naturali della concentrazione di CO_2 in grotta (componente a bassa frequenza), legate principalmente all'attività organica e alle variazioni di temperatura tra l'interno e l'esterno. In relazione ai dati sulla circolazione dell'aria ricavati dal suddetto monitoraggio, è ragionevole pensare che anche nelle grotte prese in esame, le variazioni di CO_2 siano in parte strettamente condizionate al ciclo naturale. L'aumento di CO_2 in relazione ai flussi turistici (componente ad alta frequenza), è altresì

ben documentato dai dati rilevati durante questo studio. Infine, altre componenti possono influenzare i valori di CO_2 nelle cavità, come eventi d'infiltrazione d'acqua rilevanti, la presenza di acque sotterranee o una forte attività batterica legata a sostanza organica in decomposizione.

Nella grotta di Bossea, durante il periodo di chiusura, sono state registrate variazioni naturali di CO_2 che oscillano tra i 750 e i 1000 ppm nel periodo invernale e primaverile. In tale periodo sono state eseguite misure di concentrazione di CO_2 libera nell'acqua del collettore della grotta che hanno mostrato valori che diminuiscono lungo il percorso, dalla parte più interna verso l'esterno, evidenziando quindi un rilascio di CO_2 nell'ambiente di circa 14 mg/l a fine settembre. Nel periodo estivo, viene registrato un ulteriore incremento, in parte naturale e in parte legato all'impatto antropico. L'incremento antropico avviene durante i week end e nelle festività ed ha valori di circa 50 ppm in settimana, mentre nei week end raddoppia.

La grotta di Borgio Verezzi è caratterizzata dalla presenza di una serie di laghi che possono influenzare i valori naturali della concentrazione di CO_2. Durante il periodo di chiusura invernale e primaverile a causa delle restrizioni da COVID-19, sono stati misurati valori di CO_2 tra i 500 e i 650 ppm. Nella stagione estiva, i dati evidenziano un notevole incremento di CO_2 che raggiunge i valori massimi nel mese di agosto di circa 3240 ppm. Dalla riapertura della grotta, sono evidenti marcati decrementi di CO_2 (circa 1000 ppm in settimana e anche 2000 ppm nei week end) nelle ore giornaliere, mentre nelle ore notturne i valori rimangono più alti e costanti. Tali decrementi sembrano essere legati all'apertura della porta principale, con conseguente notevole ricambio d'aria e abbattimento della concentrazione di CO_2.

Le grotte di Toirano sono formate da due grotte, la grotta della Bàsura e la grotta di S. Lucia inferiore, unite successivamente da un condotto artificiale. Nella grotta di S. Lucia inf., nella zona più profonda della cavità, è stato registrato, nella parte bassa di un tratto non turistico, un notevole incremento naturale della concentrazione di CO_2 che raggiunge un picco massimo di circa 7045 ppm alla fine di giugno, e che supera di oltre 5000 ppm la concentrazione di CO_2 rilevato nella parte alta della galleria. Nella grotta della Bàsura invece, la concentrazione di CO_2 ha un probabile incremento naturale estivo più graduale con un picco di 3272 ppm a metà luglio. Dalla riapertura delle grotte, si possono osservare molto bene variazioni giornaliere di CO_2 legate al flusso turistico che superano anche i 1000 ppm. Nel periodo invernale è stato possibile osservare un notevole incremento della concentrazione di CO_2 durante le festività natalizie, tornato ai valori precedenti nell'arco di qualche giorno.

Maggiori approfondimenti ed ulteriori monitoraggi verranno sicuramente sviluppati nei prossimi anni.

Riferimenti bibliografici

Ek C., Gewelt M. (1985), "Carbon dioxide in cave atmospheres. New results in Belgium and comparison with some other countries", *Earth Surface Processes and Landforms*, 10 (2): 173-187

Fernàndez P., Gutierrez I., Quindós L., Soto J., Villar E. (1986), "Natural ventilation of the paintings room in the Altamira cave", *Nature*, 321 (6070): 586-588

Pla C., Galiana-Merino J.J., Cuezva S., Fernàndez-Cortès A., Cañaveras J.C., Benavente D. (2016), "Assessment of CO2 dynamics in subsurface atmospheres using the wavelet approach: from cavity–atmosphere exchange to anthropogenic impacts in Rull cave (Vall d' Ebo, Spain)", *Environmental Earth Sciences*, 75 (5): 1-16

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica

Gian Domenico Cella ([a]), Maurizio Miragoli ([b])
([a]) Gruppo Grotte CAI Novara, Comitato Scientifico SO Bossea CAI, *cellagd@hotmail.com*
([b]) Fed. Speleologica Lombarda, SO Bossea CAI, *m.miragoli@wings4world.com*

Parole chiave: CO_2; traccianti aerei
Keywords: carbon dioxide; aerial tracers.

Sulla base dei dati di letteratura e della norma ASTM E-741, che descrive una tecnica atta a misurare volumi di ambienti chiusi, è stata ottimizzata una metodologia originale di tracciamento aereo, che permette il rilevamento quantitativo dei flussi aerei all'interno di una cavità (Cella, 2019).
Essa consiste nel liberare una quantità nota di anidride carbonica nel settore ipogeo di interesse, dato facilmente quantificabile pesando la bombola del gas prima e dopo il lancio, e nel rilevarne il passaggio tramite una sonda dotata di data logger per la misura della CO_2 (fig. 1-2)
Per avere misure quantitative è necessario conoscere la portata dell'aria in corrispondenza della sezione ove è posta la sonda: questa è determinabile sia con un certo numero di misure spot o, meglio ancora, mediante un anemometro dotato di data logger. Ulteriori parametri da acquisire, necessari per un corretto calcolo quantitativo del tracciante transitato, sono temperatura e quota della stazione ricevente.
Vari approcci di calcolo permettono una corretta determinazione quantitativa: ma quella che noi consigliamo vivamente è quella che si rifà alla classica analisi chimica dei gas per via stechiometrica, e cioè di ricondurre tutte le misure alle condizioni standard (0 °C, 1 atm). In queste condizioni 44 g di CO_2 occupano 22.14 litri di volume; la concentrazione della CO_2 rilevata in uscita, usualmente in ppm, andrà poi riportata alle condizioni standard, tenendo conto della temperatura e della quota della grotta.
Un foglio di calcolo excel che semplifica i calcoli può venire richiesto all'autore.
L'analisi della curva di risposta ci fornisce utili informazioni sul tratto ignoto della grotta:

- L'area del picco (**A**) ci fornisce la quantità del tracciante transitato;
- La forma del picco (**F**) ci dà informazioni sulla forma delle gallerie attraversate;
- il tempo che intercorre dal lancio all'arrivo del tracciante ($\mathbf{t_i}$), correlato alla velocità media dell'aria, ci fornisce una prima stima della lunghezza del tratto ignoto;
- La durata del transito (**d**) è funzione della distanza percorsa e degli ostacoli incontrati.

Le modalità operative sono dettagliatamente riportate in Cella (2019).
A titolo di esempio riportiamo i risultati ottenuti da alcuni tracciamenti che abbiamo effettuato:

Località	Lancio	Rilevatore	Tracciante transitato (%)	Distanza (stima, m)	Distanza reale (m)
Giurati (VA)	Ingr. alto	Ingr. basso	101	168	170
Tivano (CO)	Zelbio	Bianchen	109	625	651
Corchia (LU)	Area turistica	Serpente	12	170-650	~ 150
Turbiglie (CN)	Vipere	Turbiglie	44	390	~400

L'impatto ambientale è minimo, avendo l'avvertenza di rilasciare il tracciante in modo non istantaneo ed evitando di dirigerlo contro le pareti e il pavimento della grotta: tipicamente abbiamo osservato un abbassamento della temperatura di circa 1.5 °C e una diminuzione di ossigeno da 21% al 20.5 % per la prima decina di metri.
I punti di forza della metodologia sono: facilità esecutiva, costo contenuto, impatto ambientale trascurabile. I limiti sono rappresentati dalla presenza naturale di diossido di carbonio che, abbassando la sensibilità del metodo, richiede una preventiva acquisizione della concentrazione di base e rende problematica l'applicabilità a sistemi di grande estensione.

Riferimenti bibliografici

Cella G.D. (2019), "Tracciare le correnti d'aria con l'anidride carbonica. Modalità operative", *Labirinti*, 39: 54-60.

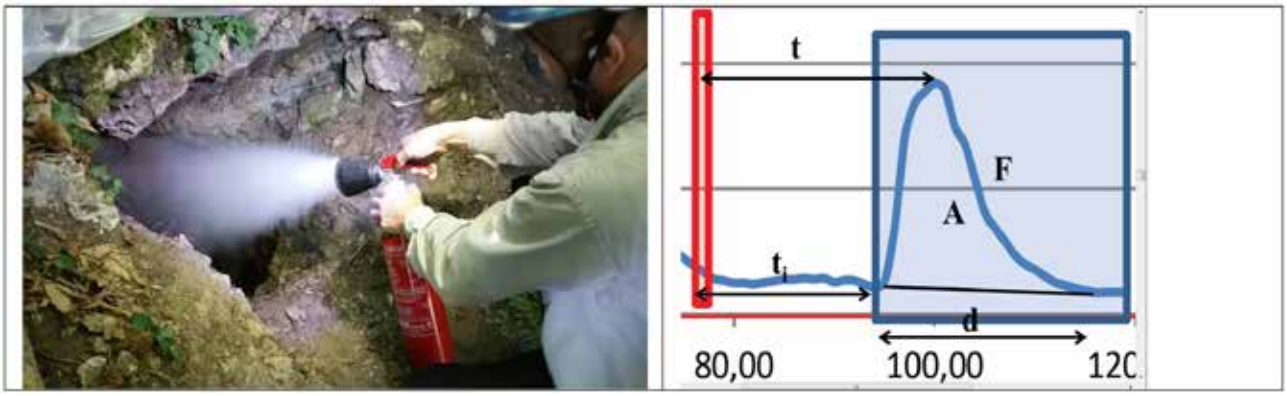


Figura 1 - Test alla grotta Giurati (VA). Sin: rilascio tracciante. Dx: picco di transito

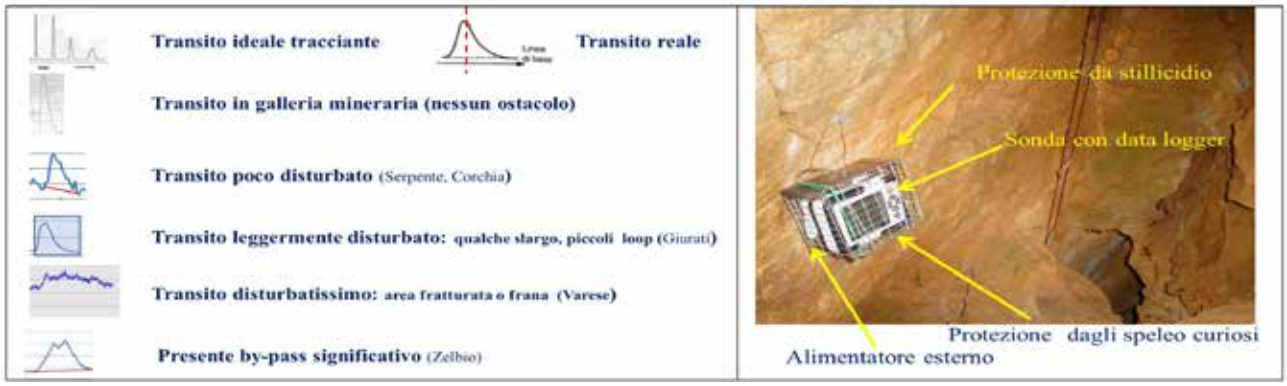


Figura 2 - Sin.: Tipici picchi di transito Dx: rilevatore del tracciante con data logger.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Grotta del Bue Marino, ramo nord (NU): prime considerazioni sul monitoraggio fisico

Mauro Chiesi ([a]), Francesco Murgia ([a]), Leo Fancello ([b]), Maria Grazia Fronteddu ([b])

([a]) Società Speleologica Italiana
([b]) Gruppo Ricerche Ambientali Dorgali

Parole chiave: Bue Marino; Studio Incidenza Ambientale
Keywords: Bue Marino cave; Environmental Impact Study

Nell'ambito dello Studio di Incidenza Ambientale (SIA) relativo alla valutazione dei potenziali impatti derivanti dal progetto di "Messa in sicurezza itinerario di visita del Ramo Nord delle Grotte del Bue Marino e uscita di sicurezza a terra" è stato sviluppato un complesso monitoraggio sito specifico ante operam dei parametrici fisici di base della componente atmosfera (T, rh%, CO_2) e acqua (T, livelli, conducibilità), correlati a quelli acquisiti da una centralina meteorologica posta a Cala Gonone (fig. 1). Il periodo di analisi sin qui svolto ha raccolto complessivamente oltre 500.000 record di dati in alta risoluzione, nel periodo 8 maggio 2021–19 gennaio 2022. La calibrazione statistica della strumentazione utilizzata ha permesso la definizione di oscillazioni di T al centesimo di grado.
Alla luce della interpretazione dei dati raccolti, i potenziali impatti derivanti dai lavori di progetto e quelli potenzialmente producibili dalla frequentazione del sito sono stati puntualmente analizzati permettendo di avanzare proposte operative di mitigazione. Sono stati effettuati specifici test di simulazione di impatto da gruppi di visitatori, misurando l'ampiezza e il periodo di riassorbimento delle variazioni indotte sui parametri di base. Il monitoraggio del Ramo Nord del Bue Marino ha individuato una elevata variabilità dei parametri fisici, configurandosi condizioni prossime a vaste caverne aperte all'esterno connesse tra loro da gallerie con elevata energia di base (fig. 2-3). La porzione compresa tra il Lago Abissale (7) e il termine del ramo visitabile Torta nuziale (8) seppure abbia mostrato caratteri di "grotta a bassa energia", grazie alla diretta connessione con masse d'aria e acqua a differente T e rh% risente di persistenti correnti convettive in grado di "lavare" le alterazioni di T, rh% e CO_2 indotte dalla presenza di gruppi di visitatori. Gli incrementi registrati nel corso di due *impact test*, svolti nel periodo di massima concentrazione di CO_2 di origine naturale da percolazione, si sono sempre mantenuti entro soglie di concentrazione non rilevanti per la salute umana. L'innalzamento, comunque contenuto, dei valori di causa antropica è riassorbito dal sistema grotta in tempi assai rapidi. Dai dati sin qui emersi risulta quindi improbabile il verificarsi di un effetto significativo di accumulo nel tempo nel caso di una frequentazione da parte di più gruppi nella stessa giornata di visite. Tali valutazioni dovranno comunque essere verificate nel tempo tramite rilevamenti successivi ripetuti. Allo stato delle conoscenze attuali non si ravvisa la necessità di installazione di rilevatori di CO_2 in continuo.

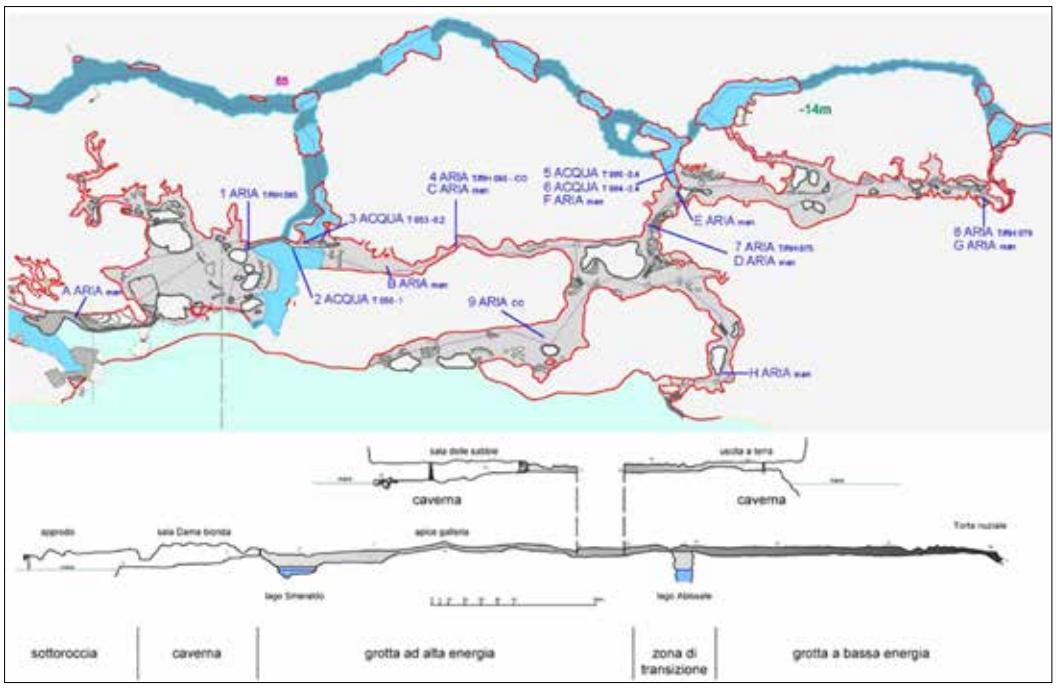


Figura 1 - Posizionamento sensori acquisizione automatici (numeri) e misure puntuali manuali (lettere).

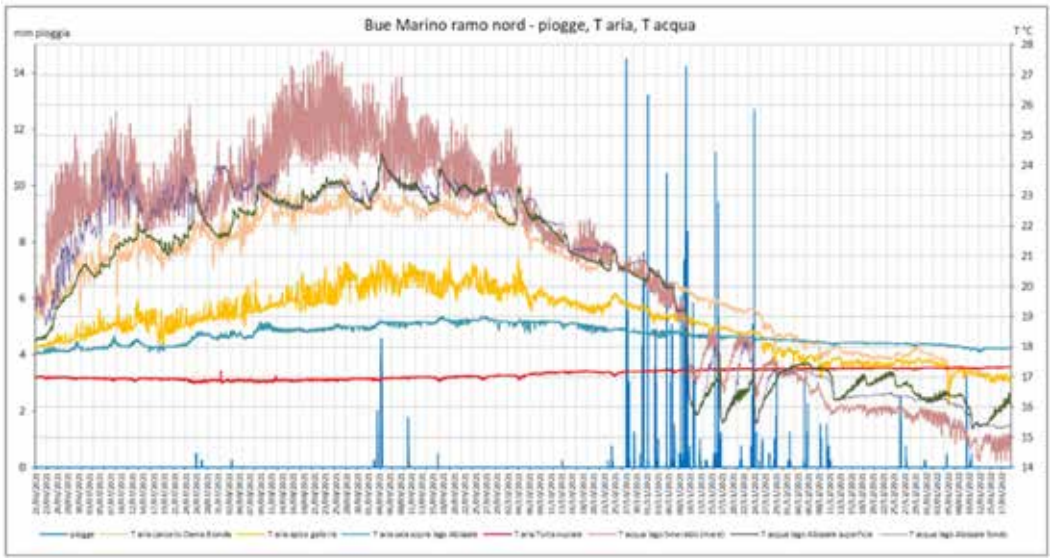


Figura 2 – T °C aria-acqua e piogge del periodo analizzato

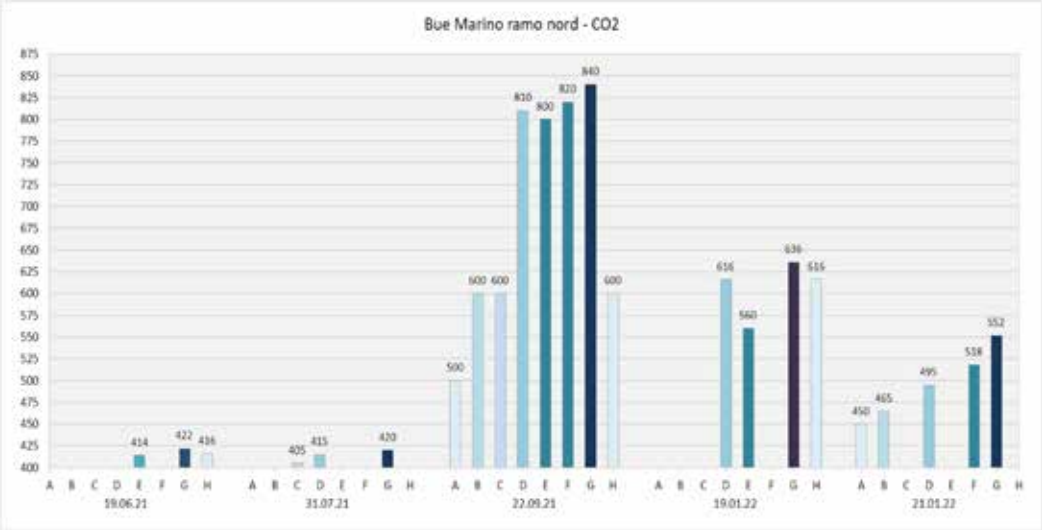


Figura 3 - valori di CO_2 (ppm max) rilevati nel corso dello studio.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Quella volta che Badino suonò il Corchia

Roberto Chignola

Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona, *roberto.chignola@univr.it*

Parole chiave: anemometria sonica; venti sotterranei; analisi segnale; Antro del Corchia
Keywords: sonic anemometry; underground winds; signal analysis; Corchia Underground System

La circolazione dell'aria nel vasto complesso sotterraneo del Monte Corchia (Alpi Apuane, Toscana) sembra essere dominata, almeno alle scale temporali dei giorni, da forze barometriche. In sostanza sono le variazioni giornaliere della pressione atmosferica esterna a mettere in moto le colonne d'aria interne e a far risuonare la grotta. Misurazioni precise della velocità del vento condotte in sincronia ai due ingressi Eolo e Serpente e della pressione atmosferica esterna hanno permesso, grazie all'uso di tecniche standard di analisi dei segnali, di estrarre le frequenze caratteristiche del complesso del Monte Corchia. Il sistema carsico si comporta come un enorme strumento a fiato in grado di suonare infrasuoni con frequenze nella regione tra circa 0.2 e 8 mHz (Badino, Chignola, 2019). Molto tempo prima di arrivare a questa conclusione Badino intuì che fosse possibile suonare il Corchia generando una perturbazione di pressione opportuna. Così come un suonatore di tromba soffia dentro al suo strumento Badino provò a "soffiare" dentro al Corchia utilizzando una strategia geniale: piazzò un anemometro sonico all'ingresso dei Pompieri per misurare la velocità del vento, poi aprì l'ingresso turistico - ben più grande del varco dei Pompieri - in modo da ridurre drasticamente la velocità del flusso d'aria in uscita dall'ingresso naturale (di circa il 92%, ovvero in media da 2.6 m/s a 0.2 m/s) e infine chiuse violentemente la porta. Ingenti masse d'aria si scontrarono di colpo con la porta comprimendosi e generando un'onda di pressione, un soffio potente appunto. Questo soffio è ben visibile all'inizio delle misure della velocità del vento campionate all'ingresso naturale della cavità (Figura 1), ma le sue conseguenze a lungo termine risultano più nascoste. L'analisi nello spazio tempo/frequenze mediante trasformata wavelet mostra che l'Antro del Corchia rispose almeno 2 volte con suoni nella banda ~0.1-0.8 mHz, la prima volta tra circa 3000 e 20000 secondi e la seconda volta tra circa 25000 e 42000 secondi dopo la chiusura della porta. Alla fine del secondo periodo - che coincide con la fine delle misurazioni - le frequenze si spostarono verso l'alto, nella regione dei mHz. L'analisi nel dominio delle frequenze mediante trasformata di Fourier ha permesso di risolvere almeno due suoni con picchi a 0.58 mHz e 2.2 mHz. Il complesso car-

sico del Monte Corchia è il più grande strumento musicale ad aria ad essere stato caratterizzato fino ad ora e Badino è stato il primo musicista ad averlo suonato.

Riferimenti bibliografici

Badino G., Chignola R. (2019), "Fluctuations of atmospheric pressure and the sound of underground karst systems: the Antro del Corchia case (Apuane Alps, Italy)", *Frontiers in Earth Science*, 7: 147

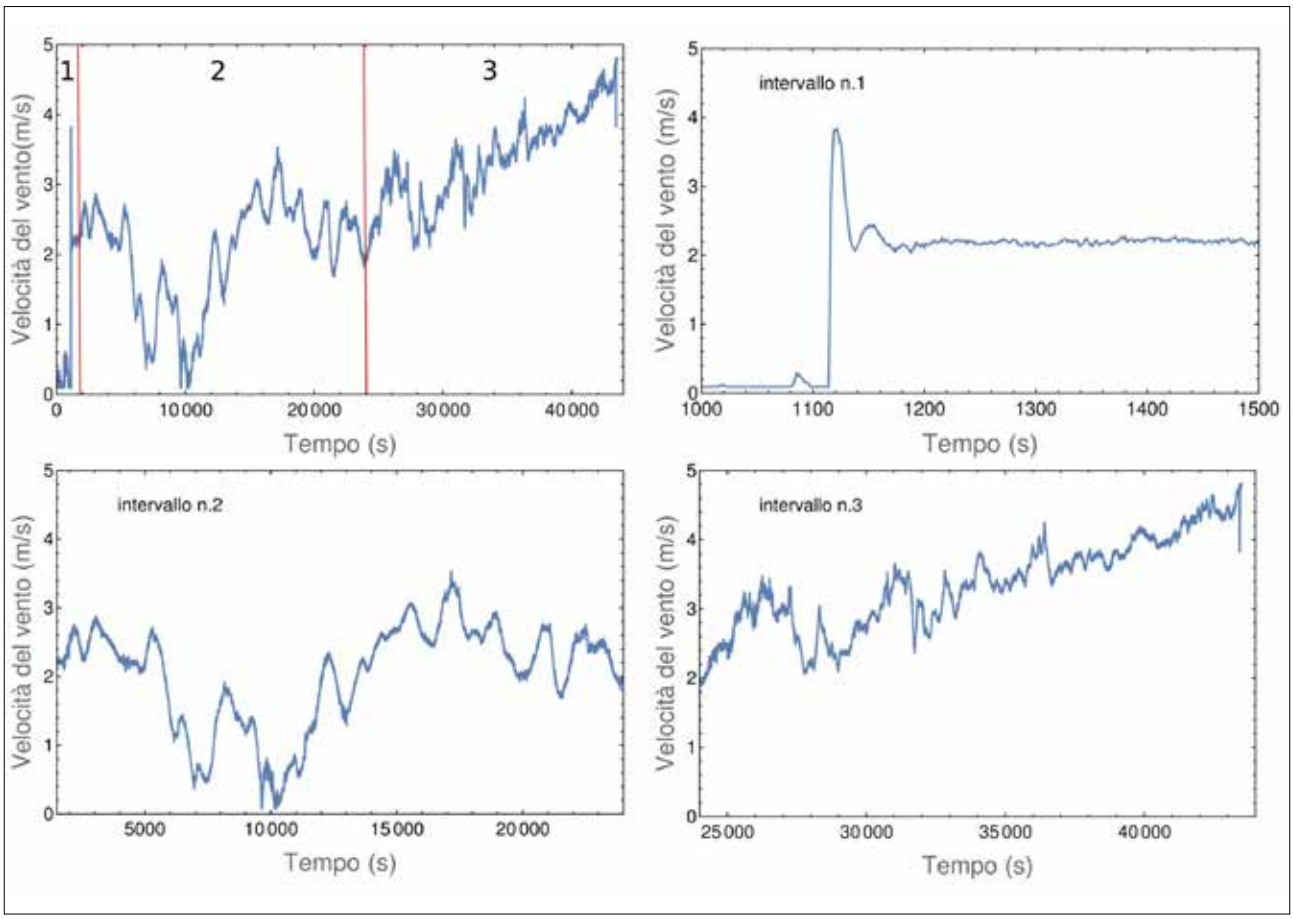


Figura 1 - Velocità del vento misurata alla Buca dei Pompieri, Antro del Corchia. I dati sono mostrati nel pannello in alto a sinistra e sono stati divisi in tre intervalli temporali come indicato. Le misure relative ai tre intervalli sono mostrate per chiarezza negli altri pannelli. Come si può osservare in alto a destra, quando la porta dell'ingresso turistico è aperta (inizio misure) la velocità del vento ai Pompieri scende praticamente a zero. Dopo la chiusura della porta la velocità del vento sale improvvisamente a ~4 m/s. L'oscillazione si smorza quasi immediatamente, ma dopo altri 700 secondi la velocità del vento inizia a fluttuare in modo evidente (intervalli 2 e 3) e ad aumentare (intervallo 3). In questi due intervalli sono nascosti suoni che Giovanni Badino riuscì a far produrre al complesso carsico.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il rischio da radon in grotta

Arrigo A. Cigna

UIS, SSI, *arrigocigna@gmail.com*

Parole chiave: radon; protezione da radiazioni; ambiente di grotta
Keywords: radon; radiation protection; cave environment

La disinformazione sul radon è estremamente elevata in quanto abbondano in rete documenti senza alcun fondamento scientifico. Vengono riportati effetti allucinanti, bagliori ed altri sintomi. Inoltre a causa di terminologia scorretta il radon viene definito generalmente allo stato gassoso, oppure viene definito possibile il suo accumulo negli ambienti chiusi come le cantine perchè considerato essere 8 volte più pesante dell'aria, o anche che si possano installare pozzi di raccolta di radon da collocarsi nel piano più basso degli edifici per convogliare naturalmente il gas nel pozzo (Cigna, Badino, 2008).
Dai documenti UNSCEAR, questa volta più attendibili, si assume che circa metà della dose media di radiazioni nel mondo sia dovuta al radon e discendenti e che il radon sia la seconda causa del cancro ai polmoni dopo il fumo delle sigarette. Il fondo medio di radiazione nel mondo è di 2,4 mSv e circa la metà è dovuto al radon e ai suoi discendenti. La valutazione dei danni sanitari dovuti a questa fonte è molto difficile in quanto non c'è un ambiente nel quale sia assente e, quindi, non è possibile trovare un gruppo di popolazione non soggetto a questa fonte di irraggiamento col quale confrontarsi. Si è dovuto ricorrere a modelli indiretti che, tuttavia, hanno dato risultati affetti da notevole incertezza. Per esempio, una stima del numero di decessi per tumore polmonare attribuibili al radon in Italia, effettuata nel 2013 (old.iss.it), ha fornito il dato di circa 3300 decessi ogni anno (media tra circa 1100 a circa 5900) quindi una mortalità del 0,0006 %. Valutazioni di questo genere si prestano, ovviamente, a critiche piuttosto severe. L'unico risultato accertato è che per i fumatori aumenta di ordine di grandezza superiore rispetto al rischio dovuto al solo radon. Indagini sulla eventuale correlazione tra concentrazione di radon nell'aria in ambiente naturale e insorgenza di cancro al polmone non hanno portato a verificarne con sicurezza l'esistenza, ad esempio l'evidenza di concentrazioni di radon molto superiori alla media mondiale in alcune zone del mondo (Ramsar, Iran) ma con mancanza di aumento dell'incidenza di cancro ai polmoni (Ghiassi-Nejad et al., 2004; Mortazavi et al.,2006). È probabile che la selezione naturale abbia portato allo sviluppo di meccanismi di protezione da queste basse dosi. Una correlazione è stata invece riscontrata per i minatori per i quali la concentrazione nell'aria in miniera può essere decisamente più elevata. Al giorno d'oggi si è sviluppa-

ta un'attività molto lucrativa sul timore diffuso in generale sulla pericolosità di questo gas radioattivo per cui esistono molte ditte che offrono misure della concentrazione del radon nelle abitazioni e relative offerte per diminuirla e mitigarne gli effetti. Poiché si tratta di un gas con un peso specifico elevato, si ritiene talvolta che esso si stratifichi nelle aree inferiori. In realtà la sua concentrazione più elevata si trova in prossimità delle zone di rilascio nell'atmosfera della grotta indipendentemente dal livello e lo stesso comportamento si osserva anche per l'anidride carbonica come per qualsiasi altro gas. Se così non fosse, l'atmosfera terrestre sarebbe ricca alle basse quote di questi gas a maggior densità mentre la stratosfera sarebbe composta essenzialmente da idrogeno e elio (Cigna, Badino, 2008). Data la concentrazione di radon nelle grotte di alcune migliaia di Bq/m^3, in questo caso in Italia la normativa prevede limiti ben definiti per i lavoratori, come nel caso delle guide delle grotte turistiche. Infatti in Italia per normativa sulla sicurezza dei lavoratori in ambienti soggetti a esposizione di radon il datore di lavoro deve assicurare che non venga superato il "livello di azione" di 500 Bq/m^3 inteso come media annuale. Tuttavia non vi è alcuna disposizione per quanti trascorrano parte del loro tempo in grotta nel corso di esplorazioni. Per evitare indebiti ed eventuali comportamenti errati viene qui esaminata in dettaglio la situazione nelle nostre grotte.

Stima del cancro al polmone da radon e rischi di danni mortali in grotta

In base alla stima di una mortalità da cancro al polmone a causa del radon di 3300 casi in una popolazione di circa 60 milioni di individui, questa sarebbe mediamente 6 su centomila, con un fondo medio da radon all'aperto di poco più di 1 mSv/anno. Assumendo quindi che uno speleologo trascorra un intero giorno (24 ore) alla settimana in grotta con una concentrazione media di 2000 Bq/m^3 la dose risulta pari a 11,7 mSv in un anno, equivalente a circa cinque volte la dose dovuta al fondo naturale (Cigna, 2005).

Tuttavia considerando che il rischio di danni mortali per incidenti fisici è comunque superiore quello dovuto alla permanenza per un giorno intero alla settimana in grotta con una concentrazione media di radon di 2000 Bq/m^3, ne consegue che il rischio dovuto al radon in grotta possa essere considerato trascurabile rispetto al rischio che si corre in grotta per le consuete attività.

Riferimenti bibliografici

Cigna A.A., (2005), "Radon in caves", *Int. J. Speleology*, 31 (1-2): 1-18.

Cigna A.A., Badino G. (2008), "Comment on Al-Azmi et al.", *Health Physics*, 95(2): 255-256.

Field M.S. (2007), "Risks to cavers and cave workers from exposures to low-level ionizing alpha radiation ^{222}Rn decay in caves", *J. Cave Karst Stud.*, 69 (1): 207-228.

Ghiassi-Nejad M., Zakeri F., Assaei R.G., Kariminia A. (2004), "Long-term immune and cytogenetic effects of high-level natural radiation on Ramsar inhabitants in Iran", *Journal of Environmental Radioactivity*, 74(1-3):107-116.

Mortazavi S.M.J., Ghiassi-Nejad M., Andrew Karam P., Ikushima T. (2006), Cancer incidence in areas with elevated levels of natural radiation. *International Journal of Low Radiation*, 2(1): 20-27

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Osservazioni sull'impatto antropico in grotte turistiche della Sardegna

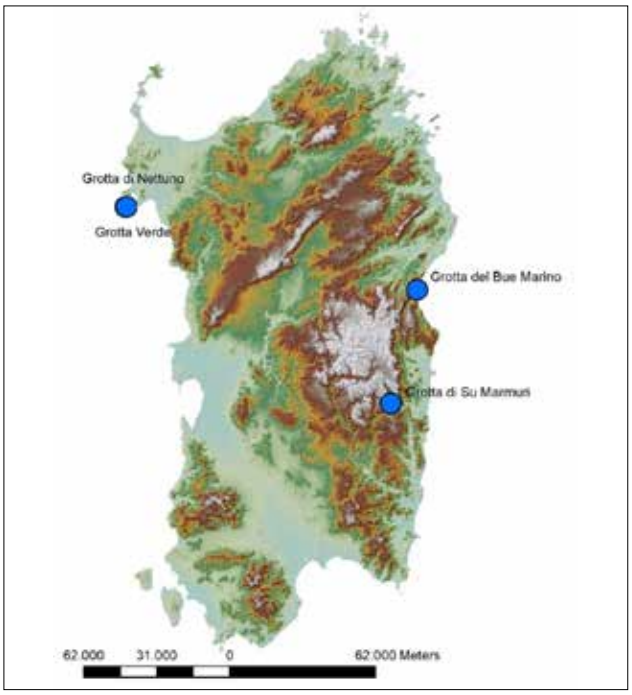
Daniela Cinus ([a]), Quirico Antonio Cossu ([b]), Angelo Arca ([a]), Andrea Ventura ([a]), Roberto Ferrara ([a]), Marco Isaia ([c]), Elena Piano ([c]), Pierpaolo Duce ([a])

([a]) Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto per la Bioeconomia, *daniela.cinus@ibe.cnr.it*
([b]) Independent Researcher
([c]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino

Parole chiave: grotto turistica; capacità di carico; Sardegna; meteorologia sotterranea
Keywords: showcave, carrying capacity, Sardinia, cave meteorology

Introduzione

Lo studio delle fluttuazioni delle variabili fisiche dell'atmosfera in sistemi ambientali sensibili quali le cavità carsiche (Badino, 2002), dove gli scambi energetici sono sito-specifici e possono variare anche di molto tra una grotta e un'altra, assume particolare rilievo laddove le stesse divengono oggetto di fruizione turistica. La presenza dei visitatori, con flussi spesso molto consistenti, implica, da un lato, adattamenti infrastrutturali, e dall'altro la necessità di quantificare, per questi sistemi, adeguate soglie di *carrying capacity* (Cinus et al., 2021). Con il Progetto "SHOWCAVE" il CNR-IBE (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per la Bioeconomia) ha in corso il monitoraggio meteorologico di tre grotte turistiche della Sardegna (Grotta di Nettuno, Grotta del Bue Marino, Grotta di Su Marmuri) e di una grotta attualmente non turistica che ha recentemente avviato l'iter per l'autorizzazione all'apertura (Grotta Verde) (fig. 1). CNR-IBE ha installato nelle grotte di progetto delle stazioni meteorologiche complete per la registrazione in continuo, con frequenza di acquisizione oraria, di temperatura e umidità relativa dell'aria, intensità e direzione dei flussi d'aria e concentrazione di anidride carbonica. In ciascuna grotta la strumentazione è stata integrata con dei sensori igrotermici a lunga memoria, posizionati sia nei trat-



ti turistici che lontano dagli stessi (Cinus et al., 2021). I dati microclimatici così raccolti verranno confrontati con le presenze turistiche al fine di indagare le variazioni di temperatura indotte dalla presenza dei turisti in grotta. I dati coprono lassi temporali che vanno dai 12 ai 18 mesi.

Risultati

Nel presente contributo vengono mostrate alcune delle risultanze maggiormente significative osservate nelle diverse cavità. Il parametro che sembra maggiormente influenzato dalla presenza antropica è la CO_2, con fluttuazioni immediate ed incrementi di oltre il 20% nella Grotta di Nettuno (Figura 1) e nella Grotta del Bue Marino (Figura 2). In quest'ultima cavità le fluttuazioni di CO_2 sembrano anche mostrare una stagionalità indipendente dalla frequentazione. Alla Grotta Verde si osserva assenza di fluttuazioni della CO_2, con valori che si allineano con i minimi registrati al Nettuno in assenza di presenza antropica.

Riferimenti bibliografici

Cinus D., Cossu Q.A., Arca A., et al. (2021), "Environmental monitoring of touristic caves in Sardinia". *Atti XXX Congresso della Società Italiana di Ecologia*.

Badino G. (2002), "L'attività speleologica e gli adattamenti turistici individuali delle grotte", *Le Grotte d'Italia*, V(3): 15-23.

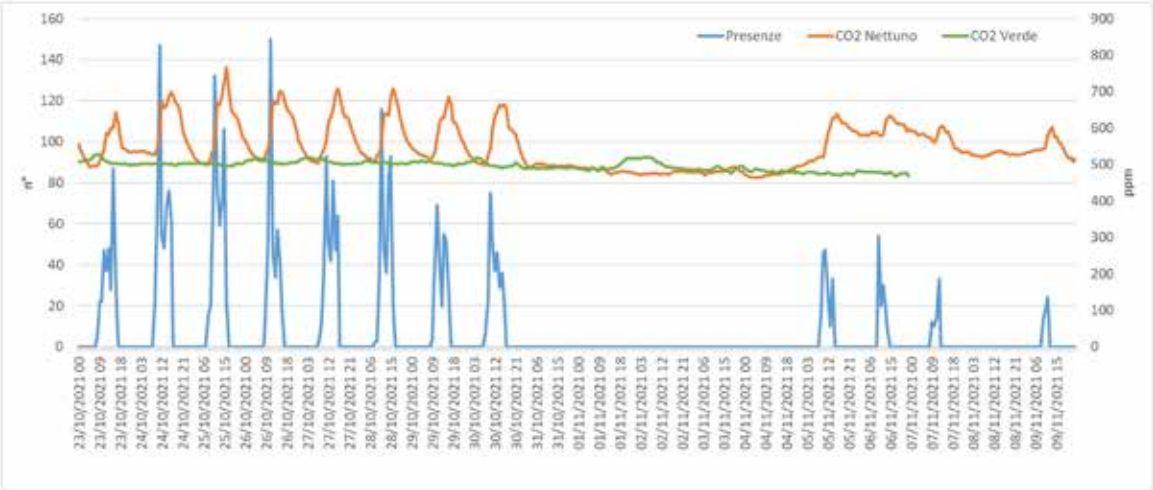


Figura 1 – Grotta di Nettuno (Alghero): andamento della CO_2 rispetto alla presenza di turisti e confronto con il "bianco" della Grotta Verde

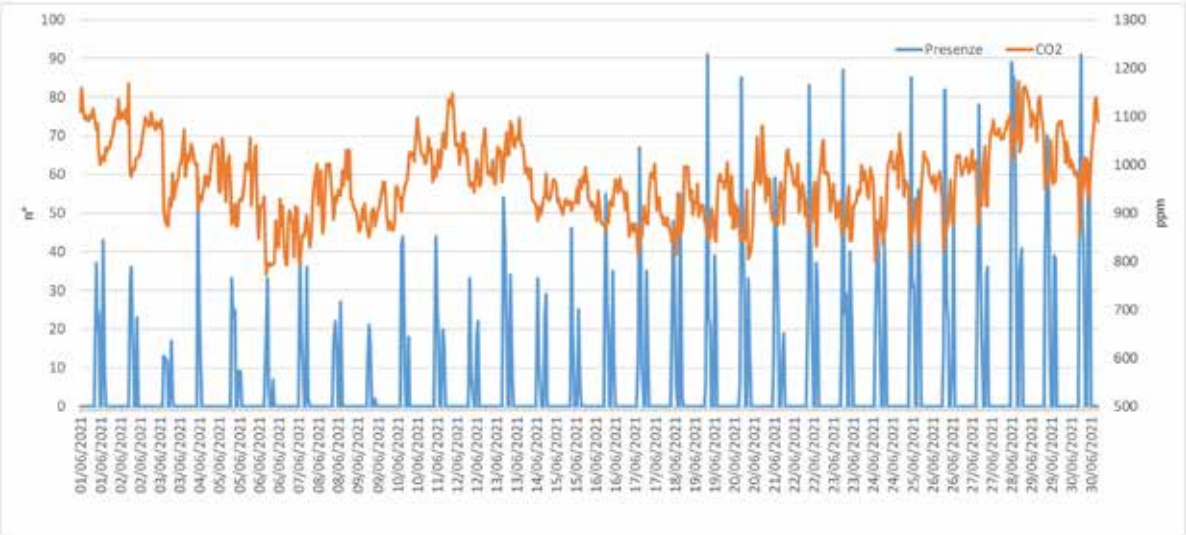


Figura 2 – Grotta del Bue Marino (Dorgali): andamento della CO_2 rispetto alla presenza di turisti

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Abrupt permafrost degradation and ice melting in an alpine ice cave of the Julian Alps (Canin)

Renato R. Colucci ([a,b]), Mauro Guglielmin ([c])

([a]) Istituto di Scienze Polari (Ve-Ts), CNR, *renato.colucci@isp.cnr.it*,
([b]) Commissione Grotte E. Boegan, SAG-CAI Trieste
([c]) Università dell'Insubria (Varese)

Parole chiave: Grotta con ghiaccio; cambiamento climatico; monitoraggio
Keywords: Cave with ice; climate change; monitoring

Riassunto
Tra i diversi elementi della criosfera alpina, le grotte di ghiaccio ne rappresentano la parte ancora meno conosciuta. Qui presentiamo un record di sette anni di temperatura di aria e roccia in una grotta delle Alpi Giulie. Dimostriamo come la presenza di un deposito di ghiaccio permanente nella grotta non sia solo correlata all'effetto di raffreddamento della circolazione dell'aria, come è noto, ma anche alla presenza di permafrost relitto. Attraverso una rappresentazione dettagliata dei modelli di temperatura all'interno della grotta, i dati mostrano come dopo un periodo di condizioni perennemente sottozero (criotiche), il continuo riscaldamento climatico antropogenico si sia reso responsabile della degradazione del permafrost in roccia. I dati supportano inoltre l'importante ruolo delle condizioni criotiche nella roccia nel preservare un deposito di ghiaccio in grotte sotterranee alle condizioni climatiche attuali, anche se il permafrost relitto ereditato dal passato scompare. Nella cavità è stato inoltre ricostruito e modellato uno spessore di 29–44 m di permafrost formatosi durante la Piccola Età Glaciale, e ormai quasi del tutto scomparso. L'attuale rapida scomparsa del ghiaccio in questa grotta è ulteriormente esacerbata dai feedback positivi relativi all'aria più mite che circola nel sistema sotterraneo indotta dalla parziale fusione del deposito.

Among the different elements of the mountain cryosphere, ice caves still represent the lesser known part of it. Here we present a seven-year-long record of air and rock temperature in a cave of the southeastern European Alps. We demonstrate how the presence of a permanent ice deposit in the cave is not only related to the net cooling effect of the air circulation, as it is well known, but also to the occurrence of relict permafrost. Through a detailed representation of temperature patterns inside the cave, both air and rock data show how after a period of perennially subzero (cryotic) conditions in the rock, ongoing anthropogenic climate warming is responsible for permafrost degradation despite the cooling effect of the air circulation in the cave. Data support the important role of cryotic conditions in the rock in preserving a permanent ice cave deposit in the present climate, even once the possible relict permafrost inherited from the past disappears. A thickness

of 29–44 m of permafrost, possibly formed during the Little Ice Age, has now almost completely disappeared. The present abrupt ice degradation observed in this cave is further exacerbated by positive feedbacks related to warmer air circulation in the cave system. A permafrost degradation induced by recent climate change has been observed in the LIC (Figure 1). Air circulation remains responsible for having a net cooling effect on this environment, except when the entrance is sealed by snow. In the recent past, when climatic permafrost thickness started to reduce, due to pure conduction induced by external warming, air circulation was responsible in keeping cryotic conditions "around" the cave environment, preserving the permanent ice deposit in it from abrupt melting. Therefore, relict permafrost can be solely responsible, or jointly responsible with air circulation, for ice formation and preservation within a cave. Ongoing climate change is now deeply affecting high-elevation caves in the Alps and several positive feedbacks are jointly acting in a rapid disappearance of permanent ice deposits within them, which represent important paleoclimatic archives of the Alps. For this reason, urgent scientific actions are needed to save as much information as possible, before the ice in caves completely melts.

References

Colucci R.R., Guglielmin M. (2019), "Climate change and rapid ice melt; suggestions from abrupt permafrost degradation and ice melting in an alpine ice cave". *Progress in Physical Geography*, 43(4): 561-573.

This work has been realized also in the frame of the C3 project, https://rrcolucci.wixsite.com/c3project of the Commissione Grotte Eugenio Boegan, Società Alpina delle Giulie (CAI Trieste). Team leader for the CGEB Riccardo Corazzi

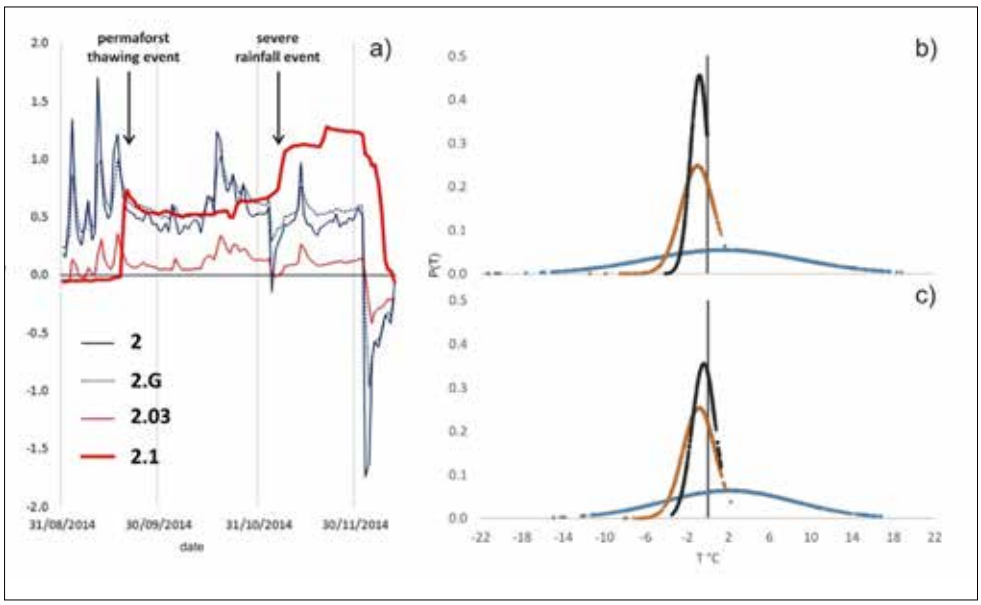


Figure 1 - The permafrost degradation event observed on 18 September 2014 (black arrow). The temperature recorded in the rock at a depth of 100 cm (2.1) shows an abrupt temperature rise of about 0.7°C, while the temperature recorded at 30 cm depth (2.03) and 2 cm depth (2.G) shows a temperature drop. The temperature at location 2.1 is decoupled from the shallowest rock temperatures, suggesting the heat wave was coming from inside the rock massif and was not driven by pure conduction from the cave environment; b) & c) show normalized probability distribution of temperature at AWS (air temperature outside at 2200 m, blue), at location 2 (air temperature inside the cave, orange) and at location 2.1 (rock temperature 100 cm depth, black) (b) before and (c) after the thawing event.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Microclima del sistema carsico del M. Corchia (Alpi Apuane)

Marco Menichetti ([a])

([a]) Università di Urbino, *marco.menichetti@uniurb.it*

Parole chiave: monitoraggio; circolazione d'aria; temperatura
Keywords: montoring; air circulation; temperature

Il sistema carsico del M. Corchia (svil. 50 km, prof. oltre 1200) si apre all'interno delle dolomie e dei marmi del Monte Corchia (1678 m s.l.m.) (fig. a). Sono conosciuti al momento oltre 20 ingressi, compresi tra 1637 m e 843 m s.l.m. (fig 1a), ma concentrati soprattutto tra le quote di 1600 e 1100 m s.l.m. (fig. 1b). La porzione della grotta compresa tra gli 800 e 900 m s.l.m. è stata attrezzata per visite turistiche e oggetto di ricerche e studi sull'ambiente ipogeo, tra i quali anche quelli sul microclima sotterraneo. Sono state acquisite all'interno del sistema carsico, in molti punti, serie storiche annuali, ad intervalli di 30 minuti; in alcuni zone si ha un record dati di molti anni. L'ingresso più alto della Buca del Cacciatore presenta una temperatura media annua di 10°C che varia stagionalmente tra 8/9°C dei periodi freddi, quando esce aria dalla grotta, fino a 12/18°C nel periodo caldo quando aspira aria verso l'interno (fig. 1c). Gli ingressi dell'Abisso Farolfi, di Eolo e del Serpente, hanno rispettivamente temperature medie annuali di 1.8°C, 4.4°C e 6.4°C, con variazioni stagionali che vanno dai 4°C, 6°C e 8°C del periodo estivo fino a molti gradi sotto lo zero nel periodo invernale, quando questi ingressi aspirano aria invernale fredda (fig. 1c). Nelle gallerie più interne e confinate, la temperatura dell'aria, mediamente compresa tra 6 e 7°C, varia di alcuni decimi di grado, con oscillazioni stagionali smorzate e sfasate di alcune settimane rispetto all' esterno. Nelle parti più profonde, come la Galleria del Fiume, la temperatura dell'aria è influenzata dal flusso idrico sotterraneo, con una media annuale di 7.6°C e con variazioni di pochi gradi °C, direttamente connesse alla stagionalità esterna. La distribuzione altimetrica di questi ingressi, distribuiti su un dislivello di circa 800 m, fa sì che la grotta abbia un microclima dinamicamente molto attivo ed interessato da forti scambi d'aria interno/esterno. Le misure delle velocità dell'aria, eseguite soprattutto nel periodo estivo, all'ingresso dell'Eolo e del Serpente, hanno dato velocità tra i 5 e i 10 m/sec, con flussi che superano i 20 m^3/sec.

L'analisi complessiva dei dati acquisiti, integrati con quelli registrati lungo la parte turistica della grotta, permette di definire un primo quadro quantitativo del microclima del sistema carsico e di inquadrarne la sua dinamicità spazio/temporale. Il microclima ipogeo è determinato, oltre che dalla geometria del sistema carsico, da numerosi fattori tra i quali, la circolazione delle acque di infiltrazione e il flusso dell'aria esterna da e verso le gallerie sotterranee. Questo flusso è innescato e modulato sia nel verso che in intensità, dalla differenza di densità dell'aria interna ed ester-

na, a sua volta controllata soprattutto dalla temperatura. Questo può essere espresso come differenza di pressione tra atmosfera interna (P_{in}) ed esterna (P_{out}), che oscilla stagionalmente attorno ad un valore nullo ($P_{in}=P_{out}$) che permette di individuare una superficie teorica equipotenziale di pressione neutra (NPS) (fig. 1a-d), localizzata ad una quota di circa 1450 m s.l.m.. Questa NPS controlla il flusso stagionale dell'aria con un meccanismo noto come "circolazione a camino". La fluttuazione stagionale di questa superficie, fa si che la distribuzione delle temperature sotterranee dell'aria, rispetto alla quota slm, sia complessa (fig.1 c). Si può comunque individuare un gradiente termico verticale dell'atmosfera ipogea di circa 0,6°C/100m (fig. 1c). Lo scostamento da questo gradiente, di molte parti del sistema carsico, è legato soprattutto alla presenza di ingressi localizzati a quote diverse. Infatti, la Buca del Cacciatore, essendo un ingresso alto, ha una temperatura media annua superiore di molti gradi rispetto a questo gradiente. Per contro la zona d'ingresso dell'Abisso Farolfi e dell'ingresso Eolo, hanno una temperatura dell'aria inferiore rispetto a questo gradiente, essendo alcuni degli ingressi bassi della circolazione "a camino".
Il gradiente termico verticale dell'aria esterna sembra avere lo stesso valore, anche se circa 5°C più caldo. Questa differenza di temperatura tra atmosfera interna ed esterna sembra essere legata proprio alla notevole capacità termica del massiccio calcareo, al flusso sotterraneo dell'aria e all'infiltrazione e circolazione delle acque sotterranee.

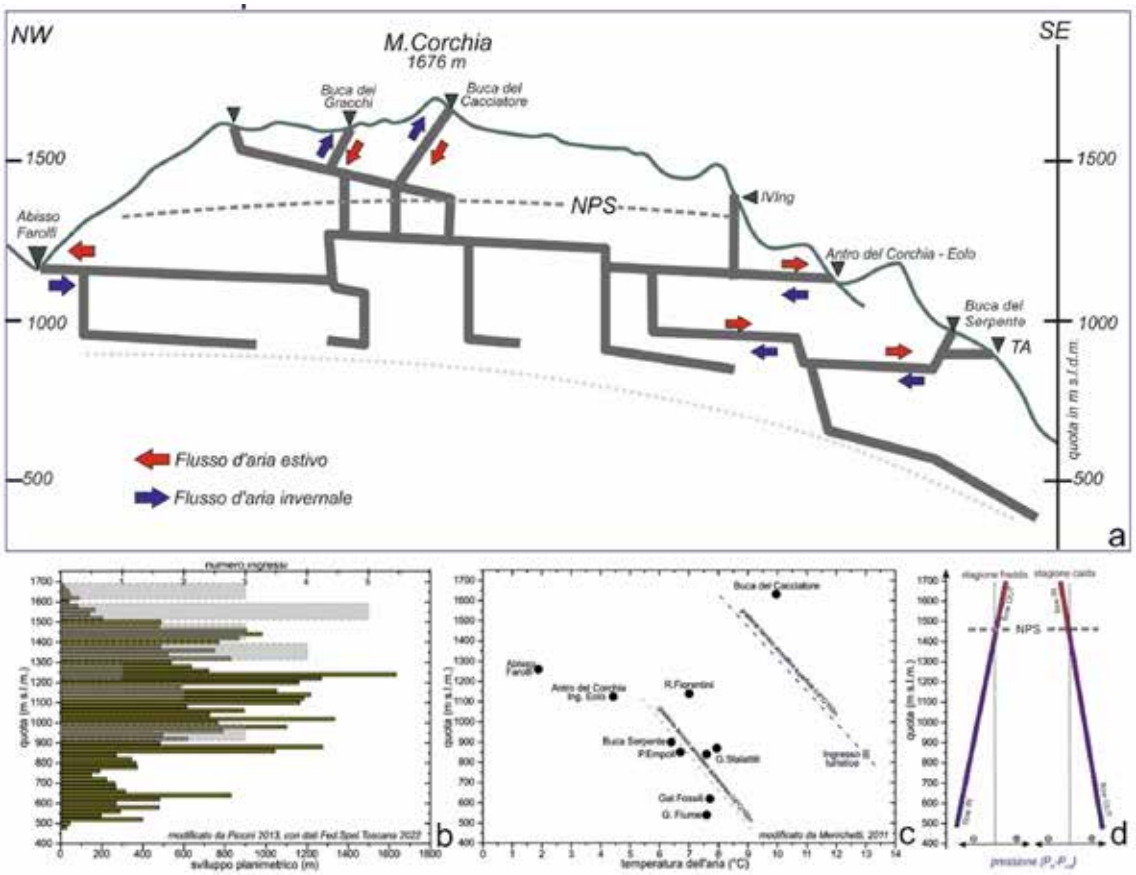


Figura 1 - Legenda: a – sezione schematica del sistema carsico del M. Corchia con indicata la posizione degli ingressi principali con il relativo flusso d'aria e la superficie della pressione neutra (NPS); b – distribuzione altimetrica delle gallerie (barre scure) e degli ingressi (barre grigie); c – temperatura media delle gallerie rispetto alla quota con indicati i gradienti interno ed esterno; d – variazione stagionale della differenza di pressione atmosferica tra interno ed esterno rispetto alla quota con indicata la NPS .

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Microclima della Grotta di Monte Cucco

Marco Menichetti ([a,c])

([a]) Università di Urbino, *marco.menichetti@uniurb.it*
([c]) Centro Escursionistico Naturalistico Speleologico

Parole chiave: monitoraggio; circolazione d'aria; temperatura
Keywords: montoring; air circulation; temperature

Negli ultimi 25 anni, nelle principali gallerie della grotta di Monte Cucco sono state effettuate campagne di monitoraggio. La dinamica del microclima sotterraneo permette di individuare almeno 4 zone in funzione dei gradienti termici dell'aria, dell'acqua e della roccia (fig. 1a).

1. La zona superiore è compresa tra l'ingresso de "il Nibbio" 1509 m slm e il "ramo turistico" localizzata alla base del Pozzo Perugia, (circa 1300 m slm - fig. 1c) con volumi carsici di circa $3*10^5$ m^3. Nelle gallerie in prossimità degli ingressi, a quota 1400 m, le temperature medie annue dell'aria sono comprese tra i 3-4 °C, mentre nell'ingresso superiore a quota 1509 m sono di 8-9°C (fig. 1c). Le perturbazioni termiche esterne si propagano all'interno delle gallerie, con volumi di aria scambiati con l'esterno nell'ordine di alcuni m^3/sec (fig. 1e). Sono controllati soprattutto dalla differenza di temperatura e densità tra l'aria esterna e quella interna che si inverte stagionalmente (effetto camino) e dai forti venti, da N e NE, che periodicamente interessano i versanti della montagna dove si aprono gli ingressi.

2. Nella zona intermedia, compresa tra il "ramo turistico" e "il Baratro", con volumi dei vuoti sotterranei di circa $2*10^5$ m^3, il microclima risente in maniera molto smorzata delle condizioni meteo-climatiche esterne (fig. 1b). Qui le temperature medie sono comprese tra i 6° e i 7 °C con variazioni stagionali di pochi decimi di grado, con bassi flussi d'aria. Qui il microclima è controllato anche dalla circolazione dell'acqua, attraverso scambio termico per convezione ed advezione e dalla conduzione termica attraverso la massa rocciosa.

3. Una zona profonda sub-verticale al di sotto quota 1200 m slm, compresa tra "il Baratro" e "il fondo", dove la temperatura dell'aria rimane pressoché costante durante l'anno (fig. 1b). Nelle parti più profonde e in prossimità della falda freatica, va considerato anche il contributo energetico del flusso geotermico regionale, condizionato dalle caratteristiche termiche delle rocce e trasportato all'esterno del massiccio carbonatico dal drenaggio delle acque profonde.

4. Una zona profonda complessa, compresa tra "il Baratro" e la "Regione italiana/Salone Canin" dove i gradienti termici sono leggermente più elevati rispetto alla zona 3 (fig. 1b). Qui, il microclima presenta una piccola dinamicità legata sia a possibili scambi con l'atmosfera esterna che con il flusso idrico dei diversi collettori sotterranei.

In particolare, le variazioni termiche dell'atmosfera sono di pochi decimi di °C (prossime alla risoluzione strumentali) e risultano molto smorzate, con ritardi rispetto alla superficie, che possono arrivare anche a molti giorni (fig. 1b).
La dinamica microclimatica del sistema carsico, nella sua parte più alta, è controllata dall'evoluzione spazio/temporale di una superficie equipotenziale data dalla differenza tra della pressione atmosferica tra l'esterno e l'interno (superficie neutra di pressione - NPS) (fig. 1f). Questa superficie si localizza ad una quota di circa 1450, ed oscilla altimetricamente e spazialmente condizionando gli scambi d'aria sotterranea con la superficie.

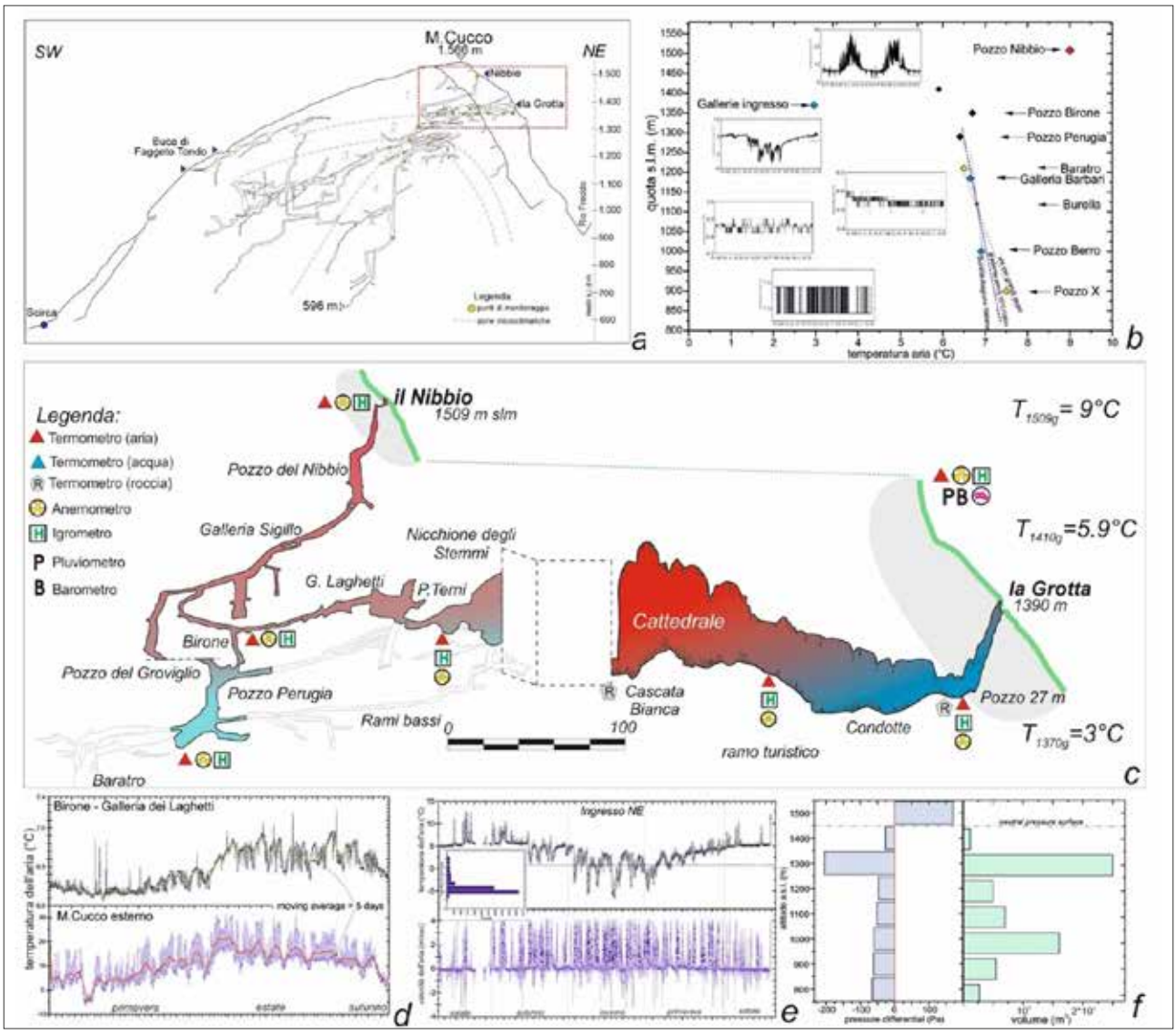


Figura 1 - Legenda: a-sezione schematica del M. Cucco con indicate le principali cavità carsiche, i punti di monitoraggio e le diverse zone microclimatiche in cui è stato suddiviso il sistema carsico; il rettangolo rosso indica l'ubicazione della Fig c. b- variazione della temperatura dell'aria con le profondità in diversi punti del sistema carsico; le linee tratteggiate indicano i gradienti termici. c - sezione schematica della parte altimetricamente più elevata della Grotta di M. Cucco con indicati i punti e la tipologia del monitoraggio. d- confronto tra le variazioni orarie della temperatura esterna e quella alla Galleria dei Laghetti. e - variazione oraria della temperatura e velocità dell'aria nella zona dell'ingresso de "la Grotta". f – variazione altimetrica della pressione differenziale media tra interno ed esterno rispetto ai volumi carsici.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Sistema carsico Grotta Grande del Vento-Grotta del Fiume-Buco Cattivo: analisi microclimatica

Marco Menichetti ([a]), Andrea Tamburini ([a])

([a]) Università di Urbino, *marco.menichetti@uniurb.it*

Parole chiave: monitoraggio; circolazione d'aria; temperatura
Keywords: montoring; air circulation; temperature

Il sistema carsico di Frasassi in destra idrografica della Gola, comprende la Grotta del Fiume, la Grotta Grande del Vento e il Buco Cattivo. L'intero sistema carsico, di origine ipogenica, si sviluppa per oltre 25 km con un dislivello di più di 300 m compreso tra le quote dell'ingresso superiore della Buco Cattivo situato ad una altitudine di 538 m fino al livello della Grotta del Fiume sull'alveo del T. Sentino ad una quota di 203 m s.l.m. (fig. 1a). Il sistema carsico ha un andamento tridimensionale molto complesso e labirintico, impostato su almeno 5 livelli altimetrici, il più basso dei quali raggiunge il livello dell'attuale falda freatica. La Grotta Grande del Vento è localizzata nella parte più occidentale del M. Valmontagnana, mentre la Grotta del Fiume si addentra per molte centinaia di metri nel settore più orientale. Lungo la Gola di Frasassi, alla quota di 235 m s.l.m. è localizzato il tunnel di accesso al percorso turistico della Grotta Grande del Vento che contribuisce in maniera importante agli scambi tra l'atmosfera esterna ed ipogea (fig. 1a).

Il microclima della Grotta Grande del Vento è condizionato dalla presenza degli enormi volumi, superiori al milione di m^3, delle gallerie carsiche. Queste sono connesse con l'esterno da alcuni ingressi localizzati a quote differenti che innescano, in molte gallerie, una circolazione "a camino". La temperatura media dell'aria nell'Abisso Ancona è di 13,6° (fig. 1b), con oscillazioni stagionali di alcuni gradi, mentre nelle parti più interne scende di alcuni decimi di grado con oscillazioni stagionali di 0,1°C, sfasate di molte settimane rispetto all'esterno. Nelle gallerie prossime all'ingresso naturale, più in quota, la temperatura media annua è di 15,7°C, mentre in quelle della Grotta del Fiume è di 7,5°C (fig.1 d). Il flusso dell'aria, nelle zone degli ingressi, si inverte stagionalmente ed è controllato dalla differente densità dell'atmosfera interna ed esterna espressa dalla pressione motrice che flussi di alcuni m^3/sec (fig. 1c). I dati di temperatura dell'aria nelle parti più interne della Grotta del Fiume, mostrano che l'influenza delle condizioni atmosferiche esterne si spingono, smorzandosi in intensità, verso le gallerie più profonde; nella Sala Rosa la temperatura dell'aria oscilla tra 12,3°C e 12,5°C (Fig. e) seguendo direttamente il ciclo stagionale esterno, anche in virtù della buona ventilazione che interessa questa zona della grotta. Nelle gallerie più interne della "regione del New Messico", alla Sala Sonora, le variazioni della temperatura dell'aria sono minori, dell'ordine di 0,1°C, con uno sfasamento stagio-

nale rispetto all'esterno, dovuto probabilmente anche al contributo termico operato dalla falda freatica carbonatica e solfurea.
Il Buco Cattivo si apre con vari ingressi, sviluppandosi per oltre 5 km nella parte più orientale del M. Valmontagna (fig. 1a). La temperatura dell'aria lungo le gallerie dell'asse principale mostrano variazioni di pochi decimi di °C. Nella zona della Sala Topografica la temperatura media è di 12,1°C, con oscillazioni stagionali al limite della risoluzione strumentale di 0,1°C (fig. 1f). Nella parte più profonda, alla Sala Franosa la temperatura è leggermente più bassa di circa 0,8°C, ma pressoché stabile su una media di 11,4°C per tutto il periodo analizzato (fig. 1f). In sintesi, il microclima ipogeo del Buco Cattivo non presenta variazioni significative, mentre il sistema Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume ha un microclima più dinamico (fig. 1g). Tutto questo indicherebbe che non esistono attualmente connessioni tra Grotta Grande del Vento-Grotta del Fiume e Buco cattivo, nonostante che abbiano gallerie sovrapposte e distanti altimetricamente poche decine di metri.

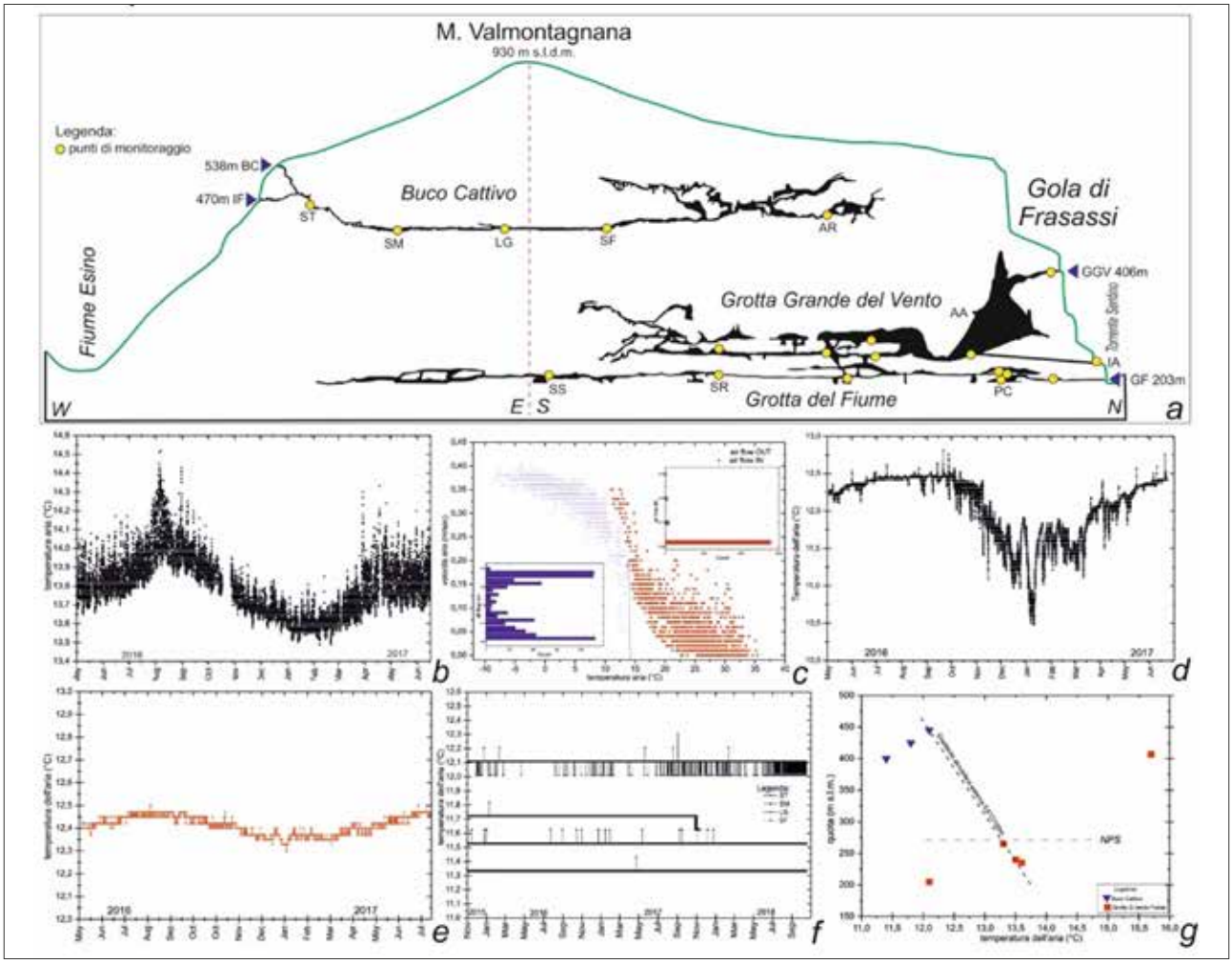


Figura 1 - Legenda: a - sezione schematica del M. Valmontagnana in destra idrografica della Gola di Frasassi, con indicato l'andamento delle principali grotte e i punti di misura; b - variazione annuale della temperatura dell'aria nell'Abisso Ancona nella Grotta Grande del Vento; c - variazioni del flusso dell'aria nella nella Grotta Grande del Vento con indicate la distribuzione di frequenza delle velocità; d - andamento annuale della temperatura dell'aria nelle gallerie d'ingresso della Grotta del Fiume; e - variazione annuale della temperatura dell'aria nelle gallerie interne della regione del "New Mexico"; f - variazione annuale della temperatura dell'aria nel Buco Cattivo; g - temperature medie dell'aria sotterranea rispetto alla quota s.l.d.m. nel sistema carsico della Gola di Frasassi.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ruolo del moto ondoso nella meteorologia ipogea a Capo Noli (SV)

Luigi Motta ([a]), Michele Motta ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra di Torino, *michele.motta@unito.it*

Parole chiave: temperatura; umidità; cambiamenti di stato; maree
Keywords: temperature; humidity; phase changes; tides

La grotta di Capo Noli è pesantemente modificata dall'uomo (Motta, 2019) ma ha il pregio di una morfologia semplicissima: un tubo orizzontale, un'estremità del quale è sempre raggiunta dalle onde, a cui si innesta lateralmente una galleria ascendente.

La distribuzione di temperatura e umidità (Motta, Motta, 2019) indica che, nonostante ci siano più ingressi, non c'è ventilazione vera e propria, ma le onde all'ingresso SE fanno oscillare l'aria nel tunnel, creando egualmente una convezione forzata. Ciò facilita l'evaporazione superficiale, lo scambio termico fra aria e roccia e la diffusione di aria esterna nella grotta. Così, in tutta la parte di grotta non raggiunta direttamente dalle onde, aria e sedimento hanno temperatura omogenea come in una grotta ben ventilata, più simile a quella dell'aria esterna che a quella del mare, e che risponde alle variazioni termiche dell'aria esterna senza grandi ritardi. Quando c'è mare calmo, nei pressi dell'ingresso allagato l'aria di grotta, essendo sempre scaldata dall'acqua marina, ha un movimento convettivo che, in autunno (massimo contrasto termico fra acqua marina e aria) si estende per decine di metri. L'aria calda e umida condensa sul soffitto, scaldandolo. Raffreddata e deumidificata, in parte ritorna al suolo verso l'ingresso SE, facendo evaporare l'acqua di stillicidio caduta e raffreddando il pavimento, in parte (egualmente raffreddata dall'evaporazione) scorre verso l'ingresso asciutto NW. Il movimento convettivo si riduce o scompare: in bassa marea (riduzione della parte di pavimento allagata); con forte vento contro l'ingresso NW; con mare mosso, poiché la forte turbolenza e la formazione d'aerosol annullano il contrasto termico fra aria e acqua di mare.

La convezione forzata dell'aria crea particolarità termiche locali, innescando condensazione o evaporazione superficiali; a causa di quest'ultima, il pavimento è sempre più freddo dell'acqua marina, ~ 4 °C in estate. Il sistema funziona complessivamente come una macchina termica che riscalda e asciuga in inverno, raffresca e umidifica in estate, e ciò spiega la scarsa escursione termica annua. L'energia è fornita dal mare, come energia cinetica del moto ondoso e energia termica dell'acqua marina

(costantemente più calda di tutti i materiali del tunnel).

Nella galleria ascendente l'atmosfera è stabile in inverno - primavera, instabile in estate - autunno. La galleria è raffreddata dall'evaporazione superficiale in primavera e lentamente dalla diffusione d'aria fredda esterna in inverno – primavera, mentre è riscaldata dalla convezione in estate e autunno.Solo il sedimento profondo al fondo della galleria ascendente ha escursione termica < 5 °C, mentre l'aria non riduce affatto l'escursione termica a distanza dagli ingressi: nel tunnel, per la circolazione indotta dal moto ondoso; nella galleria ascendente, per il ricambio d'aria estivo – autunnale, che differenzia le temperature di questo periodo da quelle invernali - primaverili.

Riferimenti bibliografici

Motta M., Motta L. (2019), *Le stagioni delle grotte,* Lulu, Raleigh

Motta M. (2019), "Il sistema ipogeo di Capo Noli", *Grotte,* 172: 21-29

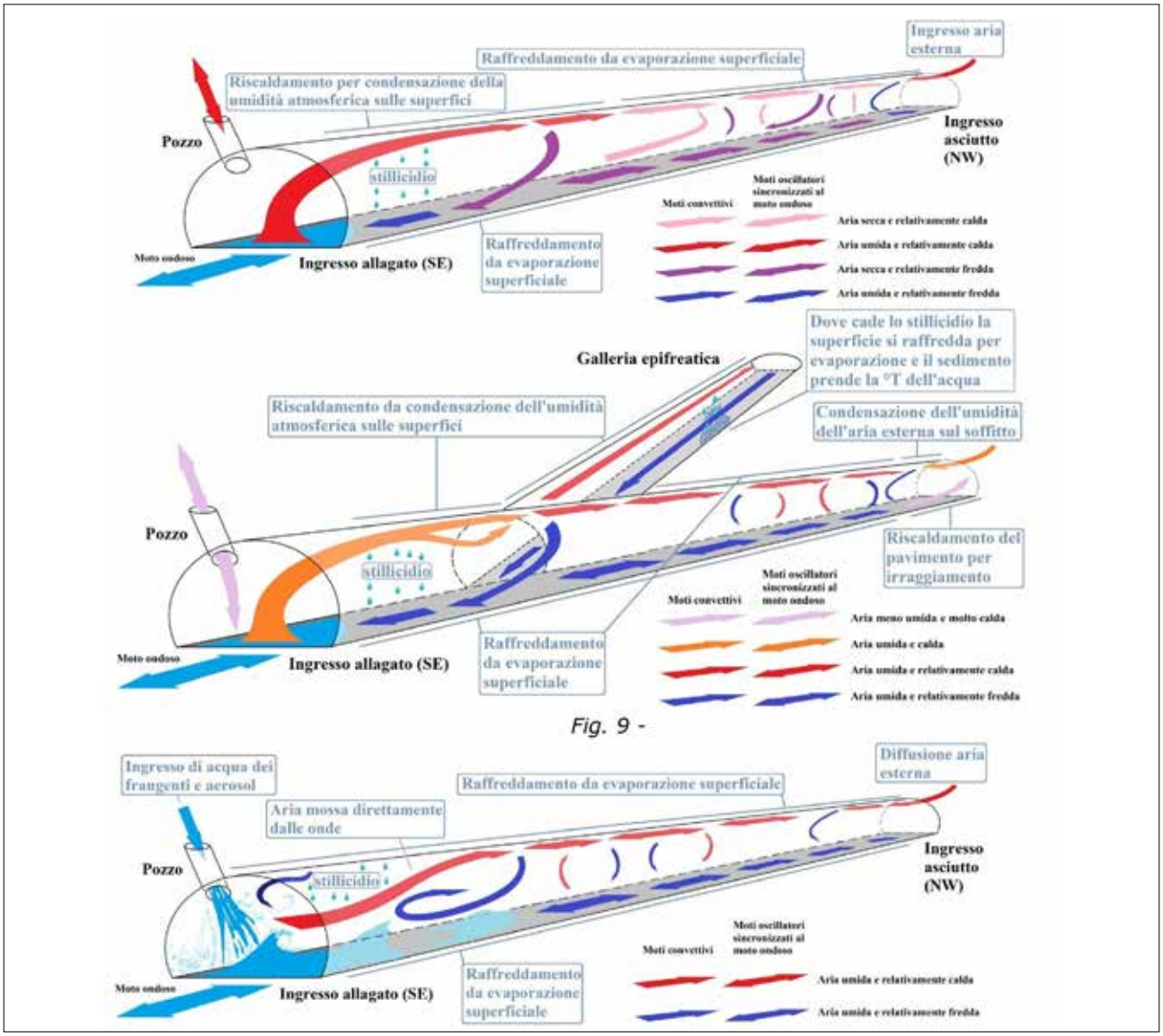


Figura 1 - Modelli semplificati della dinamica della galleria durante il dì. Dall'alto: invernale con mare calmo, (lo scambio di aria e calore con la galleria epifreatica è scarso, per cui non la si è raffigurata); estiva con mare calmo (l'autunnale è simile, con celle di convezione del tunnel più spostate verso l'ingresso allagato e flusso all'ingresso NW entrante lungo il pavimento e uscente lungo il soffitto); primaverile con mare mosso

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La rappresentazione termica dell'Andrassa

Luigi Motta ([a]), Michele Motta ([a])

([a]) Dipartimento di Scienze della Terra di Torino, *michele.motta@unito.it*

Parole chiave: misura temperatura, dinamica termica, Andrassa
Keywords: temperature measurement, thermal dynamics, Andrassa

Long term data o short term data?

Per le grotte è particolarmente vera la massima di Hubert Reeves "*observer, c'est perturber*". Quando lo scavo di gallerie o lavori di disostruzione rendono accessibili nuove grotte, stravolgono la loro dinamica termica, per quanto si cerchi di limitare i cambiamenti con botole o simili. In qualsiasi grotta, il calore emesso dallo speleologo per convezione, irraggiamento e convezione forzata tramite la respirazione modifica, almeno momentaneamente, la temperatura locale dell'aria (Motta, 2017).

La misurazione con minimo impatto è quella dei *long term data*, senza la presenza di operatore per un lungo periodo di tempo a intervalli regolari. Una volta stabilizzata la temperatura, la sonda riceve tanti IR quanti ne emette, senza il disturbo degli IR emessi dallo speleologo. Un'eccellente rappresentazione delle variazioni termiche nel tempo; tuttavia, non è affatto al riparo da errori sistematici: sonda posizionata in zone allagabili, o temporaneamente soggette a stillicidio, ecc. Inoltre offre solo una rappresentazione puntuale, che richiederebbe un eccezionale impegno (decine o centinaia di sonde) per rappresentare adeguatamente le variazioni termiche nello spazio e nei diversi materiali della grotta (aria, acqua, roccia).

Gli *short term data*, quelli raccoglibili facilmente da speleologi in esplorazione, hanno pregi e difetti opposti ai *long term data*. Per essere affidabili richiedono di ridurre al minimo l'impatto termico dell'operatore sulla sonda, con lunghi supporti della sonda, luce minima, schermi riflettenti, misure prese prima del passaggio, ecc. Sebbene offrano un quadro generale della grotta migliore dei *long term data*, sono anch'essi puntuali (salvo quelli ottenuti con scanner IR), e richiedono attenzione per mantenere costanti e riproducibili le condizioni di misura (ad esempio, la profondità di misurazione nel terreno). Una misura di per sé tecnicamente corretta può essere inconfrontabile con le altre per diversi motivi, fra cui l'ora diversa (specie in aria o acqua con ampie oscillazioni giornaliere), la posizione in zone di transizione tra materiali differenti, la presenza di cambiamenti di stato superficiali (che di norma rendono differenti le misure di termometri a IR da quelle con sensori Pt100).

L'esempio dell'Andrassa

L'Andrassa (Li/SV 400) è una grotta senza rami laterali, costantemente in discesa. Per rappresentarne la dinami-

ca termica, abbiamo misurato sia *long term* sia *short term data*. Per le variazioni di temperatura nel tempo, nel 2015-17 tre *data-logger* hanno raccolto due volte al giorno i dati di due sonde Pt100, una seppellita nel sedimento del pavimento, l'altra fissata in un punto asciutto del soffitto, rappresentativa dell'interfaccia aria – roccia. Nel 2016-17, cinque campagne stagionali di misurazione dell'umidità relativa e della temperatura di aria, sedimento del pavimento, acqua di stillicidio e stagnante, hanno studiato le variazioni spaziali e stagionali, e gli squilibri termici fra aria, acqua e roccia. L'integrazione fra *long* e *short term data* ha portato a interessanti conclusioni, cui non si sarebbe arrivati con uno solo dei due tipi di dati (Motta, Motta, 2017).

Determinazione delle stagioni. Lontano dall'ingresso, la stagione calda va da Ottobre a Dicembre; ha alta umidità assoluta, ma RH lontana dalla saturazione. La stagione fredda, da Marzo ad Aprile, ha minore umidità assoluta, ma RH più alta (però non saturazione!). La stagione "autunnale" (tra stagione calda e fredda) è breve e l'umidità relativa arriva alla saturazione; quella "primaverile" è lunga e appena più umida della stagione calda. Ovviamente, presso l'ingresso le stagioni si avvicinano a quelle esterne: la calda, breve e umida, è da Settembre a Ottobre; l'"autunnale", con frequenti disturbi termici e aumento dell'umidità, da Novembre a Dicembre; la fredda, con importanti oscillazioni termiche e molto umida, da Gennaio a Marzo; la "primaverile", con temperatura crescente e umidità relativa decrescente, da Aprile ad Agosto.

La dinamica termica deriva da tre flussi di materia e calore: 1) scambi d'aria con l'esterno, solo nel pozzo d'ingresso e solo in inverno, a causa della strettoia subito dopo il pozzo d'ingresso e della stabilità atmosferica nelle altre stagioni; 2) perturbazioni termiche indotte da piene; 3) variazioni termiche stagionali indotte dall'acqua di stillicidio, la cui temperatura, da molto simile a quella esterna nel pozzo d'ingresso, ha dentro la grotta un crescente ritardo di adattamento alle variazioni climatiche esterne, diventando a fondo grotta simile alla temperatura esterna nella stagione precedente.
Le temperature locali dipendono sia dai tre flussi descritti, sia dallo scambio termico fra materiali a contatto, sia infine dai cambiamenti di stato dell'acqua.
Per la grande stabilità termica e al tempo stesso la rapida risposta alle variazioni climatiche esterne, **l'Andrassa** è risultata **adatta a un monitoraggio del *Global Warming*** (nel 1971 nella prima sala c'erano circa 2 °C meno di oggi); il punto di monitoraggio deve essere lontano dall'ingresso, in sedimento non raggiunto dalle piene piuttosto che in aria o acqua corrente.

Conclusioni

I *long term data* mostrano bene le caratteristiche delle stagioni della grotta, le perturbazioni termiche e le differenze di sensibilità alle variazioni termiche esterne; gli *short term data* rappresentano bene la variabilità nello spazio e da un materiale all'altro (aria, acqua, roccia), ma non quella nel tempo. L'abbinamento dei due tipi offre la migliore soluzione per comprendere la dinamica termica di una grotta.

Riferimenti bibliografici

Motta M. (2017), "Qual è la temperatura di una grotta?", *Grotte*, 168: 47-50

Motta M., Motta L. (2017), *The climatic study of caves with single entrance: temperatures, humidity, thermal exchanges,* Lulu, Raleigh

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Preliminary evidence of the recent temperature increase in some caves of the western Alps (2012-2021)

Evidenze preliminari del recente aumento di temperatura in alcune grotte delle Alpi occidentali (2012-2021)

Anna Piquet ([a]), Elena Piano ([a]), Marco Isaia ([a]), Fiorella Acquaotta ([b])

([a]) Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino, Via Accademia Albertina 13, 10123, Torino, *anna.piquet@edu.unito.it*, *elena.piano@unito.it*, *marco.isaia@unito.it*
([b]) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino, Via Valperga Caluso 35, 10125, Torino, *fiorella.acquaotta@unito.it*

Keywords: climate change; Piedmont; subterranean meteorology; *i-button*
Parole chiave: cambiamento climatico; Piemonte; meteorologia sotterranea; *i-button*

This research work presents some preliminary evidence about the effects of the ongoing climate change in seven natural caves of the Western Alps. We performed a comparative analysis of temperature data collected during the first semester of the year in 2012-2013 and 2020-2021 (from 01/12 to 15/05). In each cave, we placed two *i-button* dataloggers (model DS1923/DS1922L; resolution = 0.0625 °C), one at the cave entrance and another deeper in the cave. Dataloggers were set to record temperatures every six hours (6 a.m., 12 a.m., 6 p.m., 12 p.m.) and data were daily aggregated. In order to evaluate potential changes across the considered timeframe, we calculated the differences in mean (ΔTm), maximum (ΔTx) and minimum (ΔTn) temperature between the two considered periods. Moreover, for each cave we calculated the attenuation of the thermic signal (Q) and obtained the difference between the two periods (ΔQ). We based the calculation of Q on both the temperature range obtained from the closest weather station (ΔQ_A) and from the temperature range recorded at the cave entrance (ΔQ_B).
Results point to different behavior for maximum and minimum temperatures inside every cave (fig. 1). Regarding Tx, the analysis identified an increase of temperature in caves at higher elevations which can be interpreted in light of the ongoing increase in the winter maximum temperature recorded outside in the last ten years (Acquaotta et al, 2015). When considering Tn, the temperature increase recorded in caves at lower elevations is possibly

related to both the decrease of cold and the increase of dry periods at altitudes lower than 1000 m a.s.l. observed in the last years in Piedmont (Diodato et al, 2021). Our results confirm that temperature alterations related to climate change have intriguing effects on the subterranean climate. These outcomes represent a stimulating baseline towards an integrated understanding of the physical mechanisms behind the observed patterns.

Riferimenti bibliografici

Acquaotta F., Fratianni S., Garzena D. (2015). "Temperature changes in the North-Western Italian Alps from 1961 to 2010." *Theoretical and Applied Climatology,* 122(3): 619-634.

Diodato N., Gómara I., Baronetti A., Fratianni S., Bellocchi G. (2021). "Reconstruction of erosivity density in northwest Italy since 1701". *Hydrological Sciences Journal,* 66(7): 1185–1196.

A

Cadastre	Cave	h[m]	type	l [m]	ΔQ_A	ΔQ_B	ΔTx	ΔTn	ΔTm
2509Pi/VC	Grotta delle Arenarie	770	karstic	70	105.80	8.50	0.20	0.39	0.21
2503Pi/BI	Grotta di Bergovei	415	karstic	150	0.00	0.00	0.28	0.28	0.28
1593Pi/TO	Grotta La Custreta	1386	karstic	26	-2.53	-1.46	2.35	-1.93	-0.93
1148Pi/CN	Buco del Maestro	750	tectonic karstified	8	-0.76	NA	1.72	1.01	1.12
art Pi/CN	Borna del Servais B	1420	artificial	12	1.30	NA	0.54	1.28	0.98
1591Pi/TO	Tana del Diavolo, Roure	1414	tectonic	50	-4.82	-1.35	0.86	-0.35	-0.58
1621Pi/TO	Tuna dal Diaou, Grotta di Chiabrano	1080	tectonic	6	0.09	NA	0.56	0.61	0.63

B

Figure 1. A) The main environmental features of the caves selected for this study and the relative temperature parameters calculated from 01/12 to 15/05 in 2012-2013 and 2020-2021. NA=not available; h=elevation a.s.l.; l=distance of the datalogger from the cave entrance; ΔTn=mean difference of minimum temperature; ΔTx= mean difference of maximum temperature; ΔTm= mean difference of mean temperature; ΔQ_A= attenuation factor calculated using the closest meteorological station; ΔQ_B=attenuation factor calculated using data from the datalogger placed at the cave entrance. B) Map showing the location of the caves considered in this work.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

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

Massimo Pozzo ([b]), Maurizio Miragoli ([b]), Vincenza Franchini ([c])

([a]) Underland, underlandweb@gmail.com, *maximopozzo@gmail.com*
([b]) Federazione Speleologica Lombarda, *federspeleolombarda@gmail.com, m.miragoli@wings4world.com*
([c]) Gruppo Grotte Brescia*, ggb@ggb.it, 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 Büs 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 metereologici 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.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il centro di ricerche climatologiche "Giovanni Badino"della Grotta di Bossea

Bartolomeo Vigna ([a,d]), Claudio Deregibus ([a]), Luca Paro ([b]), Graziano Coppa ([c]), Guido Peano ([d])

([a]) Diati-Politecnico di Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it, claudio.deregibus@polito.it*
([b]) Arpa Piemonte, *luca.paro@arpa.piemonte.it*
([c]) INRiM, *g.coppa@inrim.it*
([d]) Laboratorio carsologico di Bossea-CAI, *gpeano@alice.it*

Parole chiave: temperatura roccia-acqua-aria in cavità; monitoraggio
Keywords: rock-water-air temperature monitoring in caves

Nella Grotta di Bossea (CN), dove sono presenti da molti anni due importanti laboratori (Laboratorio carsologico di Bossea-CAI e il Laboratorio di idrogeologia carsica del DIATI-Politecnico di Torino), a partire dal novembre 2019 è stata installata una terza stazione scientifica denominata "Centro di ricerche climatologiche della Grotta di Bossea", dedicata a Giovanni Badino, fisico e speleologo che ha posto le basi scientifiche della climatologia sotterranea, scomparso nel 2017. Tale struttura, finanziata dal progetto Paleo-lab del Politecnico di Torino e dal Laboratorio carsologico di Bossea, opera in collaborazione con Arpa Piemonte e l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM). La finalità principale del centro è quella di studiare nel tempo le relazioni tra le temperature di roccia-acqua-aria nella cavità e la situazione climatica in superficie. La grotta, caratterizzata da un unico ingresso, presenta una circolazione "a sacco d'aria" con due celle convettive principali condizionate dalla morfologia della cavità (dislivello positivo di 180 m) e dalla presenza di un corso d'acqua con una portata media intorno a 180 l/s. Per il monitoraggio termico sono stati individuati 5 siti principali: uno in superficie (denominato Ingresso) e quattro all'interno della cavità (denominati Porfiroidi, Sacrestia, Milano e Laboratorio superiore). Il sito Ingresso è dotato di un acquisitore che raccoglie i dati provenienti da una serie di sensori ubicati in 5 fori di sondaggio (diametro 12 mm) profondi 50 cm e 100 cm posizionati in superficie e presso l'ingresso della cavità (finalizzati al rilievo della temperatura dell'ammasso roccioso) e 6 sensori per la misura della temperatura aria esterna e nella prima parte della grotta. Presso l'ingresso è presente anche un sensore per la misura della pressione atmosferica, un anemometro a coppette per rilevate la velocità aria esterna, due anemometri ultrasonici per misurare la velocità e la direzione dell'aria nella galleria dell'ingresso (uno al soffitto e l'altro a pavimento). Completano la stazione meteo tre pluviografi per misurare gli apporti infiltrativi (uno tradizionale, uno con bocca riscaldata ed

uno per la misura della fusione nivale). Il sito Porfiroidi è localizzato nel primo grande ambiente della grotta ed è dotato di un acquisitore a 24 canali con 5 sensori per misurare la temperatura dell'aria a differenti altezze partendo dalla zona dove scorre il collettore principale della cavità fino verso il soffitto di questo ambiente. Cinque sensori misurano la temperatura della roccia a differenti profondità (fino a 3 m di profondità) e due sensori rilevano la temperatura dell'acqua del collettore e di un apporto secondario della zona insatura. Il sito Sacrestia, ubicato in un ambiente laterale della grotta, è dotato di 5 sensori per la temperatura dell'ammasso roccioso e dell'aria. In un successivo grande ambiente della cavità si trova il sito Milano dove viene rilevata la temperatura dell'ammasso roccioso, dell'aria a diverse altezze e dell'acqua di un apporto secondario della zona insatura con un totale di 7 sensori. In questo sito sono presenti anche un sensore della pressione atmosferica e due anemometri ultrasonici per misurare la velocità e la direzione dell'aria presso il pavimento ed il soffitto. Infine, nel settore non turistico della grotta, dove scorre il collettore principale in una forra (di oltre 10 m altezza), si trova il sito Laboratorio superiore dotato di 4 sensori per la misura della temperatura aria-roccia in prossimità del corso d'acqua e nel settore prossimo al soffitto, unitamente ad un sensore per la misura della pressione atmosferica. Grazie ad un rilevamento dettagliato della grotta con un laser scanner e con un drone in superficie nella zona sovrastante la cavità (effettuato dal Gruppo Geomatica del DIATI), è stato possibile calcolare con notevole precisione la distanza dei diversi siti dalla superficie: Porfiroidi si trova ad una distanza di 90 m dalla superficie, Sacrestia a 18 m, Milano a 100 m e Laboratorio superiore a 155 m dalla superficie.

Gli acquisitori sono datalogger multicanale ALMEMO 5690KL, mentre i sensori di temperatura sono PT100 con accuratezza 0,01 °C e risoluzione 0,001 °C, forniti dalla ditta Cal-Power (Como, Italy). Di ogni singolo sensore di temperatura è stata realizzata una curva di taratura da parte di INRiM che si occupa anche del controllo annuale in situ di tutti i sensori per rilevare eventuali derive strumentali. Il sistema di monitoraggio è stato impostato con un`acquisizione dei dati ogni 10 minuti. Tale estremo dettaglio è finalizzato a rilevare anche temporanee e rapide variazioni dei valori della pressione atmosferica e delle temperature dell'aria, sia per cause naturali (raffiche di vento, violenti temporali) sia antropiche (passaggio turisti, accensioni luci) che possono perturbare le condizioni ambientali sotterranee. Dopo oltre 12 mesi, occorsi per mettere a punto tutto il sistema di monitoraggio, i dati raccolti evidenziano le complesse interazioni esistenti tra le temperature dell'aria, dell'acqua e della roccia. I primi risultati confermano la genialità di Giovanni Badino, che con le sue intuizioni ed i suoi modelli, spesso teorici e basati solo sulle osservazioni e non sulle misure, aveva già descritto in modo perfetto la fisica del clima sotterraneo nella pubblicazione del 1995 e nei suoi successivi lavori.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Circolazione e temperatura dell'aria nelle cavità

Bartolomeo Vigna ([a]), Claudio Deregibus ([a]), Luca Paro ([b])

([a]) Diati-Politecnico di Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it*, *claudio.deregibus@polito.it*
([b]) Arpa Piemonte *luca.paro@arpa.piemonte.it*

Parole chiave: Circolazione d'aria; temperatura aria in cavità; monitoraggio
Keywords: Air circulation; air temperature; monitoring in caves

Lo studio della circolazione dell'aria di una cavità permette di comprendere il funzionamento di un dato sistema carsico e di valutare anche l'opportunità di procedere con scavi in cavità che presentano una estensione ridotta. L'installazione di acquisitori di velocità e direzione dell'aria (anemometri) ha dei costi in genere molto elevati e, se il monitoraggio si protrae per diversi mesi, occorre molta energia elettrica per il funzionamento di tali apparecchiature. Tuttavia, essendo la circolazione dell'aria prevalentemente legata alle differenze tra la temperatura in superficie e in profondità, è possibile utilizzare degli acquisitori in grado di rilevare per tempi molto lunghi (parecchi mesi) tali valori. Con questi dati è possibile poi ricavare indicazioni valide anche per quanto riguarda la direzione dei flussi d'aria nelle cavità. Come noto, la temperatura dell'aria in superficie è caratterizzata da notevoli oscillazioni giornaliere e stagionali mentre nelle cavità, a notevole distanza dalla superficie, la temperatura dell'aria rimane piuttosto costante nell'arco dell'intero anno ed è influenzata principalmente dalla temperatura dell'ammasso roccioso e delle acque circolanti. Avvicinandosi alla superficie, la temperatura dell'aria mostra evidenti oscillazioni quando la cavità è in fase di aspirazione, essendo tali valori condizionati dalla temperatura esterna. Al contrario, quando una cavità soffia, la temperatura presenta un andamento molto costante nel tempo, con valori simili a quelli delle zone profonde. In questo caso si osserva solo una blanda variazione delle temperature, che aumentano o diminuiscono in funzione dello scambio termico con l'ammasso roccioso che è stato riscaldato (ingressi alti) o raffreddato (ingressi bassi) durante i lunghi periodi in cui la cavità è stata in fase di aspirazione. Per questo motivo vengono chiamate "bocche fredde" gli ingressi bassi, che aspirano nel periodo invernale, e "bocche calde" gli ingressi alti, che aspirano nel periodo estivo. Le strumentazioni per il monitoraggio ad alta frequenza delle temperature hanno prezzi ormai molto contenuti e sono alla portata di qualsiasi speleologo.
I dati utilizzati in questo lavoro provengono da una serie di progetti di ricerca finanziati dal Politecnico di Torino e da Arpa Piemonte (progetti Show caves, Ice caves, Paleo Lab). Nell'ambito di tali progetti sono stati installati numerosi acquisitori per il monitoraggio termico ad alta frequenza in alcune cavità

di diversa tipologia, finalizzati ad esaminare le relazioni tra la temperatura in cavità dell'aria, della roccia, dell'acqua con i valori di superficie. Lo studio ha riguardato alcune cavità in alta quota che si comportano da ingresso basso, caratterizzate da forti correnti d'aria e temperature molto rigide anche in estate (con valori che non superano 1 °C), e una cavità di sviluppo di soli 15 m (in fase di scavo da parte degli speleologi) che si comporta da ingresso alto. Sono state prese in esame anche tre grotte turistiche: i) Borgio Verezzi (SV) con 4 ingressi e dislivello tra ingressi bassi e alti di soli 2 m, ii) Toirano (SV) con 2 ingressi posti a 20 m di dislivello e iii) Bossea (CN) che presenta un solo ingresso ed è caratterizzata da circolazione "a sacco d'aria" con due celle convettive principali. In alcune di queste è stato possibile osservare anche l'impatto termico (di breve durata) di origine antropica legato al passaggio delle persone ed alla illuminazione artificiale degli ambienti sotterranei.
I datalogger utilizzati sono dei Tinytag 2 plus della Gemini Sc. Ltd. con alimentazione a batteria e 2 sensori (termistori NTC) con cavo di lunghezza variabile da 1,5 a 10 m, accuratezza di 0,2 °C, risoluzione di 0,01 °C, con custodia IP68 e dimensioni contenute. I sensori sono stati installati presso gli ingressi delle cavità per la misura della temperatura dell'aria in superficie, e in profondità, a partire dalle zone vicine agli ingressi fino a settori più profondi. Nelle cavità caratterizzate da gallerie di ampie dimensioni sono stati installati, nello stesso sito, sensori sia prossimi al pavimento che al soffitto che hanno evidenziato significative differenze legate alla stratificazione dell'aria. Tale disposizione dei sensori è di fondamentale importanza nelle cavità "a sacco d'aria" (dove è presente un solo ingresso) e la circolazione d'aria è caratterizzata da celle convettive presenti anche in gallerie di piccole dimensioni. L'intervallo di acquisizione dati nelle grotte turistiche è di 10 minuti (per rilevare anche le variazioni antropiche) mentre nelle cavità in quota vengono registrati i valori di temperatura massima e minima ogni 2 ore.
I risultati preliminari indicano che nei tratti iniziali delle cavità in fase di aspirazione, fino ad oltre un centinaio di metri dall'ingresso, si osservano evidenti oscillazioni delle temperature direttamente legate alle variazioni giornaliere in superficie. Quando le correnti d'aria si dirigono verso l'esterno si registrano, invece, valori di temperatura costanti nel tempo. Il sistema di monitoraggio rileva con dettaglio anche le condizioni di temporanee e brevi inversioni (di poche ore) dei flussi d'aria (legate anche a improvvise variazioni della pressione atmosferica o al vento) e si dimostra molto efficace nei siti in cui la circolazione d'aria è molto bassa (es. nella grotta di Bossea < 0,1 m/s). Infatti, gli anemometri ultrasonici non sono in grado di rilevare valori così ridotti, registrando dati solo con flussi d'aria significativi. I sensori termici, invece, evidenziano molto bene la circolazione d'aria legata alle celle convettive con sensibili variazioni di temperatura tra pavimento e soffitto legate alle variazioni termiche che si verificano esternamente alla grotta.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Relazioni tra velocità e direzione dell'aria nelle cavità e temperatura dell'aria in superficie

Bartolomeo Vigna ([a,b])

([a])DIATI-Politecnico di Torino, *bartolomeo.vigna@polito.it*
([b]) Speleo Club Tanaro

Parole chiave: velocità e direzione aria in cavità; temperatura aria
Keywords: air speed and direction in the cavity; air temperature

I dati relativi alla circolazione dell'aria nelle cavità guidano da sempre gli speleologi nella ricerca in superficie di nuove grotte ed in profondità alla individuazione delle prosecuzioni più promettenti. Come ben evidenziato da numerosi autori, in particolare vedi Badino 1995, la circolazione d'aria è strettamente legata alle differenze tra la densità interna in una cavità e quella esterna. La densità dell'aria interna è abbastanza costante perché altrettanto costanti sono i valori della temperatura e dell'umidità. Quindi essendo le grotte collegate con la superficie, dove questi valori sono molto variabili e diversi da quelli in profondità, l'aria tenderà a scendere o salire a seconda delle condizioni ambientali di superficie. Per evidenziare le relazioni esistenti tra le variazioni nel tempo dei flussi d'aria in cavità e la temperatura in superficie è stato installato, nei tratti iniziali di quattro cavità, un anemometro e sono stati acquisiti i dati di temperatura dell'aria di stazioni meteorologiche di Arpa Piemonte ubicate in prossimità di tali cavità. Lo strumento utilizzato è un anemometro ad ultrasuoni a due assi, modello FMD 720 (messo a disposizione dal Paleolab del Politecnico di Torino) che rileva sia la velocità (risoluzione 0.1 m/s), che la direzione dell'aria (risoluzione di 0.1°). Tale strumentazione è stata progettata per funzionare con alimentazione a 230 V ed un trasformatore a 12 V. Il sensore effettua in continuo le misure con un consumo approssimativo di 100 mA. Per tale ricerca l'acquisitore è stato alloggiato in un contenitore stagno per evitare danneggiamenti legati alla elevata umidità dell'ambiente ipogeo ed essendo assente l'alimentazione di rete è stato collegato ad una batteria di 22 A/h. Quindi nell'arco di tempi piuttosto brevi l'alimentazione della batteria si riduce sensibilmente permettendo una registrazione per soli 7-8 giorni, comunque sufficienti per raccogliere una notevole serie di dati. La strumentazione è stata impostata con una memorizzazione del dato ogni 10 minuti relativa alla velocità media e a quella massima in quell'intervallo di tempo. I dati della velocità media sono poi stati moltiplicati per la sezione del punto di monitoraggio ricavando così la portata

del flusso d'aria. Sono state individuate 4 cavità nel settore delle Alpi Liguri, con funzionamento "a tubo vento", che si comportano da ingresso basso con una sensibile corrente d'aria e caratterizzate da sviluppo plano-altimetrico molto differente tra loro. Il complesso Mottera-Verzera-Fantozzi presenta un dislivello tra ingressi bassi e alti di 630 m e sviluppo di 22 km. Il complesso Turbiglie-Vipere ha un dislivello tra ingresso basso e alto di soli 40 m e uno sviluppo di 600 m. L'abisso Rem del Ghiaccio raggiunge una profondità di 330 m ma a –100 l'aria abbandona il percorso principale dirigendosi verso una serie di arrivi che sembrano essere collegati con una serie di ingressi soffianti 150 m più in alto. La grotta di Costacalda, con uno sviluppo planimetrico di 1700 m, raggiunge una profondità di 60 m dove l'aria si dirige in condotte non transitabili. Un probabile ingresso è stato scoperto recentemente e si trova 300 m più in alto ad una distanza lineare di 1.200 m. Di queste cavità è stato rilevato anche il valore di temperatura dell'aria in profondità. I dati ricavati da tale monitoraggio hanno evidenziato come le velocità e le direzioni dei flussi d'aria siano strettamente legati alle differenze tra la temperatura interna (costante) e le notevoli variazioni giornaliere delle temperature di superficie. Lo studio mostra un andamento dei flussi d'aria caratterizzato in genere da oscillazioni giornaliere molto marcate, con temporanee inversioni della circolazione controllate dalla situazione climatica in superficie. L'andamento giornaliero dei flussi rilevato nelle diverse cavità è piuttosto differente tra un sistema e l'altro ed emerge un dato che è noto nelle osservazioni ma ora anche documentato dalle misure. Nel complesso più esteso (complesso Mottera) si osserva un ritardo di alcune ore tra i picchi massimi di temperatura aria in superficie e la velocità media, con valori delle velocità dei flussi d'aria molto diversi tra le ore diurne e quelle notturne. Nel complesso di dimensioni più ridotte (Complesso Turbiglie) i valori della velocità aria e della temperatura in superficie presentano un andamento temporale molto simile. In particolare si nota nel periodo notturno, in seguito al decremento delle temperature di superficie, una diminuzione della velocità dell'aria fino a valori nulli per alcune decine di minuti seguita da una inversione del flusso per alcune ore fino a quando le temperature superficiali aumentano e, in tempi molto brevi, si registra una ennesima inversione della circolazione. Queste inversioni si verificano anche se nelle ore notturne la temperatura superficiale presenta valori decisamente superiori rispetto a quella interna. La grotta di Costacalda presenta una stretta relazione tra la temperatura superficiale e la velocità dell'aria anche se lo sviluppo ed il dislivello sono decisamente maggiori rispetto al complesso delle Turbiglie. Nell'abisso Rem la velocità dell'aria è piuttosto costante (valori massimi intorno a 1m/s, ma con una sezione di misura piuttosto ampia) con temporanee inversione dei flussi nelle ore notturne, in seguito ai decrementi delle temperature superficiali. Il ritardo tra l'andamento termico superficiale e tali inversioni è di alcune ore. In seguito ad una netta diminuzione della temperatura esterna, legata ad intense precipitazioni, si è verificata per oltre 24 ore una significativa inversione della circolazione d'aria che ha raggiunto una velocità massima di 9 m/s con una portata di quasi 2 m^3/s. La meteorologia di tale cavità è ancora, in parte, da comprendere.

Raccolta di informazioni e dati durante le esplorazioni

di Laura SANNA, Francesco SAURO e Marco MECCHIA

L'esplorazione speleologica è ormai una delle poche attività di documentazione geografica inedita che si possono svolgere nel nostro pianeta. Essa implica la ricerca e la descrizione sistematica del mondo sotterraneo, in particolare delle grotte ma anche degli ambienti superficiali che le ospitano. Si tratta dunque di una disciplina scientifica che abbraccia un ampio spettro di studi che riguardano sia i settori delle geoscienze (come la geologia, mineralogia, idrogeologia, ecc.) che aspetti naturalistici (la biospeleologia, la microbiologia e l'ecologia) e umanistici (paleoetnologia, archeologia, ecc.).
A differenza della maggior parte delle branche della scienza, condotte da ricercatori specializzati e per lo più afferenti ad organizzazioni accademiche, la ricerca speleologica è portata avanti da gruppi di appassionati: gli speleologi. Il carburante che alimenta la loro articolata attività è la curiosità di esplorare mondi nuovi, spesso remoti e ostili, o la ricerca di una nuova prosecuzione di altri già parzialmente conosciuti. Gli speleologi hanno l'opportunità di osservare luoghi sperduti della Terra: in questo viaggio sotterraneo raggiungono posti sconosciuti, spesso percorrendoli solo in quell'unica occasione e poi lasciandoli nell'oblio. La maggior parte di essi è impegnata attivamente nella mappatura dei vuoti sotterranei e solo marginalmente su altri aspetti ritenuti utili per l'esplorazione, quale l'idrogeologia e la meteorologia ipogea. La preparazione di base che accomuna tutti gli speleologi è infatti la capacità tecnica di spostarsi nel sottosuolo con modalità di progressione complesse e durante lunghe permanenze nell'oscurità, abilità non sempre conseguibile con un diploma di laurea. Per questo motivo il loro contributo risulta fondamentale nello studio di questi ambienti naturali e di grande ausilio per chi raccoglie dati del mondo sotterraneo ai fini applicativi.
Negli ultimi anni però l'approccio scientifico alle esplorazioni si è diffuso anche nella comunità speleologica grazie soprattutto ad alcune figure illustri come Giovanni Badino che, facendo parte anche del mondo accademico, ha contaminato il resto della collettività con la sua passione nel trasformare i risultati delle esplorazioni in qualcosa di più utile per la società, fatto che in genere fino a qualche decennio fa era precluso agli esploratori. Nel prendere coscienza delle potenzialità che gli speleologi offrono alla ricerca scientifica degli ambienti carsici, questa Tavola Rotonda, intitolata appunto "*Raccolta di informazioni e dati durante le esplorazioni*", è stata un'occasione per illustrare il contributo della speleologia "fatta in casa" alla scienza con la S maiuscola, ma soprattutto per far emergere come le semplici osservazioni sul campo possano contribuire al crescere delle conoscenze su questi ambienti nascosti anche se i protagonisti non posseggono competenze specifiche.
Il punto di partenza di questa riflessione è stato proprio l'interessante analisi di Bottegal & Rodari sulle professioni di oltre 10.000 soci della Società Speleologica Italiana e del loro contributo in termini di numero di pubblicazioni, progetti e ricerche svolte in collaborazione e/o commissionate da enti pubblici e di ricerca, quale esempio di *Citizen Science*.
L'incontro è stato però un ottimo momento di discussione, a cui ha partecipato sia la componente speleologica che quella accademica, su osservazioni e misu-

razioni che contribuiscono ad ampliare la comprensione del mondo sotterraneo, al di là della documentazione usuale, come rilievo e fotografie della quale si è dibattuto in altre tavole rotonde.
La comunità speleologica è intervenuta con uno studio sulle temperature delle atmosfere sotterranee del Complesso della Carcaraia (Toscana) e sui risvolti esplorativi che l'analisi di questi dati può fornire (Faverjon & Pierini), dando importanti spunti sulla dinamica delle masse d'aria nella Zona Critica Carsica (Karst Critical Zone - KCZ), cioè in quella zona in cui avvengono le complesse interazioni tra processi geologici e biologici a supporto dell'ecosistema carsico.
Nella documentazione delle grotte marine della Liguria, è risultato interessante confrontarsi con una prospettiva diversa, quella del contesto universitario che ha presentato una ricerca sulle grotte sommerse di Portofino (Liguria), riportando i rilevamenti topografici speditivi di alcune cavità ma con un focus dettagliato su un primo inventario delle specie che le abitano (Bianchi et al.).
Nella *keynote* introduttiva (Mecchia & Sauro) si è parlato delle preziose annotazioni geologiche che possono essere raccolte durante la progressione, informazioni essenziali per comprendere lo sviluppo del sistema carsico che si sta esplorando e modellizzare la sua evoluzione. Non si è tralasciato il fondamentale contributo che arriva dalle osservazioni dirette sui fiumi sotterranei, sulle semplici indagini che si possono condurre per ricostruire il reticolo di drenaggio sotterraneo o per interpretare l'origine e il destino delle sue acque, punto nevralgico per la protezione degli acquiferi carsici.
Con alcune decine di partecipanti, questo appuntamento ha senza dubbio dimostrato l'enorme potenzialità dell'esplorazione speleologica in ambito scientifico e ha sottolineato come il dialogo tra la comunità speleologica e quella accademica debba fondarsi sulla condivisione di obiettivi comuni nello studio delle grotte: con una valenza interdisciplinare questo scambio, anche sulla base del confronto costruttivo, dovrebbe essere incentrato sulla possibilità di fornire nuovi input per la salvaguardia e la valorizzazione dell'ambiente carsico.

Collection on information and data during explorations

by Laura SANNA, Francesco SAURO and Marco MECCHIA

Speleological exploration is now one of the few geographical documentation activities that can be carried out in unexplored places on our planet. It implies the research and the systematic description of the underground world, in particular of the caves but also of the surface environments that host them. It is therefore a scientific discipline that embraces a broad spectrum of studies concerning both the fields of geosciences (such as geology, mineralogy, hydrogeology, etc.) and naturalistic aspects (biospeleology, microbiology, and ecology) and humanistic ones (paleoethnology, archeology, etc.).

Unlike most branches of science, conducted by specialized researchers and mostly belonging to academic organizations, speleological research is carried out by groups of enthusiasts: speleologists. The thing that fuels their articulated activity is the curiosity to explore new worlds, often remote and hostile, or the search for a new continuation of places already partially known. Speleologists have the opportunity to observe remote places on Earth: in this underground journey they reach unknown corners, often passing through them only on that one occasion and then leaving them in oblivion. Most of them are actively involved in the mapping of underground voids and only marginally on other aspects deemed useful for exploration, such as hydrogeology and underground meteorology. The basic preparation that all speleologists have in common is in fact the technical ability to move underground with complex progression methods and during long stays in the dark, a skill that is not always achievable with a university degree. For this reason their contribution is fundamental in the study of these natural environments and of great help for those who collect data from the underground world for application purposes.

In recent years, however, the scientific approach to exploration has also spread to the speleological community thanks above all to some illustrious figures such as Giovanni Badino who, also being part of the academic world, has contaminated the rest of the caver's community with his passion for transforming the results of explorations into something more useful for society, which was generally limited to explorers until a few decades ago. In becoming aware of the potential that speleologists offer to the scientific research of karst environments, this Round Table, entitled "Collection of information and data during explorations", was an opportunity to illustrate the contribution of "home-made" caving to science with a capital S, but above all highlight how simple observations in the field can contribute to the growth of knowledge on these hidden environments even if the protagonists do not have specific skills.

The starting point of this reflection was precisely the interesting analysis by Bottegal & Rodari on the professions of over 10,000 members of the Italian Speleological Society and their contribution in terms of the number of publications, projects and researches carried out in collaboration and/or commissioned by public and research institutions, as an example of Citizen Science.

However, the meeting was an excellent moment of discussion, which was attended by both the cavers and academic people, on observations and measurements that contribute to broadening the understanding of the underground world, be-

yond the usual documentation, such as surveys and photographs that have been debated in other round tables and sessions.
The speleological community intervened with a study on the temperatures of the underground atmosphere of the Carcaraia Complex (Tuscany) and on the exploratory implications that the analysis of these data can provide (Faverjon & Pierini), giving important insights into the dynamics of the air masses in the Karst Critical Zone (KCZ), that is, in that area where the complex interactions between geological and biological processes take place in support of the karst ecosystem.
In the documentation of the coastal caves of Liguria, it was interesting to deal with a different perspective, that of the university context which presented a research on the submerged caves of Portofino (Liguria), reporting the hastily drafted topographic surveys of some cavities but with a detailed focus on a first inventory of the species that inhabit them (Bianchi et al.).
In the introductory keynote (Mecchia & Sauro) we talked about the precious geological fieldnotes that can be collected during the progression, essential information for understanding the development of the karst system that is being explored and modeling its evolution. The fundamental contribution that comes from direct observations on underground rivers has not been overlooked, including the simple investigations that can be carried out to reconstruct the underground drainage network or to interpret the origin and fate of its waters, a focal point for the protection of karst aquifers.
With a few dozen participants, this event has undoubtedly demonstrated the enormous potential of speleological exploration in the scientific field and underlined how the dialogue between the speleological community and the academic one must be based on the sharing of common objectives in the study of caves: with an interdisciplinary value this exchange, also on the basis of constructive confrontation, should be centered on the possibility of providing new inputs for the protection and management of the karst environment.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Speleologia: la scienza dal basso

Mila Bottegal ([a]), Paola Rodari ([a])

([a]) Gruppo Triestino Speleologi, *gts@speleo.it*

Parole chiave: Citizen science; speleologi; ricerca; storia della speleologia
Keywords: Citizen science; speleologists; research; history of speleology

La *citizen science*, la scienza dei cittadini, è una pratica scientifica, un'attività di ricerca che coinvolge attivamente persone che non appartengono all'accademia e che non lavorano in istituti di ricerca né pubblici né privati. In alcuni progetti, diretti da ricercatori professionisti, i cittadini vengono coinvolti solo per raccogliere dati; in altri possono invece essere i primi promotori della ricerca, promuovendo e contribuendo a un progetto che risponda alle esigenze di un territorio e dei suoi abitanti.

La Commissione Europea promuove e supporta economicamente la *citizen science* considerandola di grande importanza sia per la pratica stessa che per i risultati prodotti. Si tratta, innanzitutto, della possibilità di raccogliere una quantità di dati che i soli ricercatori non sarebbero in grado di realizzare. Inoltre, coinvolgendo i cittadini, si ha una diffusione di conoscenze scientifiche a non esperti al di fuori delle aule scolastiche. Infine si ottiene un avvicinamento della scienza ai bisogni del territorio e una nuova capacità creativa della ricerca che non risponda solo a necessità accademiche.

La speleologia è un perfetto esempio di *citizen science*, forse la più antica, diffusa e consolidata pratica di ricerca totalmente auto-organizzata dal basso. Una scienza interdisciplinare che ha collegamenti con tutte le scienze della Terra, e non solo. La speleologia, se fatta bene, comporta l'organizzazione di campagne di esplorazione che richiedono abilità tecniche, doti sportive, conoscenze scientifiche in un mix di sport, escursionismo, scienza e tecnologia.

Intesa come scienza, la speleologia ha visto in Italia, dalla sua nascita a oggi, il coinvolgimento di migliaia di persone. Attualmente si stimano oltre 5.000 speleologi attivi raggruppati in più di 250 associazioni che svolgono la loro attività di ricerca in collaborazione stretta, ma in modo indipendente, con università e centri di ricerca. La gran parte degli speleologi iscritti alle diverse associazioni non lavora nell'ambito universitario né ha una formazione scientifica accademica, ma si mantiene svolgendo le professioni più diverse. Sono persone che, al di là della componente sportiva, hanno fatto della speleologia un'attività costante frequentando corsi teorici e pratici e tenendosi continuamente aggiornati grazie a libri e riviste. Nonostante sia un'attività volontaria ed extra-accademica, il contributo della speleologia alla conoscenza del sottosuolo è insostituibile. Le associazioni speleologiche e la Società Speleologica Italiana organizzano innumerevoli

convegni e seminari, e pubblicano libri, mappe, cataloghi e periodici, molti di buona o ottima qualità scientifica. Il censimento delle grotte italiane, che a oggi conta oltre 40.000 cavità naturali, è interamente opera degli speleologi. Lo studio delle scienze del sottosuolo spesso non viene eseguito dai ricercatori, ma è mutuato dagli speleologi che sanno vedere e registrare aspetti particolari e interessanti, che divengono poi materia di studio per gli esperti. C'è una forte sinergia tra chi sa andare in grotta, ma non ha una conoscenza prettamente specialistica, e chi studia gli ambienti ipogei, ma non è in grado di frequentarli.
Il nostro intervento intende illustrare questo esempio di *citizen science* analizzando le professioni di più di 10.000 soci della Società Speleologica Italiana. Il campione comprende sia speleologi in attività che coloro che si sono affacciati al mondo delle grotte solo per poco. Verranno presentati anche dati sul numero di pubblicazioni esistenti, e saranno inoltre presi in esame e descritti anche alcuni progetti e studi portati a termine dagli speleologi e svolti in collaborazione o commissionati da università, enti di ricerca o enti pubblici rendendo così possibile una importante rete di collaborazione.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Temperature ipogee nel complesso della Carcaraia, analisi dei dati raccolti e ipotesi

Marc Faverjon ([a]), Silvio Pierini ([b])

([a]) *marc.faverjon@yahoo.com;* ([b]) *silvio.pierini@gmail.com*

Parole chiave: Carcaraia, Saragato, misure di temperature, gradiente
Keywords: Carcaraia, Saragato, temperature measurements, gradient

Il complesso della Carcaraia nasce della congiunzione degli abissi Pietro Saragato, Mani Pulite, Chimera, Gigi Squisio, buca dell'Aria Ghiaccia e per ultimo della Buca sopra la cava bassa di Carcaraia. Comprende ad oggi nove ingressi. Lo sviluppo del complesso è di circa 70 km e il dislivello di poco superiore a 1200 m. L'aria è l'elemento che ha maggiormente guidato le esplorazioni del complesso della Carcaraia. Ha permesso di realizzare le esplorazioni le più eclatanti come le giunzioni di Mani Pulite nel 2018, di Chimera nel 2020 e l'esplorazione del ramo ET nel 2021. Le correnti d'aria all'interno del complesso sono notevoli, in particolare in prossimità degli ingressi ed in specifici rami del complesso, come L'infinita Forra del Vento.

Le prime acquisizioni di temperatura del complesso sono state effettuate da G. Badino. A seguito della campagna di rilievo, avanzò un'interessante ipotesi del funzionamento aerologico del complesso: *"Il Saragato è tutta la montagna e quindi il suo comportamento è la somma di tante colonne d'aria simili a quelle della Malga (N.d.R. Abisso di Malga Fossetta) ma che si intersecano"*. Concluse la sua nota con "*come vedi, è un grosso casino*" (Badino, 1995).

All'iniziativa di Gianni Guidotti, circa 200 nuove misure puntuali di temperature sono state effettuate durante il periodo intercorso fra Giugno 2020 e Novembre 2021, con l'obiettivo di mappare estensivamente le temperature dei principali rami del complesso. Queste misure sono state realizzate prevalentemente in situazione aerologica estiva con un termometro Delta OHM-HD2107.1 – Centesimal Thermometer Pt100. L'apparecchio ha una precisione del centesimo di grado. Le misure sono state eseguite con un tempo di stabilizzazione di circa 10 minuti con l'operatore posto a più metri dello strumento e posizionato a valle del punto di misura rispetto alla corrente d'aria. Le temperature misurate nelle parti profonde del sistema sono piuttosto stabili nel tempo con variazioni dell'ordine di grandezza dell'errore di misura dovuta allo strumento utilizzato e al protocollo di misura adottato. Al contrario, si osservano variazioni temporali anche di diversi gradi in alcune vie di accesso come il Saragato. Queste misure di temperatura indicano che c'è complessivamente una differenza di più di 5,5°C fra le zone calde e le zone fredde del complesso.

L'analisi complessiva delle curve di temperatura su un diagramma quota / temperatura mostra l'esistenza di numerose zone in equilibrio adiabatico o "colonne" con un gradiente di circa 0,45°C/100m (da 0,40 a

0,47°C/100m). Il gradiente, piuttosto elevato e costante, indicherebbe che la circolazione d'aria è importante e gioca un ruolo preponderante rispetto all'acqua nei trasferimenti termici all'interno del complesso della Carcaraia (Luetscher, 2004). Queste zone in equilibrio adiabatico possono essere individuate anche nelle parti più profonde del sistema, e sono caratterizzate da estensioni significative (fino a 400 m di dislivello e più di 1000 m di estensione planimetrica). La porzione del ramo Sud-Est del Saragato fra la condotta di -525 ed il campo del ramo dei Lord, ad esempio, può essere modellizzata come una singola colonna. Le differenti colonne individuate presentano delle temperature non omogenee che vanno da 3,6°C a 5,4°C ad una quota di riferimento di 1000 m slm. Queste colonne adiabatiche sono collegate fra di loro da condotti di equilibrio termico. Tali condotti sono spesso caratterizzati da dimensioni modeste, correnti d'aria molto intense e concrezioni coralloidi direzionali. Ad esempio, il condotto del Bivio di -525 che collega la colonna adiabatica dell'Infinita Forra del Vento con quella del ramo Sud-Est, è un passaggio sub-orizzontale lungo circa 60 m, e presenta ai suoi estremi una differenza di temperatura di circa 1,1° C. Il posizionamento spaziale delle varie colonne non rispecchia una logica di continuità di progressione o di flusso dell'aria. È possibile, come osservato ad esempio sulla tratta Chimera – Saragato, saltare da una colonna fredda a una colonna calda per poi ritornare in una altra colonna ancora più fredda.
Il complesso comprende sei ingressi principali. Quattro di questi, fra cui Chimera, che è l'ingresso noto più alto, sono ingressi meteorologici bassi. Il Saragato e Mani Pulite, invece, sono ingressi meteorologici alti. Le temperature durante la stagione estiva in questi due abissi non sono allineate lungo una curva adiabatica. Le temperature aumentano avvicinandosi alla superficie e variano notevolmente in funzione delle condizioni meteorologiche esterne. La zona termotropica, spesso limitata a poche centinaia di metri, risulta molto più estesa in queste parti del sistema. Risulta infatti evidente dal grafico quota / temperatura che l'equilibrio termico viene raggiunto nella zona del bivio di -525 in Saragato, e a circa -700 a Mani pulite, ovvero dove la serie dei pozzi d'ingresso intercetta i flussi d'aria profondi che attraversano il complesso.
Gli ingressi meteo bassi presentano delle curve di temperatura singolari con un abbassamento molto accentuato delle temperature avvicinandosi all'uscita. Il fenomeno è particolarmente visibile lungo i pozzi di accesso della Buca dell'Aria ghiaccia. Non è associato a variazioni temporali significative delle temperature e ha una estensione limitata.
Il complesso appare dal punto di vista meteorologico completamente interconnesso ma anche molto compartimentato. Presenta infatti svariate colonne adiabatiche indipendenti caratterizzate da temperature di equilibrio differenti, nonostante la presenza dei condotti che le connettono. Ipotizziamo che ciò sia dovuto alla preponderanza dei fenomeni di trasferimento termico verticale attuati dai flussi idrici rispetto a quelli dell'aria attraverso i condotti di equilibrio. Le osservazioni effettuate suggeriscono inoltre una forte correlazione fra la temperatura delle colonne adiabatiche ed i valori di irraggiamento solare al suolo delle zone superficiali sovrastanti.

Riferimenti bibliografici

Badino G. (1995), "Comunicazione personale a Gianni Guidotti", 5 p.
Luetscher M., Jeannin P.-Y. (2004), "Temperature distribution in karst systems", *Terra Nova*, 16(6): 344–350.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le grotte marine del Promontorio di Portofino (Genova): note topografiche e biologiche

Carlo Nike Bianchi ([a]), Carla Morri ([a]), Annalisa Azzola ([a]), Alice Oprandi ([a]), Monica Montefalcone ([a])

([a]) Università di Genova, DiSTAV (Dipartimento di Scienze del Territorio, dell'Ambiente e della Vita), Genova, Italia

Parole chiave: Rilevamento speditivo; *Corallium rubrum*; *Parapandalus narval*; Mar Ligure
Keywords: Expeditious survey; *Corallium rubrum*; *Parapandalus narval*; Ligurian Sea

Abstract
The marine caves of the Portofino Promontory (NW Italy): topographical and biological notes. Despite being frequent destinations for recreational scuba diving, the marine caves of Portofino have never been the subject of dedicated studies. The expeditious topographic surveys of some cavities and a first inventory of the species that inhabit them are reported in this contribution.

Pur essendo mete frequenti di immersioni subacquee ricreative, le grotte sommerse di Portofino non sono mai state oggetto di studi dedicati. Vengono qui riportati i rilevamenti topografici speditivi di alcune cavità e un primo inventario delle specie che le abitano.

La scogliera rocciosa del Promontorio di Portofino ospita numerose grotte marine (fig. 1). Si tratta essenzialmente di grotte di frana e/o di erosione marina, con speleotemi rari o assenti a causa della natura geologica della roccia (puddinga). Le maggiori grotte marine della Liguria, invece, sono localizzate in aree carsiche, e traggono origine dall'ingressione marina in cavità terrestri preesistenti (Canessa et al., 2014).
Alcune delle grotte marine di Portofino raggiungono la superficie e comprendono una parte emersa; quasi tutte sono riportate nel Catasto Grotte della Liguria e citate nel volume di Bixio (1987). Tra le più note grotte marine superficiali, si possono ricordare il Tunnel della Cala dell'Olivetta, la Grotta della Chiesa di San Giorgio e la Grotta della Colombara. La maggior parte delle grotte marine del Promontorio, tuttavia, sono completamente sommerse. La Punta Carega ospita, oltre alla succitata Grotta (superficiale) della Colombara, chiamata anche Grotta Tortonese, la Grotta dell'Armato e la Grotta Marcante; sul versante orientale di Punta Chiappa si trova la Grotta dei Gamberi; sul lato nord della Punta di Paraggi si trovano la Grotta del Castello di Paraggi e la Grottina del Presepe; al Dragone si trova il Tunnel del

Dragone; altre grotte sommerse ben note ai subacquei si trovano alla Testa del Leone e allo Scoglio del Raviolo, ma cavità minori sono diffuse lungo tutto il Promontorio.

Nessuna di queste grotte è stata oggetto di studi, topografici e/o faunistici, dettagliati. Tortonese (1958, 1961) cita la Grotta Marcante, illustrandone l'ubicazione grazie ad un plastico realizzato da Duilio Marcante. Di questa grotta, Bavestrello et al. (1994) hanno studiato la popolazione di corallo rosso (*Corallium rubrum*) che ne ricopre la volta. Sarà (1964, 1966) ha studiato i poriferi del Tunnel della Cala dell'Olivetta, fornendo una descrizione generale della cavità (che l'autore definisce "corridoio") e pianta e prospetti schematici. Bianchi e Morri (1994) hanno eseguito un rilevamento speditivo topografico e bionomico della Grotta del Castello di Paraggi, e ne hanno fornito una descrizione: si tratta di un'ampia spaccatura verticale nella falesia sottostante il Castello di Paraggi, nella quale, a circa 7 m di profondità, si incunea uno stretto cunicolo, terminante in una camera imbutiforme che giunge a circa 15 m di profondità. La parete prima dell'ingresso è caratterizzata da un popolamento ad affinità coralligena, dominato da *Eunicella cavolini* (Bertolino et al., 2016); seguono una stretta fascia con spugne massive, ascidiacei e idroidi e una fascia con spugne incrostanti, mentre la maggior parte della cavità ha pareti quasi nude, colonizzate essenzialmente da serpulidi. Tra la fauna vagile spiccano i pesci *Sciaena umbra* e *Apogon imberbis* e i crostacei decapodi *Plesionika narval* e *Palaemon serratus*. Sempre Bianchi e Morri (1994) hanno brevemente descritto anche la Grottina del Presepe di Paraggi, che si trova poco lontano dalla precedente. Si tratta di una minuscola cavità che si apre a una ventina di metri di profondità in una parete con *Flabellia petiolata* e altre alghe sciafile. Nonostante la presenza di molto sedimento fine, la cavità ospita abbondanti

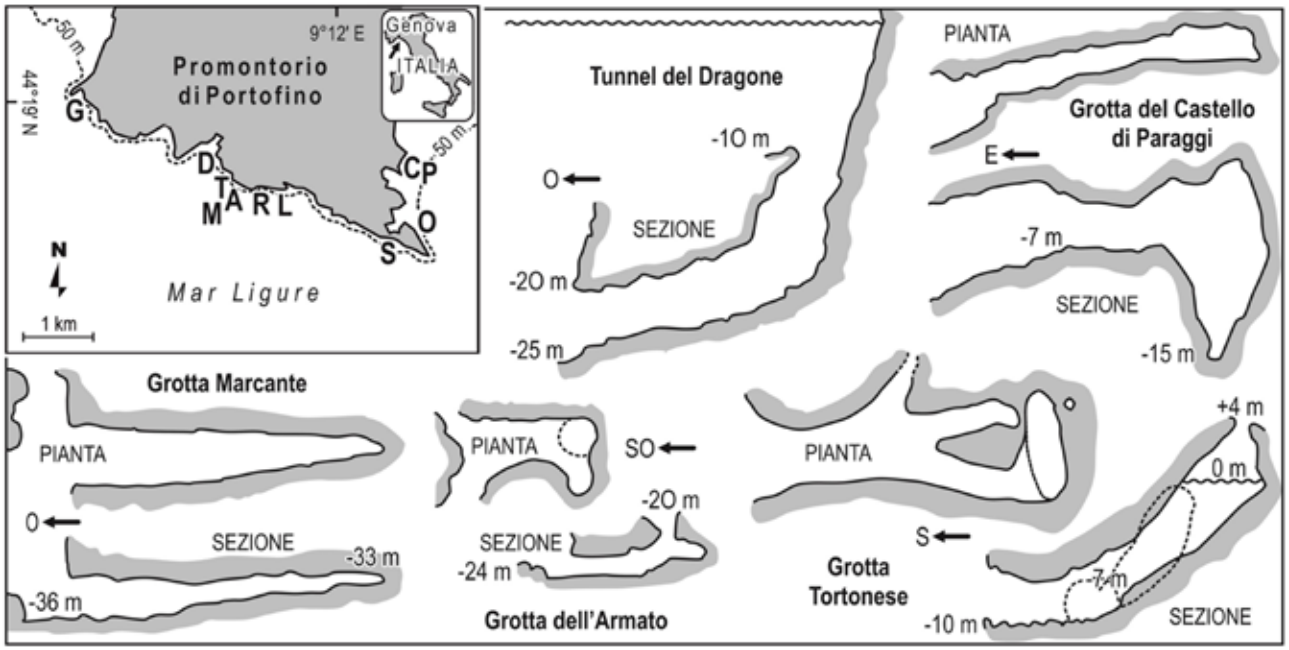


Figura 1 - Ubicazione delle principali grotte marine del Promontorio di Portofino, e schemi da rilevamento speditivo di alcune di esse (scala orizzontale approssimativa). **A** *Grotta dell'Armato;* **C** *Grotta del Castello di Paraggi;* **D** *Tunnel del Dragone;* **G** *Grotta dei Gamberi;* **L** *Grotta della Testa del Leone;* **M** *Grotta Marcante;* **O** *Tunnel della Cala dell'Olivetta;* **P** *Grottina del Presepe;* **R** *Grotta dello Scoglio del Raviolo;* **S** *Grotta della Chiesa di San Giorgio;* **T** *Grotta della Colombara o Grotta Tortonese*.

spugne massive di varie specie; solo in alcune piccole nicchie terminali il ricoprimento biologico diminuisce sensibilmente. Tra la fauna vagile, spiccano per abbondanza i decapodi *P. narval* e *Stenopus spinosus*, e il pesce *Thorogobius ephippiatus*. La frequentazione da parte di calamari (*Loligo vulgaris*) è testimoniata dalla presenza delle tipiche ooteche pendenti dal soffitto.

Delle grotte di Punta Carega, è stato eseguito un rilevamento speditivo nel 2000. La Grotta Marcante si apre a circa 36 m di profondità sul lato occidentale della Punta. Si tratta di una cavità a cuneo, lunga una ventina di metri e con pavimento in risalita fino a circa 33 m. La porzione più vicina all'ingresso ospita una facies a *C. rubrum* e *Leptopsammia pruvoti*, mentre la porzione terminale è caratterizzata da roccia quasi completamente nuda, con solo pochi serpulidi. Tra 24 m e 20 m di profondità, sul fronte della punta, si trova la Grotta dell'Armato, un passaggio tra massi che si presenta come una cavità a tunnel, ad andamento dapprima orizzontale e poi verticale, per una lunghezza complessiva di circa 12 m. L'arco di ingresso, che guarda verso sud-ovest, è caratterizzato dall'abbondanza dell'idrozoo *Eudendrium armatum*, mentre la maggior parte della cavità è popolata da spugne massive e incrostanti; in una nicchia sul lato orientale del tunnel si trova una facies con roccia nuda e serpulidi. Murene (*Muraena helena*) e gamberetti pulitori (*Lysmata seticaudata*) sono comuni presso l'entrata. La Grotta Tortonese si apre a circa 10 m di profondità a ovest della punta, e prosegue verso nord per una decina di metri all'interno della falesia rocciosa, risalendo fino a circa 7 m di profondità. Qui, la grotta si suddivide in tre rami: quello di ponente si fa poco dopo impraticabile, quello centrale è a fondo cieco, mentre quello di levante sale fino a un "lago" interno, con una vasta camera d'aria che presenta una finestra sulla volta (a circa 4 m di altezza), dalla quale si intravedono il cielo e la vegetazione terrestre. Le pareti della camera emersa mostrano alcuni modesti speleotemi dovuti alla percolazione di acqua meteorica. Il popolamento della grotta è molto povero e la roccia è per lo più nuda: nella parte iniziale abbondano lo zoantario *Parazoanthus axinellae* e la calcispongia *Ascandra contorta*.

Anche del Tunnel del Dragone esiste un rilevamento speditivo, eseguito nel 2002: il tunnel si apre verso ovest a circa 25 m di profondità, e risale obliquamente fino a 10 m. Vi furono rinvenute la spugna *Petrosia ficiformis*, il corallo rosso *C. rubrum*, le sclerattinie *L. pruvoti*, *Polycyathus muellerae* e *Madracis pharensis*, e la mostella *Phycis phycis*.

Le altre grotte del Promontorio non sono mai state rilevate, anche se molte sono censite da Ferrari (2003). La Grotta dei Gamberi si apre a circa 37 m di profondità e penetra obliquamente per una quindicina di metri nella falesia. Il pavimento è fangoso e le pareti sono colonizzate da spugne e serpulidi. La cavità termina a fondo cieco. Il nome deriva dalla straordinaria abbondanza del gambero *Plesionika narval*. Vi si possono incontrare anche aragoste (*Palinurus elephas*), astici (*Homarus gammarus*) e mostelle (*P. phycis*).

Allo Scoglio del Raviolo si trovano un tunnel tra 33 m e 27 m, formato da un passaggio tra grandi massi, e una cavità a fondo cieco a 35 m; entrambi hanno una lunghezza di circa 10 m. Più a ponente, in prossimità del sito noto come Testa del Leone, tra 7 m e 5 m si sviluppa una piccola cavità larga e bassa popolata da spugne depigmentate (*Chondrosia reniformis* e *P. ficiformis*) sul pavimento roccioso, da spugne incrostanti sulle pareti, e dalla sclerattinia *L. pruvoti* sulla volta; nella parte terminale, a fondo cieco, la per-

colazione di acque meteoriche crea un caratteristico aloclino permanente, con una lente di acqua dolce galleggiante sull'acqua di mare. Nella scogliera sottostante la Chiesa di San Giorgio, a circa 10 m di profondità si apre una grotta dall'ampio ingresso, in parte ostruito da un grosso masso franato: lunga una quindicina di metri, giunge fino alla superficie.

Riferimenti bibliografici

Bavestrello G., Cattaneo-Vietti R., Senes L. (1994), "Micro and macro differences in Mediterranean red coral colonies in and outside a cave", *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*, 58-59: 117-123.

Bertolino M., Betti F., Bo M., Cattaneo-Vietti R., Pansini M., Romero J., Bavestrello G. (2016), "Changes and stability of a Mediterranean hard bottom benthic community over 25 years", *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(2): 341-350.

Bianchi C.N., Morri C. (1994), "Studio bionomico comparativo di alcune grotte marine sommerse: definizione di una scala di confinamento", *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, II(6): 107-123.

Bixio R. (1987), *Le nostre grotte. Guida speleologica ligure,* Edizioni SAGEP, Genova.

Canessa M., Montefalcone M., Cánovas Molina A., Coppo S., Diviacco G., Bavestrello G., Morri C., Bianchi C.N. (2014), "Submerged marine caves of Liguria: updating the knowledge", in Langar H., Bouafif C., Ouerghi A. (a cura di), *Proceedings of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of dark habitats*, UNEP/MAP–RAC/SPA, Tunis, 27-32.

Ferrari G. (2003), "Censimento", in Cicogna F., Bianchi C.N., Ferrari G., Forti P. (a cura di), *Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia,* Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma, 431-448.

Sarà M. (1964), "Distribuzione ed ecologia dei Poriferi in acque superficiali della Riviera Ligure di Levante", *Archivio Zoologico Italiano*, 49: 181-248.

Sarà M. (1966), "Studio quantitativo della distribuzione dei Poriferi in ambienti superficiali della Riviera Ligure di Levante", *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 14 (3): 365-386.

Tortonese E. (1958), "Bionomia marina della regione costiera fra Punta della Chiappa e Portofino (Riviera ligure di levante)", *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 11 (2): 167-210.

Tortonese E. (1961), "Nuovo contributo alla conoscenza del bentos della scogliera ligure", *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 12 (2): 163-183.

La documentazione attraverso le immagini

di Orlando LACARBONARA, Natalino RUSSO e Francesco GRAZIOLI

L'evoluzione tecnologica ha modificato il modo in cui gli speleologi documentano il mondo sotterraneo attraverso le immagini. E ha prodotto negli stessi esploratori un cambio di percezione. Delle grotte, ma anche di sé stessi.
L'esplorazione di grotte e abissi è un'investigazione che, partendo dalla superficie, procede verso la profondità. Fino a quando per la progressione speleologica sono state utilizzate le scale, si è parlato di profondità verticale: l'esplorazione delle grotte ha seguito a lungo le vie dell'acqua, procedendo verso il basso. L'arrivo della progressione su sola corda ha reso la pratica speleologica più sicura, efficiente e veloce. E l'introduzione del trapano a batterie, con la possibilità di effettuare risalite in tempi relativamente rapidi, ha permesso di guardare verso l'alto. Da quel momento è stato possibile seguire anche le vie dell'aria. Lo sviluppo dei sistemi carsici ha conosciuto così una profondità spaziale nelle tre dimensioni, non più soltanto verso il basso. Il salto di qualità nelle tecniche ha prodotto un salto di qualità nei risultati esplorativi, e di conseguenza anche nella percezione delle grotte da parte degli speleologi.
Nel campo della documentazione del mondo sotterraneo attraverso le immagini, il cambio di paradigma è legato all'avvento dei sensori digitali e all'introduzione di sistemi di illuminazione leggeri, poco ingombranti e dalla lunga autonomia. Queste tecnologie hanno ampliato a dismisura le possibilità di ripresa. Le tecnologie digitali e i led permettono oggi di documentare ambienti che in precedenza erano difficilmente illuminabili e fissabili su pellicola. Oggi i sensori di fotocamere e videocamere sono in grado di registrare immagini di luoghi e oggetti a malapena visibili a occhio nudo. Le tecniche di ripresa macro aprono nuovi orizzonti nella ricerca biospeleologica e scientifica in generale.
Lo *stitching* e il *rendering* permettono di rendere "visitabili" luoghi che per le loro caratteristiche non possono essere aperti al pubblico. Ne sono esempio le visite museali di ambienti carsici mediante tour virtuali, le riprese video a 360° che consentono navigazioni immersive mediante visori, i modelli tridimensionali ottenuti a partire da immagini fotografiche, oppure l'uso di droni progettati per muoversi in ambienti confinati. Il costo sempre più basso di queste strumentazioni le ha progressivamente rese disponibili anche sul mercato dei consumatori. Le moderne tecnologie di ripresa video e fotografiche contribuiscono in modo considerevole allo studio delle cavità carsiche, quindi alla loro conoscenza, divulgazione, protezione.
L'avvento dei *social network* ha imposto un ulteriore salto qualitativo: la possibilità di pubblicare e diffondere documenti (testi, immagini, suoni) in tempo reale, spesso in diretta streaming e su scala globale, ha modificato la scala temporale della documentazione, cambiando di conseguenza il rapporto tra esploratori e pubblico. Il fatto che i contenuti documentali siano disponibili immediatamente a migliaia di fruitori li rende spesso prodotti effimeri.
Nell'arco di un decennio è cambiato in modo radicale l'approccio alle immagini da parte degli speleologi, e di conseguenza è cambiata ancora una volta anche la loro percezione delle grotte e della stessa collettività speleologica.
L'immagine (sia video sia fotografica) è di per sé racconto. I lavori proposti alla tavola rotonda suggeriscono che il racconto della speleologia, la narrazione stes-

sa dell'ambiente grotta, come delle scoperte a esso legate, è ben lontano dall'essersi esaurito. Alla tecnologia si unisce il linguaggio, che è scelta soggettiva. L'opera cinematografica "Il Buco" del regista Michelangelo Frammartino dimostra che con un approccio autoriale è ancora possibile trovare nuove chiavi per leggere e raccontare l'ambiente sotterraneo, anche in relazione al mondo esterno.

Cave documentation thorugh images

by Orlando LACARBONARA, Natalino RUSSO and Francesco GRAZIOLI

Technological evolution has changed the way speleologists document the underground world through images. And it produced a change of perception in the explorers themselves. Of the caves, but also of themselves.
The exploration of caves and abysses is an investigation that, starting from the surface, proceeds towards the depth. Until ladders were used for the speleological progression, caving was a question of vertical depth: the exploration of the caves followed the water flow for a long time, proceeding downwards. The arrival of SRT progression has made speleological practice safer, more efficient and faster. And the introduction of the battery drill, with the ability to ascend relatively quickly, has allowed us to look upwards. From that moment it was also possible to follow the air flows. The development of karst systems has thus known a spatial depth in three dimensions, no longer just downwards. The qualitative leap in techniques has produced a qualitative leap in exploratory results, and consequently also in the perception of caves by speleologists.
In the field of documenting the underground world through images, the paradigm shift is linked to the advent of digital sensors and the introduction of light, space-saving and long-lasting lighting systems. These technologies have dramatically expanded the possibilities for cave photography. Digital technologies and LEDs now make it possible to document environments that were previously difficult to illuminate and fix on film. Today, sensors in cameras and camcorders are capable of recording images of places and objects that are barely visible to the naked eye. Macro shooting techniques open new horizons in biospeleological and scientific research in general.
Stitching and rendering make it possible to make places "visitable" that, due to their characteristics, cannot be open to the public. Examples are museum visits to karst environments through virtual tours, 360° video footage that allows immersive navigation using viewers, three-dimensional models obtained from photographic images, or the use of drones designed to move in confined environments. The ever lower cost of these instruments has gradually made them available also on the consumer market. Modern video and photographic technologies contribute considerably to the study of karst cavities, therefore to their knowledge, dissemination and protection.
The advent of social networks has imposed a further qualitative leap: the possibility of publihing and disseminating documents (texts, images, sounds) in real time, often in live streaming and on a global scale, has changed the time scale of the documentation, changing consequently the relationship between explorers and the public. The fact that documentary contents are immediately available to thousands of users often makes them ephemeral products.
Over the course of a decade, the approach to images by speleologists has radically changed, and consequently their perception of the caves and of the speleological community itself has changed once again.
The image (both video and photographic) is a story in itself. The works proposed at the round table suggest that the story of speleology, the very narrative of the cave environment, as well as the discoveries related to it, are far from being

exhausted. Technology is joined by language, which is a subjective choice. The cinematographic work “Il Buco” by film director Michelangelo Frammartino demonstrates that with an authorial approach it is still possible to find new ways to read and tell the underground environment, also in relation to the outside world.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La macrofotografia naturalistica e le sue applicazioni nello studio della fauna ipogea

Valentina Balestra ([a,b]), Enrico Lana ([b])

([a]) DIATI – Politecnico di Torino, valentina.balestra@polito.it
([b]) Biologia Sotterranea Piemonte – Gruppo di Ricerca, enrlana@libero.it

Parole chiave: Macrofotografia; fauna ipogea; documentazione naturalistica
Keywords: Macrophotography; hypogean fauna; naturalistic documentation

Abstract
In questo lavoro vengono esaminate le applicazioni della macrofotografia come metodo in supporto all'attività di ricerca e divulgazione delle conoscenze sulla fauna ipogea. Questo metodo, se effettuato correttamente, è poco invasivo e permette di documentare sia le caratteristiche morfologiche che il comportamento di certi *taxa*, e di osservare dettagli invisibili con indagini dirette. Esempi concreti dell'attività sul campo ed osservazioni pratiche sul corretto utilizzo del metodo vengono elencati a scopo conservativo, al fine di indirizzare la pratica verso un percorso di sostenibilità e buona divulgazione naturalistica.

Il monitoraggio indiretto della fauna

I metodi indiretti, come i monitoraggi mediante video e fotografie, vengono sempre più spesso presi in considerazione anche nel campo della ricerca, soprattutto perché possono essere utilizzati per superare diversi impedimenti legati agli habitat e alla biologia di certe specie. In habitat sotterranei, ad esempio, in ambienti semi-naturali, è stato possibile fornire dati preliminari sul complesso comportamento riproduttivo e parentale dei geotritoni, utilizzando telecamere a infrarossi (Oneto et al., 2010). Fotografare fauna ed habitat permette di archiviare dati scientifici ed è fondamentale per una buona divulgazione naturalistica. La fotografia è un metodo che, se effettuato correttamente, è poco invasivo e relativamente poco costoso. Permette di documentare non solo le caratteristiche morfologiche di certi *taxa*, ma anche il loro comportamento, e di rivedere con calma e maggiore attenzione certi particolari davanti a un computer (Balestra et al., 2021). Inoltre, la macrofotografia permette di evidenziare dettagli non visibili ad occhio nudo, come la presenza di specie parassite o particolari anatomici (Balestra et al., 2021). Tuttavia, fotografare la fauna in determinati habitat o in specifiche aree di una grotta, come le fessure o il soffitto, può essere difficile, e portare certe attrezzature fotografiche in grotta può essere complesso a causa di vari impedimenti legati a questo ambiente estremo (Balestra et al., 2021, Mammola et al., 2021). La macrofotografia della fauna inoltre, in particolar modo quella ipogea, richiede

a priori conoscenze biologiche dei *taxa* osservati per l'identificazione (Balestra et al., 2021, Mammola et al., 2021). Questa tecnica non consente una corretta determinazione a livello specifico di tutti *taxa* che si osservano (Balestra et al., 2021): la macrofotografia di artropodi sotterranei può essere utile per una prima identificazione dei *taxa* almeno a livello di genere, mentre per la determinazione a livello di specie sono spesso necessari preparati anatomici degli apparati sessuali o analisi genetiche. Tuttavia, è un metodo non invasivo e i campioni dei *taxa* di interesse possono comunque essere raccolti manualmente per una successiva identificazione in laboratorio.

Macrofotografie e fauna ipogea in Piemonte

La fauna ipogea del Piemonte è una delle meglio conosciute; elenchi e lavori comprensivi sono stati stilati fin dagli anni '60 (Martinotti, 1968, Bologna, Vigna Taglianti, 1985). Alcuni gruppi zoologici sono stati ben indagati e descritti in numerosi lavori di carattere tassonomico e corologico, ma l'apparato iconografico, ricco di disegni di parti anatomiche e di cartine di distribuzione, è sempre stato carente di fotografie di specie ed habitat. All'inizio del terzo millennio è stato pubblicato un primo atlante fotografico della fauna ipogea del Piemonte, riportante le immagini di circa 60 specie (Lana, 2001). Successivamente, la macrofotografia in Piemonte è stata utilizzata principalmente per la componente faunistica aracnologica (Arnò, Lana, 2005, Isaia et al., 2011). La fauna sotterranea del Piemonte è stata poi recentemente riepilogata in modo più completo in Lana et al. (2021), testo che, con oltre 3600 illustrazioni e fotografie scattate in 30 anni di ricerche, riporta le immagini di molte specie ipogee precedentemente mai documentate.

Tecniche e attrezzature

Per scattare fotografie di fauna ed habitat sul campo si possono utilizzare diverse attrezzature. Escludendo gli animali di grandi dimensioni che si possono osservare nelle cavità, come Chirotteri, geotritoni o grandi artropodi, la fauna ipogea ha per lo più piccole dimensioni, per cui occorre avere attrezzature con obiettivi dedicati. Fotocamere reflex e obiettivi macro sono fondamentali. Negli studi compiuti finora, gli autori hanno impiegato fotocamere reflex Canon EOS 550D e 760D con obiettivo Canon MP-E 65 mm Macro e flash MT-24EX Macro (E.L.) e fotocamere reflex Canon EOS 70D e 7D Mark II con obiettivo Canon EF 100 mm F2.8 USM Macro e flash integrato (V.B.).

Ricerche

Tramite la macrofotografia, con l'esperienza acquisita sul campo durante anni di lavoro, è stato possibile documentare le caratteristiche morfologiche, il comportamento (spesso sconosciuto), la biologia e l'ecologia di molte specie ipogee (note e ignote) nel loro habitat. La documentazione fotografica prodotta negli ultimi dieci anni ha permesso, ad esempio, di documentare la presenza, la morfologia, l'habitat e alcuni aspetti del comportamento di aracnidi Palpigradi del genere *Eukoenenia*. È stato possibile osservare il danneggiamento, più o meno completo, del flagello caudale (fig. 1A) (Balestra et al., 2019, Balestra et al., 2022), e documentare l'habitat e il comportamento alimentare di questi piccoli organismi (corpo di circa 2 mm), comprese alcune interazioni degli esemplari con altri artropodi (Balestra et al., 2019, Balestra et al., 2022). Un'altra documentazione riguarda lo sviluppo larvale e gli altri stadi della metamorfosi di coleotteri del genere *Duvalius*, e i comportamenti predatori degli esemplari maturi (fig. 1B) (Giachino, Lana, In press).

Inoltre, tramite le macrofotografie è stato possibile documentare particolari non visibili con l'osservazione diretta, come la presenza di funghi (fig. 1B) o acari parassiti su alcuni *taxa*. Predazione, comportamento alimentare, riproduzione e comportamento sociale di diversi *taxa* sono stati documentati per la prima volta grazie alla tecnica fotografica e verranno presto divulgati con nuove pubblicazioni.

Fotografia, etica e sostenibilità

In natura, e in particolar modo in habitat protetti come l'ambiente ipogeo, quando si intende fare fotografia naturalistica occorre sempre tenere in considerazione la sensibilità delle specie oggetto di documentazione. In ambiente sotterraneo, alcune specie sono molto specializzate, e quindi particolarmente sensibili alla variazione di certi parametri ambientali: l'esposizione alla luce, ma anche il calore originato dalla nostra presenza e dalle lampade, possono essere molto dannosi per questi organismi. Per evitare di generare forti stress o sofferenza negli animali oggetto di studio, è possibile utilizzare diverse accortezze, come tempi di esposizione del soggetto alla luce e al calore molto brevi o manipolazioni ridotte o assenti e sempre con l'utilizzo di guanti. Non tutte le specie sono sensibili allo stesso modo e spesso, essendo le specie ipogee ancora poco conosciute sotto questo punto di vista, se ne verificano le conseguenze solamente sul campo. Sulla base delle esperienze degli autori, ad esempio, è stata documentata una particolare sensibilità alla luce e al flash da parte di alcuni crostacei acquatici. I tempi di permanenza e posa possono essere ridotti notevolmente grazie a una buona conoscenza del comportamento e dell'ecologia delle specie, favorendone così un rapido ritrovamento sul campo. Le fotografie su soggetti fragili, in presenza di cuccioli o in particolari fasi dell'anno, come l'ibernazione per i Chirotteri, sono fortemente sconsigliate. Anche le modifiche dell'habitat circostante sono da limitare o evitare perché possono influenzare direttamente o indirettamente il comportamento della specie, rendendo la documentazione talvolta poco significativa. In ambiente ipogeo può essere importante la collaborazione di un'altra persona esperta, per dirigere le luci o spostare elementi di disturbo come pietre o altri detriti, permettendo così al fotografo di scattare le fotografie velocemente.

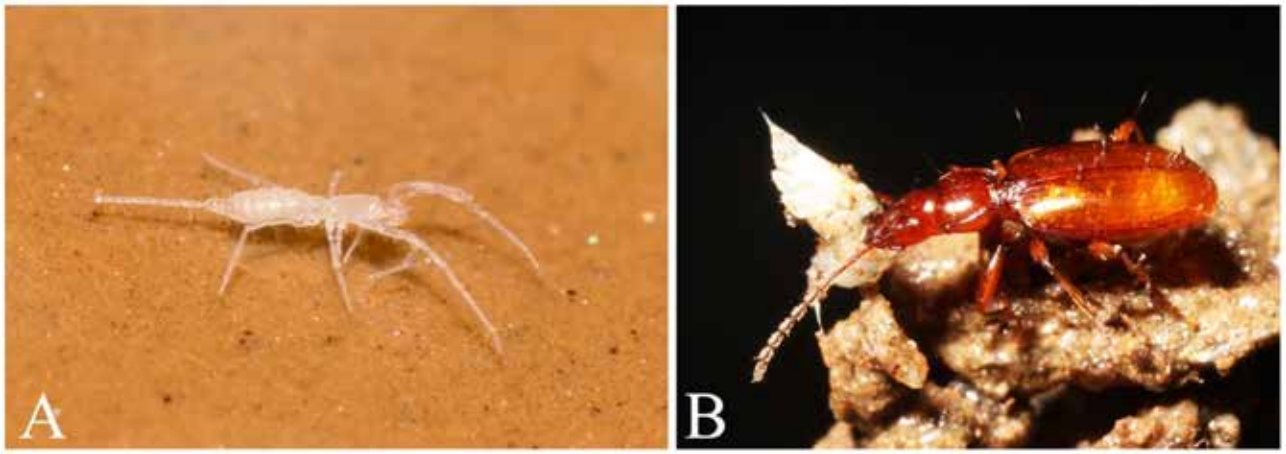


Figura 1 – Taxa oggetto di documentazione da parte degli autori. A: Eukoenenia strinatii *Condé, 1977 con il flagello troncato (Foto V. Balestra); B: Predazione di* Trichoniscus voltai Arcangeli, 1948 *da parte di* Duvalius lanai *Casale & Giachino, 2010. È possibile osservare le setole sensoriali in controluce e numerosi carpofori di funghi parassiti* Laboulbeniales *presenti sulle elitre (Foto E. Lana).*

Fotografia, divulgazione e comunicazione

La fotografia naturalistica è un potentissimo mezzo di comunicazione che permette di trasmettere non solo dati e informazioni, ma anche emozioni, spesso molto più forti e profonde di quanto non siano capaci di suscitare la comunicazione scritta o verbale. Per questo motivo, le fotografie sono un mezzo comunicativo molto efficace, capace di suggestionare chi le osserva. Il fotografo ha dunque anche grandi responsabilità. Spesso la conservazione della natura viene vista come un ostacolo al progresso, soprattutto se legata ad ambienti e specie poco conosciuti come quelli ipogei, e la fotografia naturalistica può essere un mezzo utile per educare al rispetto per la vita, creando connessioni tra l'essere umano, gli altri esseri viventi e l'ambiente. Con le fotografie si può lavorare anche sul senso di identità locale, valorizzando determinate specificità ambientali e la biodiversità di una zona. In questo modo si creano legami affettivi tra le comunità e le specie presenti in quel territorio, che diventano quindi elementi identitari e simbolici, da preservare e valorizzare. Una comunicazione efficace genera possibilità di cambiamento.

Riferimenti bibliografici

Arnò C., Lana E. (2005), *Ragni cavernicoli del Piemonte e della Valle d'Aosta*, Associazione Gruppi Speleologici Piemontese, Regione Piemonte, Torino

Balestra V., Lana E., Carbone C. et al. (2021), "Don't forget the vertical dimension: assessment of distributional dynamics of cave-dwelling invertebrates in both ground and parietal microhabitats", *Subterranean Biology*, 40: 43-63

Balestra V., Lana E., Casale A. (2019), "Note sulle specie ipogee del genere Eukoenenia in Piemonte: distribuzione, habitat, comportamento (Arachnida, Palpigradi: Eukoeneniidae)", *Bollettino della Società Entomologica Italiana*, 151 (1): 13-23

Balestra V., Lana E., Vanin S. (2022), "Observations on the habitat and feeding behaviour of the hypogean genus Eukoenenia (Palpigradi, Eukoeneniidae) in the Western Italian Alps", *Subterranean Biology*, 42: 23-41

Bologna M.A., Vigna Taglianti A. (1985), "Fauna cavernicola delle Alpi Liguri." Annali del Museo Civico di Storia Naturale "G. Doria", Genova.

Giachino P.M., Lana E. (In press), "Dati bionomici preliminari su alcune specie di Duvalius del Piemonte (Coleoptera, Carabidae, Trechini)." Atti del XXIII Congresso Nazionale di Speleologia "La melodia delle grotte", 2-5 giugno 2022, Ormea.

Isaia M., Paschetta M., Lana E. et al. (2011), *Aracnidi sotterranei delle Alpi Occidentali italiane. [Subterranean Arachnids of the Western Italian Alps]. Monografie 47*, Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino

Lana E. (2001), *Biospeleologia del Piemonte. Atlante fotografico sistematico*, Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, Regione Piemonte, Torino

Lana E., Giachino P.M., Casale A. (2021), *Fauna Hypogaea Pedemontana. Grotte e ambienti sotterranei del Piemonte e della Valle d'Aosta*, WBA Project Ed., Verona

Mammola S., Lunghi E., Bilandžija H., et al. (2021), "Collecting ecoevolutionary data in the dark: Impediments to subterranean research and how to overcome them", *Ecology and evolution*, 11 (11): 5911-5926

Martinotti A. (1968), "Elenco sistematico e geografico della fauna cavernicola del Piemonte e della Valle d'Aosta", *Rassegna Speleologica Italiana*, 20 (1): 3-34

Oneto F., Ottonello D., Pastorino M.V., Salvidio S. (2010), "Posthatching parental care in salamanders revealed by infrared video surveillance", *Journal of Herpetology*, 44 (4): 649-653

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Into Theatre Wild

Luigi D'elia ([a]), Michela Cerini ([a]) ([b])

([a]) Compagnia INTI, *inti.associazione@gmail.com*
([b]) Gruppo Speleologico Martinese, *gsmartinese@gmail.com*

Parole chiave: Divulgazione; ricerca; racconto; consapevolezza
Keywords: disclosure; research; tale; consciousness

Into theatre wild è un percorso di ricerca artistica immaginato durante il primo *lockdown* per una nuova pratica di narrazione dei luoghi naturali attraverso il teatro e la poesia raccontati in una serie di corti documentari teatrali. I luoghi diventano lo scenario di un progetto che riafferma la necessità di incontro diverso con la natura e con la materia organica e biologica del racconto e del teatro. Seguendo frammenti e scritture letterarie e teatrali, lo sguardo dello spettatore viene accompagnato in luoghi poco conosciuti svelandone il valore con un approccio sussurrato e rispettoso, dove tutto è rarefatto, perché l'esplorazione è delicata, rispettosa, sensibile. Il punto di vista è di chi esplora ciò che è sconosciuto sentendosi allo stesso tempo ospite e parte di un sistema. Il progetto è della compagnia INTI, diretto da Luigi D'Elia (autore, attore e scenografo) insieme a Michela Cerini (immagini e video). L'ambizione è quella di mostrare il luogo nel suo essere, senza alterazioni tecniche, nel rispetto del luogo e di chi lo abita per una divulgazione "sana".

Questa prima fase dei lavori ha visto protagonisti 3 luoghi naturali della Puglia: la riserva Naturale di Torre Guaceto, il Bosco Cuturi di Manduria e la Grotta di Nove Casedde di Martina Franca e beneficia del partenariato oltre dei parchi già nominati, della Regione Puglia, del Teatro Pubblico Pugliese, del FAI Puglia, della Federparchi, del Gruppo Speleologico Martinese, della Società Speleologica Italiana e dell'Apulia Film Commission.

Questo vuol essere l'inizio di una serie che racconta di posti meravigliosi, accessibili e inaccessibili. Vuol essere un ponte per sensibilizzare verso un rispetto totale della natura, farne godere indirettamente la bellezza e l'importanza per dare un contributo alla crescita di una consapevolezza generale legata al rispetto dei luoghi naturali, siano essi boschi, parchi, spiagge, riserve, grotte o gravine in un modo diverso, attraverso la narrazione. Attraverso le suggestioni delle immagini, delle parole dette piano.

I lavori saranno visionabili da giugno sui canali ufficiali della compagnia, della Regione e dei partner che lo vorranno.

L'idea è quella che attraverso l'arte e le immagini si possa sensibilizzare il più possibile alla cura e alla consapevolezza. Mostrare anche a chi non è direttamente interessato quello che ci

circonda, senza nessun filtro e guidati da un racconto visivo e narrativo. Una divulgazione per tutti, che arrivi a tutti da un insolito punto di vista.
Il Gruppo Speleologico Martinese accompagna e supporta la compagnia nelle riprese nella Grotta di Nove Casedde. Il video tratta del rapporto tra "dentro" e "fuori", della sensazione costante di sentirsi ospiti e della percezione della meraviglia.

Extended abstract

Into theater wild is an artistic research path imagined during the first lockdown for a new practice of narrating natural places through theater and poetry told in a series of theatrical documentary short documentaries. The places become the setting for a project that reaffirms the need for a different encounter with nature and with the organic and biological matter of storytelling and theater. Following fragments and literary and theatrical writings, the viewer's gaze is accompanied to little-known places revealing their value with a whispered and respectful approach, where everything is rarefied, because the exploration is delicate, respectful, sensitive. The point of view is that of those who explore the unknown, feeling at the same time guest and part of a system.
The project is property of the INTI company, directed by Luigi D'Elia (author, actor and set designer) together with Michela Cerini (images and videos). The ambition is to show the place in its being, without technical changes, respecting the place and those who live there for a "healthy" disclosure. This is meant to be the beginning of a series of documentaries that tells of wonderful, accessible and inaccessible places. It is intended to be a bridge to raise awareness of total respect for nature, to make caves enjoyable through their beauty and importance, and to make a contribution to the growth of a general awareness linked to respect for natural places, whether these are woods, parks, beaches, reserves, or ravines in a different way, through the narrative. All this can be achieved through the suggestions of the images, and the words called piano.
The documentaries will be viewable from June on the official channels of the company, the Region and the partners who want it.
The idea is that through art and images we can raise awareness as much as possible about care and awareness. Also show caves to those who are not directly interested, without any filter and guided by a visual and narrative story. A disclosure for everyone, which reaches everyone from an unusual point of view.
The Martinese Speleological Group accompanies and supports the company in the filming in the Nove Casedde cave. The video deals with the relationship between "inside" and "outside", the constant sensation of feeling like guests and the perception of wonder.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Divulgare per tutelare: l'esempio del Museo delle Grigne (Esino Lario, LC)

Andrea Ferrario ([a]), Luca Triacchini ([b]), Piero Annoni ([c]), Nicola Castelnuovo ([d])

([a]) Federazione Speleologica Lombarda, *fanatura14@gmail.com*
([b]) DaTrik Solutions, *luca@datriks.net*
([c]) Piero Annoni, *info@pieroannoni.com*
([d]) Assoproteus, *castelnuovonicola@hotmail.com*

Parole chiave: divulgazione; mostra; speleologia virtuale
Keywords: popularisation; exhibition; virtual speleology

Esplorare consente di ampliare confini nello spazio non solo per chi compie l'esplorazione, ma permette di estendere le conoscenze per tutti quanti, sia altri speleologi che non. In alcuni casi le grotte nuove svelano bellezze particolari, diventando mete ambite non solo per gli esploratori ma anche per semplici visitatori. In altri casi le grotte si difendono da tale "invasione" in quanto è necessario affrontare lunghi avvicinamenti e progressioni tecniche, in ambienti poco ospitali, che sia per il freddo, l'acqua o altro.

Le grotte della Grigna rappresentano entrambe le situazioni, sono per la maggior parte tecniche e quindi si concedono poco per una frequentazione speleologica di massa, ma alcune sono facilmente accessibili e molto note, e dunque alla facile portata di molti, anche se mai abbastanza semplici per renderle turistiche nel senso tradizionale del termine. Tuttavia oltre un secolo di attività speleologiche ha consentito di conoscere una tale vastità del patrimonio speleologico della Grigna che c'è un generale interesse per i suoi sistemi carsici, anche e soprattutto da parte delle comunità locali.

Il Museo delle Grigne è un presidio della conoscenza e della cultura della comunità di Esino Lario (LC), comune montano incastonato nella Val d'Esino. Grazie al bando di Regione Lombardia per sostenere l'implementazione di musei regionali, con il progetto "Alla scoperta della Grigna sotterranea con Leonardo da Vinci", è stata avviata una proficua collaborazione con il Museo delle Grigne (gestito dall'Associazione Amici del Museo delle Grigne e dal Comune di Esino Lario), la Federazione Speleologica Lombarda e Parco Regionale della Grigna Settentrionale, per rendere accessibili le conoscenze acquisite dagli speleologi. L'occasione è stata utile per proporre lo sviluppo di tecniche comunicative moderne e all'avanguardia.

Con questo intento sono state sviluppate essenzialmente tre tipologie di proposte interattive che rendono il visitatore parte attiva nella visita del Museo. La visita della nuova sezione

inizia con la scoperta di un percorso didattico sviluppato con un'interfaccia digitale, gestibile dall'utente con apposito monitor *touch*. Al suo interno è stato sviluppato un percorso di varie tematiche, la storia geologica della Grigna, alla visualizzazione delle grotte principali con schede, foto e rilievi, a giochi interattivi per avvicinare il pubblico più giovane al tema delle grotte. Inoltre, è possibile visualizzare un percorso che consente di esplorare la Grotta del Cainallo grazie alla realizzazione di un *virtual tour* appositamente creato con il montaggio di una serie di fotografie realizzate a 360°. Questa grotta è stata in passato oggetto di tentativi di turisticizzazione vanificati dalla difficoltà tecniche per raggiungere il sito. Con il *virtual tour* tutti possono apprezzare le bellezze della grotta senza creare un ulteriore aggravamento dei percorsi turistici all'interno della grotta.

Infine la visita si completa con visualizzazione del 3D della Grigna e di tutte le sue grotte grazie allo sviluppo di specifico software per visionare, con la tecnica della Realtà Aumentata, un ologramma in 3D attraverso il *display* di un *tablet* fornito dal Museo. Inquadrando con un *tablet* un apposito riferimento visivo fisicamente presente nel museo, è possibile vedere sovraimpresso il modello tridimensionale della Grigna. Tale modello viene visualizzato come ologramma e risulta esplorabile nelle tre dimensioni esattamente come se fosse un plastico reale. Il digitale permette tuttavia un'ulteriore esperienza, ovvero la visualizzazione in trasparenza di tutte le grotte presenti all'interno del massiccio montuoso, insieme ai nomi principali e ad alcune note (es. posizione dei campi base interni).

L'applicativo è stato pensato per far comprendere la profondità e la dimensione di ciò che si nasconde nel sottosuolo, anche per chi non è speleologo ma che manifesta curiosità a conoscere il mondo naturale sotto una insolita prospettiva, quella ipogea. Con questo progetto, terminato nel 2019, è stato possibile rendere visibile e alla portata di tutti quanto è stato esplorato e documentato dagli speleologi, incrementando nei visitatori del Museo la consapevolezza di essere in un territorio straordinariamente importante dal punto di vista speleologico e naturalistico.

I rilievi delle grotte

di Norma DAMIANO e Marco CORVI

Il rilievo topografico e le mappe delle grotte, come tutte le mappe geografiche in generale, non ha valenza fine a se stesso, ma è documentazione geografica finalizzata alla esplorazione del "continente ipogeo".

Negli ultimi decenni, la geografia delle "terre della notte" è andata evolvendosi con lo sviluppo dei programmi di rilievo per PC. L'avvento del DistoX, poco più di una dozzina d'anni fa, e la sua diffusione hanno poi rivoluzionato la fase di acquisizione dei dati. Il lavoro dello speleo-topografo ne è risultato semplificato. L'utilizzo di strumenti elettronici integrati elimina alcuni problemi pratici, in particolare quelli della lettura degli strumenti. D'altra parte richiede maggiore cura e attenzione, in particolare la necessità di una adeguata calibrazione, e maggiore attenzione alle influenze magnetiche. Il DistoX ha portato la possibilità di fare molte misure trasversali "complete" di azimuth e inclinazione, comunemente dette *splay*. I classici "dati di ingombro", LRUD, utilizzati per decenni, sono ancora gestiti dai programmi, ma sono ormai affiancati, e sovente rimpiazzati, dagli *splay*.

Il contributo di Cini et al. "*Rilievo speleologico e topografico delle grotte*" presenta il caso studio di Valdemino in cui si confronta il rilievo eseguito con DistoX e il rilievo eseguito con stazione totale e LiDAR in una grotta. Dal lavoro si evince che anche se presenti degli errori nelle misure prese con il DistoX questo rappresenta comunque uno strumento utile e pratico per gli scopi dello speleologo, in particolare per la realizzazione di rilievi in ambienti difficili come possono essere alcune tipologie di grotte.

Gli altri lavori presentati trattano l'acquisizione e ricostruzione del *3D di grotta*, e la sua potenziale applicazione per la topografia ipogea. Il *3D di grotta* costituisce un modo di presentazione della geometria e delle morfologie della grotta che si affianca alle tradizionali mappe, composte di pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali. Rispetto a queste, il 3D offre una più immediata comprensione della forma mediante la visualizzazione di modelli tridimensionali della grotta. L'idea di mostrare la grotta come entità tridimensionale risale ad oltre due secoli fa, e i primi modelli fisici tridimensionali a quasi un secolo fa. Ma il 3D ha avuto un grande impulso con i programmi che possono visualizzare su PC viste della grotta da diversi punti di osservazione, colorate evidenziandone caratteristiche salienti (ad esempio. profondità). Da ultimo il 3D della grotta integrato con il modello digitale del terreno rappresenta una vera e propria evoluzione delle vecchie, ma pur sempre usate, sovrapposizioni cartografiche.

Fino a qui si tratta di "ricostruzioni" abbastanza approssimative del modello tridimensionale a partire dal rilievo "tradizionale" in cui i dati tridimensionali della superficie della grotta hanno una densità estremamente bassa, ($10^{-2}m^{-2}$ o meno). Con l'introduzione di strumenti in grado di acquisire dati tridimensionali ad alta densità ($10^{4}m^{-2}$ o più, in base alla distanza ed allo strumento) è possibile pensare a modelli tridimensionali estremamente più accurati. Applicazioni di TLS per ricostruzioni 3D di grotte risalgono a un paio di decenni fa. Tuttavia, per i costi e le complessità operative, esse sono rimaste essenzialmente limitate a particolari

contesti, per lo più di interesse archeologico o geomorfologico. Altre tecnologie sono state prese in considerazione: LiDAR, e fotogrammetria: SfM e SLAM.

Il contributo di Dabove et al. "*Modellazione 3D di strutture geomorfologiche tramite tecnica fotogrammetrica basata su immagini da smartphone*" propone l'utilizzo di un rilevamento fotogrammetrico con uno smartphone per la ricostruzione 3D di ambienti sotterranei. La metodologia è stata testata nella Grotta di Bossea ottenendo risultati abbastanza accurati.
Gli altri lavori riguardano l'utilizzo del LiDAR. Il lavoro di Dabove et al. "*L'uso della tecnologia SLAM in ambito geologico per la navigazione indoor: il caso studio della Grotta di Bossea*" analizza le prestazioni dello strumento in termini di accuratezza e completezza delle nuvole di punti 3D generate dal sistema KAARTA Stencil 2. Il lavoro di Fiori "*Tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): il futuro del rilievo ipogeo?*" analizza tutti gli aspetti legati all'utilizzo di questa tecnica in ambienti ipogei e arriva alla conclusione che per i costi, la delicatezza dello strumento, il peso, la breve durata delle sessioni questa possa essere usata solo in ambienti di facile accesso e con andamento orizzontale. Invece, il contributo di Baglietto et al. "*Topografia ipogea con LiDAR su smartphone*" giunge a delle conclusioni più ottimiste, in cui seppur si riconoscono dei limiti legati al sensore e del dispositivo, esso può, comunque, essere utilizzato in cavità di limitate estensioni, o con interesse archeologico. Inoltre, si pensa che non è lontano il momento in cui potrà essere utilizzato anche in grotte impegnative e profonde.

In conclusione l'impiego delle nuove tecnologie 3D in ambito speleologico esplorativo resta al momento orientato a creare 3D di grotta, applicazioni ancora di nicchia, o utilizzi in ambiti molto mirati. Emerge, tuttavia, una ricerca tesa a estendere la capacità di acquisizione dei dati geometrici numerici. La ricostruzione 3D con nuvole di punti "mediamente dense" potrebbe essere una soluzione al "problema della scarsità degli splay". Una nuvola di punti sufficientemente densa offre una ricostruzione tridimensionale più "oggettiva", meno soggetta alle "interpolazioni" personali. L'acquisizione 3D della forma non elimina comunque la fase di "interpretazione" dei dati e le osservazioni, intrinseca ad ogni documentazione, mediante la quale vengono identificate ed evidenziate le caratteristiche salienti dell'oggetto documentato (la topografia della grotta). Inoltre l'acquisizione dei dati 3D geometrici non include dettagli importanti per lo speleologo, come le informazioni sulle circolazioni d'aria e le temperature, eventuali note per la sicurezza della progressione, etc., che sono il risultato delle osservazioni e che vengono annotate nel rilievo tradizionale.

Dal punto di vista speleologico dovremmo passare dal "*3D di grotta*" visto sul PC a casa, ad un "*3D in grotta*", cioè un rilievo topografico tridimensionale. La possibilità di figurare l'andamento della grotta, rispetto ad altre cavità vicine e/o rispetto alla orografia e alle formazioni rocciose, direttamente mentre si esegue il rilievo in grotta, permette di "orientare" l'avanzamento dell'esplorazione e concentrarsi sui punti più interessanti mentre si è ancora sul posto. Con la rappresentazione tridimensionale questo processo diventa più semplice ed accurato. Se consideriamo che la maggior parte del tempo speso in grotta è per spostarsi tra l'ingresso e la zona in esplorazione, possiamo ben capire i vantaggi del "*3D in grotta*".

Cave surveys

by Norma DAMIANO and Marco CORVI

The topographical survey and the maps of the caves, like all geographic maps in general, have no value in themselves, but are geographical documentation aimed at the exploration of the "underground continent".

Over the past few decades, the geography of the "lands of darkness" has evolved with the development of major PC programs. The advent of DistoX, just over a dozen years ago, and its diffusion then revolutionized the data acquisition phase. The work of the speleo-topographer was simplified. The use of integrated electronic tools eliminates some practical problems, in particular those of reading the tools. On the other hand, it requires more care and attention, especially the need for proper calibration, and more attention to magnetic influences. The DistoX has brought the possibility of making many "complete" transversal measurements of azimuth and inclination, commonly called splay shots. The classic "footprint data", LRUD, used for decades, are still managed by the programs, but are now integrated, and often replaced, by the splay shot data.

The contribution of Cini et al. "Speleological and topographical survey of the caves" presents the case study of Valdemino in which the survey performed with DistoX is compared with the survey performed with a total station and LiDAR in a cave. The work shows that even if there are errors in the measurements taken with the DistoX, this still represents a useful and practical tool for the speleologist's purposes, in particular for the realization of surveys in difficult environments such as some types of caves.

The other presentations deal with the acquisition and reconstruction of the 3D cave, and its potential application for underground topography. The 3D cave is a way of presenting the geometry and morphologies of the cave that integrates traditional maps, composed of plan, longitudinal section and cross sections. Compared to these, 3D offers a more immediate understanding of the shape through the visualization of three-dimensional models of the cave. The idea of showing the cave as a three-dimensional entity dates back over two centuries ago, and the first three-dimensional physical models almost a century ago. But 3D has had a great boost with programs that can display views of the cave from different observation points on a PC, colored by highlighting salient features (e.g. depth). Finally, the 3D of the cave integrated with the digital terrain model represents a real evolution of the old, but still used, cartographic overlays.

Up to now we are dealing with fairly approximate "reconstructions" of the three-dimensional model starting from the "traditional" survey in which the three-dimensional data of the surface of the cave have an extremely low density, ($10^{-2}m^{-2}$ or less). With the introduction of tools capable of acquiring high-density three-dimensional data ($10^{4}m^{-2}$ or more, depending on the distance and the instrument), it is possible to think of extremely more accurate three-dimensional models. Applications of TLS for 3D cave reconstructions date back a couple of decades. However, due to costs and operational complexities, they remained essentially limited to particular contexts, mostly of archaeological or geomorphological interest. Other technologies were considered: LiDAR, and photogrammetry: SfM and SLAM.

The contribution of Dabove et al. "3D modeling of geomorphological structures using photogrammetric technique based on smartphone images" proposes the use of a photogrammetric survey with a smartphone for the 3D reconstruction of underground environments. The methodology was tested in the Bossea Cave obtaining quite accurate results.

The other works concern the use of LiDAR. The work of Dabove et al. "The use of SLAM technology in the geological field for indoor navigation: the Bossea Cave case study" analyzes the performance of the instrument in terms of accuracy and completeness of the 3D point clouds generated by the KAARTA Stencil 2 system. Fiori's work "SLAM technology (Simultaneous Localization and Mapping): the future of underground relief?" analyzes all the aspects related to the use of this technique in underground environments and comes to the conclusion that for the costs, the delicacy of the instrument, the weight, the short duration of the sessions this can only be used in environments with easy access and with a horizontal development. Instead, the contribution of Baglietto et al. "Hypogeal topography with LiDAR on smartphone" reaches more optimistic conclusions, in which even if we recognize the limitations related to the sensor and the device, it can, however, be used in cavities of limited extension, or with archaeological interest. Furthermore, it is thought that the time is not far off when it will also be used in challenging and deep caves.

In conclusion, the use of new 3D technologies in the exploratory speleological field is currently oriented towards creating 3D caves, still niche applications, or uses in very targeted areas. However, a research aimed at extending the acquisition capacity of numerical geometric data emerges. 3D reconstruction with "medium dense" point clouds could be a solution to the "problem of splay scarcity". A sufficiently dense point cloud offers a more "objective" three-dimensional reconstruction, less subject to personal "interpolations". However, the 3D acquisition of the shape does not eliminate the phase of "interpretation" of the data and the observations, intrinsic to every documentation, through which the salient features of the documented object (the topography of the cave) are identified and highlighted. Furthermore, the acquisition of geometric 3D data does not include important details for the speleologist, such as information on air circulation and temperatures, any notes for the safety of progression, etc., which are the result of the observations and which are noted in the traditional cave surveys.

From the speleological point of view we should go from the "3D cave" seen on the PC at home, to a "3D cave", that is a three-dimensional topographic survey. The possibility of showing the development of the cave, with respect to other nearby cavities and/or with respect to the orography and rock formations, directly while carrying out the survey in the cave, allows to "orient" the progress of the exploration and concentrate on the points more interesting directly in the field. With the three-dimensional representation, this process becomes simpler and more accurate. If we consider that most of the time spent in the cave is to move between the entrance and the area being explored, we can well understand the advantages of "3D in the cave".

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Topografia ipogea con Lidar su smartphone

Simone Baglietto, Alessandro Maifredi

Gruppo Grotte Borgio Verezzi, Cai Finale Ligure, *ggbv64@gmail.com*

Parole chiave: rilievo speleologico; telefonia; laser scanner
Keywords: speleological survey; cell phone; laser scanner

La tecnologia Lidar non è nuova, ma ampiamente usata già nelle missioni della Nasa negli anni 60' e per scopi militari fin dagli anni 70'.
Come funziona un sensore Lidar? In breve, la tecnologia consente di scansionare e mappare il vostro ambiente emettendo raggi laser e calcolando la loro velocità di ritorno. Il funzionamento è simile al modo in cui i nostri amici pipistrelli si orientano tramite le nostre onde sonore.
Negli ultimi due anni il Lidar non è più appannaggio delle sole e costose attrezzature per topografia professionale, utilizzate ampiamente a scopo di ricerca e studio in numerose spedizioni speleologiche internazionali.

Oggi la maggiore potenza dei processori montati su smartphone Apple, uniti ad un comparto fotografico di elevata qualità, fornisce al sistema LiDAR usato da iPad Pro 2020 e dalle varianti Pro di iPhone 12 (come dai più recenti iPhone 13 Pro) la promessa di spingersi ancora oltre, dato che si tratta di un vero e proprio scanner LiDAR (fig. 1).

Gli smartphone attuali usano un singolo impulso di luce infrarossa per generare modelli 3D. Il sistema LiDAR di Apple, invece, emette numerosi impulsi laser che, "illuminando" le diverse parti di una scena muovendo il dispositivo tenuto in mano, rilevano l'ambiente in cui ci si trova o l'oggetto che si vuole riprodurre in 3D. Si tratta di un processo sorprendentemente veloce, possibile solo con i più recenti processori mobile. I dati del sensore LiDAR vengono analizzati ed elaborati insieme ai dati delle fotocamere e ad un sensore di movimento presenti sul dispositivo, quindi migliorati dagli algoritmi di visione computerizzata implementati sull'A12Z Bionic per un'acquisizione dettagliata della scena, come affermato da Apple durante la presentazione di iPad Pro 2020.

Ma cosa hanno a che fare un telefono con un sensore Lidar e la speleologia?

Abbiamo la possibilità di effettuare una topografia ipogea catturando moltissimi dati, con precisione millimetrica, utilizzabili a loro volta anche per uno studio successivo, il tutto con un solo dispositivo leggero, impermeabile con un costo non basso, ma tutto sommato accettabile.

Attualmente si sta lavorando con successo e con interscambio a livello Italiano, per portare a conoscenza di tutti gli speleologi, come acquisire, gestire,

Figura 1 – smartphone e un rilievo digitale.

modificare, file di nuvole di punti a scopo topografico ipogeo, con l'utilizzo di software Open source gratuiti utilizzabili su più piattaforme (Windows, Mac, Linux).

Si sta attualmente procedendo alla redazione di un manuale sintetico per l'utilizzo di questo sistema, partendo dal dispositivo e dalla scansione sul terreno, fino alla restituzione dei vari tipi file utili per ottenere sia un disegno vettoriale, sia un raster scaricabile su cartografia online, toccando anche altre tipologie di restituzione, come ad esempio video 3D e visualizzazioni interattive su portali web.

Le applicazioni della metodologia sono molteplici, dal rilievo di oggetti e quindi di reperti e manufatti di interesse archeologico, fino a ciò che già interessa gli speleologi, ovvero al rilievo degli ambienti sia naturali sia artificiali con un elevato dettaglio in relativamente poco tempo.

Certamente esistono ancora forti limiti legati principalmente alla "portata" del sensore limitata a poco più di 5 m e ai limiti del dispositivo in termini di durata delle batterie di della capacità di memoria.

Se il sistema può presentare limiti e perplessità su cavità lunghe e complesse, certamente risulta interessante per cavità di limitate estensioni e particolare interesse dal punto di vista archeologico o architettonico (cavità artificiali), permettendo, con uno strumento letteralmente a portata di mano, di ottenere scansioni con un dettaglio paragonabile a quello dei "fratelli maggiori" (sia in termini di ingombro sia in termini di costo), in particolare in caso di spedizione all'estero o comunque "lontano da casa" dove in poco tempo è necessario "catturare" quante più informazioni possibile per poi elaborarle con calma al rientro.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (2021), "specifiche Iphone 13 pro", sito Apple, accesso Luglio 2022.

AA.VV. (2021), *Techradar, sito info tecniche,* accesso Luglio 2022

Vaccari G. (2019) "Lidar per fotocamere", *Tutto digitale,* Luglio: 14-15.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Rilievo speleologico e topografico delle grotte

Alberto Cina ([a]), Davide Barberis ([b]), Isabella Nicole Pisoni ([a]), Nives Grasso ([a]), Bartolomeo Vigna ([a])

(a) Politecnico di Torino – Dipartimento dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), *alberto.cina@polito.it; isabella.pisoni@polito.it; nives.grasso@polito.it; bartolomeo.vigna@polito.it*
(b) Speleo Club Tanaro, *devid.barbe@gmail.com*

Parole chiave: laser scanner; rilievo digitale; Disto-X; confronto; Valdemino
Keywords: laser scanner; digital survey; Disto-X; comparison; Valdemino cave

Introduzione

Rilievi topografici con stazione totale e Lidar danno una descrizione accurata e dettagliata dell'ambiente ipogeo. La materializzazione dei punti di stazione e orientamento e la stazionabilità su treppiede degli strumenti si scontrano spesso con le esigenze pratiche di chi deve eseguire un rilievo più speditivo in condizioni difficili. Soluzioni basate su strumenti che sfruttano laser portatili e una navigazione assistita dalle immagini e da strumenti inerziali sono disponibili a un costo non trascurabile (circa 40 k€). Per un rilievo speditivo speleologico non sono sempre necessarie dense nuvole di punti ma il rilievo di un limitato numero di punti di dettaglio sufficienti a descrivere il percorso e la cavità, magari con la possibilità di creare già sul posto un primo abbozzo di mappa. L'economicità e la praticità del sistema DISTOX2. lo rende ideale per rilievi speditivi da eseguire già durante la fase di esplorazione e progressione in grotta. Esso è basato su distanziometro, inclinometro e bussola: in questo lavoro si verifica con un caso pratico l'accuratezza del rilievo eseguito con questo strumento e modalità ben consolidate in ambito speleologico, rispetto a un rilievo topografico con stazione totale e Lidar nella grotta ligure di Valdemino a Borgio Verezzi. Si affrontano di seguito le metodologie e i risultati del confronto fra le due tecniche.

Strumenti e analisi degli errori in ambito speleologico

Il sistema DistoX2 montato su Leica DISTO-X310 è composto da un distanziometro con portata 80 m e precisione millimetrica, integrato da bussola e inclinometro digitale. Il sistema può essere gestito da software come Topodroid che permettono, su un tablet, di visualizzare il rilievo in corso d'opera e disegnare in tempo reale un primo abbozzo della mappa della cavità. La tecnica di rilievo non richiede particolari descrizioni: essa si basa su coordinate sferiche (distanza azimut ed elevazione) che vengono convertite a coordinate cartesiane. Il sistema di riferimento viene creato da ogni punto di stazione rilevando un Punto Avanti che viene successivamente occupato per una nuova stazione.
Rilevando l'azimut con bussola, ogni stazione è indipendente dall'altra per la propagazione dell'errore che avviene nella misura di angoli nelle poligonali. La precisione della bussola è però limitata nel nostro caso a un paio di

α (°)	10°	45°	75°	
σd0 [cm]	3	12	17	$\sigma_{d0\|\alpha} = \left(\frac{\partial d_0}{\partial \alpha}\right)\sigma_\alpha = d_i \sin\alpha\sigma_\alpha$

Tabella 1 – sqm della distanza orizzontale per varie elevazioni (d=10 m σα=1°)

gradi ed è dipendente dalla presenza di materiali ferromagnetici. Buona norma è pertanto terminare il rilevo su un punto noto per le opportune verifiche.
La precisione delle coordinate rilevate con questo sistema dipende dalla precisione angolare e della distanza con cui si misurano le coordinate sferiche. La precisione del distanziometro non costituisce mai un problema e la maggiore criticità la si riscontra nelle misure angolari: per quanto riguarda la riduzione della distanza inclinata *di* all'orizzontale *d0* con l'angolo di elevazione α secondo la *d0=di sin α,* propagando la varianza sul solo angolo di elevazione si nota come la precisione (scarto quadratico medio σ) decresca all'aumentare di esso (Tabella 1).
Forti elevazioni, anche 75° sono verosimili nel caso studio presentato e comportano decadimenti di precisione anche di 17 cm su istanze di solo 10 m.
Occorre ancora ricordare che l'azimut magnetico della bussola va corretto dei valori di declinazione magnetica e convergenza della trasformata del meridiano per poter calcolare le direzioni rispetto al nord del reticolato cartografico.
Anche gli effetti di riduzione della distanza da terreno a carta possono essere sensibili su lunghi percorsi e a quote elevate

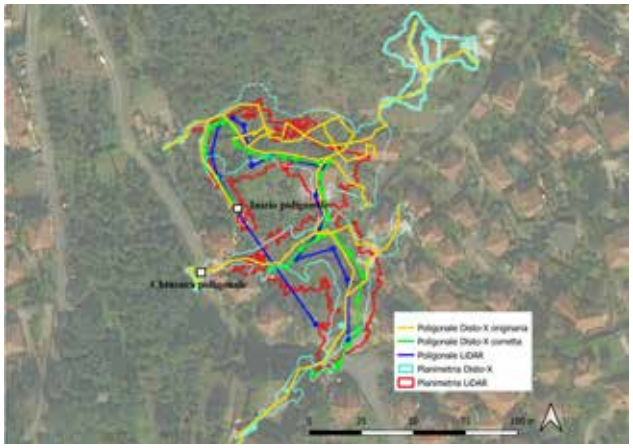


Figura 1 - Sovrapposizione tra rilievo topografico e rilievo realizzato con Leica DISTO-X310.

Il caso studio di Valdemino

La grotta di Valdemino si trova nel comune di Borgio Verezzi (SV). Essa è stata rilevata sia con tecniche topografiche usando una stazione totale (TS) Leica MS50 per appoggiare misure Lidar con Laser scanner Optec Polaris. Parallelamente è stato eseguito un rilievo con DistoX2. il confronto dei risultati è stato fatto (fig. 1):

1. Sull'errore di chiusura verificato su due punti agli imbocchi rilevati con GPS RTK (precisione 2 cm)
2. Sull'andamento del rilievo di dettaglio sovrapposto alla nuvola dei punti

Da primo confronto emerge come l'errore di chiusura della poligonale sui due punti GNSS agli imbocchi risulti di 1.50 m in Est e 0.88 in Nord, dopo uno sviluppo di circa 600 m e 70 punti di stazione. Esso raddoppia se non vengono applicate le correzioni angolari agli azimut. Il percorso della poligonale con DISTOX2 sovrapposto alla planimetria rilevata con TS e Lidar è visibile in Figura 1: esso è comune solo per la parte "turistica".

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

L'uso della tecnologia SLAM in ambito geologico per navigazione indoor: il caso studio della Grotta di Bossea

Paolo Dabove ([a]), Nives Grasso ([a]), Marco Piras ([a])

([a]) Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 – Torino (Italy) – Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), *nives.grasso@polito.it*

Parole chiave: laser scanner; rilievo digitale
Keywords: laser scanner; digital survey

Il rilievo geomatico/topografico in ambito speleologico è una delle attività principali che permette di aggiungere un valore sia scientifico che divulgativo all'esplorazione in grotta ed è di fondamentale importanza al fine di una conoscenza dettagliata della cavità ipogea: solo grazie alla ricostruzione dell'ambiente tridimensionale tramite tecniche range based, principalmente basate su tecnologia LiDAR, è infatti possibile l'orientamento, la navigazione interna, la comprensione litologica nonchè una migliore organizzazione dell'esplorazione della grotta stessa. Inoltre, tale attività è fondamentale per avere una buona conoscenza geologica, geomorfologica e tettonica del sottosuolo, sia per scopi meramente speleologici o geologici sia per l'analisi di stabilità delle cavità. Il rilievo in grotta con tecnologie digitali risulta essere ancora una metodologia relativamente poco sviluppata ma che sta prendendo sempre più slancio, soprattutto a seguito dello sviluppo di tecniche SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*). Le tecniche SLAM sono state inizialmente sviluppate nel campo della robotica ma da qualche anno vengono sempre più utilizzate nell'ambito di rilevamento e di guida autonoma. Esse infatti permettono a un dispositivo di determinare la propria posizione mentre rileva simultaneamente un ambiente sconosciuto.
In tale lavoro verranno presentati i rilievi effettuati nella Grotta di Bossea, in provincia di Cuneo, considerate tra le più suggestive e geologicamente interessanti d'Europa poiché possiedono al loro interno anche un laboratorio carsologico sotterraneo gestito dalla Stazione Scientifica di Bossea (CAI di Cuneo) e dal Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture del Politecnico di Torino, con la collaborazione del dipartimento di Cuneo dell'ARPA Piemonte e della Sezione Radiazioni dell'ARPA Valle d'Aosta.
Il lavoro presenta il principio analitico di misura del sistema portatile di mappatura rapida KAARTA Stencil 2, basato sull'algoritmo di localizzazione e mappatura simultanea (SLAM), che consente di produrre nuvole di punti 3D piuttosto dense e dettagliate dell'ambiente.
Lo strumento KAARTA Stencil 2 di Real Earth Company include un sistema LiDAR Velodyne VLP-16 che acquisisce dati simultaneamente lungo 16 profili

rotanti, orientati diversamente, mentre l'operatore trasporta manualmente il dispositivo per acquisire dati 3D densi. Questo sistema produce mappe 3D in tempo reale senza l'uso di un ricevitore GNSS, dati di input e operazioni di post-elaborazione, sfruttando in parallelo le informazioni derivanti da un'unità di misura inerziale (IMU) integrata a basso costo e dalle immagini acquisite dal sensore ottico. Questo studio è dedicato all'analisi delle prestazioni dello strumento in termini di accuratezza e completezza delle nuvole di punti 3D generate dal KAARTA Stencil 2. Le analisi sono state focalizzate sulla valutazione dello scostamento dei prodotti ottenuti dal sistema nella soluzione "stand-alone", rispetto al modello di riferimento, ottenuto da un sistema LiDAR terrestre. In particolare, il metodo di validazione proposto segue la valutazione della deviazione delle nuvole di punti tra i dati basati sulla tecnologia SLAM e le nuvole di punti 3D calcolate utilizzando metodi di misurazione più precisi.

Inoltre, per la georeferenziazione delle nuvole di punti è stata utilizzata la stazione totale robotizzata Leica MS50, che ha permesso il raggiungimento di elevate precisioni, con residui massimi di 1.4 cm sulle distanze, 0.15^{gon} su angoli zenitali e 0.035^{gon} su direzioni azimutali. Gli scarti quadratici medi di stima dei punti al fondo della grotta sono inferiori a 5 cm per ogni componente plano-altimetrica.

Il rilievo con il KAARTA ha permesso l'acquisizione di circa 180.000.000 di punti, per un tempo totale di rilievo di circa 5h (acquisizione) a cui vanno aggiunte circa 8h (elaborazione). La traiettoria percorsa è stata di circa 1km, con un dislivello di circa 120m.

Le differenze medie ottenute sono di 15 cm circa in planimetria e di 22 sulla componente verticale.

Tale rilievo è stato anche confrontato con un rilievo LiDAR svolto in modalità tradizionale, utilizzando un laser scanner terrestre "phase-based", il FARO Cam2. In questo caso, sono state effettuate 78 scansioni, per un totale di circa 3,5 miliardi di punti acquisiti in 14 ore circa (ovvero 11 minuti per scansione). La densità di rilievo è decisamente superiore, pari ad 1 punto ogni 6mm (a 10 m di distanza) per una dimensione file di circa 234Gb.

Le differenze medie ottenute tra i due rilievi LiDAR sono di circa 14 cm, il che porta ad affermare come l'utilizzo di tecniche SLAM risulti essere particolarmente interessante sia per la riduzione dei tempi di rilievo ed elaborazione dati, sia per il mantenere l'elevato standard di precisione, soprattutto in ambienti presentanti condizioni ambientali difficili, quali quelle degli ambienti ipogei.

Ovviamente uno dei primi vantaggi è dato dai tempi rapidi di acquisizione, oltre che dal volume ridotto di dati acquisiti, che rende molto più gestibile la nuvola di punti. Inoltre, i rilievi con tecniche SLAM non richiedono la collocazione e misura di markers, a meno che non si vogliano effettuare confronti per verifiche di precisioni ed accuratezze, cosa che invece è indispensabile nei rilievi LiDAR tradizionali. Inoltre, non è necessario post-processare i dati: già in tempo reale si ottiene una ricostruzione 3D affidabile e scalabile, che può essere ottimizzata in post-processamento, durante il quale è anche possibile filtrare i dati acquisiti.

Sulla base dei risultati sperimentali ottenuti nel presente studio, sono stati evidenziati i punti di forza e di debolezza del sistema di mappatura KAARTA Stencil 2, che ci consentono di suggerire indicazioni per futuri lavori di ricerca oltre che di suggerirne l'utilizzo per numerose applicazioni quali valutazioni volumetriche, crolli, creazione di modelli 3D per scopi di divulgazione, realtà aumentata e scenari turistici.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Modellazione 3D di strutture geomorfologiche tramite tecnica fotogrammetrica basata su immagini da smartphone

Paolo Dabove ([a]), Nives Grasso ([a]), Marco Piras ([a])

([a]) Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 – Torino (Italy) – Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), *nives.grasso@polito.it*

Parole chiave: fotogrammetria; telerilevamento; rilievo digitale; morfometria
Keywords: photogrammetry; remote sensing; digital survey; morphometry

L'osservazione geomorfologica e geologica in ambienti sotterranei come le grotte può ancora rappresentare una sfida in ambito geomatico. Questi ambienti sono spesso proibitivi, data la difficoltà di accesso e le condizioni, anche estreme, di umidità e temperatura al loro interno. La continua evoluzione delle tecniche di rilevamento e modellazione 3D basate su sensori e lo sviluppo di sistemi sempre più efficienti per la visualizzazione di dati digitali evidenziano il valore aggiunto dato dall'uso di questi metodi in campo geologico. In effetti, lo sviluppo tecnologico di strumenti di rilevamento ha permesso di passare da descrizioni soggettive per illustrare l'ambiente, influenzate dalla percezione umana, a modelli tridimensionali completi. Tuttavia, è solo negli ultimi anni che sul mercato sono state vendute versioni più leggere, economiche e di facile manovrabilità degli strumenti di rilevamento.

Una soluzione per la mappatura 3D delle grotte naturali può essere trovata nella fotogrammetria digitale terrestre, utilizzando tecnologie a basso costo ampiamente diffuse nel cosiddetto mercato *mass-market*. Le dimensioni limitate dei sensori immagine rappresentano oggi un ulteriore vantaggio, che consente di installarli in dispositivi di uso comune come smartphone e tablet, offrendo a chiunque la possibilità di acquisire dati ed estrarre informazioni 3D. Grazie al loro significativo sviluppo e dei sensori passivi incorporati, questi rappresentano una valida alternativa alle classiche tecnologie di rilevamento, che possono essere sfruttate per scopi fotogrammetrici e di modellazione 3D. Inoltre, uno dei principali vantaggi dell'utilizzo di uno smartphone è la capacità di eseguire direttamente l'elaborazione dei dati con applicazioni specifiche installate sul cellulare, ora ampiamente disponibili online.

Lo scopo di questo lavoro è di studiare il potenziale di un dispositivo smartphone nella ricostruzione 3D di oggetti di interesse geomorfologico e di proporre una procedura che può essere facilmente utilizzata, anche da operatori non esperti, basata sui principi della fotogrammetria. Ciò si riferisce in particolare a ricercatori ed esperti interessati alla valutazione geologica e geomorfologica delle diverse conformazioni presenti in una grotta sotterranea. La possibilità di ridurre i costi

Software/Dataset	Punti di controllo			Check points		
	RMSE (X) [mm]	RMSE (Y) [mm]	RMSE (Z) [mm]	RMSE (X) [mm]	RMSE (Y) [mm]	RMSE (Z) [mm]
AMP / 50 immagini	0.409	0.378	0.900	0.574	0.169	1.102
AMP / 25 immagini	0.527	0.409	0.750	0.527	0.127	0.806
AMP / 12 immagini	0.452	0.325	0.783	0.617	0.198	0.884
VSFM / 50 immagini	Total error: 0.487 mm			-	-	-
VSFM / 25 immagini	Total error: 1.505 mm			-	-	-

Tabella 1 - I risultati ottenuti dal processamento fotogrammetrico

del sondaggio con apparecchiature a basso costo, come fotocamere digitali e amatoriali, smartphone, tablet e action-cam, è uno dei principali vantaggi della tecnica fotogrammetrica, che consente anche un'alta ripetibilità del sondaggio.

In questo contributo, si propone una procedura standardizzata di ricostruzione 3D di grotte sotterranee, attraverso un rilevamento fotogrammetrico con uno smartphone, che consente di ottenere un risultato di alta qualità in termini di precisione geometrica. Per definire una metodologia operativa, si sono analizzati i limiti di questo approccio, come la distanza media di acquisizione del dato e il modo in cui la percentuale di sovrapposizione delle immagini può influenzare l'elaborazione dei dati e i prodotti finali.

A tal fine, sono stati condotti test preliminari in un ambiente controllato, utilizzando un campione di roccia come oggetto di studio e due differenti software per la modellazione 3D, ovvero il software Agisoft Metashape Professional (AMP, software proprietario) e VisualSfM (VSFM, software open-source). I primi confronti sono stati effettuati scegliendo un numero determinato di immagini (pari a 50) e vedendo come variano le prestazioni rispetto a dei punti di controllo ottenuti da un processo fotogrammetrico sviluppato a partire da immagini acquisite da una camera professionale (NIKON D800E). In seguito, si sono confrontati i risultati ottenuti con ciascun software al variare del numero di immagini, come rappresentato in Tabella 1.

In base ai risultati ottenuti, per questa tipologia di oggetti, l'aumento del numero di immagini non aumenta necessariamente la qualità del prodotto finale. Infatti la radiometria costante non permette il corretto allineamento delle immagini; inoltre, un'eccessiva sovrapposizione delle immagini, a causa delle limitate dimensioni dell'oggetto, potrebbe portare ad una soluzione poco accurata. A valle di tali analisi, è stata anche effettuata un'analisi statistica per valutare le differenze tra i modelli ottenuti tra i due software: i risultati ottenuti mostrano che più dell'84% della nuvola di punti realizzata con AMP e VSFM si discosta dai dati di riferimento per meno di 2 mm.

La principale innovazione di questo contributo è data dall'utilizzo di algoritmi di *computer vision* per l'elaborazione delle immagini acquisite da smartphone, implementati sia in software specifici, sia su applicazioni smartphone. Sono state sfruttate tecniche di *dense matching* delle immagini per costruire un modello 3D denso ad alto livello di dettaglio a supporto di indagini geologiche e geomorfologiche, che si propone di andare a testare su vasta scala in ambienti meno controllati, quali ad esempio la Grotta di Bossea, in provincia di Cuneo.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): il futuro del rilievo ipogeo?

Nicolò L. Fiori

Gruppo Speleologico Alpi Marittime (CAI Cuneo), via Porta Mondovì 5 - 12100 Cuneo *sir.flowers.nl@gmail.com*

Parole chiave: rilievo speleologico; rilievo 3D; laser scanner
Keywords: underground survey; 3D survey; laser scanner

Nel corso degli anni gli speleologi hanno sperimentato e applicato tecnologie sempre più sofisticate al fine di rendere più verosimili e realistici i rilievi delle grotte da loro esplorate: strumenti di rilievo sempre più precisi e pratici, così come software di restituzione via via più *user-friendly*. Quello che tuttavia non è mai cambiato, è rimasto proprio il prodotto finale della topografia ipogea: il rilievo. Sempre trattasi infatti del binomio pianta/sezione, a volte di difficile comprensione per chi non ha mai visitato la grotta. Alcuni software restituiscono il cosiddetto "interno-esterno" tridimensionale, eppure la morfologia è sempre approssimata ad una geometria troppo grossolana. Oggi tuttavia, si apre una nuova frontiera riguardo a questi temi, che permetterebbe un notevole passo avanti circa il grado di precisione e le modalità di restituzione dei rilievi. Questa opportunità è rappresentata dalla tecnologia SLAM (Simultaneous Localisation And Mapping). I dispositivi SLAM assomigliano ai classici laser scanner, ma sono cinetici: costruiscono un'immagine dell'ambiente che li circonda attraverso una nuvola di milioni di punti in 3D e riescono contemporaneamente a posizionare sé stessi all'interno dello spazio. Lo strumento pertanto, muovendosi nell'ambiente, acquisisce di continuo informazioni sullo stesso e migliora la posizione degli oggetti, registrando al contempo la sua traiettoria rispetto ad essi. La georeferenziazione della nuvola di punti è possibile mediante l'acquisizione di *reference points* lungo la traiettoria, che il dispositivo è in grado di registrare ogni qual volta lo si lasci immobile per più di 10 secondi: determinando mediante altri metodi (GPS, poligonali ecc.) le coordinate dei primi *points* al di fuori dell'ingresso, se ne potrebbero istituire (e contestualmente georiferire) altri all'interno della grotta, i quali fungono da capisaldi georiferiti per il rilievo successivo e così via.

Sul commercio ne esistono di varia fattura e costi. Oltre a questi ultimi, che sono assai elevati, li accomuna il design studiato perché possano essere impugnati come una sorta di pistola (fig. 1). Una testa rotante del diametro di circa 20 cm contiene l'emettitore e il ricevitore laser, mentre un *data logger* dotato di tracolla si collega allo scanner tramite un cavo elettrico. Il tutto ha un peso solitamente minore di 4 Kg e il suo raggio d'azione può raggiungere persino i 100 m, in base al modello.

Questa serie di caratteristiche fisiche rende possibile l'utilizzo di simili dispositivi nell'esplorazione ipogea.

Tuttavia, ad oggi il suo utilizzo in speleologia risulta realisticamente applicabile in contesti limitati (alcuni esperimenti sono stati fatti in grotte turistiche). I dispositivi SLAM infatti sono innanzitutto ancora troppo costosi e delicati. Risulta poi necessario "spezzare" la grotta in più sessioni di rilievo della durata massima di circa 15 min l'uno, al fine di non sovraccaricare troppo di dati il file di *output*, altrimenti ingestibile anche su PC molto potenti. Inoltre, dato il suo design, occorrerebbero sicuramente delle modifiche al fine di poter scendere/risalire i pozzi con lo strumento (oppure metodi di rilievo integrati: tradizionale/SLAM). L'intensità del fascio di onde laser emesse dallo strumento è tale da "accecare" lo stesso se posto troppo vicino ad un oggetto, con conseguente fallimento nella restituzione della nuvola di punti da parte del software dedicato: gli SLAM potrebbero avere quindi problemi nelle strettoie. Senza dimenticare la rifrazione da parte di specchi/lame d'acqua, in grado di falsare la reale geometria degli ambienti. Infine, l'ultimo grande problema concernente un pratico utilizzo dei dispositivi SLAM in speleologia è l'impossibilità di avere in tempo reale il risultato del rilievo al fine di controllarne la buona riuscita: dopo una punta a grandi profondità o in aree scomode da raggiungere, un rilievo si potrebbe scoprire non riuscito soltanto una volta di fronte al PC presso la propria sede.
In conclusione, la tecnologia SLAM nella sua più intima essenza, sembra nata per la topografia speleologica. Rende infatti possibile il rilievo e la restituzione (immagini 3D con DTM, video, stampe 3D) della geomorfologia esatta e tridimensionale della grotta a beneficio di speleologi, ricercatori e soccorritori.
Tuttavia la strada che porta ad un suo uso pratico e quotidiano è ancora lunga.

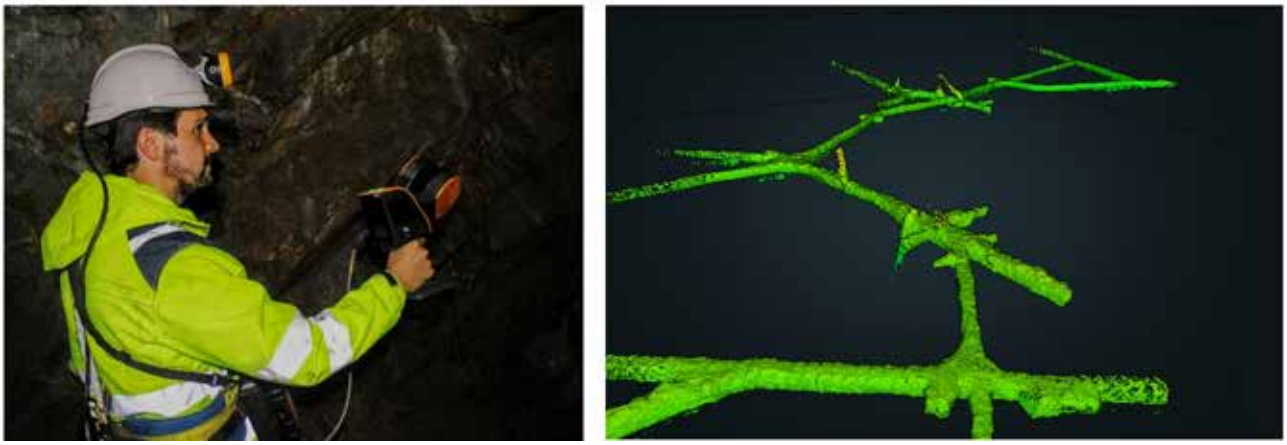


Figura 1 – Sinistra: l'autore mentre esegue un rilievo con un dispositivo SLAM all'interno di una galleria mineraria. Destra: la nuvola di punti risultato del rilievo.

Parchi, siti protetti e speleologia

di Vincenza MESSANA, Veronica CHIARINI e Massimo SCIANDRA

Circa il 20,5% del territorio italiano è carsico e, delle quasi 45.000 grotte inserite nel "Catasto delle Grotte d'Italia", una parte ricade all'interno del "Sistema delle Aree protette italiane" (Parchi nazionali - Parchi regionali - Riserve naturali regionali *integrali*, *orientate*, *speciali*, *biogeniche*), istituite con specifici Decreti e Leggi a partire dal primo strumento normativo nazionale per l'istituzione e la gestione delle aree protette rappresentato dalla L.394/91 "Legge quadro sulle aree protette", emanata in attuazione del più ampio principio costituzionale di tutela dell'ambiente e degli ecosistemi. Alle grotte specificatamente protette in quanto esse stesse motivo istitutivo dell'Area protetta, o indirettamente protette in quanto ricadenti in Aree protette più ampie, si sommano le grotte che ricadono all'interno dei *Siti Natura 2000,* tutelate dalla "Direttiva Habitat 92/43/CEE" con il codice 8310 che identifica l'habitat prioritario "*Grotte non ancora sfruttate a livello turistico*" *(*grotte non aperte alla fruizione turistica, comprensive di eventuali corpi idrici sotterranei, che ospitano specie altamente specializzate, rare, spesso strettamente endemiche, e che sono di primaria importanza nella conservazione di specie animali dell' Allegato II quali pipistrelli e anfibi).

In questo ampio e vario contesto nazionale il contributo della ricerca speleologica per la conoscenza dei sistemi carsici in parchi e aree protette è di fondamentale importanza per gli amministratori di queste aree, che spesso non hanno una conoscenza diretta degli ambienti ipogei che sono chiamati a gestire. Ogni scoperta speleologica, infatti, contribuisce in modo sostanziale alla conoscenza di un territorio carsico, ampliando di conseguenza l'estensione delle stesse aree sottoposte a tutela.

Una collaborazione attiva tra il mondo speleologico e gli Enti gestori è quindi di fondamentale importanza per una tutela efficace degli ambienti sotterranei. Tuttavia, l'interesse reciproco di questo tipo di collaborazione non è sempre pienamente compreso da entrambe le parti. Ed è proprio su queste tematiche che è stata incentrata la sessione della tavola rotonda "Parchi, siti protetti e speleologia". Dai lavori presentati e dal dibattito che ne è seguito, è emerso il parere unanime che la "tutela delle grotte" non può essere rappresentata soltanto dalla regolamentazione della fruizione, ma anche (e soprattutto) da una costante ricerca scientifica e da un'efficace divulgazione di quelle che sono le peculiarità e le fragilità di questi ambienti. Per raggiungere tale scopo, gli speleologi, avendo una conoscenza approfondita del territorio carsico, devono impegnarsi a fornire agli Enti gestori le informazioni fondamentali ai fini della corretta gestione delle aree carsiche e, allo stesso tempo, devono farsi promotori di una "speleologia a basso impatto" ed essere protagonisti nella tutela dell'ambiente di grotta, a cominciare dal rispetto dei protocolli di frequentazione emessi dagli Enti stessi. I gestori delle Aree protette devono avvalersi delle conoscenze degli speleologi per poter gestire al meglio il territorio di loro competenza, instaurando relazioni di collaborazione e coinvolgendo le associazioni speleologiche nella redazione dei protocolli di frequentazione.

In diverse realtà territoriali italiane, la collaborazione tra il mondo della speleologia e quello degli Enti gestori di Aree protette è sperimentata da tempo, con risultati indubbiamente positivi per la tutela del mondo ipogeo.

Parks, protected sites, and speleology

by Vincenza MESSANA, Veronica CHIARINI and Massimo SCIANDRA

About 20.5% of the Italian territory is karst and, of the almost 45,000 caves included in the "Italian Cave Register", a part falls within the "System of Italian protected areas" (National Parks - Regional Parks - natural regional integral, oriented, special, biogenic Reserves), established with specific Decrees and Laws starting from the first national regulatory instrument for the establishment and management of protected areas represented by Law 394/91 "Framework law on protected areas", issued in implementation of the broader constitutional principle of protection of the environment and ecosystems. The caves that are specifically protected as a reason for establishing the Protected Area, or indirectly protected as they fall into larger protected areas, are added to the caves that fall within the Natura 2000 Sites, protected by the "Habitat Directive 92/43/CEE" with code 8310 which identifies the priority habitat "Caves not yet exploited for tourism" (caves not open to tourist use, including any underground water bodies, which host highly specialized, rare, often strictly endemic species, are of primary importance in the conservation of animal species such as bats and amphibians included in Annex II of the Habitat Directive).

In this wide and varied national context, the contribution of speleological research to the knowledge of karst systems in parks and protected areas is of fundamental importance for the administrators of these areas, who often do not have direct knowledge of the underground environments they are called upon to manage. Each speleological discovery, in fact, contributes substantially to the knowledge of a karst territory, consequently expanding the extension of the same areas under protection.

An active collaboration between the speleological world and the managing bodies is therefore of fundamental importance for an effective protection of underground environments. However, the mutual interest of this type of collaboration is not always fully understood by both parties. And it is precisely on these issues that the round table session "Parks, protected sites, and speleology" was focused. From the presentations and the debate that followed, the unanimous opinion emerged that the "protection of caves" cannot be represented only by the regulation of their use, but also (and above all) by constant scientific research and effective dissemination of what are the peculiarities and fragility of these environments. To achieve this purpose, speleologists, having a thorough knowledge of the karst territory, should provide the managing bodies with the fundamental information for the proper management of karst areas and, at the same time, promote a "low-impact caving" and be protagonists in the protection of the cave environment, starting with following the protocols issued by the managing bodies themselves. The managers of the protected areas must make use of the knowledge of speleologists in order to better manage the territory of their competence, establishing collaborative relationships and involving the speleological associations in the drafting of the protection protocols.

In various Italian territorial realities, the collaboration between the caving world and that of the managing bodies of protected areas has been experimented for some time, with undoubtedly positive results for the protection of the underground world.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Parchi e Speleologia: amicizia e dintorni

Marina Abisso ([a]), Raffaella Zerbetto ([b])

([a]) CAI TAM LPV Speleo Club Ribaldone, *marina.abisso@gmail.com*
([b]) CAI TAM LPV Speleo Club Tanaro, *raffaellazerbetto.tamlpv@gmail.com*

Parole chiave: parchi naturali; speleologia; aree carsiche; aree protette
Keywords: natural parks; speleology; karst areas; protected areas

Quanto la speleologia è amica dei parchi? Quanto i parchi sono amici degli speleologi? "Perché un pensiero cambi il mondo, occorre che cambi in esempio la vita di chi lo esprime" (A. Camus): la risposta alle due domande sta nella presa d'atto che la difesa dell'ambiente sotterraneo, vulnerabile e con il cuore di cristallo, dipende anche dal comportamento degli speleologi. Il mondo ipogeo, speleologi e SSI, messi da parte eccessiva sicurezza e senso di autosufficienza, sposa la protezione ambientale, a fianco del CAI, che nel 2013 inserisce la speleologia nel Nuovo Bidecalogo. Nelle linee guida ambientali del sodalizio, si riconosce che, tra gli ambienti naturali, quello ipogeo è tra i più ben conservati, unico per interesse geologico, paleontologico, antropico e storico. Per i Parchi, Federparchi, che traccia e condivide le strategie per la gestione delle aree protette, incontra la realtà speleologica: insieme si parla di biodiversità, tutela, fruizione e qualità della vita. Nel 2013, Federparchi, SSI e CAI firmano il Protocollo d'Intesa per la conoscenza e la conservazione degli ambienti carsici, al fine dello svolgimento di attività di ricerca e studio sui sistemi carsici con iniziative a favore delle aree protette, per promuoverne la corretta fruizione e concordare azioni comuni. Il lavoro coordinato e sinergico dà i suoi frutti. Si sancisce l'obbligo di inserire la speleologia negli Statuti e Regolamenti dei Parchi, strumento di ricerca e conoscenza del territorio. L'individuazione delle aree carsiche consente la mappatura e la migliore conoscenza del territorio. Lo sviluppo del catasto speleologico su base nazionale è riconosciuto anche a fini di tutela. Nasce l'Osservatorio sul patrimonio ipogeo in aree protette, per delineare il quadro nazionale di aree carsiche, naturale ed artificiali, e individuare norme ed attività di ricerca e di tutela in atto. La raccolta di dati, avviata mediante invio di schede informative, dà evidenza della presenza e dell'emanazione di normativa regionale e locale per la tutela e la promozione della speleologia nei Parchi e negli ambiti territoriali protetti e non solo. L'unione di intenti stimola la normazione e dà vita a raccolte di studi, ricerche e proposte di attività di tutela, formazione e didattica. Le esigenze di salvaguardia del paesaggio e le attività di ricerca speleologica animano un confronto costante che vede l'associazionismo speleologico sempre più coinvolto nella conoscenza e nella valorizzazione del territorio. Le parti, PA, CAI, SSI in Federazioni e Gruppi speleologici, danno attuazione al Protocollo a vari livelli. La legislazione di interesse speleologico ambientale è reperibile sul sito della SSI (in forma semplice e aggre-

gata). Una sintesi delle schede restituite all'Osservatorio è raccolta nella successiva tabella. Nel 2018 gli intenti del Protocollo d'Intesa sono validati per un triennio. La pandemia ferma la conferma triennale ma, anche senza rinnovo, si prosegue: da un lato le grotte, patrimonio fragile e insostituibile per lo studio di cambiamenti climatici e biodiversità, dall'altro parchi naturali ed aree protette, terra di sperimentazione e innovazione dello sviluppo sostenibile: un solo territorio da tutelare da interventi che possano degradarlo. La conservazione dell'ambiente parla la lingua della conoscenza e della protezione, di Rete Natura 2000, raccolta di siti naturali, terrestri e marini in cui va garantita la sopravvivenza a lungo termine di specie e habitat minacciati.

Regione	Parchi che interessano aree carsiche	Linee guida/convenzioni
Abruzzo	Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga	LR 9/4/1975, n. 32
	Parco Nazionale della Majella	Nel Comitato Scientifico sono presenti un referente per la Federazione ed uno per la SSI
	Parco Naturale Regionale Sirene Velino	Linee Guida regolano i rapporti con Parco Nazionale della Majella per richiesta autorizzazioni
	Riserva naturale speciale delle Grotte di Pietrasecca	Proposta convenzione con Riserva Pietrasecca (istituita con LR)
	Parco Nazionale D'Abruzzo Lazio e Molise	
Emilia Romagna	Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità Emilia Orientale (Regionale)	LR n. 10/7/206, n. 9 - in itinere Convenzione con Regione E.R.
	Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità Romagna (Regionale)	Convenzione con l'Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità
	Parco Nazionale dell'Appennino Tosco Emiliano	Collaborazione permanente con l'Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità Emilia Orientale
	NB oltre 80% delle aree carsiche si trovano all'interno di questi parchi	Collaborazione permanente con Parco Nazionale dell'Appennino Tosco Emiliano
		Collaborazioni mediante accordi di ricerca e studio con Università di Modena Reggio, Università di Bologna, Soprintendenza archeologica, Musei e istituti di Ricerca
Friuli Venezia Giulia	Parco delle Dolomiti Friulane Aree	Regolamento (D.P.G.R. 4 ottobre 1999, n. 0306/Pres.) recante norme del Parco delle Prealpi Giulie sulla speleologia
	Parco delle Prealpi Giulie	Piano di conservazione e sviluppo – PCS approvato con DGR 359/2015 del 27 febbraio 2015, DPReg. n. 062/Pres. del 20 marzo 2015
	Aree protette del Carso Monte Orsario, Monte Lanaro, Laghi di Doberdò	LR 1/9/1966, n. 27
	Riserva della ValRosandra	
Lazio	2 Parchi Nazionali, Circeo e Lazio Abruzzo e Molise	LR 1/9/1999, n. 20 - su https://www.speleo.lazio.it/home/convenzioni-e-regolamenti/ georeferenziazione Rete Natura 2000 - misure di conservazione ZCS e SIC - adozione misure di conservazione
	Parchi regionale Simbruini, Aurunci e Ausoni	
	Numerose Aree Protette regionali e provinciali - diversi siti di importanza comunitaria - molte grotte sono geositi	
Liguria	Parco Aveto - le aree carsiche, già individuate in base all'art. 4 della LR n.14 del 1990, interessano oltre 340 chilometri quadrati del territorio ligure (circa il 6%)	LR 6/10/2009 n. 39 - Convenzione con Parco Aveto, Graveglia e Sturla, per la regolamentazione degli accessi nella grotta di Ca Freghè (LI 254)
Lombardia	Parco Campo dei Fiori	Convenzione tra Federazione Spelologica Lombarda e Regione Lombardia - Regolamenti per la spelologia in alcuni Parchi - segnalazione dei chirotteri in grotta e gruppo di lavoro Spelochiro
	Riserva Valle Bova	
	Parco Grigna Settentrionale	
	Parco Orobie Bergamasche	
	Parco Alto Garda Bresciano	
	Monumento Naturale Altopiano di Cariadeghe	
Piemonte	Parco dell'Alpe Veglia e dell'Alpe Devero	LR 30/5/1980, n. 69 - Convenzioni con Chirosphera e Centro regionale Chirotteri - Associazione Biologia Sotterranea - Stazione scientifica Grotta Bossea -
	Parco Nazionale Val Grande	
	Parco Naturale Alta Val Sesia e Alta Val Strona (Monte Fenera)	
	Parco del Monviso (Grotta di Rio Martino)	
	Aree protette Alpi Marittime	
Campania	Monte Maggiore	LR 11/11/2019, n. 21 (Soccorso alpino e spelologico) - richiesta annuale autorizzazione attività speleologica di ricerca e di esplorazione nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (con questo, in itinere protocollo di intesa)
	Monti Tifatini	
	Isola di Ischia	
	Parco Nazionale del Somma Vesuvio	
	Parco Regionale dei Monti La del Taburno Camposauro	
	Parco Regionale dei Monti Picentini	
	Monti della Maddalena	
	Parco Nazionale del Matese	
	Parco Regionale del Partenio	
	Parco Regionale dei Monti Lattari	
	Parco Regionale del Taburno Camposauro	
	Parco Nazionale del Somma Vesuvio	
	Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni	
Puglia	la Puglia è quasi tutta "carsica", ha un'infinità di aree protette. Tra le più note:	LR 4/12/2009, n. 33 - Convenzioni in itinere
	Parco Nazionale Gargano - amico degli speleologi	
	Parco Nazionale Alta Murgia	
	Parco Regionale delle Gravine - amico degli speleologi - in corso progetto di monitoraggio chirotteri	
	Parco Regionale Costa d'Otranto - amico degli speleologi - in corso progetto di monitoraggio chirotteri	
	Area Marina Protetta di Porto Cesareo	
Veneto	Parco Nazionale delle Dolomiti Bellunesi	LR 8/5/1980, n. 54
	Riserva naturale statale del Bus della Genziana	Linee guida per l'accesso e le esplorazioni con il Parco Nazionale delle Dolomiti Bellunesi

Tabella 1 – risultati dell'invio delle schede anno 2018

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Ricerca e divulgazione speleologica nelle Murge Orientali e nella Terra delle Gravine

Cristina Comasia Ancona ([a]), Vincenzo Cavalieri ([a]), Vito Alessio Lacirignola ([a])

([a]) Gruppo Speleologico Martinese *anconacristina@gmail.com, vicavalieri78@gmail.com, alessiolacirignola@libero.it*

Parole chiave: grotte; speleologia; Puglia; monitoraggio
Keywords: cave; speleology; Puglia; monitoraggio

Introduzione

Il Gruppo Speleologico Martinese (GSM) in oltre quarant'anni ha condotto diverse attività esplorative, ricerche scientifiche e divulgative sulle aree carsiche della Puglia, in Italia Meridionale e all'estero (Albania). Nel territorio delle Murge Orientali tali attività sono state svolte quasi sempre all'interno di aree naturali protette, in particolare nella Riserva Naturale Regionale Orientata Bosco delle Pianelle, nel Parco Naturale Regionale Terra delle Gravine e nella Z.S.C. Murge di Sud–Est (IT9130005), pubblicando nel 2018 numerosi dati scientifici nel volume *Grotte e Voragini di Martina Franca.*

Il contesto di riferimento

Le citate tre aree protette ricadono in buona parte nella provincia di Taranto e, in minor misura, in quelle di Bari e di Brindisi. Esse sono in continuità ecologica e geomorfologica, estendendosi lungo la dorsale sudorientale dell'Altopiano delle Murge (PDG Murgia Sud-Est, 2016). Oltre alla presenza di un cospicuo patrimonio boschivo e di manifestazioni carsiche (gravine, lame e doline), l'area è caratterizzata da un'alta presenza di grotte.

Le attività speleologiche del GSM nelle aree protette

Nel 2014 il GSM si è aggiudicato un bando dell'Ente di gestione della Riserva Naturale Regionale Orientata Bosco delle Pianelle nell'agro di Martina Franca, di Crispiano e di Massafra, comuni nella provincia di Taranto: in tale ambito il GSM ha gestito per un anno il centro visite della riserva, fornendo informazioni ai visitatori sulle caratteristiche dell'area, organizzando escursioni naturalistiche e, in particolare, visite guidate per le scuole primarie e secondarie alla Grave della N'zirra (PU_401), cavità carsica ricadente nel bosco. In parallelo sono state effettuate attività laboratoriali di carsismo, di biospeleologia e di educazione ambientale, per avvicinare anche i bambini al mondo della speleologia.

Dal 2015 al 2019 il GSM ha aderito al progetto "Uppark! Strategie di Rete per il Parco Terra delle Gravine", promosso dalla Fondazione con il Sud in coordinamento con la Federazione Speleologica Pugliese (FSP), il WWF Trulli e gravine e vari altri *stakeholder*. In tale ambito il GSM si è occupato del monitoraggio delle popolazioni di chirotteri stanziatesi in alcune grotte ubicate all'interno del Parco Naturale Regionale Terra

delle Gravine (fig. 1). Il monitoraggio è durato tre anni ed è stata stimata la densità delle popolazioni di chirotteri in due periodi dell'anno (autunno-inverno, primavera-estate, al fine di comprendere l'utilizzo come habitat temporaneo o permanente. L'indagine è stata svolta nella Voragine presso Masseria Bufaloria (PU_396), nella Grotta del Vuolo (PU_899) e nella Grotta di Foggia Nuova (PU_534).
Le attività hanno permesso, anche, di presidiare il centro visite dell'Oasi WWF di Masseria Monte Sant'Elia in agro di Massafra, cuore del Parco delle Gravine.
Nel 2021 il GSM ha preso parte all'Interreg IPA CBC Italy-Albania-Montenegro in qualità di capofila del Progetto "Caves" per promuovere lo studio e il turismo sostenibile del patrimonio speleologico dell'area Adriatica (Pastore, 2021). Tra le varie attività effettuate ha assunto particolare rilievo il workshop tenutosi l'11 e 12 settembre 2021 a Masseria Pilano in agro di Crispiano, durante il quale numerosi relatori sono intervenuti su temi relativi lo sviluppo sostenibile del turismo nelle aree carsiche, la geologia, la biospeleologia e la tutela delle grotte. È stata effettuata, inoltre, una visita alla Grotta di Pilano (PU_395), ricadente nel Parco delle Gravine, rivolta a operatori del settore turistico, guide ambientali escursionistiche, tour operator e guide turistiche. La finalità è stata quella di sensibilizzare e di fornire il *know-how* necessario per poter frequentare le grotte, riducendo al massimo gli impatti antropici. Tali iniziative possono costituire un importante punto di partenza verso l'acquisizione di una maggiore consapevolezza del patrimonio speleologico ed ecologico delle grotte e delle aree protette del territorio pugliese, sul quale si riscontrano ancora criticità nella gestione.

Riferimenti bibliografici

Marraffa M., Palmisano G., Pastore C., Romano R., Satta M.L. (2018), *Grotte e Voragini di Martina Franca*, GSM, Giacovelli Editore.

Pastore M. (2021), *Caves Project*, Atti del workshop di sviluppo del turismo speleologico, Crispiano. *Geologi e territorio*.

Regione Puglia (2016), Piano di Gestione SIC IT9130005 "Murgia di Sud-Est", 2016, 13-16.

Figura 1 - Areale delle Gravine e delle Murge Orientali (PDG Murgia Sud-Est); monitoraggio dei Chirotteri nelle grotte del Parco Naturale Regionale Terra delle Gravine (Archivio gruppo Speleologico Martinese).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

La fruizione viene dopo la tutela! L'esperienza del Parco regionale dei gessi bolognesi

David Bianco ([a]), Monia Cesari ([a]),

([a]) Ente di gestione per i Parchi e la Biodiversità Emilia Orientale,
david.bianco@enteparchi.bo.it, monia.cesari@enteparchi.bo.it

Parole chiave: affioramenti gessosi, aree protette a tema carsico, fruizione dell'habitat carsico e delle grotte, divulgazione del patrimonio carsico-speleologico
Keywords: gypsum karst, karst protected natural areas, use of the karst habitat and caves, dissemination of the karst-speleological heritage.

Sulle prime colline a Est della città di Bologna, dal 1988 è istituito un Parco regionale a tutela degli affioramenti dei Gessi Messiniani e dei relativi fenomeni carsici. Dagli anni '90 l'Ente Parco ha in corso esperienze di tutela, gestione e valorizzazione del fragile habitat carsico, conducendo attività ed esperienze di interesse sul tema della fruizione in ambito speleologico.

L'area dei Gessi Bolognesi costituisce un geosito carsico di importanza internazionale, un parco naturale di grande valore naturalistico e scientifico, un vero *hot spot* per la biodiversità su più livelli (a scala regionale, nazionale ed europea) e, infine, un luogo di notevole pregio paleontologico, archeologico, paesaggistico e culturale. Dal 1995, il Parco, grazie in particolare alla presenza degli affioramenti gessosi e della chirotterofauna troglofila, è stato designato come Sito della Rete Natura 2000 dell'Unione europea: il Sito è ora riconosciuto come ZSC-ZPS IT4050001 "Gessi bolognesi, Calanchi dell'Abbadessa".

L'estrema vicinanza con la Città Metropolitana di Bologna è un ulteriore elemento da considerarsi esaminando l'attività dell'Ente Parco, sia in termini di possibili pressioni e minacce al patrimonio naturale, che in termini di opportunità relativamente alla fruizione, divulgazione e attività di ricerca e collaborazione con le scuole e le università. Questa prossimità con Bologna è inoltre alla base della stretta relazione con i Gruppi Speleologici cittadini (GSB-USB; CVSC) e con la Federazione speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna (FSRER).

Oltre ad una complessa azione di tutela del patrimonio ambientale del Parco, l'Ente in oltre trent'anni di gestione ha sviluppato una specifica azione di fruizione e divulgazione del patrimonio carsico, muovendosi in più direzioni e con differenti modalità. Su tale azione è opportuno confrontarsi con i diversi *stakeholder*, in particolare con la speleologia organizzata e con il mondo delle Aree protette con tematismo carsico-speleologico.

La fruizione avviene proponendo due tipi di esperienze e attività:

- escursioni guidate sugli affioramenti gessosi per comprendere i fenomeni carsici di superficie (bolle, candele, *karren*, doline, valli cieche, …) e consentire la lettura del complesso paesaggio carsico;
- escursione guidate in grotte (Grotta della Spipola, Grotta del Farneto, Buco dei Vinchi).

Destinatari di tali iniziative sono sia scuole e gruppi di minori organizzati (centri estivi, gruppi scout, …), sia gruppi di visitatori che aderiscono a programmi di iniziative dell'Ente.
La fruizione delle grotte organizzata dall'Ente a partire dai primi anni '90, si è mossa su questi principi vincolati:

- analizzando la compatibilità ambientale della fruizione, a partire dalla vulnerabilità ben nota dell'habitat cavernicolo; ciò comporta studiare il possibile impatto (in particolare sul microclima e sui chirotteri); tutte le uscite nelle grotte del Parco vengono registrate, direttamente o attraverso i Gruppi; molte grotte sono protette da cancelli e l'accesso è limitato o interdetto;
- considerando la problematica della sicurezza degli ambienti carsici in gesso, spesso alterati da attività estrattive;
- assumendo come prioritaria la sicurezza del visitatore privo di competenza speleologica: la fruizione avviene in grotte che tecnicamente non possono essere propriamente definite "turistiche" per quello che il termine significa nell'accezione corrente.

Analizzando l'esperienza dell'Ente Parco, si darà conto dei flussi di visitatori coinvolti, delle attività di educazione ambientale sul tema del carsismo e dell'ecosistema cavernicolo e di altre peculiari iniziative che hanno visto utilizzare l'ambiente carsico per eventi culturali teatrali o musicali.
Per gli accompagnamenti e le attività didattiche, l'Ente si avvale di cooperative che forniscono guide ambientali con specifica competenza speleologica.
Gli accompagnamenti domenicali alla Grotta della Spipola e alla Grotta del Farneto vengono realizzati – in convenzione - anche da volontari dei due Gruppi speleologici bolognesi, ossia rispettivamente il CVSC e il GSB-USB.
La divulgazione di questo tematismo si svolge in vario modo: pubblicazioni, dépliant specifici, segnaletica, foto e video, anche in modalità nuove (vedi il "video immersivo" per la Grotta del Farneto).
"Primum non nocēre" è una massima attribuita allo scienziato greco Ippocrate, padre della medicina, e ci pare pertinente anche nel caso di un Parco naturale. Questo "principio di precauzione" andrebbe seriamente tenuto in considerazione ogni volta che si interagisce con il patrimonio naturale – specie quello carsico, tanto vulnerabile nelle sue delicate componenti - come peraltro espressamente raccomandato dall'Unione europea.
Alla luce di tale principio, l'Ente Parco si ispira al mantenimento dell'equilibrio degli ecosistemi cavernicoli e carsici e alla tutela dei pipistrelli o di altra fauna o della delicata flora dei gessi, ogni volta che deve valutare l'impatto della fruizione.
Fruire habitat rocciosi e grotte significa, infatti, considerare preventivamente e con attenzione la presenza di comunità vegetali localizzate e di habitat di vita di particolari specie animali, in particolare dei chirotteri troglofili, misurando l'effetto della frequentazione sul breve e medio-lungo periodo.

L'occasione del Congresso nazionale è dunque il momento opportuno per discutere sul tema della fruizione di un ambiente vulnerabile in modo consapevole.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Quando la Speleologia si fa patrimonio dell'UNESCO, andare in grotta nel Parco dell'Etna

Salvatore Caffo ([a]), Giuseppe Priolo([b])

([a]) Parco dell'Etna, *salvocaffo@parcoetna.it*
([b]) Gruppo Grotte Catania del Club Alpino Italiano Sezione dell'Etna, *picchiospeo@gmail.com*

Parole chiave: Etna, grotte vulcaniche, Parco Etna, lava tubes
Keywords: Etna, volcanic caves, Etna Park, lava tubes

Introduzione

Le attività speleologiche sull'Etna presentano una storia lunga, incominciata alla fine del XIX secolo, con escursioni organizzate dal Club Alpino Italiano di Catania già nel 1882.

Con l'istituzione del Parco dell'Etna, avvenuta nel 1987, le attività speleologiche organicamente organizzate sin dal 1933, ricevono nuovi stimoli perché il Parco diventa il naturale collettore delle informazioni e delle ricerche svolte dagli speleologi etnei e d'oltre stretto. In tal senso l'Ente Parco dell'Etna, nel 1999 si è fatto promotore dell'organizzazione del "IX Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia" e della pubblicazione del volume "Dentro il Vulcano, Le grotte dell'Etna", nel 2021 ha patrocinato il "XIX International Symposium on Vulcanospeleology", tenutosi a Catania.

Le cavità etnee, ovviamente vulcaniche, censite a oggi sono quasi trecento, l'80% ricadono all'interno del Parco che con i suoi 59.000 ha rappresenta un enorme laboratorio naturale.

Nel 2013 il Monte Etna è stato iscritto nella World Heritage List con la seguente motivazione: *"Mount Etna is one of the world's most active and iconic volcanoes, and an outstanding example of ongoing geological processes and volcanic land-forms. The stratovolcano is characterized by almost continuous eruptive activity from its summit craters and fairly freqquent lava flow eruptions from craters and fissures on its flanks.*

This exceptional volcanic activity has been documented by humans for at least 2,700 years – making it one of the world's longest documented records of historical volcanism. The diverse and accessible assemblage of volcanic features such as summit craters, cinder cones, lava flows, lava caves and the Valle de Bove depression have made Mount Etna a prime destination for research and education.

Today Mount Etna is one of the best-studied and monitored volcanoes in the world, and continues to influence volcanology, geophysics and other earth science disciplines. Mount Etna's notoriety, scientific importance, and cultural and educational value are of global significance".

Figura 1 – Monitoraggio chirotteri all'interno delle grotte dell'Etna – Grotta dell'Intralio, Myotis sp. – Foto Giuseppe Priolo, 2014

Criteri di ricerca scientifica e fruizione

Con l'istituzione del Parco, tutte le attività di ricerca scientifica sono state oggetto di specifica autorizzazione, la collaborazione tra i gruppi speleologici e il Parco ha ovviamente subito una naturale regolamentazione, stimolando spesso ricerche di spessore (nda: Monitoraggio dei depositi di ghiaccio all'interno della *Grotta del Gelo*; scoperta della *Solariola Bucolorum*, nuova specie, all'interno della *Grotta di Piano Porcaria*, Catalogo delle mineralizzazioni secondarie all'interno di alcune grotte etnee, Censimento dei chirotteri nelle grotte etnee (fig. 1)).

Figura 2 – Campo per la ricerca di nuove grotte in Valle del Bove – Foto Giuseppe Priolo, 1996

La catalogazione delle grotte etnee, avviata dall'inizio degli anni Trenta dello scorso secolo grazie all'intuizione di Francesco Miceli, e proseguita in maniera sistematica dal 1975 con la pubblicazione del lavoro *Grotte Vulcaniche di Sicilia*, curata da Fabio Brunelli e Blasco Scammacca, sino ai giorni nostri dagli stessi autori e dai loro collaboratori è tra le attività che il Parco ha supportato e stimolato, concedendo tutti i permessi necessari (fig. 2). I risultati vengono periodicamente comunicati al Parco tramite la consegna delle pubblicazioni.

La fruizione delle grotte all'interno del Parco è regolamentata dalle norme che definiscono i criteri generali di svolgimento delle attività escursionisti-che. Non esistono particolari limitazioni se non quelle dettate dal prudente approccio alla montagna o dal rischio vulcanico che sull'Etna è sempre presente.

Riferimenti bibliografici

Barone G., Mazzoleni P., Priolo G. (2014), "Catalogo delle mineralizzazioni secondarie riscontrate all'interno di alcune grotte vulcaniche etnee", *Atti XXII Congresso Nazionale di Speleologia "Condividere i dati"*, 99 – 109, Pertosa Auletta

Bello C., Osella G., Baviera C. (2019), "A taxonomic monograph of the genus Solariola Flach, 1908 (Coleoptera: Curculionidae: Entiminae)", Zootaxa, 4676: 1-261.

Brunelli F., Scammacca B. (1975), *Grotte vulcaniche di Sicilia, notizie catastali*, CAI Catania, Catania.

Caffo S. e Marino A (1999), "Il monitoraggio della Grotta del Gelo", *Atti del IX Simposio Internazionale di Vulcanospeleologia*, 175-180

Caffo S. (1999), "Salvaguardia e fruizione delle Grotte etnee Salvaguardia e Valorizzazione"*, Dentro il Vulcano*, a cura del Centro Speleologico Etneo, Parco dell'Etna, Nicolosi (CT).

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Speleologia ad impatto minimo: caso di studio della Grotta Sant'Angelo di Ostuni

Roberta Capitanio ([a]), Emanuela Derossi ([a]), Ferdinando Didonna ([b]), Fedele Messina ([c]), Rosa Vilardi ([c])

([a]) *GEOS Ostuni*, capitanio.roberta@libero.it, emanuela.derossi@gmail.com
([b]) SSI, *ferdinando.didonna@socissi.it*
([c]) *GGM-Kalipè,* messina.fedele@gmail.com, rosa.vilardi@gmail.com

Parole Chiave: Protocolli di conservazione delle grotte; speleologia a impatto minimo.
Keywords: Cave conservation protocols; minimum impact caving

Le Grotte Sant'Angelo della Cava e Sant'Angelo Preistorica (PU42 e PU374 - Catasto delle Grotte Naturali della Federazione Speleologica Pugliese) sono un punto di riferimento nella speleologia pugliese.
Esplorate dalla Comm. Boegan S.A.G. CAI (TS) e G.G. Grottaglie a partire dal 1957 (De Pasquale, 1997), sono oggi meta di diversi corsi di speleologia e studi specifici che ne contribuiscono alla valorizzazione richiedendo una maggior attenzione alla protezione delle cavità oggetto di questo studio.
In particolare la grotta Sant'Angelo della Cava si apre in Località San Leonardo ai margini di un terrazzamento di calcare cretaceo, conosciuto come Calcare di Ostuni, con una evidente serie di gradini che si sviluppano in direzione WNW-ESE (De Pasquale, 1997).
Il presente caso di studio si basa sul paradigma di ricerca-azione, dove le azioni di ricerca sono una tappa, per gli speleologi vicini a questa grotta, nello stabilire un ben definito percorso interno, che riduca il calpestio in più parti della grotta contemporaneamente alle azioni di ripristino e pulizia per arrivare a un protocollo di visita ad impatto minimo.
La definizione di percorsi specifici ha già avuto una rilevanza nella gestione della Grotta Lechuguilla nel *Carlsbad Caverns National Park*, New Mexico (Burger, 2008) e in molte altre grotte dove sono necessarie maggiori misure di protezione e gestione; gli speleologi sono sempre fra i fautori di tali azioni in quanto sensibili alle misure di protezione oggi sempre più necessarie per una corretta fruizione di un importante sito sotterraneo come il complesso Sant'Angelo.
I protocolli di visita sono una serie di indicazioni che definiscono vari aspetti sia quantitativi, come il numero di persone che accedono in uno spazio e tempo determinato, che qualitativi, come il comportamento durante la progressione e l'uso di tecnologie sempre più appropriate; tali azioni devono sempre più far parte del *modus operandi*, dello speleologo che è colui che studia e percorre le grotte in sicurezza e con il minimo impatto per le stesse.

La Grotta Sant'Angelo della Cava oggetto delle azioni, si sviluppa lungo un sistema di diaclasi fra loro parallele e intersecanti; le vie principali si sviluppano in due direzioni, verso SE e verso O. Sono stati mappati più di 200 segni e graffiti frutto di alcuni atti di vandalismo a testimonianza di una forte frequentazione in alcune parti del percorso (fig. 1-2). Alcuni segni presenti nelle parti iniziali sono stati oggetto di pulizia da parte del gruppo di lavoro (fig.3). Alcune aree sono state naturalmente riservate a poca frequentazione ed esiste una coscienza nella fruizione di molti speleologi che si potenzia con le azioni di pulizia e la pratica di speleologia a basso impatto.

Riferimenti bibliografici

Burger P. (2008), *Lechuguilla Cave Newsletter*, Issue 3(6) Winter, 2007-2008 National Park Service U.S.A.

De Pasquale M. (1997), Il Complesso delle Grotte Sant'Angelo di Ostuni. *Speleologia*, 37: 41-48.

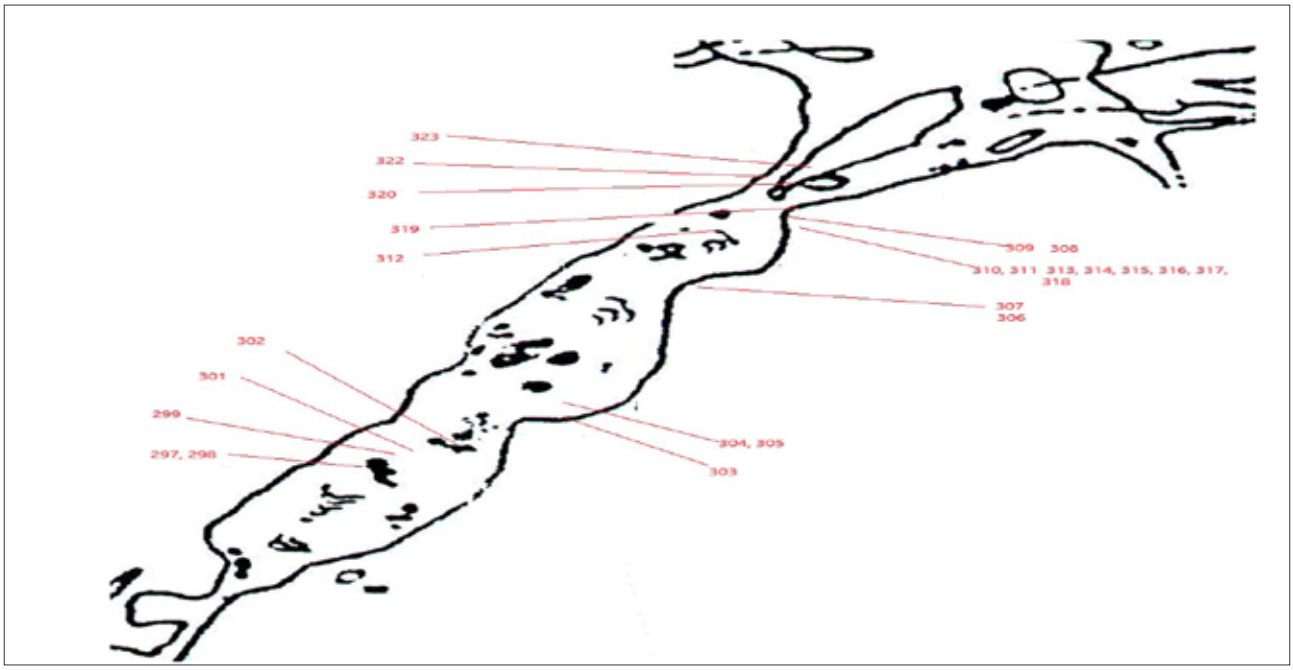


Figura 1 - Mappatura atti di vandalismo; Autore: Fedele Messina.

Figura 2 - Atti di vandalismo nelle zone iniziali. Foto F. Didonna

Fig.3 - Pulizia di alcuni segni. Foto F. Messina

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le grotte protette della Sicilia: opportunità e criticità

Giulia Casamento ([a]), Vincenza Messana ([b])

([a]) Riserva Naturale "Grotta di Santa Ninfa" – Legambiente Sicilia, *santaninfa@legambienteriserve.it*
([b]) Riserva Naturale "Grotta di Entella " - CAI Sicilia, *grottaentella@libero.it*

Parole chiave: Aree protette; Riserve naturali; protezione dell'ambiente
Keywords: protected areas; Natural reserves; environmental protection

In Sicilia le LL.RR. 98/81 e 14/88 su Parchi e Riserve naturali hanno permesso l'istituzione di n. 74 Riserve, un dato significativo nel panorama nazionale in materia di protezione dell'ambiente. Tralasciando le grotte che ricadono all'interno di aree naturali protette il cui motivo istitutivo esula dall'aspetto carsico/speleologico, ben 12 riserve naturali sono state istituite per la salvaguardia specifica degli ambienti ipogei di particolare interesse geologico, geomorfologico, speleologico e paleontologico, che si sviluppano non solo in rocce calcaree ma anche in rocce gessose e vulcaniche (Casamento et al., 2004; De Waele et al., 2017; Di Maggio et al., 2012). Molte di queste Riserve sono gestite da Associazioni ambientaliste, attraverso apposite convenzioni con l'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente. 11 Riserve si identificano quali "Riserve naturali integrali", soltanto una quale "Riserva Naturale Orientata". Tutte le 12 Riserve sono caratterizzate da zone B di preriserva e da zona A di massima protezione, coincidenti con gli ipogei.
I decreti istitutivi delle Riserve contengono i Regolamenti che ne disciplinano le attività consentite, e l'accesso alle zone ipogee è vietato senza l'autorizzazione dell'Ente gestore e senza il supporto del personale o di apposite guide speleologiche incaricate dallo stesso.
I vari Enti gestori operano, per il raggiungimento delle finalità istitutive, avvalendosi anche del supporto di gruppi speleologici e di Università, promuovendo la ricerca scientifica (esplorazioni speleologiche, monitoraggi climatici, studi geomorfologici, idrogeologici, entomologici, faunistici), la conoscenza e la divulgazione dei principali aspetti degli ambienti carsici tutelati, la didattica e l'educazione ambientale sul carsismo, l'inserimento delle grotte nella banca dati dei Geositi.
Pur essendo evidenti i risultati ottenuti sul piano della tutela, l'attuazione della normativa regionale sconta evidenti ritardi e difficoltà e ciò comporta che la programmazione espressa dagli Enti gestori non si sia potuta realizzare pienamente, mortificando aspettative e potenzialità: mancano un coordinamento e una strategia regionale, idonee risorse finanziarie, in molti casi l'acquisizione al demanio regionale delle aree epigee (che rimangono di proprietà privata) funzionali alla protezione dei delicati equilibri degli am-

DENOMINAZIONE	ENTE GESTORE	N° CATASTO	NOTE
R.N.I. Grotta di Entella	CAI Sicilia	SI/PA 310	grotta nei gessi
R.N.I. Monte Conca	CAI Sicilia	SI/CL 3000	grotta nei gessi
R.N.I. Grotta Conza	CAI Sicilia	SI/PA 60	grotta nei calcari
R.N.I. Grotta di Santa Ninfa	Legambiente Sicilia	SI/TP 8000	grotta nei gessi
R.N.I. Grotta di Carburangeli	Legambiente Sicilia	SI/PA 111	grotta nei calcari
R.N.I. Sant'Angelo Muxaro	Legambiente Sicilia	SI/AG 2008	grotta nei gessi
R.N.O. Molara	GRE	SI/PA 53	grotta nei calcari
R.N.I. Puntali	GRE	SI/PA 113	grotta nei calcari
R.N.I. Complesso Immacolatella-Micio Conti	CUTGANA	SI/CT 1015-16-20-21-22	cavità vulcaniche
R.N.I. Complesso Villasmundo- S. Alfio	CUTGANA	SI/SR 7031-32	grotte nei calcari
R.N.I. Grotta Monello	CUTGANA	SI/SR 7007	grotta nei calcari
R.N.I. Grotta Palombara	CUTGANA	SI/SR 7001	grotta nei calcari

Elenco delle riserve naturali istituite per la salvaguardia specifica degli ambienti ipogei

bienti ipogei, l'adeguamento dei confini e dei Regolamenti delle Riserve per una più efficace tutela delle emergenze carsiche.

Riferimenti bibliografici

Casamento G., Dimarca A., Mento G., Messana V. (2004), "La tutela delle aree carsiche gessose in Sicilia: status e prospettive" in Forti P. (a cura di), *Gypsum karst areas in the world: their protection and tourist development*, Mem. Ist. It. Speleol., II(16): 115-124

De Waele J, Piccini L., Columbu A., Madonia G., Vattano M., Calligaris C., D'Angeli I.M., Parise M., Chiesi M., Sivelli M., Vigna B., Zini L., Chiarini V., Sauro F., Drysdale R., Forti P. (2017), "Evaporite karst in Italy: a review", *International Journal of speleology,* 46 (2): 137-168

Di Maggio C., Madonia G., Parise M, Vattano M. (2012), "Karst of Sicily and its conservation", *Journal of cave and karst studies*, 74(2): 157-172.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il progetto Adriaticaves: speleologia e turismo nelle aree carsiche della regione adriatica

Veronica Chiarini ([a,c]), Massimiliano Costa ([a]), Oscar Zani ([a]), Elena Liberatoscioli ([b]), Mariano Spera ([b]), Marco Carafa ([b]), Luciano Di Martino ([b]), Jo De Waele ([c])

([a]) Ente di gestione per i Parchi e la Biodiversità – Romagna, Riolo Terme (RA), *veronica.chiarini3@gmail.com, massimiliano.costa@regione.emilia-romagna.it, oscar.zani@regione.emilia-romagna.it*
([b]) Ente Parco Nazionale della Majella, Sulmona (AQ), *elena.liberatoscioli@parcomajella.it, mariano.spera@parcomajella.it, marco.carafa@parcomajella.it, luciano.dimartino@parcomajella.it*
([c]) Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, *jo.dewaele@unibo.it*

Parole chiave: escursionismo; turismo sostenibile; parchi; gestione; grotte
Keywords: excursionism; sustainable tourism; parks; management; caves

"Adriaticaves" è uno dei progetti che sono stati finanziati dal Programma Europeo transnazionale Interreg ADRION 2014-2020, finalizzato allo sviluppo delle realtà regionali, alla tutela del patrimonio naturale e culturale e alla sostenibilità ambientale. Il tema principale di questo progetto ha riguardato la gestione sostenibile e la promozione turistica dei siti sia naturali che culturali legati agli ambienti carsici della regione Periadriatica. I sette partner che hanno fatto parte del Progetto Adriaticaves comprendono sia enti pubblici di gestione territoriale e/o di aree naturali, che soggetti privati legati alla piccola-media impresa. Si tratta, in particolare, di: parco Nazionale della Majella (Abruzzo, Italia), ente capofila, Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità – Romagna (Emilia-Romagna, Italia), Parco Naturale di Velebit (Croazia), Città di Cačak (Serbia), Ente di Gestione delle Aree Protette di Sarajevo (Bosnia ed Erzegovina), distretto regionale di Scutari (Albania) e grotta turistica di Lipa (Montenegro).

Attraverso una stretta collaborazione tra questi partecipanti, il progetto, terminato nel corso del 2021, si è proposto come scopo finale quello di creare una sorta di "marchio di qualità" che identifichi e metta in rete le grotte visitabili dei paesi che si affacciano sull'Adriatico e che sono gestite in maniera sostenibile. Nel corso del suo svolgimento sono state realizzate diverse attività che hanno spaziato dalla promozione turistica dei siti in oggetto, attraverso la realizzazione di pacchetti turistici costruiti rispettando le linee guida raccolte e sviluppate nel corso del progetto stesso, alla formazione scientifico-naturalistica delle speleo-guide che hanno aderito al progetto, al monitoraggio dei parametri microclimatici delle grotte per identificarne le dinamiche ambientali ed eventuali cri-

ticità in modo da gestirne al meglio la fruizione turistica fino a veri e propri interventi per migliorare l'accessibilità di alcuni siti turistici e migliorarne le condizioni ambientali. Nell'ambito del Progetto Adriaticaves è stato inoltre realizzato un "Action Plan" contenente le indicazioni sulle azioni da intraprendere per tutelare l'habitat 8310 della Direttiva Habitat (92/43/CEE), che identifica le grotte non aperte al pubblico. Tutti i dati raccolti nel corso del progetto sono stati utilizzati per realizzare un documento finale, chiamato "Carta delle Grotte", che racchiude le linee guida esistenti riguardanti la frequentazione e gestione sostenibile di questi ambienti e le integrazioni prodotte nel corso del progetto. Il progetto si è concluso con la pubblicazione di un libro fotografico che descrive molti dei siti carsici sotterranei dell'area circum-adriatica (Liberatoscioli, 2021).

Per quanto riguarda il territorio gestito dall'Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità – Romagna, tre grotte sono state inserite nel progetto: Onferno (Gemmano, RN), Tanaccia (Brisighella, RA) e Re Tiberio (Borgo Rivola, RA) (Chiarini et al., 2020). Si tratta di grotte parzialmente attrezzate per visite turistiche in cui le visite vengono effettuate solo con accompagnamento da parte di una guida specializzata sull'ambiente sotterraneo. È possibile visitarle sia con percorsi turistici (presenza di passerelle artificiali; Grotta di Onferno e i primi 60 m della Grotta del Re Tiberio), che con percorsi speleologici che prevedono, quindi, figure di accompagnamento specializzate sia dal punto di vista tecnico che scientifico-naturalistico. Grazie al finanziamento del progetto Adriaticaves è stato inoltre possibile aprire al pubblico la cava romana di *lapis specularis* presso Ca' Toresina e migliorare l'accessibilità e l'offerta didattica del sito ex-cava Marana.

Per il Parco Nazionale della Majella le grotte inserite sono state la Grotta Nera, con i suoi spettacolari speleotemi di *moonmilk*, la Grotta delle Praie e la Grotta Scura. La prima, vista la delicatezza, è visitabile solo raramente, e principalmente solo per studi scientifici, la seconda è oggetto di visite speleologiche organizzate nelle stagioni in cui non sono presenti chirotteri, mentre la terza è un sito archeologico visitato soprattutto per attività didattico-divulgative. Da ricordare che in questo territorio insiste anche la Grotta del Cavallone, grotta sulfurea turistica.

Riferimenti bibliografici

Chiarini V., Costa M., Zani O., De Waele J. (2020). "The Interreg ADRION Adriaticaves Project – Sustainable Management and tourist Promotion of Natural and Archaeological Heritage in the Territory for Parks Management and Biodiversity – Romagna (Italy)", *Proceedings of the VIth Symposium on Conservation of Protected Areas – Premise of sustainable development*, Tulcea (Romania) 26-27 September 2019, 29-36.

Liberatoscioli E. (a cura di) (2021). *The Book of Caves of the Adriatic and Ionian areas*. Tipografia Commerciale, Ravenna, 215 p.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Fondazione MIdA, verso la gestione sostenibile del turismo in grotta

Francescantonio D'Orilia ([a]), Rosangela Addesso ([a,b])

([a]) Fondazione MIdA, Pertosa (SA) Italia, *info@fondazionemida.it*
([b]) Università degli Studi di Salerno, Fisciano (SA) Italia, *addros04@gmail.com*

Parole chiave: Grotte; turismo; divulgazione; sostenibilità
Keywords: Caves; tourism; dissemination; sustainability

Le grotte di Pertosa-Auletta (Salerno, Italia) rappresentano uno dei sistemi carsici più importanti dell'Italia meridionale, riconosciuto dall'Unesco nell'ambito del Geoparco "Cilento, Vallo di Diano e Alburni" quale geosito focale per il suo importante patrimonio speleologico e geologico. Definita "la Postumia del Mezzogiorno" fin dai primi anni del '900, questa grotta ha costituito un importante attrattore nell'ambito territoriale di riferimento attirando ogni anno migliaia di visitatori (~65.000) da ogni parte del mondo.
La Fondazione MIdA-Musei Integrati dell'Ambiente, che gestisce da oltre 15 anni il sito speleologico, ha acquisito una notevole esperienza nello sviluppo di strategie di gestione sostenibile del geoturismo, volte alla conoscenza e diffusione, nonché alla tutela e conservazione, del patrimonio naturalistico ipogeo.

Con numerosi progetti di promozione turistica, la Fondazione è riuscita a creare una sinergia tra le diverse realtà culturali e ricreative del territorio ma soprattutto tra le realtà speleologiche turistiche del territorio del Parco Nazionale. Il progetto "Tre grotte, tre fiumi" mira alla realizzazione di un itinerario turistico inedito, in grado di valorizzare contesti naturalistici e di grande fascino. Il percorso ideato per questo itinerario si snoda lungo tutta l'estensione del Parco del Cilento, Vallo di Diano e Alburni, collegando tre siti speleologici tra i più suggestivi e rappresentativi del patrimonio carsico della Regione Campania: le Grotte di Castelcivita, le Grotte di Pertosa-Auletta e la risorgiva di Morigerati. Tre cavità naturali strettamente legate al corso di altrettanti fiumi: il Bussento a Morigerati, il Tanagro a Pertosa-Auletta e il Calore a Castelcivita. Grotte e fiumi sono i segni naturali che caratterizzano il paesaggio conferendogli una fisionomia unica. La fruizione turistica di questi elementi naturali costituisce un modo nuovo e consapevole di godere della bellezza della Natura, un modo per comprenderne le leggi e rispettarne il ruolo che da sempre ha rivestito e riveste per la sopravvivenza del genere umano.

La Fondazione MIdA è impegnata da decenni nella promozione della ricerca scientifica allo scopo di conoscere, per meglio preservare e tutelare, tutti gli aspetti legati alla speleogenesi e alla

"vita" nel sito carsico che gestisce, così da poter garantire un'offerta turistica di qualità ma contemporaneamente operare per la sensibilizzazione del grande pubblico alle tematiche dell'ambiente e della salvaguardia delle risorse naturali del nostro pianeta.

Infatti, la Fondazione ha messo in campo una serie di attività culturali e didattico-ricreative collaterali, sensibilizzando le comunità locali e i turisti che provengono da diverse parti del mondo al valore ambientale e paesaggistico delle grotte ed impegnandosi nella creazione di nuova conoscenza attraverso la ricerca, grazie alla collaborazione con diversi istituti nazionali ed internazionali e con il supporto di diversi gruppi speleologici locali (Gruppo Speleo Alpinistico Vallo di Diano, Gruppo Speleo Melandro…). Oltre alle grotte, infatti, il sistema MIdA è costituito dal Museo Speleo-Archeologico e dal Museo del Suolo. Qui, i visitatori vengono accompagnati alla scoperta del mondo sotterraneo e dell'importante giacimento archeologico custodito dalle Grotte, relativo ad un insediamento palafitticolo preistorico risalente a 3500 anni fa. Le visite a queste due strutture museali e le attività esperienziali offrono la possibilità di conoscere, attraverso un approccio interdisciplinare, il sottosuolo e gli ambienti ipogei, spaziando dal carsismo all'archeologia, dalle funzioni ecologiche svolte dal suolo alla biodiversità che esso "nasconde". Le due strutture museali costituiscono importanti centri di divulgazione scientifica, disseminando i risultati delle ricerche svolte dai ricercatori che collaborano con la Fondazione ben oltre nel territorio di afferenza, come dimostrano i due premi ricevuti dalla FAO proprio per il riconoscimento internazionale delle attività di divulgazione scientifica e sensibilizzazione svolte da questo Ente.

L'impegno e il valore delle attività svolte dalla Fondazione MIdA si registrano anche nel campo sociale, come dimostra la collaborazione con il mondo speleologico, concretizzatasi nell'organizzazione di "Diversamente Speleo", un evento che dal 2017, in collaborazione con il Gruppo Speleologico della sezione di Salerno del Club Alpino Italiano, consente di far vivere l'esperienza speleologica a persone con disabilità. E poi l'adesione a "Puliamo il buio", in collaborazione con la Società Speleologica Italiana, per esplorare insieme ai gruppi speleologici ambienti non frequentati quotidianamente allo scopo di verificarne lo stato di salute e di pulizia.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Il Marguareis: laboratorio di collaborazione tra speleologia e aree protette

Ezio Elia, Valter Calleris

Gruppo Speleologico Alpi Marittime C.A.I. Cuneo, *elialerda@alice.it*

Parole chiave: parchi naturali; infrastrutture; speleologia; sinergia
Keywords: nature parks; infrastructure; speleology; synergy

Fin dalla nascita, tra i primi Parchi Regionali piemontesi nel 1978, l'allora parco Alta Valle Pesio, (attualmente Parco del Marguareis amministrato dall'Ente di Gestione aree protette Alpi Marittime) ebbe gli eccezionali fenomeni carsici del Marguareis tra la principali motivazioni di ordine naturalistico che ne motivarono la costituzione. La collaborazione con la speleologia per conoscere e descrivere il fenomeno carsico fu quindi immediata e divenne determinante per motivare l'ampliamento alla Mirauda e alle aree brigasche: nei documenti ufficiali troviamo infatti i contributi puntuali di speleologi piemontesi. Ricapitoliamo il percorso di oltre 50 anni di storia vissuta assieme:
I rifugi speleo nel parco. Dal 1967 la Capanna Saracco Volante (Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET Torino, 2200m, Conca di Piaggia Bella) e dal 1977 la Capanna Morgantini (Gruppo Speleologico Alpi Marittime, CAI Cuneo, 2237 m, Conca delle Carsene), comune di Briga Alta, Cuneo sono base per le esplorazioni di speleologi e stage di geologi, punto di appoggio per Soccorritori, Guardiaparco e Volontari per esercitazioni ed operazioni di soccorso ed assistenza a manifestazioni ciclistiche e podistiche.

Dialogo strutturato attraverso Commissioni e tavoli per contribuire a definire regole di fruizione e programmi di attività e **Produzione materiali divulgativi:** numeri speciali e articoli specifici in Piemonte Parchi (*Rivista della Regione Piemonte*), volume "Marguareis per Viaggiatori", disponibilità gratuita di foto, realizzazione di proiezioni congiunte, produzione di materiale didattico tematico (es. il sentiero Carnino – Viozene).

Collaborazione scientifica.
Operazione Belushi 2000. Il 14-16 Luglio 2000, con base alla Capanna Morgantini esercitazione nazionale del Gruppo Lavoro Disostruzione (GLD) CNSAS-CAI presso l'Abisso John Belushi con l'utilizzo di circa 250 microcariche esplosive abbinata una ricerca sugli aspetti medici ed ambientali delle disostruzioni in collaborazione con l'Azienda Ospedaliera S. Croce e Carle di Cuneo ed il fisico Giovanni Badino. Gli operatori sono stati sottoposti ad Audiometria, Spirometria, prelievi ematici per il dosaggio di Carbossiemoglobina e Metemoglobina, misurazioni di Pressione Arteriosa, Frequenza Cardiaca e Saturazione periferica di Ossigeno. Sono anche stati valutati l'intensità

del suono e delle vibrazioni sviluppate dalle esplosioni ed il formarsi di gas tossici, le correnti d'aria, la temperatura ed il Monossido di Carbonio nell'ambiente (AA.VV., 2005). I Comuni ed il Parco hanno coraggiosamente sostenuto un'iniziativa molto particolare ed i Guardiaparco hanno assicurato la logistica anche notturna con l'Ospedale. E' stata validata la sicurezza per gli operatori e l'ambiente delle tecniche disostruttive e dei dispositivi di protezione individuale e a tutt'oggi rimane questo lo studio di riferimento. Le tecniche della disostruzione così certificate hanno poi trovato impiego anche all'esterno nel Parco Alpi Marittime per liberare il 17/7/2004 un alpinista incastrato in fessura sul Monte Stella (Valle Gesso) e per sistemare il sentiero per il Gias del Vaccarile (Valle Pesio). Dopo la messa in sicurezza dell'Abisso sono stati esplorati 10 km di gallerie prima solo ipotizzate: con la giunzione al Complesso delle Carsene ne hanno portato lo sviluppo a circa 30Km.

Abisso Scarason. Famoso per gli esperimenti biomedici di Siffre, da 60 anni il ghiacciaio è sotto osservazione: origine fossile vs sublimazione inversa. Campionamento ghiaccio ipogeo per ricerca palinologica e avvio monitoraggio speleoclimatico (2001/02).

Abisso El Topo. Nel 2001 recupero e studio delle ossa di orso Arctos trovate sotto il primo pozzo della grotta.

Collaborazione con il parco per attività particolari.

Manifestazioni speleo: Ormea Marguà '94, Chiusa '98, Centenario del Pis 2005, Speleologia e Archeologia a confronto 2007, incontri alla Morgantini, Saracco e Don Barbera al Colle dei Signori

Pis del Pesio: sostegno logistico del Parco alle spedizioni più impegnative con trasporto all'ingresso di materiali per la progressione subacquea

Pulizia Campo Siffre: Il 15/16-9-2001 l'Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, (A.G.S.P.), in collaborazione coi guardiaparco recuperò due cestoni da elicottero pieni di rifiuti risalenti al campo interno del 1962 a 110 m di profondità nell'Abisso Scarason (Conca delle Carsene).

Manutenzione straordinaria strada "Alte Vie" e sentieri.

L'Alta Via del Sale. Gli speleologi contribuirono a mantenere percorribile la via di accesso alle terre alte del Parco sino ai grandi lavori del 2014 con la manutenzione ordinaria, il rifacimento, in territorio francese, di cinque ponti franati (i due sotto la Boaria, i due vicino al parcheggio della Morgantini e quello intermedio, vicino alla lapide), il consolidamento di terrapieni svuotatisi e rifacimento di muretti anche con calate su corda (in particolare sotto ai traversi della Perla) e la partecipazione all'iniziativa istituzionale "Alte Vie" ad opera della Provincia di Cuneo nel 2000.

Sentiero Vaccarile e vallone Marguareis: rimozione massi per consentire il transito del mulo del margaro.

Riferimenti bibliografici

AA. VV. (2005), "Tutela antropica nell'ambiente ipogeo: l'uso di esplosivo nell'ambito di operazioni di soccorso per incidenti in grotta", *Atti del Convegno Nazionale "L'ambiente carsico e l'uomo"* - Bossea 2003. Provincia di Cuneo, 2005.

Elia E. (2000), "Chiosando Chiusa '98", *Mondo Ipogeo,* 15: 124-126, 2000.

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le aree carsiche nelle evaporiti dell'Emilia-Romagna candidate a World Heritage dell'UNESCO per il 2023

Massimo Ercolani ([a]), Paolo Forti ([b])

([a]) Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna e Speleo GAM Mezzano, *massimoercolani55@gmail.com*
([b]) Istituto Italiano di Speleologia, Università di Bologna, *paolo.forti@unibo.it*

Parole chiave: Carsismo nelle evaporiti; salvaguardia; UNESCO
Keywords: Evaporite karst; safeguard; UNESCO

Gli speleologi dell'Emilia-Romagna possono a buon diritto essere considerati dei pionieri nel campo della salvaguardia ambientale in ambiente carsico: infatti già nel 1963 iniziarono la loro battaglia contro le cave di gesso che stavano distruggendo soprattutto il territorio di Bologna. Non appena fondata, la FSRER (Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna) appoggiò l'azione dei Gruppi Speleologici e portò alla chiusura definitiva delle Cave di Gesso in quasi tutto il territorio regionale. Dopo questo successo, si decise di "alzare la posta" richiedendo alle autorità territoriali di creare un centro naturalistico prima, e poi un vero parco regionale, per la salvaguardia e la valorizzazione ambientale dei fenomeni carsici nei Gessi Bolognesi. Anche questa iniziativa, dopo un paio di decenni di impegno costante, andò a buon fine. A seguire, sempre su sollecitazione speleologica, furono attivati nuovi parchi e nuove riserve, tanto che, dopo il primo decennio del terzo millennio, praticamente la quasi totalità dei fenomeni carsici nelle evaporiti della nostra regione poteva considerarsi del tutto protetta.

Nel 2015, poi gli speleologi dell'Emilia-Romagna, avendo realizzato che tutti i siti carsici presenti nella World Heritage List dell'UNESCO erano in roccia calcarea, decisero che era logico proporre l'inserimento delle grotte in gesso regionali per le loro peculiarità geologiche, geomorfologiche, speleogenetiche etc. Per questo (Forti, Ercolani 2016) la FSRER contattò l'amministrazione Regionale che, convinta della bontà della proposta, la fece propria nominando una commissione di esperti incaricata di occuparsi della lunga trafila scientifica e burocratica necessaria per arrivare a sottomettere una proposta definitiva che avesse possibilità di essere accettata dall'UNESCO (fig. 1). Dopo 5 anni di lavori in stretta connessione con il Ministero della transizione ecologica, nel febbraio di quest'anno si è riusciti nell'intento (Regione Emilia-Romagna 2022).

Nel dossier una parte fondamentale è quella rivolta alla comparazione tra le caratteristiche salienti delle evaporiti dell'ER e quelle delle altre analoghe zone del mondo (fig. 2), dato che,

espressamente, l'UNESCO richiede che le aree candidate siano in assoluto le migliori tra tutte quelle del nostro pianeta. L'analisi comparativa effettuata è stata poi confermata dalle lettere di supporto inviate praticamente da tutti i maggiori esperti mondiali di carsismo nelle evaporiti.

È quindi più che una semplice speranza quella di vedere, nel 2023, inseriti nella "World Heritage list" il carsismo nelle evaporiti dell'ER.

Tutto bene quindi? … non proprio: infatti la più grande cava di gesso al mondo sta continuando a distruggere una delle principali aree carsiche inserite nella proposta: la Vena del Gesso Romagnola all'altezza di Monte Tondo. Quindi l'ultima battaglia ancora da combattere è quella per la chiusura, nei prossimi 10 anni anche, di questo polo estrattivo, che potrebbe, in caso contrario, anche far decadere dalla lista dei siti UNESCO i nostri fenomeni carsici.

Riferimenti bibliografici

Forti P., Ercolani M. (2016), "Trasformare i gessi regionali in un World Heritage dell'UNESCO. La nuova sfida della FSRER", *Speleologia Emiliana*, V(7): 37-41

Regione Emilia Romagna (Editor) (2022) *Evaporitic Karst and Caves of Northern Apennines. Nomination Dossier for Inscription on the UNESCO Natural World Heritage*, 210 pp.

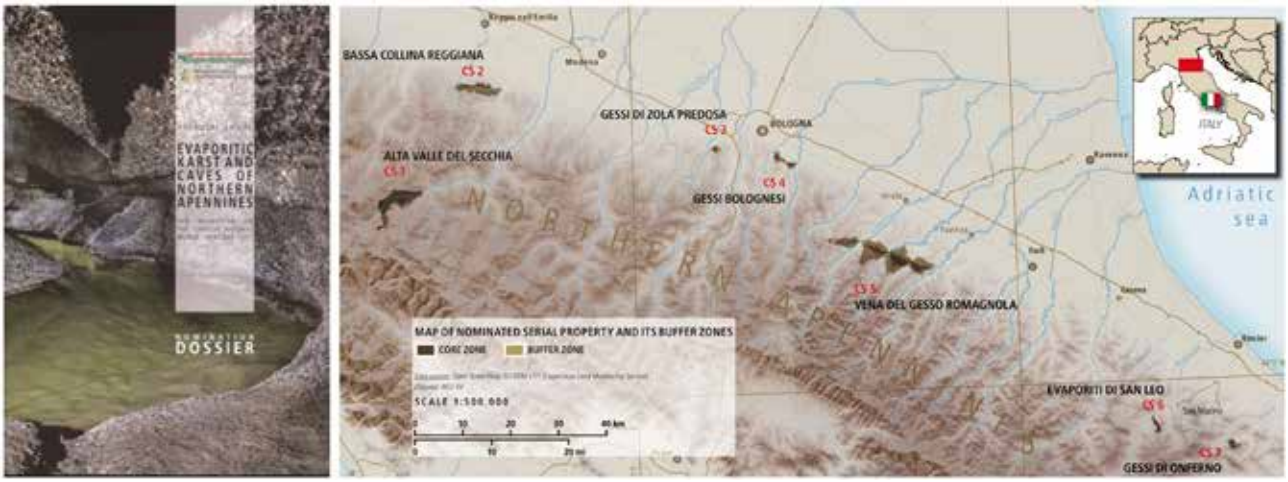


Figura 1 – A sinistra: copertina del "Nomination Dossier" inviato a Parigi dalla Regione Emilia-Romagna perché sia esaminato durante la riunione plenaria dell'UNESCO. A destra: Mappa con la "Core" e "Buffer" zone per ognuna delle 7 aree carsiche inserite nel Dossier.

Figura 2 – Localizzazione delle principali aree mondiali con carsismo nelle evaporiti

XXIII Congresso Nazionale di Speleologia
La melodia delle grotte
Ormea (CN) 2-5 giugno 2022
Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia
s. II, 42, 2022

Le grotte tra fragilità e turismo
Le esperienze in Romagna

Piero Gualandi

La Nottola Aps-Asd, *la@nottola.org*

Parole chiave: Grotte; turismo; sostenibilità; guide Speleologiche
Keywords: Caves; tourism; sustainability; speleological guides

La frequentazione delle Grotte, dove non è esplorazione o ricerca scientifica, è un delicato tema che si snoda tra educazione, turisticizzazione e intrinseca fragilità. Attraverso l'esperienza alle Grotte di Onferno e nel Parco della Vena del Gesso Romagnola, si riflette sul ruolo e sul valore aggiunto degli speleologi nel complesso intreccio di interessi e potenzialità che ruotano intorno alle grotte cosiddette "turistiche".

La Nottola Aps-Asd è un'associazione no profit costituita nel 2012 da speleologi, naturalisti e appassionati della Natura, che persegue finalità di promozione sociale attraverso la tutela e valorizzazione del patrimonio ambientale e naturale, attraverso lo svolgimento di attività speleologica e di ogni altra attività outdoor. Organizza e promuove attività sportive outdoor, si occupa di educazione ambientale per le scuole. Promuove lo sviluppo di un turismo responsabile, consapevole e rispettoso dell'ambiente e dell'uomo.

Dal 2015 La Nottola Aps-Asd gestisce le strutture e le attività di fruizione della Riserva Naturale Orientata di Onferno (RN): il Centro Visite, il Polo Didattico, il Museo Naturalistico, il Giardino sperimentale di educazione all'aria aperta e le visite guidate nelle Grotte di Onferno. Dal 2014 supporta attività di promozione e avviamento alla speleologia nel Parco Regionale della Vena del Gesso Romagnola dove, fino al 2017, ha anche gestito le visite guidate nella Grotta del Re Tiberio e dove ora si aprono nuovi interessanti confronti, prospettive e possibilità.

Il filo conduttore delle attività è l'obiettivo di "**educare in Natura**", consolidare la **conoscenza**, la **coscienza** e il **rispetto** del territorio nell'importanza degli equilibri degli ambienti naturali e dei loro ecosistemi. Nel 2021 questo spirito è stato condensato nel particolarissimo Corso "Speleo-Bimbi", in collaborazione con la Società Speleologica Italiana e il Corpo Nazionale del Soccorso Alpino e Speleologico - Emilia Romagna.

In sintesi: si può trasformare il *turismo* in *educazione*?

Indice degli articoli

33 Giachino Pier Mauro, Piano Elena e Serena Fabrizio
sessione scientifica: Biospeleologia

37 Addesso Rosangela, Baldantoni Daniela, De Waele Jo, Miller Ana Zelia
The lampenflora disease in show caves: testing the efficacy of the most used methods to control microbial growth.

41 Balestra Valentina, Lana Enrico, Carbone Cristina, De Waele Jo, Manenti Raoul, Galli Loris
Valutazione della dinamica distributiva degli invertebrati ipogei.

45 Dainelli Luisa, Serra Valentina, Serena Fabrizio, Petroni Giulio
Studio preliminare dell'ecosistema ipogeo della "Buca dei Ladri" Agnano (Pi), Italia.

49 Giachino Pier Mauro, Lana Enrico - *Dati bionomici preliminari su alcune specie di* Duvalius *del Piemonte (Coleoptera, Carabidae, Trechini).*

53 Mastronardi Maria Grazia, Lacirignola Vito Alessio, Pastore Marianna, Casale Achille, Giachino Pier Mauro
Prime indagini biospeleologiche nella Shpella Shtares, Vrana e Madhe (Alpi albanesi).

57 Montefalcone Monica, Azzola Annalisa, Bianchi Carlo Nike, Morri Carla, Oprandi Alice
Biospeleology of the Ligurian marine caves: a synthesis of current knowledge.

61 Nicolosi Giuseppe, Piano Elena, Isaia Marco
Niche segregation in Meta spiders (Araneae, Tetragnathidae) on Mount Etna (Sicily, Italy).

65 Oneto Fabrizio, Ferrario Andrea, Torretta Marco, Spada Martina, Mazzaracca Stefania, Rossi Elisabetta Maria, de Carli Elisabetta, Comini Bruna
Piano di azione per i Chirotteri in Lombardia: un processo partecipato.

69 Pereswiet-Soltan Andrea
Il disturbo dei Chirotteri negli ambienti ipogei.

73 Pereswiet-Soltan Andrea
Cenni sulla presenza dei rinolofidi (Chiroptera: Rhinolophidae) nei Lessini Vicentini (Veneto, Italia).

77 Peron Arianna, Fiorini Raffaele, Palumbo Vincenzo, Fedel Aldo, Corazzi Riccardo, Torelli Louis
Lab in Cave: quando la scuola incontra la ricerca. Indagini microbiologiche e climattiche nel contesto della Grotta Gigante (FVG – Italia).

81 Piano Elena, Nicolosi Giuseppe, Isaia Marco
A light in the darkness: environmental drivers of lampenflora proliferation in Italian show caves.

85 Piano Elena, Cinus Daniela, Nicolosi Giuseppe, Cossu Quirico Antonio, Duce Pierpaolo, Isaia Marco
Towards a sustainable touristic use of show caves: a case study from Sardinia.

89 Rosa Giacomo, Costa Andrea, Oneto Fabrizio, Salvidio Sebastiano
Stima dell'abbondanza dei geotritoni in grotta attraverso il metodo del doppio osservatore.

93 Tolve Marco, Giachino Pier Mauro, Piano Elena, Isaia Marco
Habitat suitability of Duvalius carantii *(Sella 1874) (Coleoptera, Carabidae: Trechini).*
97 Trombin Denise, Lana Enrico
Ricerche sulla fauna ipogea della Valle Strona.

101 Larocca Felice e Zunino Marta
Sessione scientifica: Le grotte come archivi archeologici

105 Conati Barbaro Cecilia, Forti Luca, Moscone Daniele, Carletti Elena, Chiarabba Emma, Marconi Nadia, Milli Salvatore
Grotta Battifratta (Poggio Nativo, Rieti). Un nuovo progetto di ricerca archeologica e paleoambientale.
106 De Santis Henry
La tutela del patrimonio archeologico ipogeo: corrette procedure di segnalazione e protezione.
113 De Santis Henry
Ritrovamenti fortuiti di materiali archeologici in grotte liguri nel periodo 2015-2019.
117 Disantarosa Giacomo, Petruzzelli Marco, D'Onghia Francesco Marco, Cinquepalmi Giuseppina, Derossi Emanuela, Marella Giuseppe, Parise Mario, Greco Roberto
Grotta della Regina (Bari - Torre a Mare, Puglia): grotta anonima, grotta "regale", grotta dimenticata.
123 Falgari Nicolò, Longhi Cristina, Redaelli Marco
La Valle del Giongo tra Speleologia e Archeologia.
127 Ferracci Angelica, Bosso Giuseppe, Catoni Gabriele, Ceruleo Piero, Fierli Maria, Mariano Elia, Mecchia Giovanni, Pintus Giorgio, Piro Maria, Procaccianti Angelo, Rolfo Mario Federico
…e io alla casa di Circe andavo; e molto il mio cuore nell'andare batteva (Odissea, Libro X).
131 Ferretti Marco Peter, Griffoni Amedeo, Merloni Michele
Ritrovamento di nuovi resti di Ursus spelaeus nella Grotta del Mezzogiorno a Frasassi (Genga, Marche).
135 Forti Luca, Mecozzi Beniamino, Sardella Raffaele, Sigari Dario, Bona Fabio, Conti Jacopo, Iannucci Alessio, Lembo Giuseppe, Iurino Dawid Adam, Muttillo Brunella, Pieruccini Pierluigi, Mazzini Ilaria
Grotta Romanelli (Castro, Puglia): conservazione e valorizzazione e di un sito chiave del Quaternario mediterraneo.
139 Larocca Felice
Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro). Ventimila anni di sfruttamento minerario.
143 Laureti Lamberto
Le grotte ossifere sul versante italiano dell'arco alpino.
147 Longhi Cristina, Pozzo Massimo, Tremari Marco
La Grotta Altro Pianet (BG): tutela e valorizzazione del paesaggio archeologico sotterraneo.
151 Spiganti Federico, Todini Maurizio, Zoccoli Carlo
Grotta Bella di Avigliano Umbro (TR), nuovo progetto di ricerca.

155 Zunino Marta
Sei anni di ricerche nella Grotta della Bàsura (Toirano, SV).
159 Zunino Marta, Pavia Marco, Hohenstein Ursula Thun, Isaia Marco
La valorizzazione del sito paleontologico della grotta di Valdemino (Borgio Verezzi, Savona).

163 Columbu Andrea, Isola Ilaria e Regattieri Eleonora
Sessione scientifica: Le grotte come archivi di cambiamento

165 Calleris Valter
Regressione del ghiacciaio sotterraneo di Scarason: sublimazione inversa e cambiamenti climatici.
169 Columbu Andrea, Chiarini Veronica, Hu Hsun Ming, De Waele Jo, Spötl Christoph, Benazzi Stefano, Hellstrom John, Shen Chuan-Chou, Cheng Hai
Prima ricostruzione climatica dell'era glaciale da speleotemi italiani e implicazioni sulla scomparsa dei Neanderthal.
173 De Waele Jo, Chiarini Veronica, Columbu Andrea, Pisani Luca
Il Progetto "*Evolgyps": valorizzazione scientifica delle grotte nei Parchi gessosi dell'Emilia-Romagna.*
177 Ferrario Andrea, Tognini Paola, Inglese Mauro, Testa Paolo
Grotte glaciali e mutamenti recenti dei ghiacciai.
181 Forti Luca, Regattieri Eleonora, Shen Chuan-Chou, Hu Hsun Ming, Isola Ilaria, Bonacossi Daniele Morandi, Conati Barbaro Cecilia, Koliński Rafał, Zerboni Andrea
Speleotemi del tardo Quaternario per la ricostruzione paleoclimatica nel Kurdistan iracheno.
185 Isola Ilaria, Zanchetta Giovanni, Regattieri Eleonora, Vigna Bartolomeo, Drysdale Russell N., Hellstrom John C., Magrì Federico
Studio paleoclimatico di speleotemi Tardo Pleistocenici ed Olocenici della grotta di Bossea.
189 Menichetti Marco, Mancini Giuseppe, Beribè Antonio, Franceschini Evelin, Gianvanni Marco, Pala Laura, Russino Andrea
Abisso Revel nella Alpi Apuane, microclima e cambiamenti climatici.
191 Piccini Leonardo
Riduzione dei depositi di neve e ghiaccio in grotta documentata dai rilievi speleologici: il caso delle Alpi Apuane.
195 Vigna Bartolomeo, Paro Luca
Depositi di ghiaccio nelle cavità e cambiamenti climatici: alcuni esempi nelle Alpi Liguri e Cozie.

199 Vaccarelli Ilaria, Ghezzi Daniele e Filomena De Leo
Sessione scientifica: Microbiologia in ambiente sotterraneo

203 Addesso Rosangela
Le vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta, un brulicare di forme di vita microbica estrema.
207 Azzola Annalisa, Bianchi Carlo Nike, Bianconi Giovanna, Canganella Francesco, Doni Lapo, Montefalcone Monica, Morri Carla, Olivieri Caterina,

Peirano Aurora, Taviani Elisa, Vezzulli Luigi
Microbial ecology across an oxic-anoxic interface in a sulphidic Blue Hole.
211 Ghezzi Daniele, Foschi Lisa, Lombardi Deborah Arcangela, Miller Ana Zelia, De Waele Jo, Cappelletti Martina
La microbiologia dei moonmilk della Grotta Nera (Parco della Majella, Abruzzo).
217 Turrini Paolo, Tescari Marco, Visaggio Daniela, Pirolo Mattia, Lugli Gabriele Andrea, Ventura Marco, Frangipani Emanuela, Visca Paolo
Studio di una comunità microbica nella grotta incontaminata di Yumugi River Cave in West Papua.
221 Zanellati Andrea, Prigione Valeria Paola, Poli Anna, Varese Giovanna Cristina, Nicolosi Giuseppe, Piano Elena, Isaia Marco
Il micobiota di due grotte con diverso impatto antropico a confronto.

227 Faverjon Marc e Benassi Andrea
Sessione speleologica: Le esplorazioni dei grandi sistemi carsici

231 Barberis Davide, Chiesa Roberto, Ghiglia Gianluca, Sciandra Massimo, Vigna Bartolomeo, Zerbetto Raffaella
Nuove scoperte nel Sistema carsico di Borello.
235 Ceradini Andrea, Tosadori Gabriele
Ricerche sul Monte Baldo, Prealpi Venete.
237 Guidotti Gianni, Crespo Susana, Faverjon Marc
Il complesso carsico dell'Alta Valle dell'Acqua Bianca.
241 Maconi Andrea, Corvi Marco, Merazzi Marzio, Spreafico Felicita
Esplorazioni nel massiccio del Grignone (Lecco).
245 Piccini Leonardo, Iannelli Salvatore
Nuovi rilievi ed esplorazioni al Complesso Carsico del Monte Corchia (Alpi Apuane, Toscana).
249 Pozzo Massimo
Il sistema carsico del Sebino Occidentale: risultato d'interazione tra speleologia di ricerca ed enti locali.

253 Santagata Tommaso e Pozzobon Riccardo
Sessione speleologica: La ricerca di grotte e di prosecuzioni attraverso le nuove tecnologie

257 Bello Vincenzo, Gizzi Emanuele, Valli Arturo, Valli Ruggero
Progetto di esplorazione Faglie del Lazio.
261 Cella Gian Domenico
Tracciamento dei flussi sotterranei dell'aria: stato dell'arte e prospettive.
265 Marraffa Alessandro, Pastore Claudio, Lacarbonara Orlando
L'utilizzo del drone per individuare obiettivi celati. Il caso della Grotta delle Rondini (Shpella e Dallandysheve).
269 Pisani Luca, De Waele Jo
Esplorare dall'alto. La ricerca di nuove grotte tramite telerilevamento nella Cordillera de la Sal (Cile).
273 Pozzo Massimo, Tremari Marco
Droni e ricerca speleologica - tecniche aerofotogrammetriche di ricostru-

zione del territorio.
277 Santagata Tommaso, Pozzobon Riccardo, Sauro Francesco, Vattano Marco
Studio di nuove cavità vulcaniche attraverso droni e immagini termiche.
281 Santagata Tommaso, Romeo Alessio, Sauro Francesco, Briod Adrien, Le Pivain Jeoffroy
Esplorazione, documentazione e rilievo 3D di cavità glaciali attraverso droni e mobile scanner.

285 Ciconetti Igor e Massa Enrico
Sessione speleologica: Esplorazioni al Marguareis

287 Calandri Gilberto
Il sistema Piaggiabella- Labassa (Marguareis, CN): Alcune potenzialità' esplorative.
291 Calleris Stefano, Canavese Filippo, Pasquini Thomas
Novità esplorative in Conca delle Carsene 2015-2021.
295 Consolandi Mauro
Modello 3D delle grotte della Conca delle Carsene.
297 Fiori Nicolò Luigi
Studio preliminare del Sistema carsico del Vallone degli Alberghi (Palanfrè, CN).
301 Lamboglia Jo
Il Complesso del Colle dei Signori e la Zona F.
305 Pasquini Thomas, Cicconetti Igor, Benedettini Andrea
Le esplorazioni nel complesso Piaggia Bella 2018-2021.

309 Betti Michele e Garberi Maria Luisa
Sessione speleologica: Speleologia in Cavità Artificiali

313 Belvederi Giovanni, Garberi Maria Luisa
Il rilievo per guidare la ri-esplorazione di due antiche miniere in Valle di Scalve (BG) attraverso la ricostruzione 3D.
317 Belvederi Giovanni, Demaria Danilo, Garberi Maria Luisa, Marzucco Sandro, Preti Nevio
Ipogei artificiali a confronto nel territorio di Sasso Marconi (BO).
321 De Santis Henry, Chiozza Andrea, Corvi Marco, Romairone Alberto, Roccatagliata Andrea
Nuove esplorazioni in tratti sotterranei dell'Acquedotto Storico di Genova.
327 Ferrari Graziano, Lamagna Raffaella, Rognoni Elena
Cavità costiere a Villa Rosebery (Napoli).
331 Foschino Francesco, Paolicelli Raffaele
Le innovative modalità di catalogazione e censimento delle cavità naturali e artificiali del Comune di Matera.
335 Grammatico Roberto, Bonventre Rosario, Fontana Luigi, Mazzeo Roberto, Caparotta Dario, Monteleone Giuseppe, Clemente Daniele
Il complesso estrattivo in sotterraneo di C/da Madonna dell'Alto nel territorio di Marsala (TP)
339 Madonia Paolo

Gli antichi sistemi di raccolta e smaltimento delle acque piovane del Castello di Sperlinga (EN).
343 Menin Adriano, Ciampalini Alberto
Padova: mura, porte e bastioni. La conoscenza dei loro spazi epigei ed ipogei in due libri a distanza di quattro secoli.
347 Menin Adriano
Padova: L'antico ipogeo di S. Eufemia – *Note illustrative, osservazioni su una scoperta particolare.*
353 Mordeglia Simona
Le trasformazioni antropiche delle grotte in età storica: nuovi dati dal Finalese.
357 Trümper-Ritter Monika, Giglio Marco, Palumbo Mauro, Ruocco Marco, Cristiano Mario, Del Vecchio Umberto
Rilievo laser tridimensionale alle Terme Stabiane nel sito archeologico di Pompei (NA).

361 Zini Luca e Petrella Emma
Tavola rotonda: La circolazione dell'acqua negli ammassi carbonatici

363 Astori Antonella, Brun Clarissa, Cella Gian Domenico, Pascolini Daniele
Progetto Rio Vaat: la falda acquifera del Monte Faeit (Prealpi Carniche, UD).
365 Balestra Valentina, Fiorucci Adriano
Studio dei parametri chimico-fisici di sei sorgenti carsiche in Piemonte.
367 Brozzo Gianpiero, Pastorino Mauro Valerio, Ratti Stefano, Roccatagliata Andrea
"Cassana", "Ginepro" e "Faggiona": ipotesi di un unico sistema idrogeologico carsico collegato per tre cavità naturali della provincia di La Spezia.
369 Grillo Barbara, Braitenberg Carla, Pastorutti Alberto, Nagy Ildikò
Bus de la Genziana (Pian Cansiglio): 15 anni di monitoraggio geofisico e idrogeologico.
371 Nannoni Alessia, Vigna Bartolomeo, Antonellini Marco, De Waele Jo
Idrologia della zona insatura nel sistema carsico di Bossea.
373 Nannoni Alessia, Antonellini Marco, Persiani Guglielmo, Vigna Bartolomeo, De Waele Jo
Drenaggio e architettura del reticolo di fratture nel volume insaturo di un sistema carsico: l'esempio dello stillicidio Milano, Grotta di Bossea.
375 Semeraro Rino, Valentinuz Federico, Klassen Eduardo, Pincin Mauro, Rejc Stefano, Russo Luciano, Soranzo Michele, Tavagnutti Maurizio
Effetti delle maree del Mare Adriatico sull'acquifero del Carso Classico.
379 Spreafico Felicita, Basiricò Stefano, Frattini Paolo, Crosta Giovanni Battista, Ferrario Andrea, Tognini Paola
Studio idrogeologico dell'acquifero carsico della Grigna Settentrionale (Lecco).
381 Tognini Paola, Pera Sebastian, Ferrario Andrea, Inglese Mauro, Testa Paolo, Uboldi Margherita
Tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai Ghiacciai dei Forni e del Morteratsch (CH).

383 Vigna Bartolomeo
Gli eventi di piena nelle cavità
385 Zannoni Jacopo, Degetto Massimo, Ronchi Chiara, Frizzo Francesco
La qualità delle sorgenti della Valbrenta in Veneto: alcuni risultati del monitoraggio triennale 2019-2021.

387 D'Angeli Ilenia Maria, Piccini Leonardo e Pisani Luca
Tavola rotonda: Geologia e processi carsici

391 Audra Philippe, Columbu Andrea, Gàzquez Fernando, D'Angeli Ilenia Maria, Bigot Jean-Yves, Chiesa Roberto, Yu Tsai-Luen, Shen Chuan-Chou, Carbone Cristina, Nobécourt Jean-Claude, De Waele Jo
Nuove conoscenze sull'evoluzione speleogenetica del sistema delle Grotte di Toirano (Liguria).
393 D'Angeli Ilenia Maria, Parise Mario, Vattano Marco, Madonia Giuliana, Miller Ana Zelia, De Waele Jo
Studio dei cambiamenti di peso di tavolette calcaree in grotte sulfuree del sud Italia.
395 De Waele Jo, Forti Paolo
Perché le concrezioni di fosfati sono ritenute rare?
397 Fiori Nicolò Luigi
Speleogenesi della Grotta Spirito (Vallone degli Alberghi, Palanfrè, CN).
399 Forti Paolo, Gonzato Guido, Rossi Guido
Le septarie della Grotta DeliNpero (Monti Lessini).
401 Ghidoni Giordano, Conti Roberto, Ghidelli Sandro
Appunti sulla geologia del Monte Cich.
403 Griffoni Amedeo, Piazza Antonio, Pieroni Luca
Apertura di una condotta in frana tra la Grotta Bella e la Grotta del Fiume. Una possibilità ulteriore di studio della speleogenesi a Frasassi (Italia centrale).
405 Guatelli Simone, Pisani Luca, Del Vecchio Umberto, Auler Augusto, De Waele Jo
Indagini morfometriche di mesomorfologie parietali tramite laser scanner (Gruta da Lapinha, Brasile).
407 Marraffa Alessandro, Fabbri Ivano, Poletti Katia, Pastore Claudio, Vandelli Wainer, Sivelli Michele, Cauli Etmond, De Waele Jo
Le prime importanti grotte termali sulfuree dell'Albania (canyon di Holtas, Albania centrale).
409 Marraffa Alessandro, Santagata Tommaso, Del Vecchio Umberto, Damiano Norma, Ferrara Roberto, Sanna Laura, Fabbri Stefano, De Waele Jo
Quantificazione di cambiamenti morfologici con modelli 3D da laser scanner: Lechuza (Atacama).
411 Piccini Leonardo, Nannoni Alessia, Costagliola Pilario, Paolieri Mario, Vigiani Chiara
Struttura e composizione di croste e noduli fosfatici del sistema carsico del Monte Corchia, Alpi Apuane.
413 Pisani Luca, Antonellini Marco, Bezerra Francisco Hilario R., Koltai Gabriella, Carbone Cristina, Auler Augusto S., Audra Philippe, La Bruna Vincenzo, Bertotti Giovanni, Balsamo Fabrizio, Pontes Cayo C., De Waele Jo

Speleogenesi ipogenica profonda nei carbonati silicizzati del nord-est del Brasile.
415 Sevil Jorge, Melis Maria Teresa, Pisani Luca, De Waele Jo
Le grandi doline di crollo nel Plateau basaltico di Azrou (Marocco): un'analisi morfometrica.
417 Tomasi Giorgio
Grotta 5 in Condotta (Lombardia): le forme del tempo.
419 Vattano Marco, Madonia Giuliana, D'Angeli Ilenia Maria, Gasparo Morticelli Maurizio, Deininger Michael, Carbone Cristina, Valenti Pietro, Arriolabengoa Martin, Di Maggio Cipriano, De Waele Jo
"Grotta che Parla": un esempio di cavità ipogenica nella Sicilia occidentale.

421 Pastore Claudio, Crespi Alice e Palazzolo Luca
Tavola rotonda: Meteorologia sotterranea

425 Ardetti Igor, Venica Stefano
Ascoltando l'abisso Davorjevo.
427 Balestra Valentina, De Regibus Claudio, Fiorucci Adriano, Vigna Bartolomeo
Il monitoraggio della concentrazione di CO_2 in aria nelle grotte.
429 Cella Gian Domenico, Miragoli Maurizio
Tracciamento quantitativo dei flussi aerei sotterranei con anidride carbonica.
431 Chiesi Mauro, Murgia Francesco, Fancello Leo, Fronteddu Maria Grazia
Grotta del Bue Marino, ramo nord (NU): prime considerazioni sul monitoraggio fisico.
433 Chignola Roberto
Quella volta che Badino suonò il Corchia.
435 Cigna Arrigo
Il rischio da Radon in grotta.
437 Cinus Daniela, Cossu Quirico Antonio, Arca Angelo, Ventura Andrea, Ferrara Roberto, Isaia Marco, Piano Elena, Duce Pierpaolo
Osservazioni sull'impatto antropico in grotte turistiche della Sardegna.
439 Colucci Renato R., Guglielmin Mauro
Abrupt permafrost degradation and ice melting in an alpine ice cave of the Julian Alps (Canin).
441 Menichetti Marco
Microclima del sistema carsico del M.Corchia (Alpi Apuane)
443 Menichetti Marco
Microclima della Grotta di Monte Cucco.
445 Menichetti Marco, Tamburini Andrea
Sistema carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume- Buco Cattivo: analisi microclimatica.
447 Motta Luigi, Motta Michele
Ruolo del moto ondoso nella meteorologia ipogea a Capo Noli (SV).
449 Motta Luigi, Motta Michele
La rappresentazione termica dell'Andrassa.
451 Piquet Anna, Piano Elena, Isaia Marco, Acquaotta Fiorella

Preliminary evidence of the recent temperature some caves in western Alps (2012-2021).
453 Pozzo Massimo, Miragoli Maurizio, Franchini Vincenza
Cariadeghe (Bs): ricerca di correlazioni tra "ingressi" tramite monitoraggio e analisi delle temperature.
455 Vigna Bartolomeo, Deregibus Claudio, Paro Luca, Coppa Graziano, Peano Guido
Il centro di ricerche climatologiche "Giovanni Badino" della Grotta di Bossea.
457 Vigna Bartolomeo, Deregibus Claudio, Paro Luca
Circolazione e temperatura dell'aria nelle cavità.
459 Vigna Bartolomeo
Relazioni tra velocità e direzione dell'aria nelle cavità e temperatura dell'aria in superficie

461 Sanna Laura, Sauro Francesco e Mecchia Marco
Tavola rotonda: Raccolta di informazioni e dati durante le esplorazioni

465 Bottegal Mila, Rodari Paola
Speleologia: la scienza dal basso.
467 Faverjon Marc, Pierini Silvio
Temperature ipogee nel complesso della Carcaraia, analisi dei dati raccolti e ipotesi.
469 Nike Bianchi Carlo, Morri Carla, Azzola Annalisa, Oprandi Alice, Montefalcone Monica
Le grotte marine del Promontorio di Portofino (Genova): note topografiche e biologiche.

473 Russo Natalino, Lacarbonara Orlando e Grazioli Francesco
Tavola rotonda: La documentazione attraverso le immagini

477 Balestra Valentina, Lana Enrico
La macrofotografia naturalistica e le sue applicazioni nello studio della fauna ipogea.
481 D'Elia Luigi, Cerini Michela
Into Theatre Wild.
483 Ferrario Andrea, Triacchini Luca, Annoni Piero, Castelnuovo Nicola
Divulgare per tutelare: l'esempio del Museo delle Grigne (Esino Lario, LC).

485 Corvi Marco e Damiano Norma
Tavola rotonda: I rilievi delle grotte

489 Baglietto Simone, Maifredi Alessandro
Topografia Ipogea con Lidar su smartphone.
491 Cina Alberto, Barberis Davide, Pisoni Isabella Nicole, Grasso Nives, Vigna Bartolomeo
Rilievo speleologico e topografico delle grotte.

493 Dabove Paolo, Grasso Nives, Piras Marco
L'uso della tecnologia SLAM in ambito geologico per navigazione indoor: il caso studio della Grotta di Bossea.
495 Dabove Paolo, Grasso Nives, Piras Marco
Modellazione 3D di strutture geomorfologiche tramite tecnica fotogrammetrica basata su immagini da smartphone.
497 Fiori Nicolò Luigi
Tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): il futuro del rilievo ipogeo?

499 Chiarini Veronica, Sciandra Massimo e Messana Vincenza
Tavola rotonda: Parchi, siti protetti e speleologia

501 Abisso Marina, Zerbetto Raffaella
Parchi e speleologia: amicizia e dintorni.
503 Ancona Cristina Comasia, Cavalieri Vincenzo, Lacirignola Vito Alessio
Ricerca e divulgazione speleologica nelle Murge Orientali e nella Terra delle Gravine.
505 Bianco David, Cesari Monia
La fruizione viene dopo la tutela! L'esperienza del Parco regionale dei Gessi Bolognesi.
507 Caffo Salvatore, Priolo Giuseppe
Quando la Speleologia si fa patrimonio dell'UNESCO, andare in grotta nel Parco dell'Etna.
509 Capitanio Roberta, Derossi Emanuela, Didonna Ferdinando, Messina Fedele, Vilardi Rosa
Speleologia ad impatto minimo: caso di studio della Grotta Sant'Angelo di Ostuni.
511 Casamento Giulia, Messana Vincenza
Le grotte protette della Sicilia: opportunità e criticità.
513 Chiarini Veronica, Costa Massimiliano, Zani Oscar, Liberatoscioli Elena, Spera Mariano, Carafa Marco, Di Martino Luciano, De Waele Jo
Il progetto Adriaticaves: speleologia e turismo nelle aree carsiche della regione adriatica.
515 D'Orilia Francescantonio, Addesso Rosangela
Fondazione MIdA, verso la gestione sostenibile del turismo in grotta.
517 Elia Ezio, Calleris Valter
Il Marguareis: laboratorio di collaborazione tra speleologia e aree protette.
519 Ercolani Massimo, Forti Paolo
Le aree carsiche nelle evaporiti dell'Emilia-Romagna candidate a World Heritage dell'UNESCO per il 2023.
521 Gualandi Piero
Le grotte tra fragilità e turismo. Le esperienze in Romagna.

Finito di stampare nel mese di.... anno....