



bollettino del
gruppo grotte cai novara

37

ATTI DEL CONVEGNO

VUOTO E GHIACCIO

Speleologia e scienza nelle
grotte glaciali italiane

Fraternità Domenicana di Agognate
(Novara)

22 settembre 2018



LABIRINTI

LABIRINTI

Supplemento a **CAINOVARA** n. 65 - Giugno 2019
Autorizzazione del tribunale di Novara n°17-86 del 17-7-1986
Direttore responsabile: Boris Cerovac
Poste Italiane Spa - Spedizione in abbonamento postale D.L. 335/2003
(conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 2, D.C.B. - Novara
Tipografia: La Terra Promessa Soc. Coop Sociale Onlus
Viale Luigi Gherzi, 1 - 28100 Novara

Impaginazione: Cristina Ciapparelli

INDIRIZZO ADDRESS ADRESSE

Gruppo Grotte Novara CAI
vicolo Santo Spirito, 4
(I) 28100 Novara

Telefono e fax / *Phone and fax:* **0039 (0)321 - 625.775**

Sito internet: *http://www.gruppogrottenovara.it*

E-mail: *info@gruppogrottenovara.it*

Le fotografie e i disegni appartengono agli autori dell'articolo,
salvo diversa indicazione:

ARPA Lombardia: 30
Valentina Balestra: 76c, 76b, 77
Walter Belotti: 15
Juri Bertona: 66
Ferdinando Bianco: 92
Lia Botta: 57
Valerio Botta: 52, 63
Gian Domenico Cella: 26d, 65b
Augusta Vittoria Cerutti: 11s
Alfredo Corti: 12s
Alex Elli: 34
Andrea Ferrario: 72a
Aristide Franchino: 11dx
Luciano Galimberti: 65a
Enrico Lana: 74, 75, 76a, 78
Mauro Inglese: 32, 33, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 81
Cesare Mangiagalli: 37
Roberto Mazzetta: 2
Claudia Mellano: 56
Jordi Orso: 12d
Alessio Romeo 58, 60
Francesco Taddei: 72b

Stampato con il parziale contributo della **Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi Onlus (AGSP)**

SOMMARIO

- 3 VUOTO E GHIACCIO: I PERCHÉ DEL CONVEGNO
- 4 ELENCO PARTECIPANTI
- 6 PROGRAMMA
- 7 SALUTO DELLE AUTORITÀ
- 11 I GHIACCIAI ITALIANI: CARATTERISTICHE GENERALI ED EVOLUZIONE RECENTE *C. Smiraglia*
- 16 SPELEOLOGIA GLACIALE: LA STORIA *P. Testa*
- 21 IL GRUPPO MARTEL: ESPLORAZIONI NEI GHIACCIAI VALDOSTANI *G. Rimassa, E. Razanskaite*
- 25 IL GHIACCIAIO DELLA ROSSA E LE SUE GROTTI *J. Bertona, G. Corso*
- 30 IL GHIACCIAIO DEI FORNI: 25 ANNI DI STUDI E RICERCHE *P. Tognini*
- 35 LE GROTTI NEL GHIACCIAIO DELLO SCALINO *A. Ferrario*
- 39 I GHIACCIAI DEL MONTE ROSA E LA LORO RECENTE EVOLUZIONE *G. Mortara, A. Tamburini*
- 43 TECNICHE DI RILIEVO PER IL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI:
IL CASO DEL BELVEDERE *A. Cina, I. Horea Bendea, A. Bianchi, P. Maschio, C. De Michele, M. Piras, L. Pinto*
- 51 CARSISMO AL GHIACCIAIO DEL BELVEDERE (Macugnaga, VB) *G.D. Cella, L. e V. Botta, E. Ghielmetti*
- 58 LE GROTTI NEL GHIACCIAIO DEL GÖRNER (Canton Vallese - Svizzera) *P. Testa*
- 62 IL GHIACCIAIO DEL BELVEDERE (Macugnaga, VB): NOTE DI IDROLOGIA IPOGEA *G.D. Cella, L. Botta*
- 67 EVOLUZIONE DELLE CAVITÀ GLACIALI E RELAZIONE CON LE
MORFOLOGIE DI SUPERFICIE *P. Tognini*
- 74 ESISTE UNA FAUNA DELLE GROTTI GLACIALI? *E. Lana, V. Balestra*
- 79 I TRACCIAMENTI NELLO STUDIO DEI GHIACCIAI:
ESEMPI DAI GHIACCIAI DEI FORNI E DEL MORTERATSCH *P. Tognini*
- 88 RISCHI E PERICOLI *G.D. Cella*
- 94 LA COMMISSIONE "GLACIER, FIRN AND ICE CAVES"
DELL' UNIONE INTERNAZIONALE DI SPELEOLOGIA *V. Maggi*
- Terza di copertina SOCI GGN

REDAZIONE

Gian Domenico Cella
Vittoria De Regibus
Daniele Gigante
Marco Ricci

COLLABORATORI

Alex Mancin

Novara, 31.12.2018

LABIRINTI viene inviato gratuitamente a enti e associazioni che si interessano di speleologia, in cambio di pubblicazioni analoghe. I gruppi che non dispongono di proprie pubblicazioni, ma desiderano continuare a ricevere il bollettino, sono pregati di segnalarcelo. La riproduzione di articoli, fotografie e disegni a scopo divulgativo e scientifico, purché senza fini di lucro, è libera se viene citata la fonte.



VUOTO E GHIACCIO:

Speleologia e scienza nelle grotte glaciali italiane.

Fraternità Domenicana di Agognate (Novara)

22 settembre 2018

I PERCHÉ DEL CONVEGNO

Il comitato organizzatore

A partire dal 2006 una parte dell'attività di campagna del Gruppo Grotte Novara ha riguardato l'esplorazione e la documentazione di grotte glaciali. In particolare, nell'ottobre 2008 ebbe inizio una felice stagione esplorativa che avrebbe portato a conoscere l'idrologia profonda del ghiacciaio del Belvedere, ai piedi del versante ossolano del Monte Rosa, in un dettaglio che forse non è mai stato raggiunto per alcun altro ghiacciaio.

Non siamo stati i primi ad entrare nei ghiacciai, tutt'altro. Eppure, dopo la nostra prima esplorazione potevamo scrivere in tutta sincerità che *"il significato di quanto abbiamo trovato non ci è ancora del tutto chiaro. (...) La documentazione sulle grotte sub-glaciali (...) sembra essere scarsissima e dispersa. (...) ma) non siamo del tutto certi che (...) questo (...) non rispecchi più il disinteresse di speleologi e glaciologi per le grotte sub-glaciali che non la loro effettiva rarità e le loro modeste dimensioni"* (Labirinti 2006, 26, pag. 8).

Dieci anni dopo la situazione era molto diversa: la passione e la capacità divulgativa di Giovanni Badino e dei suoi compagni d'avventura ave-

vano fatto sì che la speleologia glaciale fosse divenuta un argomento "di tendenza" e molti gruppi speleologici avevano iniziato, in maniera non sempre coordinata, a occuparsene.

A questo punto ci è parso doveroso, interessante e utile tentare di fare il punto sulle attuali conoscenze ipogee dei ghiacciai italiani: nel 2018, nell'ambito delle manifestazioni varate per celebrare i 40 anni della nostra associazione, abbiamo ritenuto opportuno organizzare una giornata in cui molti protagonisti di questa strana disciplina potessero confrontarsi e scambiarsi conoscenze, esperienze e sensazioni.

PATROCINI E SPONSOR

Con il contributo di:

Club Alpino Italiano: Comitato Regionale Piemonte
Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi Onlus
Club Alpino Italiano: Raggruppamento Est-Monterosa
Club Alpino Italiano: Sezione di Novara

E il patrocinio di:

Società Speleologica Italiana
Progetto Speleologia Glaciale



ELENCO PARTECIPANTI

COMITATO ORGANIZZATORE

Segreteria: Vittoria De Regibus, Francesca Puccio

Coordinamento scientifico: Gian Domenico Cella, Marco Ricci

Logistica: Daniele Gigante, Lucia Monastero (Comunità Domenicana)

Ristorazione: Valeria Di Siero, Lucia Monastero

Fotografia: Roberto Mazzetta

Supporto multimediale: Filippo Caruso, Juri Bertona, Lia Botta

ISCRITTI E PARTECIPANTI

<i>Verdiana ARBINI</i>	<i>Gruppo Speleologico CAI Varallo</i>
<i>Fabio ARIEZZO</i>	<i>Gruppo Speleologico CAI Varallo</i>
<i>Valentina BALESTRA</i>	<i>Speleo Club Tanaro - CEA Cairo Montenotte</i>
<i>Marco BASSI</i>	<i>Gruppo Speleologico Valli Pinerolesi</i>
<i>Eleonora BECCALUVA</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Gianmario BECCALUVA</i>	<i>CAI Crema</i>
<i>Juri BERTONA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Lia BOTTA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Valerio BOTTA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Paolo BRUNETTIN</i>	<i>Gruppo Speleologico Lunense CAI</i>
<i>Maurizio CALISE</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Enrico CAMASCHELLA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Jork CAVALLARI</i>	<i>Gruppo Speleologico Biellese CAI</i>
<i>Raffaella CAVANA</i>	<i>CAI La Spezia</i>
<i>Gian Domenico CELLA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Boris CEROVAC</i>	<i>Presidente sezione CAI Novara</i>
<i>Massimiliano CHIOCCA</i>	<i>Gruppo Speleologico CAI Varallo</i>
<i>Maria Cristina CIAPPARELLI</i>	<i>CAI Legnano</i>
<i>Alberto CINA</i>	<i>Politecnico di Torino - DIATI</i>
<i>Roberto CONTI</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Busto Arsizio</i>
<i>Beatrice CORSALE</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Gianni CORSO</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Igor COZZANI</i>	<i>Gruppo Speleologico Lunense CAI</i>
<i>Alice CRESPI</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Gallarate</i>
<i>Claudia D'ADDARIO</i>	<i>CAI Pescara</i>
<i>Vittoria DE REGIBUS</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Valeria DI SIERO</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Alessandro ELLI</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Andrea FERRARIO</i>	<i>Presidente Fed. Speleologica Lombarda – Gr. Grotte CAI Saronno</i>
<i>Elena FERRERO</i>	<i>Università di Torino</i>
<i>Silvano FRANCHI</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>

<i>Daniela FRIGO</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Daniela FORMICA</i>	<i>Presidente Gruppo Regione Piemonte CAI</i>
<i>Gianluigi GALBUSERA</i>	<i>Casatenovo (LC)</i>
<i>Giorgio GALBUSERA</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Ettore GHIELMETTI</i>	<i>Gruppo Speleologico Biellese CAI</i>
<i>Sandro GHIDELLI</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Busto Arsizio</i>
<i>Daniele GIGANTE</i>	<i>Presidente Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Laura GUARINO</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Fiorenzo GUIGLIA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Mauro INGLESE</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Bernardino L'ABBATE</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Enrico LANA</i>	<i>Gruppo Speleologico Piemontese - Gruppo Speleologico Alpi Marittime</i>
<i>Gianni LEDDA</i>	<i>Commissione Speleologica "Cavernicoli" CAI Siena</i>
<i>Valter MAGGI</i>	<i>Università degli Studi Milano Bicocca - Union Internationale de Spéléologie</i>
<i>Alex MANCIN</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Monica MARCONI</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Mauro MARTINENGO</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Roberto MAZZETTA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Claudia MELLANO</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Saluzzo</i>
<i>Pacifico MERCALLI</i>	<i>CAI Novara</i>
<i>Francesco MERCATELLI</i>	<i>CAI Como</i>
<i>Francesco MERISIO</i>	<i>Speleo Club Orobico CAI Bergamo</i>
<i>Bruno MIGLIORATI</i>	<i>Coordinatore raggruppamento CAI Est Monte Rosa</i>
<i>Antonio MONTANI</i>	<i>Vicepresidente Generale CAI</i>
<i>Gianni MORTARA</i>	<i>Comitato Glaciologico Italiano</i>
<i>Tonino NARDONE</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Carlotta ONNIS</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Cagliari</i>
<i>Luca PALAZZOLO</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Gallarate</i>
<i>Arianna PASCHETTO</i>	<i>Gruppo Speleologico Biellese CAI</i>
<i>Alessandro PASTORELLI</i>	<i>Speleo Club CAI Sanremo</i>
<i>Alessio PASTORELLI</i>	<i>Speleo Club CAI Sanremo</i>
<i>Giovanni PAVESI</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Fulvio PIRAZZI</i>	<i>CAI Novara</i>
<i>Marco PIROLA</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Francesca PUCCIO</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Egle RAZANSKAITE</i>	<i>Gruppo Speleologico "E.A. Martel" Genova</i>
<i>Marco RICCI</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Giuliano RIMASSA</i>	<i>Gruppo Speleologico "E.A. Martel" Genova</i>
<i>Marzia ROSSI</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Claudio SMIRAGLIA</i>	<i>già Università degli Studi di Milano - Comitato Glaciologico Italiano</i>
<i>Andrea TAMBURINI</i>	<i>Comitato Glaciologico Italiano</i>
<i>Paolo TESTA</i>	<i>Gruppo Speleologico CAI Varallo - Progetto Speleologia Glaciale</i>
<i>Paola TOGNINI</i>	<i>Coordinatore comm. scientifica FSLo – Gruppo Grotte Milano CAI-SEM</i>
<i>Michele TOMMASI</i>	<i>Gruppo Speleologico Geo CAI Bassano</i>
<i>Denise TROMBIN</i>	<i>Gruppo Speleologico Biellese CAI</i>
<i>Margherita UBOLDI</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Saronno</i>
<i>Chiara UGLIETTI</i>	<i>CAI Novara</i>
<i>Deborah VENEZIAN</i>	<i>Gruppo Grotte CAI Novara</i>
<i>Silvia ZACCHERINI</i>	<i>Gruppo Grotte Milano CAI-SEM – OTTO Lombardia</i>
<i>Raffaella ZERBETTO</i>	<i>Vicepresidente SSI - Presidente Ass. Gruppi Speleologici Piemontesi Onlus</i>

Programma

- 9:00 Accoglienza
9:30 Saluto ai partecipanti e introduzione alla giornata

Grotte glaciali italiane (modera Marco Ricci)

- 10:00 - 10:30 *I ghiacciai italiani: caratteristiche generali ed evoluzione recente*
Claudio Smiraglia (già Università degli Studi di Milano)
- 10:30 - 10:50 *Speleologia glaciale: la storia*
Paolo Testa (G.S. CAI Varallo, Progetto Speleologia Glaciale)
- 10:50 - 11:10 *Mulini della Tsanteleina e del Miage (Valle d'Aosta)*
Giuliano Rimassa, Gianluca Gavotti, Egle Razanskaite
(Gruppo Speleologico Martel, Genova)
- 11:10 - 11:30 *Le grotte del Ghiacciaio della Rossa (Alpe Devero)*
Juri Bertona, Gianni Corso (Gruppo Grotte CAI Novara)
- 11:30 - 11:50 *Ghiacciaio dei Forni (Sondrio)*
Paola Tognini (Gruppo Grotte Milano), Paolo Testa
(G.S. CAI Varallo, Progetto Speleologia Glaciale)
- 11:50 - 12:10 *Le grotte del Ghiacciaio dello Scalino (gruppo del Bernina)*
Andrea Ferrario (Gruppo Grotte CAI Saronno)
- 12:15 - 13:45 Buffet. Chiostro del monastero domenicano di Agognate

Ghiacciai e grotte glaciali nel gruppo del Monte Rosa (modera Paola Tognini)

- 13:50 - 14:10 *I ghiacciai del Monte Rosa e la loro recente evoluzione*
Gianni Mortara, Andrea Tamburini (Comitato Glaciologico Italiano)
- 14:10 - 14:30 *Tecniche di rilievo per il monitoraggio dei ghiacciai: il caso del Belvedere*
Alberto Cina (Politecnico di Torino-DIATI)
- 14:30 - 14:50 *Carsismo nel Ghiacciaio del Belvedere (Macugnaga, VB)*
Lia Botta, G.D. Cella (Gruppo Grotte CAI Novara),
Ettore Ghielmetti (Gruppo Speleologico Biellese)
- 14:50 - 15:10 *Le grotte nel ghiacciaio del Gorner*
Paolo Testa (G.S. CAI Varallo, Progetto Speleologia Glaciale),
Alessio Romeo (Associazione La Venta)
- 15:10 - 15:30 *Ghiacciaio del Belvedere: note di idrologia*
Lia Botta, Gian Domenico Cella (Gruppo Grotte CAI Novara)
- 15:30 - 15:50 Intervallo, caffè

Speleologia e scienza glaciologica (modera Andrea Ferrario)

- 15:50 - 16:10 *Evoluzione delle cavità glaciali e relazione con le morfologie di superficie*
Paola Tognini (Gruppo Grotte CAI Milano)
- 16:10 - 16:30 *Esiste una fauna delle grotte glaciali?*
Enrico Lana (Gruppo Speleologico Piemontese, Gruppo Speleologico Alpi Marittime),
Valentina Balestra (Speleo Club Tanaro)
- 16:30 - 16:50 *Test di tracciamento delle acque nello studio dei ghiacciai: esempi dai ghiacciai dei Forni e del Morteratsch*
Paola Tognini (Gruppo Grotte Milano)
- 16:50 - 17:10 *UIS Commission of Snow, Firn and Ice Caves*
Valter Maggi (Università degli Studi Milano Bicocca)
- 17:10 - 17:30 Discussione finale e chiusura dei lavori

SALUTO DELLE AUTORITÀ

*In questo 2018 il Gruppo Grotte CAI Novara festeggia il 40° anniversario della sua fondazione, avvenuta nel 1978, e il convegno **“VUOTO e GHIACCIO: speleologia e scienza nelle grotte glaciali italiane”** è l’iniziativa principale tra quelle organizzate per celebrare questa ricorrenza.*

La nostra associazione ha sempre tenuto in gran considerazione e cercato di approfondire al meglio gli aspetti scientifici delle proprie attività e scoperte. In quest’ottica abbiamo operato perché questo convegno non fosse una semplice, per quanto piacevole, chiacchierata “tra speleo” ma un’occasione di condivisione di conoscenze tra mondo accademico e speleologico. La contemporanea presenza tra i relatori di ricercatori universitari, glaciologi e speleologi, siamo certi, contribuirà ad un proficuo scambio di esperienze ed idee in tal senso.

Come Presidente vorrei ringraziare tutti i nostri soci che hanno intensamente lavorato perché questa giornata possa svolgersi nel miglior modo possibile; spero vivamente che tutti possano apprezzare il frutto di questo impegno.

In ultimo, il Gruppo Grotte Novara desidera dedicare questa giornata a tutti gli speleologi che in questi anni hanno operato al Ghiacciaio del Belvedere. La storia delle esplorazioni al Belvedere è una bella pagina di “speleologia trasversale” che vede coinvolti numerosi gruppi piemontesi, liguri e lombardi.

Ebbene, senza il loro impegno in esplorazioni talvolta difficili e la loro dedizione nel rilievo e nella raccolta dati sul campo non avremmo potuto organizzare un incontro di questo tipo, e soprattutto non avremmo avuto quella credibilità che solo un lavoro serio, preciso e puntuale è in grado di dare.

Daniele Gigante

Presidente Gruppo Grotte CAI Novara

La Sezione di Novara ha voluto organizzare questo convegno di glaciopspeleologia per trattare ed approfondire un tema poco conosciuto, ma che rientra pienamente nelle finalità istituzionali del Club Alpino Italiano.

Da sempre lo scopo del CAI è “di fare conoscere le montagne e di agevolarvi le escursioni, le salite e le esplorazioni scientifiche ma anche i territori del sottosuolo”. Tutto ciò sempre nell’ambito dell’evolversi nel tempo della relazione tra uomo e natura, uomo e ambiente, uomo e territorio e nella fattispecie tra uomo e territorio in ambito speleologico.

Anche oggi chi entra a fare parte del CAI è perché ha passione per la montagna, rispetto per l’ambiente e grande attenzione per la natura. Chi frequenta il sodalizio trova in esso un mondo ricco di storia, di cultura, di tradizioni e di valori.

La montagna è una meravigliosa palestra che allena il corpo e l’anima. È lo scenario ideale in cui l’uomo può meglio riscoprire se stesso e la solidarietà degli altri uomini. È lo spazio immenso dove ognuno può percorrere un sentiero per ritrovare la propria dimensione.

Nei territori di montagna, confini naturali di popoli, si sono plasmati ed integrati gli interessi delle genti con culture e storie diverse.

Le difficoltà, l'asprezza del clima e dei territori, hanno nel tempo costituito il legante umano che ha reso possibile superare anche immani tragedie quali guerre, terremoti, alluvioni.

L'iniziale originaria oggettiva differenza di culture e sensibilità si sono trasformate nel corso del tempo in un solido spirito di collaborazione e di profonda solidarietà.

Nel Club Alpino Italiano si intersecano, come ho cercato di evidenziare, infinite passioni ed interessi diversi.

L'obiettivo del CAI è di offrire ad ognuna di queste passioni una risposta ed un aiuto concreto.

Ciò premesso, sono certo che durante il presente convegno, dal titolo estremamente esplicativo "VUOTO e GHIACCIO: speleologia e scienza nelle grotte glaciali italiane", tutti i valori ed interessi sopra espressi saranno perseguiti. Gli illustri Relatori sapranno, ognuno nell'ambito della propria competenza, arricchire il tema di validi contenuti su una materia tanto importante che coinvolge i territori non solo dell'arco alpino ma dell'intero territorio italiano. Ho la certezza che le loro interessanti argomentazioni ed i racconti delle loro esperienze coinvolgeranno tutti noi. Sono grato a loro per avere accettato l'invito di trattare un argomento così poco conosciuto ai più, ma di estremo interesse perché sottoterra c'è ancora un mondo da scoprire.

Come Presidente della Sezione ringrazio naturalmente il Gruppo Grotte che tanto si è speso per organizzazione questo Convegno. Questo nostro Gruppo da sempre svolge un importante attività di esplorazione ad ampio spettro nelle grotte glaciali e grazie al lavoro svolto ha saputo dare, nel corso del tempo, particolare risalto all'argomento in questione con importanti ricadute in ambito scientifico, didattico e divulgativo.

Ringrazio parimenti il Club Alpino Nazionale ed in particolare il Vice Presidente Antonio Montani e la Presidente del Gruppo Regione Piemonte Daniela Formica per il concreto sostegno accordatoci.

Ringrazio infine tutti i convenuti ed in particolare i giovani presenti che nel volgere di pochi anni ci sostituiranno nei nostri attuali ruoli. A loro il Club Alpino italiano da sempre rivolge particolare attenzione con l'augurio di riuscire a trasmettere quei valori fondativi che da sempre lo ispirano.

Desidero chiudere questa introduzione richiamando un concetto che traduce nel concreto lo spirito del nostro sodalizio: "In montagna c'è chi cammina per comodi sentieri, chi si arrampica su pareti vertiginose, chi si muove con gli sci ai piedi, chi scende nel buio delle grotte, chi studia la natura, il territorio e l'ambiente ma tutti si sforzano di ricercare metodi e soluzioni per una migliore salvaguardia, tutela e protezione del territorio"

Boris Cerovac

Presidente della sezione di Novara del CAI

Cari amici,

sono molto felice di esseri qui oggi a portarvi il saluto, mio personale, di tutto in Comitato Direttivo Centrale ed in particolare quello del Presidente Generale Vincenzo Torti.

La felicità mi è data in primo luogo dal fatto di constatare come, in un convegno di studi di così alto livello scientifico, si noti la partecipazione di un pubblico di appassionati di età

molto giovane; e questo è ancora più importante se pensiamo che la speleologia glaciale ha per sua intima natura legami strettissimi con il problema del cambiamento climatico. Il fatto che tanti giovani si appassionino, non solo alla frequentazione in ambiente, ma anche alla riflessione scientifica che ne consegue mi fa essere ottimista sulle qualità e sulle sensibilità che manifestano i soci del Club Alpino Italiano che oggi sono presenti.

Il secondo motivo di soddisfazione mi viene dalla riflessione sull'articolo 1 dello statuto del CAI laddove indica tra gli scopi "la conoscenza e lo studio delle montagne" oggi ritrovo tra voi quello spirito originario del CAI in cui si andava per le montagne con intento di scoperta, a volte anche empirico e non sempre fatto da scienziati professionisti. Ai nostri tempi il piacere della scoperta scientifica per chi pratica l'alpinismo è oggettivamente terminato, mentre nella speleologia glaciale molti interrogativi sono ancora senza risposta e questa vostra attività vi avvicina molto, negli intenti e nello spirito, ai padri fondatori del nostro sodalizio.

A tutti auguro buon lavoro.

Antonio Montani

Vicepresidente generale CAI

*H*o letto con vivo interesse il programma del convegno organizzato dalla Sezione novarese, al quale avrei molto piacere di assistere, anche quale appassionata frequentatrice dell'ambiente glaciale, seppur "di superficie".

Purtroppo, la concomitante riunione, in Val Borbera, del Comitato Direttivo del GR Piemonte con i rappresentanti dell'Ente Aree Protette Appennino Piemontese e del GR Liguria, in vista di prossime collaborazioni, non ci consentirà di partecipare.

Prego di portare a tutti i presenti il saluto del GR Piemonte e di porgere alla Sezione di Novara, al Gruppo Grotte ed ai Relatori l'interesse e l'apprezzamento del Comitato Direttivo del CAI Piemonte per l'elevato valore scientifico e divulgativo dell'evento.

I più cordiali saluti.

Daniela Formica

Presidente Gruppo Regionale CAI Piemonte

*H*o letto con vivo interesse il programma del convegno "VUOTO e GHIACCIO: speleologia e scienza nelle grotte glaciali italiane" organizzato dal Gruppo Grotte del CAI Novara supportato dalla sezione, al quale con molto piacere avrei voluto assistere.

Purtroppo una concomitante riunione dei Comitati Direttivi GR Piemonte e Liguria, nella quale vi saranno importanti decisioni da prendere, non mi consentirà di partecipare.

Vi prego quindi di portare a tutti i presenti, ai relatori ed al Gruppo Grotte il saluto e l'apprezzamento mio personale, del Gruppo Regionale Piemonte e delle sezioni Est Monte Rosa per l'elevato valore divulgativo e scientifico dell'evento.

Bruno Migliorati

Presidente raggruppamento sezioni CAI Est Monte Rosa

Credo che questo convegno sia un fiore all'occhiello, non solo per studiosi e appassionati che svolgono attività al Monte Rosa, ma per tutta la glaciologia italiana. Ritengo lo sia anche per quegli speleologi, da me rappresentati a livello piemontese, che si dedicano costantemente alla ricerca, al monitoraggio ed alla documentazione delle cavità glaciali, continuando col loro impegno a fornire importanti informazioni sul comportamento dell'interno dei ghiacciai. Grazie alla nutrita partecipazione al convegno, spero che altri speleologi si avvicinino a questa importante ed affascinante attività. Lo auspico come speleologo grande appassionato di tale disciplina, che pratico da molti anni e che tante soddisfazioni mi ha dato, e spero possa continuare a darmi in futuro.

Paolo Testa

Presidente OTTO Speleologia e Torrentismo CAI Liguria, Piemonte e Valle Aosta

Come speleologi siamo abituati a muoverci in ambienti che restano pressoché immutati nel corso dei secoli e dei millenni poiché cambiano lentamente, in modo per noi quasi impercettibile. La speleologia glaciale invece stupisce e affascina per il suo essere effimera, veloce ai cambiamenti.

È un'attività molto particolare, in percentuale praticata da pochi. In questo contesto l'AGSP gioca un ruolo fondamentale: la collaborazione tra gruppi è l'unica via per portare avanti in modo organico e scientifico le esplorazioni, gli studi dei ghiacciai e delle grotte che si creano al loro interno.

In conseguenza alla necessità di avere precise condizioni climatiche per poter effettuare l'attività in sicurezza, questa si concentra in pochi week end all'anno. La possibilità di coinvolgere molte più persone attraverso l'associazione, permette quindi di svolgere l'attività in grotte che mutano nel tempo e, spesso, collassano. Negli anni fortunatamente la situazione si è evoluta e, ormai, le attività speleoglaciali piemontesi vengono portate avanti come AGSP.

Occasioni di confronto come questa sono fondamentali per una sempre maggior conoscenza e formazione.

Buon lavoro!

Raffaella Zerbetto

Presidente Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi Onlus
Vicepresidente Società Speleologica Italiana

I GHIACCIAI ITALIANI. CARATTERISTICHE GENERALI ED EVOLUZIONE RECENTE

Claudio Smiraglia

già Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio"
Comitato Glaciologico Italiano
Club Alpino Italiano, Sezione di Corsico

ABSTRACT

Italian glaciers are of significant interest from several points of view: landscape, hydrology, economy, and culture. They have been studied for several decades, at least since 1925. Their first inventory ("catasto") was published in 1959-1962 and then updated several times, the last one in 2015-2016. The 903 Italian glacial bodies cover a total surface of 370 km². Very probably due to global warming, this figure is much lower than those of 1959-1961 (527 km²; -30%) or of the '970s (609 km²; -39%).

I ghiacciai italiani coprono circa un quinto dell'estensione attuale del glacialismo alpino. Si tratta di una risorsa paesaggistica, idrologica, economica e culturale, le cui caratteristiche generali e la cui evoluzione possono essere tracciate utilizzando gli inventari o catasti compilati nel corso dei decenni, veri e propri censimenti che elencano i ghiacciai presenti nei vari settori delle Alpi italiane e ne evidenziano, a livello qualitativo e quantitativo, le

diverse caratteristiche (denominazione, localizzazione, tipologia, area, lunghezza, quote, ecc.). Il nostro Paese ha una lunga tradizione in questo campo. Dopo una prima schematica elencazione realizzata da Carlo Porro nel 1925 nell'ambito delle attività del Comitato Glaciologico Italiano (CGI), fra il 1959 e il 1962 sempre da parte del CGI e del Consiglio Nazionale delle Ricerche venne pubblicato il primo vero Catasto dei Ghiacciai Italiani. Fu per l'epo-



Prè-de-Bar da Fx - Cerutti, 1988



Prè de Bar (Monte Bianco): confronto fra la situazione di fine dello scorso secolo e quella attuale.



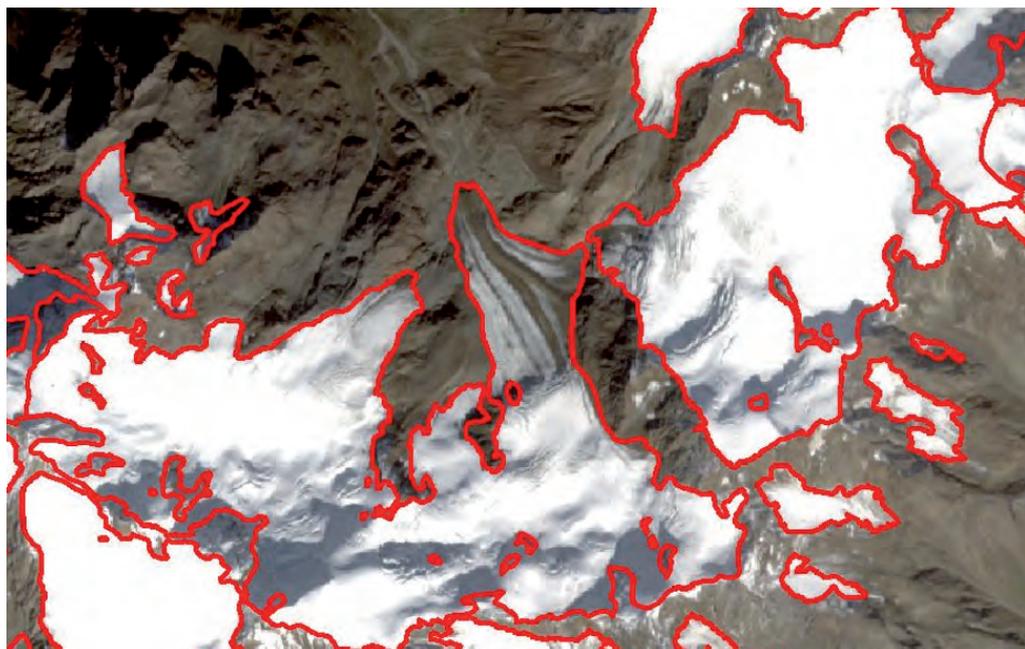
Ghiacciaio della Ventina: confronto fra la situazione dell'inizio del XX secolo e l'attuale.

ca un'opera all'avanguardia che censì 835 unità glaciali con una superficie totale di 527 km². Seguì nei primi Anni Ottanta del XX secolo la partecipazione italiana, sempre ad opera del CGI, a un grande progetto internazionale, il *World Glacier Inventory* (WGI). L'area totale risultò di circa 600 km² suddivisa in quasi 1400 apparati. Venne così registrata la ridotta e temporanea fase di incremento del glacialismo degli anni 1965-1985 che interessò tutte le Alpi e non solo. Seguì negli anni 1988-89, sulla base di una convenzione con il Ministero dell'Ambiente, un aggiornamento del catasto CGI che quantificò una superficie glaciale complessiva di circa 470 km². Successivamente vennero compilati solo inventari regionali e settoriali finché negli ultimi anni, sulla base di progetti diversificati nazionali e internazionali (GLIMS - *Global Land Ice Measurements from Space*; CNR-CGI *Next Data*; UNIMI-EVK2CNR-Levissima), vennero realizzati censimenti aggiornati dei ghiacciai italiani. L'ultimo progetto citato si è configurato come un vero e proprio aggiornamento del catasto CGI degli anni '50-'60 (Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani-NCGI) ed è stato pubblicato nel 2015. Il Nuovo Catasto è stato realizzato con l'utilizzo di ortofoto recenti (2007-2012) a grande scala (1:5.000), di

elevata accuratezza (pixel di dimensione 0,5 m x 0,5 m), sebbene se in particolari situazioni, come la copertura detritica parziale o totale, la delimitazione dei ghiacciai risulti approssimata, anche con un errore maggiore del 10%. A livello di sintesi si constata che sulle montagne italiane si localizzano 903 corpi glaciali (suddivisi fra ghiacciai in senso stretto, 60%, e glacionevati, 40%) che coprono una superficie totale di 370 km², per la quasi totalità situati sulle Alpi. La regione più glacializzata risulta la Valle d'Aosta con 134 km², seguita dal Trentino-Alto Adige (131 km²) e dalla Lombardia (88 km²). La regione alpina che risulta meno glacializzata è il Friuli con 0,2 km². Sugli Appennini, in Abruzzo, sono presenti solo due piccoli glacionevati derivanti dalla frammentazione del Ghiacciaio del Calderone sul Gran Sasso (0,04 km²). A livello generale va sottolineato che le Alpi italiane, uniche fra quelle degli stati alpini, vedono ghiacciai in tutti i settori, dalle Marittime alle Giulie. Prevalgono a livello numerico gli apparati di piccole dimensioni (<0,5 km²; sono solo tre quelli con superficie superiore a 10 km²: Adamello, Forni, Miage), con esposizione verso i quadranti settentrionali e con una grande varietà tipologica: dai ghiacciai vallivi, anche composti, a quelli di altopiano con

lingue radiali, a quelli ricoperti di detrito, con la prevalenza di quelli di circo. L'individuazione delle variazioni areali rispetto ai censimenti precedenti, in particolare quello del CGI 1959-1962, non è agevole. Le metodologie di raccolta dei dati sono infatti molto differenti e il risultato del confronto non può che essere approssimato; per il catasto CGI infatti i dati sono stati raccolti con misure di terreno e cartografia non sempre aggiornata. La tendenza del glacialismo italiano fra la metà del secolo scorso e l'inizio del secolo attuale è tuttavia chiara e indiscutibile: su tutti i settori delle montagne italiane i ghiacciai risultano in netto regresso, con una riduzione complessiva della superficie di 157 km² (-30%). Le maggiori riduzioni areali in percentuale si registrano nelle Regioni dove il glacialismo copriva superfici limitate, come il Friuli (-50%) e il Veneto (-48%); minori appaiono le riduzioni dove il glacialismo copriva superfici

più ampie, come la Valle d'Aosta (-26%) e la Lombardia (-24%). Un confronto si può effettuare anche con il *World Glacier Inventory*; in questo caso la riduzione areale appare ancora più sensibile (-39%). Nel periodo 1965-1985 si registrò infatti, come si è accennato, una piccola fase di espansione glaciale che portò ad un incremento numerico ed areale dei ghiacciai italiani (e di tutte le Alpi, e non solo) rispetto alla metà del XX secolo. Nel WGI i ghiacciai censiti risultano essere 1381 con una superficie totale di 609 km². Al di là dei dati e dei confronti numerici, va sottolineato che il paesaggio glaciale dell'alta montagna italiana è cambiato enormemente rispetto alla metà del XX secolo, come risulta evidente anche dai semplici raffronti fra le immagini riprese in periodi diversi. Fra gli altri fenomeni si osserva soprattutto dall'inizio del 2000 la frammentazione dei ghiacciai che si separano in apparati minori, non più inter-



***Ghiacciaio dei Forni, ormai frammentato in due-tre settori
(immagine satellitare Sentinel 2015, elaborazione di D. Fugazza).***

connessi; fra i casi più noti quelli della Lex Blanche e della Brenva sul Monte Bianco, del Lys sul Monte Rosa, del Ventina e del Fellaria Orientale sul Bernina, dei Forni e del Careser sull'Ortles-Cevedale, del Pisgana Occidentale in Adamello, del Malavalle nelle Breonie, della Marmolada e del Fradusta nelle Dolomiti. La frammentazione degli apparati glaciali deriva soprattutto dalla riduzione del loro spessore, a sua volta derivante dallo squilibrio fra ablazione (in aumento a causa delle temperature sempre più elevate) e alimentazione (in diminuzione a causa delle nevicate ridotte). Sui versanti glaciali più ripidi si aprono quindi "finestre" rocciose che nell'arco di poche estati aumentano la loro superficie fino

a separare i ghiacciai in tronconi isolati. Le lingue glaciali fanno registrare regressi annui di decine o di centinaia di metri, le fronti collassano per la formazione di fratture e caverne, ampliate dalle acque di fusione subglaciale, si formano laghi di contatto glaciale che a loro volta accelerano il disfacimento delle colate, si incrementa la copertura morenica superficiale grazie all'accentuazione dei dissesti sui versanti rocciosi (fenomeno questo che amplifica la fusione finché il detrito è sparso, a granulometria fine e con spessori millimetrici, mentre quando la copertura diventa continua e con spessori superiori ai 5-10 cm la fusione del ghiaccio sottostante viene rallentata). Che questa fase stia continuando



La fronte del Ghiacciaio dei Forni (Alta Valtellina, gruppo Ortles-Cevedale) con le evidenti "scavernature" di collasso (2017).



Il Ghiacciaio Pisgana Occidentale (Valcamonica, gruppo Adamello): laghi proglaciali, fasce rocciose emergenti, crepacci circolari e "calderoni", colate detritiche e morene superficiali indicano una fase di intenso regresso (2016).

e accelerando è dimostrato dai primi risultati di un progetto internazionale di censimento dei ghiacciai su tutto l'arco

alpino basato su immagini da satellite ad alta risoluzione (STN), come si può ricavare dalla tabella sottostante.

CATASTO (anno cui si riferiscono i dati)	Area in km ²	Numero
CGI (1959-1961)	527	835
WGI (1971-1982)	609	1381
NCGI (2007-2012)	370	903
STN (2015-2016)	349	881

BIBLIOGRAFIA

Comitato Glaciologico Italiano-Consiglio Nazionale delle Ricerche (1959-1962). *Catastro dei Ghiacciai Italiani*. Torino.

Smiraglia, C. Diolaiuti, G. (a cura di) (2015). *Il Nuovo Catastro dei Ghiacciai Italiani*. EvK2CNR. Bergamo.

SPELEOLOGIA GLACIALE: LA STORIA

Paolo Testa

Gruppo Speleologico CAI Varallo
Progetto Speleologia Glaciale

ABSTRACT

The history of glaciospeleology is shortly reviewed, starting from the first observations by Marc Theodor Bourrit (1739-1819) and Louis Agassiz (1807-1873) about alpine glaciers, up to the recent expeditions which grasped relevant knowledge all around the world.

In queste righe ripercorriamo brevemente la storia della glacio-speleologia (o speleologia glaciale) per capire come, dove, quando e perché è nata questa particolare attività.

Molti pensano che la speleo-glaciologia sia attività recente, ma non è proprio così... facciamo qualche passo indietro!

Nel 1785 lo scrittore e viaggiatore svizzero **Marc Theodor Bourrit** (1739-1819), nella sua pubblicazione "*Nouvelle description générale et particulière des glaciers*" scrive delle sue osservazioni al Mer de Glace: "*Ci si trova su una distesa di ghiaccio ondulato e attraversato da cavità più o meno profonde dove circolano dei ruscelli di una limpidezza perfetta; [...]*"

Bourrit descrive con dovizia i torrenti che si inabissano in quelle voragini e racconta delle guide di Chamonix che utilizzano questi misteriosi pozzi come attrazione per i turisti. Ancora non si cita il termine "mulino"...

Il primo a pubblicare uno studio sui pozzi glaciali è lo svizzero **Jean Louis Rodolphe Agassiz** (1807-1873), insigne scienziato, glaciologo e valente alpinista che nel 1840, nella sua pubblicazione "*Les Glaciers*", a proposito del Ghiacciaio del Gorner (chiamato "Ghiacciaio del Monte Rosa") scrive: "*E' qui che si trovano le grandi cavità che avevamo visto dalla sommità del Riffel e che noi eravamo*

curiosi di esaminare da vicino. Sono, in maggioranza, dei vasti imbuti, disposti su un immensa linea che si estende dalla base del Monte Rosa sino a oltre il Riffelhorn. [...] Abbiamo visto alcuni di questi imbuti (definiti "Creux", cavo) di più di trenta piedi di diametro nei quali si inabissavano veri e propri torrenti".

Agassiz inoltre ipotizza, correttamente, due condizioni fondamentali per la formazione di queste cavità: scarsità di crepacci e debole pendenza del ghiacciaio. Sarà proprio lui ad effettuare, nel 1841, la prima discesa in un mulino glaciale nel ghiacciaio dell'Aar (Svizzera), descrivendone l'impresa tre anni più tardi: "*...mi sono fatto calare in una di queste cavità o pozzo glaciale dove vengono ad inabissarsi la maggior parte dei ruscelli che serpenteggiano alla superficie. Sono così stato in grado di seguire le bande blu e bianche sino a 120 piedi (36 m) di profondità, dove ho incontrato l'acqua.*"

La spinta è stata la ricerca scientifica o la pura curiosità esplorativa? O entrambe? Possiamo definire Agassiz il padre della speleologia glaciale?

Nel 1841, il geologo elvetico **Jean de Charpentier** (1786-1855) pubblica "*Les glaciers*", che non è più la semplice cronaca di un viaggiatore, come erano soliti fare i naturalisti che lo precedettero, ma piuttosto un trattato di glaciologia scientifica, che già si preoccupa dell'idrologia

glaciale: “I crepacci [...] sono in qualche modo arterie [...] che distribuiscono l’acqua della pioggia e della fusione in tutta la massa del ghiacciaio, mettendola in contatto con crepe e fessure capillari, che trattengono tutto ciò che possono assorbire. La porzione d’acqua che non è assorbita arriva al suolo, letto del ghiacciaio, del quale essa segue l’inclinazione e la sinuosità sino ai piedi del ghiacciaio dove essa riappare sotto forma di uno o più torrenti”.

Charpentier mescola crepacci e mulini, ma sostiene per primo che l’acqua attraversi l’intero spessore del ghiacciaio.

Nel 1843 l’illustre geologo e glaciologo scozzese **James Davis Forbes** (1809-1868), parlando dei suoi studi sulla Mer de Glace, scrive: “Ma sempre, quale che sia lo stato di avanzata del ghiacciaio, queste cascate o moulins vengono trovate quasi esattamente nella stessa posizione, cioè opposte allo stesso oggetto fisso a lato del ghiacciaio. Questa è una prova evidente del continuo rinnovarsi del ghiaccio come del suo stato di aggregazione, rimanendo fisse le forme esterne mentre le parti costituenti avanzano”.

Forbes ha compreso che i ghiacciai si muovono mentre i mulini tendono a formarsi all’incirca nello stesso luogo, senza però ipotizzare quale possa esserne la ragione.

Egli è anche il primo a citare il termine “mulino” sempre in riferimento alle cascate della Mer de Glace: “Vicino a quel punto vi sono i “mulini” che le guide fanno sempre notare ai viaggiatori che vanno al Jardin.”; forse il precipitarsi delle acque nel pozzo glaciale ricordava alle guide le familiari cadute con cui un torrente azionava le macine dei mulini del paese.

Nel 1845 il naturalista ed alpinista svizzero **Pierre Jean Edouard Desor** (1811-1882), già collaboratore di Agassiz, sottolinea:



Il Ghiacciaio dei Forni fu eseguita sopra un disegno preso dal vero, dal pittore svizzero Carlo Allegri di Venetia.

Ghiacciaio dei Forni (Dal Bel Paese, 1881).

“...per soddisfare le esigenze di una nuova teoria, si era preteso, senza prova alcuna, per la verità che i pozzi si chiudessero tutti gli anni, a misura che il ghiaccio avanzava, e che altri si formassero nello stesso posto [...] È dunque dimostrato che i pozzi, lungi dal chiudersi tutti gli anni, persistono al contrario per vari anni e si spostano come le altre parti del ghiacciaio. Non pretendo negare con questo che certi pozzi si rinnovino annualmente.”

L’intuizione di Desor è attualissima per quanto riguarda le condizioni di formazione ed evoluzione delle forme di questi pozzi.

Il famoso fisico irlandese **John Tyndall** (1820-1893), forte alpinista, compie, nel 1872, precise osservazioni sull’origine dei mulini probabilmente senza avere letto gli scritti degli studiosi precedenti. Riformula la teoria di formazione dei mulini, e non sarà l’ultimo! Tyndall si pone un nuovo obiettivo: determinare la profondità del ghiacciaio scendendo i mulini. Dopo alcune prove (senza calarsi) ammette: “Tuttavia non ci sono motivi per supporre che questa fosse la profondità del ghiacciaio in quel punto.” ed osservando lo spostamento dei mulini conclude: “I mulini accompagnano il moto generale del ghiacciaio e la loro apparente stazionarietà

non fornisce, come era stato sostenuto, una dimostrazione della semi-fluidità del ghiacciaio; [la genesi è] dovuta alla rottura del ghiacciaio quando arriva nella zona di sforzo locale”.

Nel 1876 si dedica alla glaciologia, primo in Italia, l'illustre geologo e paleontologo lecchese **Antonio Stoppani** (1824-1891).

È ancora convinto che i mulini possano attraversare i ghiacciai fino al fondo roccioso e formula teorie sulla formazione delle “marmitte dei giganti” un po' arretrate rispetto quanto scritto fino ad allora. Nell'edizione del 1881 della sua opera più famosa “*Il Bel Paese*” (che consiglio vivamente di leggere) parla del ghiacciaio del Forno (alludendo a quello dei Forni in Valtellina): *“appunto perché il ghiacciajo si muove, il mulino sta fermo. Se il ghiacciajo si movesse, si moverebbe il mulino. [...] Immagina, che il ghiacciajo stia fermo: starèbbe fermo il mulino? Mainò, perché essendo di ghiaccio il tubo entro il quale precipita l'acqua, e possedendo questa una temperatura relativamente alta, l'acqua stessa scioglie continuamente la parete del tubo specialmente dal lato dove l'acqua cade, cioè verso l'insù, verso il monte. [...] La cascata, che cammina verso l'alto per la ragione che abbiám detto, cammina al tèmpeo stesso verso il basso seguèndo il movimento del ghiacciaio. Chi cammina al tèmpeo stesso in su ed in giù, che fa contemporaneamente un passo indietro e un passo avanti, vuol dire che sta fermo”.* Nonostante ciò, è stato fondamentale per la divulgazione delle scienze naturali in Italia e punto di riferimento per numerose generazioni successive...

Nel 1898, **Henry Marie Joseph Vallot** (1853-1925), astronomo, geografo, naturalista, filantropo e alpinista francese, narra su *Spelunca* la prima esplorazione

con scalette, compiuta nel 1896, allo scopo di misurare lo spessore del ghiacciaio: *“Il 28 agosto tornai ai mulini munito del materiale necessario. Una scala di corda fu fissata a un pezzo di legno incastrato nel ghiaccio, permettendo così la discesa nel pozzo. Calata la scala scesi giù e una delle mie guide scese dopo di me”.* Scendono 24 metri ma non vanno oltre.



Antonio Stoppani.

Vallot successivamente incontra un certo Sig. Fontaine che si propone di aiutarlo nelle esplorazioni, delle quali racconta: *“Il signor Fontaine ha per prima cosa sondato la maggior parte dei mulini del ghiacciaio di Leschaux (Mer de Glace). Infine l'esploratore ha trovato, a circa 200 metri a monte del Grand Moulin e accanto alla morena della riva destra, un mulino di una profondità di 60,5 metri, recentemente*

abbandonato dall'acqua e nel quale ha potuto scendere e fare le sue osservazioni il 9 settembre 1897. I disegni allegati mostrano la forma di questo mulino. Si vede che la sezione è abbastanza complicata. [...] La scala di corda aveva una lunghezza di soli 55 metri e dunque non è stato possibile vedere cosa diveniva quella cavità che, d'altra parte, era piena d'acqua in basso”.

Potremmo affermare che con questa pubblicazione è nata la Speleologia Glaciale moderna! Peccato che l'argomento diventi sempre meno interessante e pian piano su di esso cala il silenzio...

Nel 1930 il climatologo e geologo valdostano **Umberto Monterin** (1887-1940) insieme a **Carlo Somigliana** (1870-1955), fisico, matematico ed esperto alpinista milanese, propongono sul “*Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*” (di cui Somigliana fu il primo Presidente) un lavoro sui pozzi glaciali in cui precisano ancora una volta come si formano i mulini facendo riferimento alle

loro osservazioni al ghiacciaio del Lys ma anche agli studi di Forbes, Agassiz e Tyndall. Monterin riprende la teoria di Stoppani sull'origine delle "marmitte dei giganti" considerandola ancora valida.



Carlo Somigliana.

Nel 1937 lo studioso e alpinista **Ubaldo Valbusa**

chiarisce che i pozzi glaciali (a lui non piace definirli mulini) nulla hanno a che vedere con le marmitte, osservando: *1) I pozzi glaciali si spostano sempre avanti finché si estinguono e quindi non indietreggiano mai; la fusione sulla faccia verticale, a pozzo evoluto, è quasi nulla in tutti i sensi; l'indietreggiamento per fusione che mantiene costante la posizione assoluta del pozzo rispetto all'esterno, mentre il ghiacciaio avanza, è una vera illusione, per mancanza di misure adeguate, una trovata del buon Stoppani, ma invero un puerile arzigogolo verbale, che inganna, mentre presume di essere arguto, ed è fondato sull'errore smentito dal punto terzo [...]*

3) L'acqua di cascata, nel pozzo glaciale o fuori, non può scavare nella roccia sottostante «marmitte» ben definite e caratteristiche; ma può solo scavare [...] delle cavità irregolari, anche perché, dopo breve caduta verticale, giunge ad esso bacino incapace a dare vortice, e, suddivisa in gocce che flagellano la superficie senza turbare il fondo, sempre sommerge enorme quantità di aria, che, tornando a galla, annulla la corrente acquea che tende al fondo. Provate!"

Nel 1957 altri tornano ad interessarsi di grotte nei ghiacciai: ricercatori polacchi e francesi esplorano alcune grotte nei ghiacci sulle Isole Svalbard.

Negli anni '60 vengono esplorati diversi ghiacciai e si migliorano le tecniche ed il vestiario per la progressione nelle grotte glaciali.

Nel 1978 sul monte Rainier (USA), un vulcano alto 4.400 m, viene esplorata la grotta subglaciale Paradise Ice Cave, lunga ben 13 Km!

Nei primi anni '80, in Islanda speleologi svizzeri esplorano, sul versante di un vulcano, un vasto sistema di contatto con 3 km di sviluppo, che scende a -525 m.

E gli Italiani cosa fanno, stanno a guardare? No di certo!

1983, Mario Vianelli effettua le prime calate nel Ghiacciaio del Miage fino a 30 metri di profondità. Nel biennio 1985-86 è la volta del Gorner ove Mario Vianelli, Leonardo Piccini, Giovanni Badino ed altri esplorano vari mulini tra cui Mostro Tonante (-90 m) e l'Abisso Agassiz (-135 m). Vianelli e Piccini nell'articolo pubblicato su "Speleologia" del 1987 si interrogano nuovamente sulle cause che potrebbero portare alla formazione delle marmitte glaciali... ma la questione l'aveva già risolta il Valbusa nel 1937!

Nel 1987 ancora Vianelli, Badino e Piccini effettuano ricerche sul Ghiacciaio del Biafo (Karakorum), avvistando diversi mulini glaciali.

Due anni dopo, nel 1989, Giuseppe Antonini torna nella stessa zona con il gruppo di Ancona ed esplorano fino a circa -140 metri di profondità. Mai si era scesi così tanto fuori dall'Europa.

Ormai è chiaro che si possono formare mulini glaciali, ove le condizioni lo permettano, in tutto il mondo.

A partire dal 1990 le ricerche si intensificano: segnaliamo quelle in Kirzistan (1993), Forni (dal 1993 a ora), Patagonia (1995, 1997, 2000, 2004, 2010), Islanda (1997), Gorner (dal 1999 a ora), Groenlandia (1999), Aletsch, Antartide (2000-2001), ove si esplorano grotte a -14 °C.

Nel 2008 speleologi di Varallo, Saronno e Milano danno vita al *Progetto Speleologia Glaciale* (PSG); riunisce attualmente una cinquantina di persone di varie



Ghiacciaio del Morterash: cavità di contatto.

regioni italiane. Vanta collaborazioni e patrocinii di enti nazionali e stranieri. Ma perché questo progetto? In primo luogo per ampliare le conoscenze riguardo tutti i ghiacciai dell'arco alpino che presentano fenomeni di carsismo glaciale. Inoltre per unire in una struttura organizzata tutti quegli speleologi che praticano gliaciospeleologia, indipendentemente e anche al di fuori di finalità scientifiche. Questi i ghiacciai dove tutt'ora opera: Ventina, Scalino e dei Forni in Italia, Gorner, Aletsch, Ferpècle, Morteratsch e Pers in Svizzera.

Nell'aprile 2009 ha dato vita alla lista "Glaciospeleologia", con oltre 150 iscritti. Dal 2014 porta avanti l'ambizioso progetto *INSIDE THE GLACIER - Esplorazioni e Scienza all'interno dei ghiacciai*, incentrato sulla stretta collaborazione tra esploratori, ricercatori e studiosi; operativamente conduce e collabora a sondaggi, studi geomorfologici, chimici e biologici nel cuore dei ghiacciai e all'acquisizione di documentazione anche 3D e con droni.

...e la storia continua!

IL GRUPPO MARTEL: ESPLORAZIONI NEI GHIACCIAI VALDOSTANI

Giuliano Rimassa, Egle Razanskaite

Gruppo Speleologico Edouard A. Martel, Genova

ABSTRACT

Since 2003, the Edouard A. Martel caving group (Genova) has been organizing several speleological campaigns on several glaciers of the Aosta Valley, including those of Mont Gelé (2003), Rutor (2012), Tsanteleina (2013) and Miage (2016). Main results of these campaigns are discussed.

Tra l'anno 2003 e il 2018 il Gruppo Speleologico Edouard A. Martel di Genova ha effettuato 14 campagne esplorative su numerosi ghiacciai di un'ampia porzione dell'arco alpino. Particolare attenzione è stata rivolta alla Val d'Aosta dove sono state intraprese ricerche di speleologia glaciale nei ghiacciai del Monte Gelé (2003), del Rutor (2012), della Tsanteleina (2013) e del Miage (2016).

Il ghiacciaio del Mont Gelé è situato appena a Sud dell'omonima cima (3519 m) della Valpelline, posta sulla linea di confine tra Italia e Svizzera. Nel 2003, in periodo estivo, il ghiacciaio del Mont Gelé fu meta di studi da parte della Fondazione Montagna Sicura per la comparsa di 2 grandi voragini. Oltre al monitoraggio costante, ci fu un progetto di indagine georadar per il riconoscimento dei laghi endoglaciali e subglaciali. Nello stesso anno il Gruppo Martel effettuò un'uscita sul ghiac-

ciaio visitando le due voragini: qualche semplice calata che, per il gruppo, rappresentò comunque il battesimo glaci-speleologico. Attualmente il ghiacciaio, che è esposto totalmente a Sud ed è a una quota relativamente modesta, appare in forte regresso per la scarsità di precipitazioni invernali e per le temperature estive roventi.

Nel 2015 appariva frazionato in due porzioni. Nel 2017, o forse già dal 2016, le porzioni erano diventate tre a seguito della definitiva separazione di una placca di ghiaccio sulla destra orografica, ora delimitata da una banda rocciosa. Delle tre porzioni, solo quella superiore appare ancora attiva.

Il ghiacciaio del Rutor è uno dei più vasti ghiacciai della Valle d'Aosta. Si trova nel vallone di La Thuile e prende il nome dalla Testa del Rutor (3486 m), la montagna più alta che lo contorna. È inoltre circondato dalle vette del Flambeau (3315 m),



**Ghiacciaio Tsanteleina
Grotta Ts 001-201308M.**

dal monte Doravidi (3439 m), dal monte Château Blanc (3408 m), dalla Becca du Lac (3402 m), dalla punta d'Avernet (3307 m) e dal Grand Assaly (3177 m). Al centro del ghiacciaio si alzano le Vedette del Rutor (3332 e 3236 m). Le sue caratteristiche principali sono: lunghezza 4,6 km, larghezza 3,8 km, estensione circa 9,2 km², esposizione Nord, quota massima 3480 metri circa, quota minima 2640 metri. Da esso nasce la Dora di Verney, affluente della Dora Baltea.

Sul ghiacciaio del Rutor il Gruppo Martel, nel 2012, ha effettuato delle battute esplorative non troppo fortunate anche per via del meteo inclemente, con bufore di neve e giornate di pioggia, e della logistica molto complicata, con un accesso al campo interamente sul versante Nord, per un dislivello di 1135 m, accesso che richiedeva circa 7 ore. Sono stati comunque georeferenziati gli ingressi di cinque piccoli mulini.

Nel 2013 l'attenzione del Gruppo fu rivolta al ghiacciaio della Tsanteleina, nell'alta Val di Rhêmes, raggiungibile dal rifugio Benevolo. Il ghiacciaio si sviluppa sotto la Punta Tsanteleina (3601 m), sulla cresta di confine tra Italia e Francia, e ai piedi della larga e franosa parete Est della Granta Parei (3387 m). Poco crepacciato, ha una superficie di circa 3,2 km² con pendenza poco sostenuta e un lungo tratto semipianeggiante. Negli ultimi anni, la zona frontale del ghiacciaio sta assumendo l'aspetto di un ghiacciaio nero (debris covered glacier).

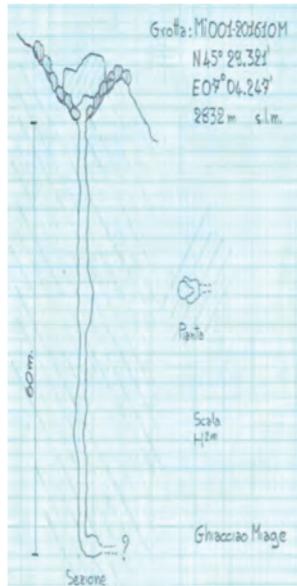
L'innevamento sul ghiacciaio durante l'anno idrologico 2012/13 era stato abbondante. L'accumulo massimo è stato misurato il 13 giugno. In tale data si può stimare che sul ghiacciaio fossero presenti oltre 4 milioni di metri cubi in equivalente in acqua che, se distribuiti su tutto il ghiacciaio, corrispondevano a

1,55 m di acqua equivalente, un valore è addirittura il doppio di quello del 2011. Nel corso dell'estate oltre l'80% della neve è andato incontro a fusione e il 20 settembre sul ghiacciaio era presente un volume di neve inferiore al milione di metri cubi in acqua equivalente. Sempre a settembre è stata anche rilevata, tramite GPS, la posizione della fronte: rispetto al rilievo precedente, eseguito nell'ottobre 2012, la fronte risultava arretrata, a seconda dei settori, da un minimo di 5 a un massimo 18 m.

Alcune gite sci-alpinistiche avevano permesso di scegliere in precedenza la posizione dove allestire un

campo con tende, in un luogo che fosse vicino al mulino ma il più possibile pianeggiante. Il campo ha permesso di individuare 14 mulini le cui posizioni sono riassunte nella Tabella 1.

Nel 2016 il Gruppo si è dedicato al ghiacciaio del Miage, in Val Veny, ai piedi del versante meridionale del Monte Bianco. Il ghiacciaio è lungo più di 10 km e si estende per 11 km². La parte alta è caratterizzata da crepacci e seraccate; la parte inferiore è completamente ricoperta da detriti che ne fanno il più grande



***Il mulino disceso,
profondo 60 m.***

Mulino	Latitudine	Longitudine	Quota
Ts001-201308M	N45 29.251	E7 04.289	2830 m
Ts002-201308X	N45 29.264	E7 04.321	2819 m
Ts003-201308M	N45 28.946	E7 04.164	2912 m
Ts004-201308M	N45 28.941	E7 04.168	2907 m
Ts005-201308M	N45 28.934	E7 04.172	2914 m
Ts006-201308M	N45 28.786	E7 03.984	2948 m
Ts007-201308X	N45 28.741	E7 03.954	2953 m
Ts008-201308X	N45 28.736	E7 03.957	2953 m
Ts009-201308M	N45 28.730	E7 03.962	2952 m
Ts010-201308M	N45 28.765	E7 04.003	2953 m
Ts011-201308M	N45 29.045	E7 03.686	2999 m
Ts012-201308M	N45 29.056	E7 03.685	2999 m
Ts013-201308M	N45 29.321	E7 04.247	2832 m
Ts014-201308F	N45 29.059	E7 04.233	2888 m

Tabella 1. Posizioni dei mulini individuati sul ghiacciaio della Tsanteleina.

ghiacciaio nero delle Alpi italiane. Non sorprende, quindi, che il ghiacciaio sia stato molto studiato per caratterizzarne la copertura detritica e i suoi effetti. A causa della copertura, la fusione del ghiaccio sottostante può variare molto da zona a zona, anche a parità di quota: se il detrito roccioso ha uno spessore superiore a un valore definito “critico”, esso è in grado di limitare intensità e velocità dell’ablazione che, in caso contrario, avviene molto più rapidamente. Quando il detrito sopragliaciale è sufficientemente stabile, è anche possibile che esso costituisca un substrato per lo sviluppo di comunità vegetali e animali.

Anche sul Miage è stato allestito un campo con tende, sia pure con qualche difficoltà per la presenza di pietre e detriti. Nei dintorni sono stati individuati:

- sei mulini, non tutti accessibili,
- tre laghi glaciali, di cui uno che conflui-

sce in una grotta glaciale di contatto che, senza un canotto, non è stato possibile esplorare,

- vari scivoli che finivano, dopo averli scesi, in mulini ostruiti da rocce.

Di notte è stato sceso un immenso inghiottitoio vicino alle tende, nella speranza che il freddo tenesse ferme tutte le pietre che incombevano sulla testa.



L'ingresso del mulino.

Ingresso	Latitudine	Longitudine	Quota	Note
Mi001-201610M	<i>N45° 29.251'</i>	<i>E7° 04.289'</i>	<i>2830 m</i>	
Mi002-201610X	<i>N45° 29.264'</i>	<i>E7° 04.321'</i>	<i>2819 m</i>	<i>Inghiottitoio di 70 m; finisce su lago</i>
Mi003-201610M	<i>N45° 28.946'</i>	<i>E7° 04.164'</i>	<i>2912 m</i>	
Mi004-201610M	<i>N45° 28.941'</i>	<i>E7° 04.168'</i>	<i>2907 m</i>	
Mi005-201610F	<i>N45° 28.934'</i>	<i>E7° 04.172'</i>	<i>2914 m</i>	
Mi006-201610F	<i>N45° 28.786'</i>	<i>E7° 03.984'</i>	<i>2948 m</i>	
Mi007-201610X	<i>N45° 28.736'</i>	<i>E7° 03.957'</i>	<i>2953 m</i>	
Mi008-201610F	<i>N45° 28.730'</i>	<i>E7° 03.962'</i>	<i>2952 m</i>	
Mi009-201610X	<i>N45° 28.765'</i>	<i>E7° 04.003'</i>	<i>2953 m</i>	
Mi010-201610X	<i>N45° 29.045'</i>	<i>E7° 03.686'</i>	<i>2999 m</i>	
Mi011-201610M	<i>N45° 29.056'</i>	<i>E7° 03.685'</i>	<i>2999 m</i>	<i>Il mulino disceso</i>

**Tabella 2. Posizioni degli ingressi individuati sul ghiacciaio del Miage.
Rilievi di Egle Razanskaite tramite GPS con quota satellitare.**

Dopo aver percorso uno scivolo di circa 70 m, è stato trovato un bel laghetto endoglaciale che bloccava la strada.

È stato sceso anche un mulino costituito da un solo pozzo di circa 60 m, con una sezione ellittica variabile da 1 x 2,5

m fino a 2 x 3,5 m, il cui ingresso era sormontato da un grande masso appena sollevato dal bordo del pozzo.

Le posizioni degli ingressi individuati sul ghiacciaio del Miage sono riassunte nella Tabella 2.

IL GHIACCIAIO DELLA ROSSA E LE SUE GROTTTE

Juri Bertona, Gianni Corso

Gruppo Grotte CAI Novara

ABSTRACT

In 2006 the Gruppo Grotte Novara explored two unexpected caves in the vanishing Rossa glacier (Alpe Devero, VB, North-Western Italy). The main one developed for 495 m at the contact between the glacier and the rocky substrate; its depth was 81 m. Two rivers which flowed through the cave probably controlled its morphology, probably also affected by the energetic air flow among different entrances. The cave turned out to be relatively long-living, allowing three different surveys in the last 10 years. The reasons of this long life, as well as the modifications of the cave morphology are discussed.

A Nord dell'Alpe Devero (Baceno, VB), non lontano dalla Punta della Rossa, è presente l'omonimo ghiacciaio, di modeste dimensioni (44 ha secondo il catasto glaciologico italiano, edizione 1959) e in evidente fase regressiva. Il ghiacciaio è posizionato alla base dell'arco tra il pizzo Bandiera ed il monte Cervandone e ormai può essere definito un ghiacciaio nero, in quanto quasi integralmente coperto di detriti. Nel Ghiacciaio della Rossa era stata segnalata nel 2005 la presenza di mulini e probabili cavità, e nell'anno successivo sono iniziate le esplorazioni a cura del Gruppo Grotte CAI Novara.

ESPLORAZIONI

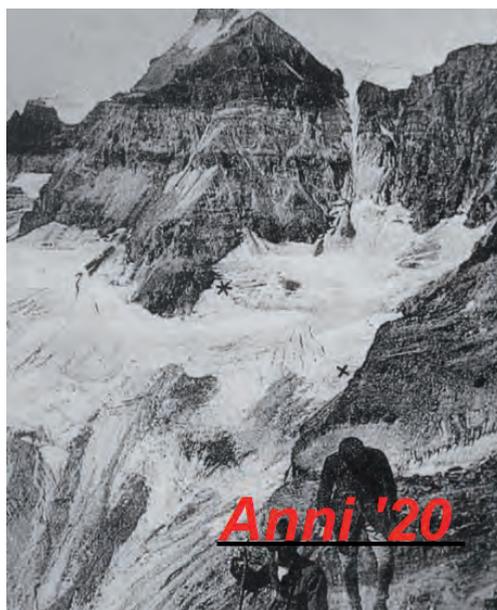
Nel corso del 2006 sono state rilevate due cavità glaciali; la principale con sviluppo pari a 495 m e una minore, lunga circa 50 m, rilevata solo successivamente e posta a Sud-Ovest degli ingressi alti della grotta principale. All'epoca della scoperta la grotta principale si è rivelata essere la più lunga grotta glaciale dell'intero arco alpino, fatto che appariva inaspettato in relazione alle dimensioni modeste del ghiacciaio. Le grotte rientravano nella



Posizione del Ghiacciaio della Rossa.

tipologia di cavità di contatto, ed in particolare la principale era percorsa per l'intera lunghezza da un torrente che scorre sul fondo della valletta in cui si sviluppa il ghiacciaio.

La grotta principale si apre nella parte bassa del ghiacciaio, con l'ingresso inferiore nei pressi della sua fronte. La presenza di alcune aperture a soffitto nella parte mediana e terminale della grotta hanno permesso di valutare lo spessore del ghiacciaio che nel 2006 era di circa 10 m. La grotta è stata monitorata nel tempo e sono stati prodotti altri due rilievi nel corso di un decennio. La sovrapposizione dei rilievi georeferenziati mostra che:



Trasformazione del Ghiacciaio della Rossa nel tempo.

- a) la posizione della grotta è pressoché invariante,
- b) le variazioni dello sviluppo sono dovute a riduzioni sia in testa che nella parte terminale,
- c) mulini o aperture verso l'esterno (parte mediana) sono soggetti a spostamenti e scomparse,
- d) l'altezza media della grotta si è progressivamente ridotta nel tempo,
- e) nel 2006 l'ingresso basso era transitabile; successivamente la grotta terminava a causa dell'abbassamento della volta.

Le variazioni principali osservate negli anni riguardano la perdita di un ramo nella parte alta della grotta principale, e di parte della grotta nella parte bassa, tuttavia i meccanismi sono diversi per i due casi; il ramo a monte è scomparso per la perdita di spessore del ghiacciaio in cui la grotta si apriva, mentre nella parte terminale, la volta della grotta si è abbassata al punto da rendere intransitabile la cavità, con

un arretramento del ghiacciaio che non giustifica la riduzione dello sviluppo della grotta.

Una seconda grotta si apre a monte di quella principale. Presente fin dal 2006, la sua dimensione è modesta, con sviluppo al 2011 di circa 50 m. Nel 2018 la grotta era lunga solo pochi metri, e lasciava tracce evidenti dei meccanismi che hanno portato ad una riduzione così importante.

DISCUSSIONE

La letteratura corrente considera le grotte glaciali come fenomeni transitori e soggetti a modificazioni importanti nel corso di pochi anni, se non di mesi. La grotta in esame è invece risultata estremamente costante per forma, dimensioni e posizione nel corso dei 10 anni di monitoraggio; le motivazioni di questo comportamento sono molteplici ed in primo luogo si ipotizza siano legate al fatto che la grotta si apre in un ghiacciaio a basso spessore e

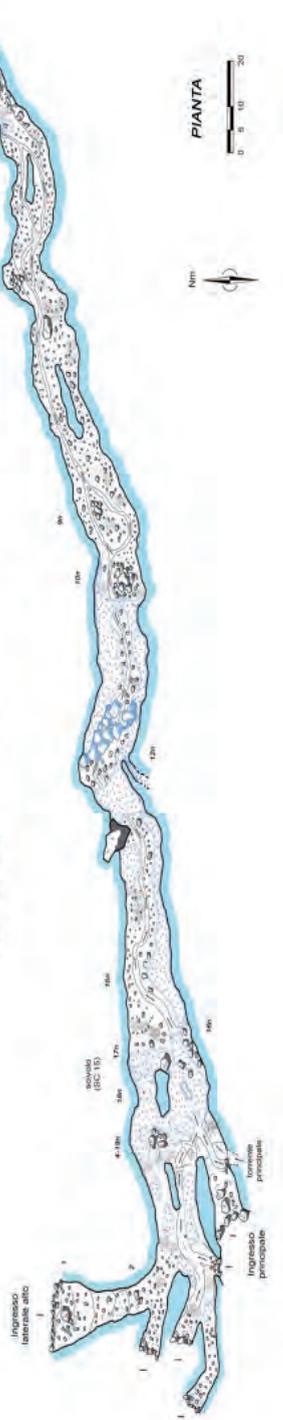
Grotta nel ghiacciaio della Rossa - (Alpe Devero - VB)
 Rilievo di: F. Bianco, G.D. Cella, C. Manzoni, F. e M. Ricci
 Disegno di: F. Bianco
 GGN - 08/10/2006

SEZIONE LONGITUDINALE

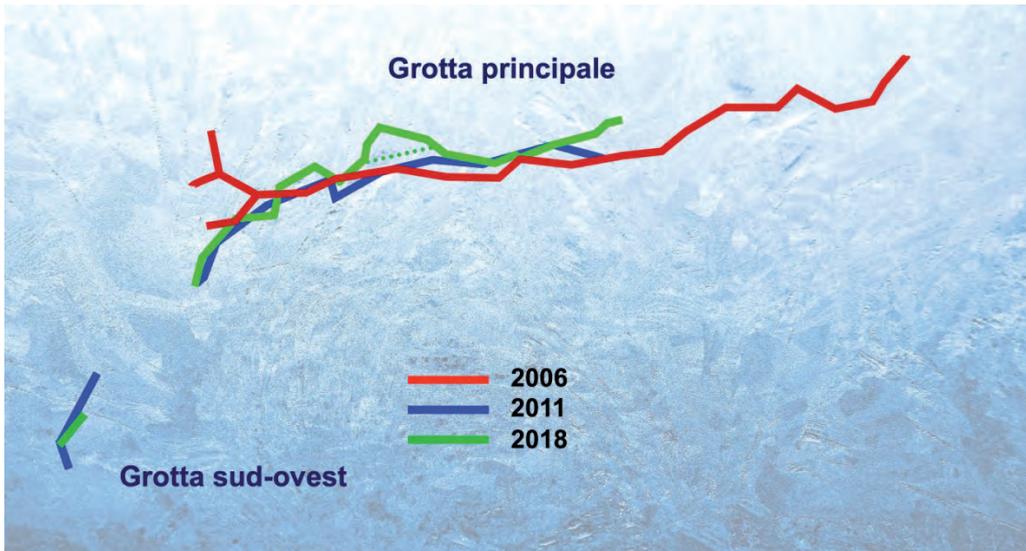


Grotta nel ghiacciaio della Rossa - (Alpe Devero - VB)
 Rilievo di: F. Bianco, G.D. Cella, C. Manzoni, F. e M. Ricci
 Disegno di: F. Bianco
 GGN - 08/10/2006

PIANTA



Grotta della Rossa, anno 2006.



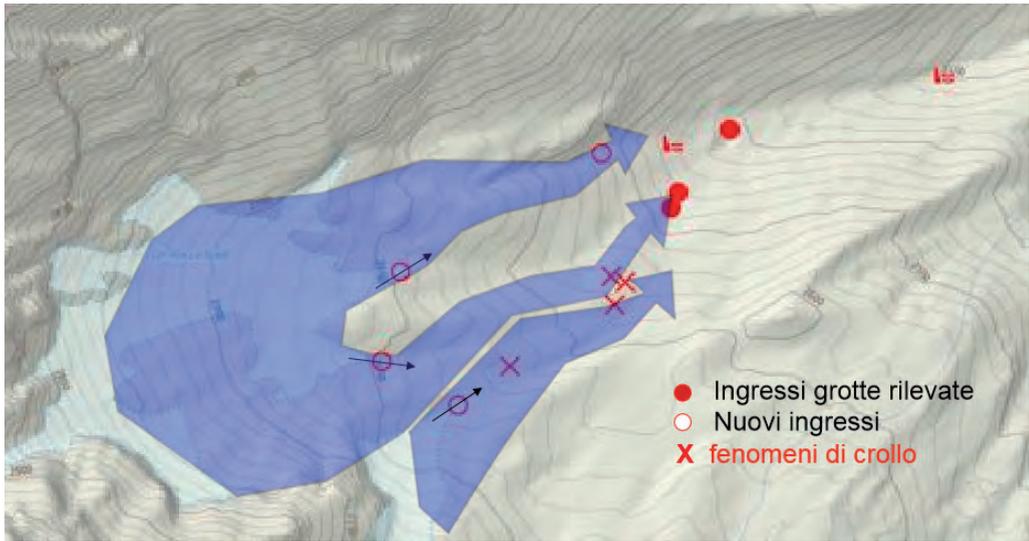
Grotta della Rossa: i rilievi si riferiscono agli anni 2006, 2011 e 2018.

quindi non è sottoposta a forti pressioni da parte di masse glaciali soprastanti. I risultati di calcoli teorici che correlano la vita di una cavità glaciale con la sua profondità sono assolutamente compatibili con la longevità della grotta. In secondo luogo, la grotta è una cavità di contatto, scavata da un corso d'acqua che scorre al suolo con un percorso definito che ne governa la planimetria. Infine l'assenza di una rilevante alimentazione da parte della massa glaciale a monte (nel 2018 nulla) e la bassa inclinazione del pendio, fanno

presupporre velocità di scorrimento del ghiacciaio estremamente basse. Interessante è poi il meccanismo di riduzione della grotta di Sud-Ovest. I fenomeni coinvolti sono essenzialmente una progressiva riduzione dello spessore del ghiacciaio ed un aumento della dimensione della galleria. Questi comportano una riduzione dello spessore della volta di ghiaccio che alla fine collassa sotto il suo stesso peso, oltre a quello della copertura detritica. Il comportamento delle grotte investi-



Meccanismo di scomparsa della grotta di Sud-Ovest.



***Situazione del ghiacciaio al 2018
(è esclusa la zona delle grotte discusse).***

gate suggerisce che per un ghiacciaio in buona salute la presenza di cavità non incida significativamente sulle dinamiche di accrescimento/decrecita della sua massa; i volumi delle cavità rappresentano solo una frazione del volume complessivo, e sono entità che possono essere riassorbite/ridotte stagionalmente grazie alla plasticità del ghiaccio sottoposto a forze di compressione. Nel caso di ghiacciai in fase palesemente regressiva invece il volume delle cavità potrebbe essere non trascurabile localmente rispetto alla massa glaciale, inoltre la presenza di cavità contribuisce a velocizzare la perdita di massa per fusione anche dall'interno. Infine il collasso delle cavità separa porzioni del ghiacciaio rendendolo ancor più facilmente aggredibile a causa dell'aumento del rapporto superficie esposta/volume. Inoltre, grotte con modesta copertura sono relativamente longeve in quanto non sottoposte a pressioni importanti, e

quindi non subiscono quei fenomeni di riduzione delle volumetrie tipiche delle grotte endoglaciali profonde.

PROSPETTIVE

Il Ghiacciaio della Rossa è in evidente fase di ritiro e la zona delle grotte descritte in questo lavoro sembra ormai scollegata e priva di alimentazione da parte del ghiacciaio a monte; il ramo principale risulta separato in due strutture.

Recenti ricognizioni hanno evidenziato la comparsa di fenomeni carsici nella parte superiore del ghiacciaio, con presenza di nuove cavità, mulini e doline, che verranno esplorati nel corso dei prossimi anni. Molto interessante sarà inoltre la prosecuzione del monitoraggio delle grotte esistenti e dell'evoluzione del sistema ghiacciaio/grotte per poter estrapolare comportamenti e modelli da verificare su altri sistemi, anche di dimensioni maggiori.

IL GHIACCIAIO DEI FORNI: 25 ANNI DI STUDI E RICERCHE

Paola Tognini

Gruppo Grotte Milano CAI-SEM
Federazione Speleologica Lombarda
Progetto Speleologia Glaciale

ABSTRACT

The Forni Glacier has been studied since 1993, as for glacial karst processes: 25 years of studies and observations allowed to understand the main processes leading to glacial caves formation and evolution, and to highlight the relationship between caves and glacier.

PAROLE CHIAVE: Ghiacciaio dei Forni; cavità glaciali; inghiottitoi glaciali; grotte di contatto.

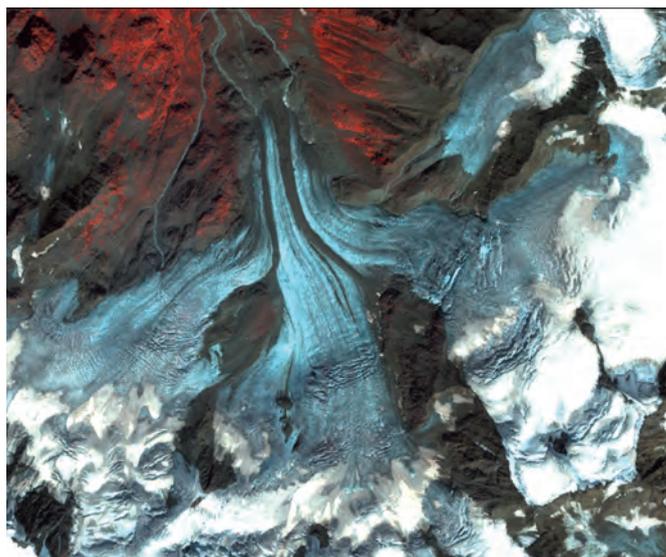
KEYWORDS: Forni glacier; glacial caves; moulins and glacial sinkholes; contact glacial caves.

Il Ghiacciaio dei Forni (Valfurva, Lombardia) è situato nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale, dove si trovano i più estesi ghiacciai delle Alpi Centrali. Con una superficie di

11,4 km² ed una lunghezza di 3,2 km, è il secondo ghiacciaio italiano per estensione.

Classificato come ghiacciaio di tipo "himalayano", caratterizzato cioè dalla confluenza di più bacini glaciali, è il più lungo ghiacciaio delle Alpi italiane. Tuttavia, dalla fine della PEG (Piccola Età Glaciale) (1860) la lingua valliva del Ghiacciaio dei Forni è in continuo ritiro (con una breve fase positiva di avanzata negli anni '70-80), e ha perso complessivamente quasi 3 km di lunghezza; i suoi diversi bacini sono attualmente in via di separazione, cosa che ha portato all'odierna frammentazione dei diversi apparati.

Tra i primi ghiacciai dell'arco alpino a essere studiato in modo sistematico, fin dalla fine dell'800, il



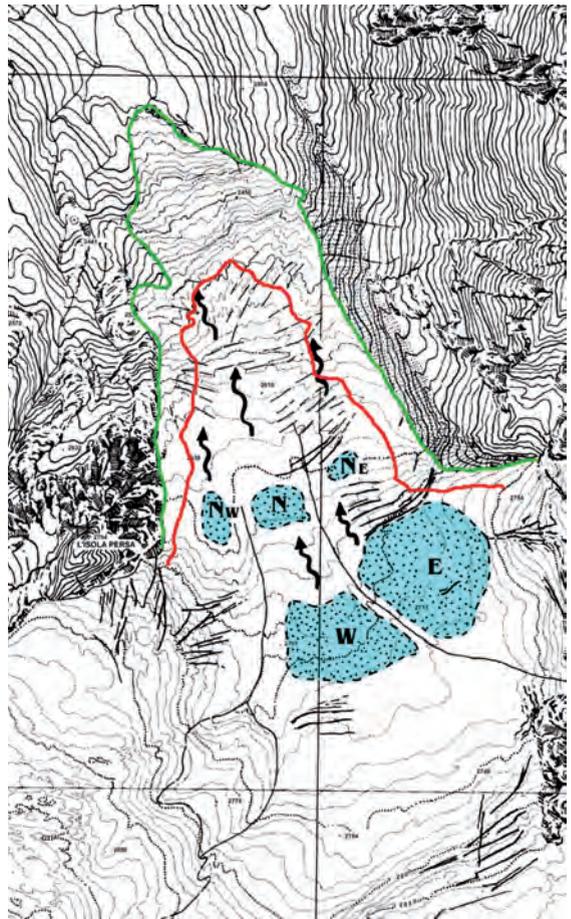
Il Ghiacciaio dei Forni in un'immagine IKONOS di Arpa Lombardia del 2003: si può osservare la struttura a bacini composti, con la confluenza di tre diversi apparati: ora sia il bacino orientale che quello occidentale sono separati dal corpo centrale.

Ghiacciaio dei Forni è stato investigato dal punto di vista del carsismo glaciale per la prima volta nel 1993 dal Gruppo Speleologico Varesino e dall'Università di Padova; dal 1994 il Gruppo Grotte Milano CAI-SEM vi effettua campagne annuali, affiancato dal 2008 anche dal Progetto Speleologia Glaciale. Le principali morfologie glaciocarsiche di questo ghiacciaio sono quindi state osservate per un periodo di 25 anni, sia in superficie che all'interno del ghiacciaio.

Osservazioni ed esplorazioni sistematiche su un così lungo periodo hanno portato ad importanti risultati. Da una parte, i primi anni di studio hanno permesso di comprendere i processi e i meccanismi di formazione dei numerosi inghiottitoi glaciali e di osservarne l'evoluzione nel tempo, in un periodo in cui lo studio delle cavità glaciali era ancora in fase relativamente giovane e ancora dovevano consolidarsi le recenti teorie genetiche ed evolutive.

Dall'altra parte in questo periodo di 25 anni è risultata evidente la stretta relazione tra evoluzione del carsismo glaciale ed evoluzione del ghiacciaio, e gli effetti delle recenti riduzioni di volume del ghiacciaio sulle morfologie carsiche.

Per quanto riguarda i modelli evolutivi, è stato osservato che, fino ai primi anni del 2000, esistevano cinque zone distinte che presentavano inghiottitoi glaciali: l'esplorazione e la documentazione sistematica delle cavità ha mostrato come i mulini si presentassero in genere in serie di inghiottitoi allineati da monte a valle, con una caratteristica sequenza di mulini in formazione, mulini fortemente attivi di dimensioni crescenti, mulini in progressiva fase di "fos-



Le aree in cui sono state esplorate cavità endoglaciali, a partire dal 1994: a causa della riduzione di volume del ghiacciaio, che ha provocato assottigliamento e fratturazione, nelle zone E, NE e NW non si formano più cavità.

La linea verde mostra la posizione della fronte nel 1981, la linea rossa nel 2003: tra il 1981 e il 2006 la fronte è arretrata di più di 560 m e lo spessore si è ridotto, in alcuni punti, di ben 70 m.

silizzazione" e riduzione di dimensioni, fino alla totale scomparsa. Si è osservato come occorressero circa tre anni perché un mulino raggiungesse le dimensioni massime, e altrettanti per il suo collasso e la sua definitiva scomparsa.

Dal 2004 si è iniziata a osservare la presenza di forre endoglaciali percorribili,



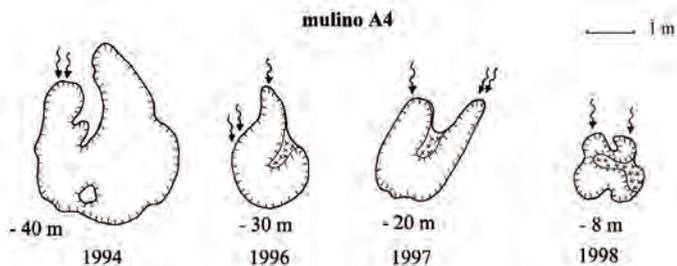
**Uno dei numerosi mulini del Ghiacciaio dei Forni:
la profondità massima degli inghiottitoi glaciali è sempre stata di 40-50 m.**

anche di grandi dimensioni, e la presenza di mulini con fondo allagato. Mulini totalmente o parzialmente allagati sono stati invece osservati in diverse occasioni nel corso degli anni.

Si osserva anche il fenomeno dello “scoperchiamento” di forre endoglaciali, che origina canyon epiglaciali, anche se il fenomeno è molto più modesto che in altri ghiacciai, come, per esempio, il Ghiacciaio del Morteratsch.

Nel 2006 ha richiamato l’attenzione la comparsa di un traforo idrogeologico alla fronte, preludio

alla formazione sempre più frequente di cavità di contatto: proprio la presenza e l’evoluzione per crollo di grandi cavità di contatto sono responsabili di drammatiche variazioni morfologiche e di perdite



Esempio dell’evoluzione nel tempo di un mulino sul Ghiacciaio dei Forni, dalla sua massima dimensione, fino alla progressiva scomparsa (ingresso, visto in pianta). (Disegno di Paola Tognini)



La grande galleria di contatto formatasi alla fronte del Ghiacciaio dei Forni tra il 2006 e il 2009.



Ghiacciaio dei Forni, settembre 2009: il crollo di una cavità di contatto ha permesso di accedere, per un breve periodo, a un lago subglaciale, lungo circa 28 m, largo una decina di metri, con una superficie stimata di circa 185 m². Simili osservazioni dirette sono però molto rare.



Grotta di contatto presente alla fronte del Ghiacciaio dei Forni nell'ottobre del 2018.

di grandi volumi di ghiaccio alla fronte e lateralmente.

Nell'estate del 2009 è stato invece osservato un lago subglaciale in una cavità laterale originata da un torrente alloctono: il collasso della cavità ha probabilmente innescato fenomeni di crollo in una cavità a valle, forse responsabili di un fenomeno di GLOF che potrebbe aver interessato il sottostante lago proglaciale, scomparso nello stesso anno. Questo testimonia in modo evidente le strettissime relazioni tra cavità glaciali ed evoluzione del ghiacciaio stesso.

Le modifiche alla fronte causate dal crollo

di grandi cavità di contatto sono diventate sistematiche, e sempre più importanti, a partire dal 2013: anche in questo caso carsismo glaciale ed evoluzione del ghiacciaio appaiono indissolubilmente legati. È da notare, però, che la formazione di grandi cavità di contatto alla fronte non è nuova per questo ghiacciaio: il toponimo "Forni" (comune anche ad altri ghiacciai, come il Ghiacciaio del Forno in Val Bregaglia) pare sia proprio riferito alle grandi "bocche" visibili, anche in passato, alla fronte, simili appunto ad aperture di forni, come riferisce anche Antonio Stoppani nel suo "Bel Paese".

LE GROTTI NEL GHIACCIAIO DELLO SCALINO

Andrea Ferrario

Gruppo Grotte Saronno CAI-SSI

ABSTRACT

The Scalino glacier lies on the North face of Pizzo Scalino (3322 m), in the Bernina group (Central Alps). Like most of the Alpine glaciers, it is undergoing a phase of marked reduction of both its surface (-22% between 1990 and 2007) and volume. In 2011 and 2012 a dozen of caves, both vertical (moulins; max. depth 45 m) and sub-horizontal (max. length ca. 50 m), have been identified and explored between 2800 and 2950 m, quite a high altitude compared with the typical ones at which ice caves usually form.

Il Ghiacciaio dello Scalino è un ghiacciaio di tipo montano localizzato sul Pizzo Scalino (3.322 m), esposto verso Nord e con una quota minima della fronte localizzata a 2.638 m (Servizio Glaciologico Lombardo, 2014). Come la maggior parte dei ghiacciai alpini sta subendo un forte

decremento della superficie e del volume di ghiaccio; difatti dal 1990 al 2007 è stata registrata una diminuzione della variazione areale del ghiacciaio stesso pari al 22% (Servizio Glaciologico Lombardo, 2012).

Il Pizzo Scalino è tra le cime più a Sud



Il Ghiacciaio dello Scalino, anno 2011.



Ingresso di un mulino formato da una bediere con portata d'acqua considerevole.

del Gruppo del Bernina e geograficamente è poco distante dalla Valtellina e dalla città di Sondrio, ma la sua posizione abbastanza isolata rispetto alle principali vie di comunicazione della Valmalenco la rende una vetta che richiede lunghi avvicinamenti, mai banali se da affrontare con carichi pesanti. Per questo motivo, oltre al fatto che le quote sono abbastanza elevate rispetto allo standard dove si trovano solitamente i mulini glaciali nelle Alpi, il Ghiacciaio dello Scalino non è mai stato considerato particolarmente interessante dal punto di vista speleoglaciale. Ma si sa, in tempi di cambiamenti climatici, certi preconcetti sono facilmente superabili

e tutto deve essere rimesso in discussione, così anche il tema delle quote a cui si possono formare le grotte glaciali.

L'avvio di contatti e di una nuova collaborazione nel 2010 tra il Servizio Glaciologico Lombardo (SGL) e il Progetto Speleologia Glaciale ci consente di sapere, in particolare da Mario Butti, che sullo Scalino sono presenti buchi che inghiottono l'acqua superficiale. L'informazione ci fa subito capire che stiamo parlando di carsismo glaciale a tutti gli effetti, per cui nel settembre del 2011 viene organizzato un sopralluogo sul ghiacciaio, e con ottimismo portiamo l'attrezzatura completa per fare eventuali esplorazioni delle cavità. Personalmente avevo già fatto anni prima la scalata dello Scalino un paio di volte, ma stavolta ho sottovalutato l'influenza del peso delle attrezzature su un percorso di avvicinamento così lungo, con partenza da Campo Moro.

Infatti l'avvicinamento si rivela molto più lungo del previsto e siamo costretti a lasciare parte dei pesi lungo il sentiero, per arrivare sul ghiacciaio in tempi utili per fare un sopralluogo decente.

Dopo aver abbandonato un po' di materiale e aver suddiviso i restanti sulle nostre spalle, arriviamo finalmente sul ghiacciaio. In breve identifichiamo i buchi segnalati da Butti in due categorie, alcuni sono mulini glaciali veri e propri, di tipo endoglaciale che inghiottono l'acqua dalle bediere soprastanti e con sviluppo prevalentemente verticale. Poi ci sono anche alcuni ingressi localizzati in posizione più ad ovest e laterali che formano delle grotte

epidermiche e con andamento sub orizzontale. Complessivamente posizioniamo 11 ingressi e, dato il poco materiale a disposizione, ne esploriamo parzialmente solo alcuni. Le cavità si trovano tra i 2.800 e i 2.950 m di quota, confermando che il limite massimo di quota a cui prima pensavamo potessero essere le condizioni ideali per la formazione delle grotte glaciali (tra i 2.500-2.600 m) è stato abbondantemente superato, arrivando quasi a toccare i 3.000 m. Possiamo affermare senza troppi dubbi che questo può essere un effetto dovuto ai cambiamenti climatici, anche se purtroppo non possiamo risalire al momento in cui hanno iniziato a formarsi queste cavità a quella quota.

Nel 2012 una piccola squadra (in tre) ma organizzata per stare sul ghiacciaio un paio di giorni, compie l'esplorazione completa delle grotte posizionate l'anno precedente. Tra quelle verticali la maggior profondità raggiunta risulta pari a 45 m, mentre tra le grotte marginali e suborizzontali viene misurato in quella maggiore uno sviluppo di circa 50 m. Una seconda prospezione alla fronte del ghiacciaio, da cui solitamente non ci si passa se si vuole andare direttamente nella parte superiore dove sono presenti i mulini, mostra la presenza di una cavità di contatto dovuta a crolli. Un successivo controllo

delle foto storiche, disponibili sull'Archivio del SGL, conferma la formazione di queste grotte solo in alcuni periodi (per esempio nel 1952), variabile in funzione della morfologia del substrato roccioso e del ghiacciaio, variabili quindi di anno in anno.

Dopo il 2013, anno in cui vengono ripetute alcune esplorazioni nelle stesse cavità, non vengono più realizzate campagne esplorative, un po' perché l'attenzione



Ingresso di uno dei mulini esplorati nel 2011.



Fronte del ghiacciaio con cavità subglaciale, anno 2012.

viene posta su altri ghiacciai, un po' perché la logistica dell'area è abbastanza limitante.

Un confronto delle posizioni degli ingressi individuati nel 2011, sovrapposti sull'ortofoto del 2015 di Regione Lombardia, evidenzia due aspetti particolari: mentre le grotte poste più al margine del ghiacciaio oggi non esistono più per via della

scomparsa del ghiaccio in quel settore, dall'ortofoto sono bene evidenti gli ingressi principali corrispondenti agli ingressi allora osservati, confermando che in quel settore centrale del ghiacciaio la presenza del carsismo glaciale si mantiene nel tempo e si rinnova con la formazione di importanti cavità che meriterebbero in futuro una nuova rivisitazione.

BIBLIOGRAFIA

Servizio Glaciologico Lombardo, 2012. *I ghiacciai della Lombardia*. Hoepli
Servizio Glaciologico Lombardo, 2104. <http://www.servizioglaciologicolombardo.it/>

I GHIACCIAI DEL MONTE ROSA E LA LORO RECENTE EVOLUZIONE

Gianni Mortara ¹, Andrea Tamburini ²

¹ CNR-Irpi Torino

² IMAGEO s.r.l.

"I nostri ghiacciai ci stanno lasciando"

G. Orombelli

ABSTRACT

Global warming is deeply changing the Alpine glacial landscape. The Monte Rosa massif, and in particular the Belvedere glacial basin, confirms this dramatic trend. This paper reports the most significant results of the studies carried out by the Authors depicting the evolution of the Belvedere Glacier during the last 20 years.

È sotto gli occhi di tutti la profonda trasformazione morfologica del paesaggio glaciale a seguito della palese alterazione del clima. Gli alti bacini riescono sempre meno ad assolvere alla loro funzione alimentatrice e così i ghiacciai si ingracciano, perdendo volume ed estensione. Gran parte delle fronti si nasconde sotto coltri detritiche che annullano il contrasto cromatico ghiaccio/roccia, uno dei requisiti più apprezzati del paesaggio montano. Nessun massiccio glacializzato è esente da questa radicale modificazione ambientale; Monte Rosa compreso, nonostante l'altitudine elevata delle sue cime. Ad esempio i ghiacciai valdostani Grande di Verra e Lys hanno subito il distacco della loro chilometrica lingua valliva dal bacino alimentatore, secondo un modello evolutivo sperimentato in questo ultimo quindicennio anche nei gruppi del Monte Bianco (Brenva, Estellette, Pré de Bar) e del Bernina (Fellaria Orientale). Ma è il bacino glaciale del Belvedere, sul

versante ossolano del Monte Rosa, ad offrire un campionario senza confronti degli effetti del riscaldamento globale, prolungando la notorietà che aveva acquisito nei primi anni 2000 in occasione della stupefacente trasformazione morfologica indotta dal transito di una grandiosa onda di piena glaciale (*surge*) e dalla contemporanea comparsa di un enorme lago epiglaciale (il famoso Lago Effimero). Nell'ultimo decennio grandi crolli di roccia e di ghiaccio hanno appannato la superba bellezza della parete Est del Monte Rosa, cancellando altresì, o reso proibitive, vie che hanno fatto la storia dell'alpinismo. Al contempo la fortissima perdita di spessore del Belvedere sta minando la stabilità delle sue morene, dove sono in atto vistosi cedimenti.

L'evoluzione del Ghiacciaio del Belvedere è seguita regolarmente da molti decenni. In particolare, a partire dalla seconda metà del secolo scorso, sono state

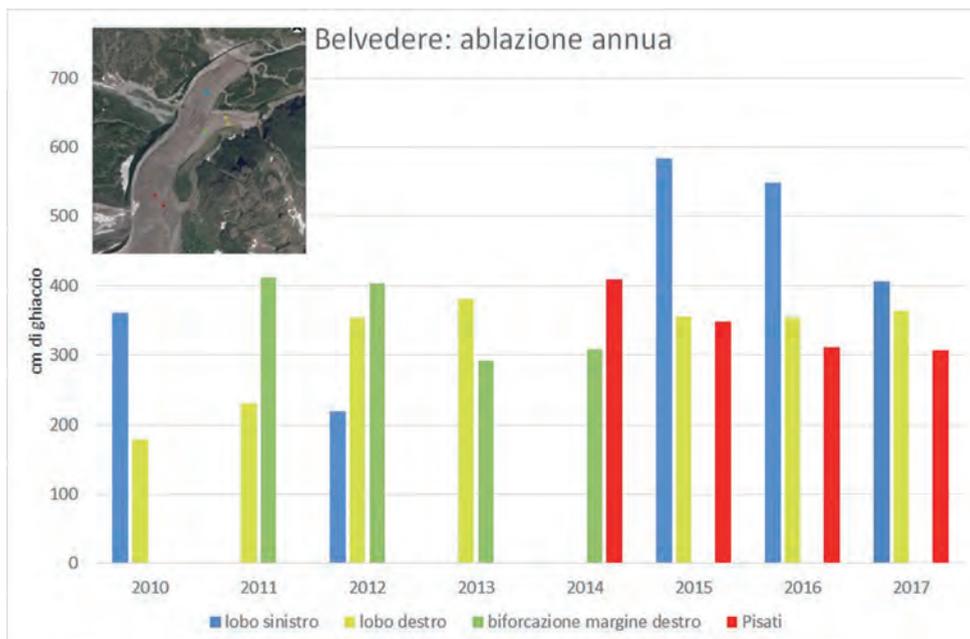


Figura 1 - Ablazione puntuale annua dal 2010 al 2017, misurata rispettivamente nella parte centrale della lingua glaciale (in rosso), in corrispondenza del lobo destro (in giallo e in verde) e di quello sinistro (in azzurro).

effettuate numerose campagne di rilievo, con metodi diretti ed indiretti, che hanno consentito di determinare lo spessore del ghiacciaio e la morfologia del letto glaciale, la velocità di spostamento superficiale, il tasso di ablazione annuo, le vie di deflusso endo- e sub-glaciale. Grazie a questi dati è stato possibile definire la geometria del ghiacciaio e seguirne l'evoluzione. Le principali campagne di misura risalgono alla seconda metà degli anni '50 in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale, alla fine degli anni '70 a seguito dell'ultima rotta del Lago delle Locce e nella prima metà degli anni 2000 dopo l'emergenza del Lago Effimero.

A questi dati si aggiungono i risultati delle osservazioni annuali eseguite dagli operatori del Comitato Glaciologico Italiano, che raccolgono con regolarità sia misure sul regime del ghiacciaio, sia segnalazioni

sugli eventi eccezionali che avvengono nel bacino entro il quale si estende la lingua glaciale. Tali misure confermano la drammatica contrazione cui il ghiacciaio sta andando incontro, i cui indicatori principali sono rappresentati dalla perdita di volume, dalla progressiva riduzione della velocità di spostamento superficiale e dal progressivo ritiro della posizione della fronte.

Negli ultimi otto anni, ad esempio, l'ablazione media annua varia tra i 3 e i 4 metri di ghiaccio perso, con picchi superiori ai 5 metri nelle stagioni 2015 e 2016 (Figura 1). Rispetto agli spessori massimi registrati nel 2002, la parte più elevata della lingua glaciale appena a valle dell'area in cui si era formato il Lago Effimero ha perso complessivamente più di 50 metri di spessore. La conseguenza più evidente di tale variazione è la pro-

gressiva destabilizzazione della morena laterale destra, che sta progressivamente collassando verso l'interno del ghiacciaio a causa della mancanza di sostegno da parte del ghiaccio, ritiratosi con estrema rapidità nel giro di pochi anni.

La velocità superficiale di spostamento (Figura 2), che è un indicatore della quantità di apporti di ghiaccio dal bacino di alimentazione del ghiacciaio, si è ridotta nel 2017 a meno di un terzo rispetto a quella che si misurava nel 2009.

Per quanto riguarda infine la zona frontale, dopo una fase di relativa stabilità tra il 1987 ed il 2002, seguita da un'avanzata legata al surge completamente rientrata nel 2008, negli ultimi dieci anni si è registrato un arretramento della fronte di circa 140 metri complessivi, con una velocità mai osservata in precedenza.

Non solo la lingua glaciale, ma l'intero bacino del Ghiacciaio del Belvedere ha subito evidenti modificazioni morfologiche a seguito della deglaciazione della parete est del Monte Rosa, che ha innescato importanti eventi di crollo di ghiaccio e roccia anche da quote superiori ai 4000 metri.

Tra gli eventi principali si ricordano: la valanga di ghiaccio e roccia del 25 agosto 2005, distaccatasi da una quota di circa 3800 metri con un volume stimato di circa un milione di metri cubi, la valanga di roccia del 21 aprile 2007, originatasi a quota 4000-4200 metri con volume stimato di circa 300.000 metri cubi e la frana dal versante nord-est della Punta Tre Amici del 17 dicembre 2015. Quest'ultima, dopo un distacco iniziale di circa 200.000 metri cubi di roccia da quota 3400 metri che ha raggiunto le sponde del sottostante Lago delle Locce, presenta ancora segni

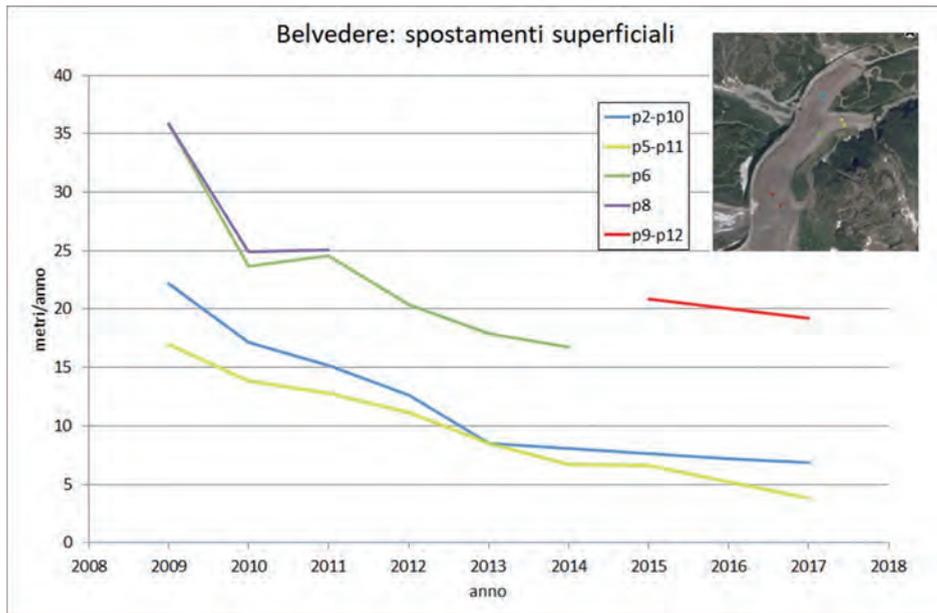


Figura 2 - Velocità media annua di spostamento superficiale dal 2009 al 2017, misurata rispettivamente nella parte centrale della lingua glaciale (in rosso), in corrispondenza del lobo destro (in giallo e in verde) e di quello sinistro (in azzurro).

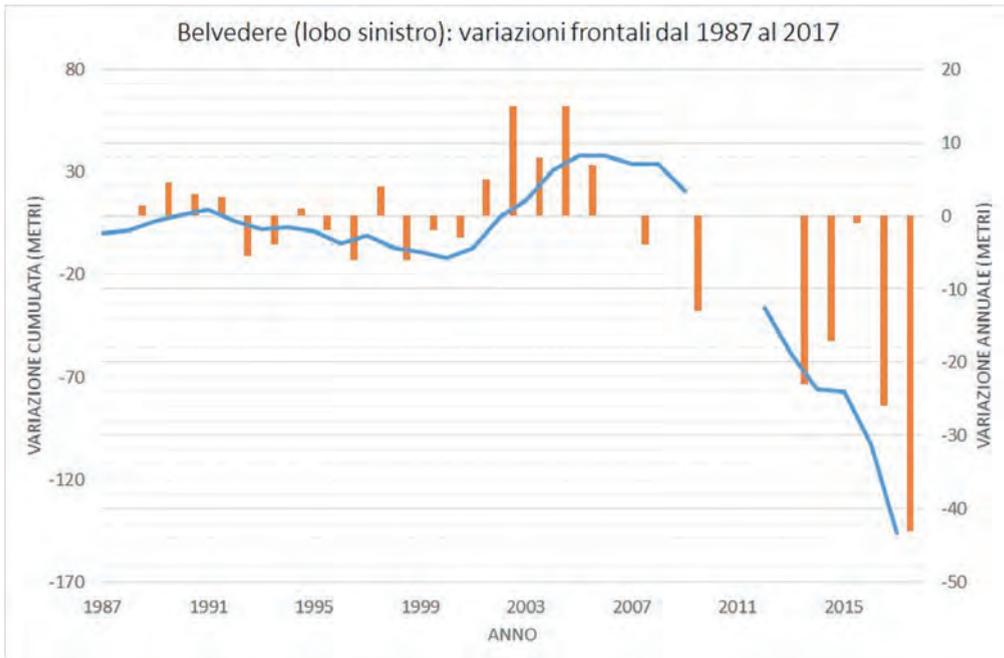


Figura 3 - Variazioni della posizione frontale, annuale (barre arancioni) e cumulata (linea blu).

di attività con continui crolli che rendono estremamente pericoloso l'accesso alla sponda meridionale del lago.

Perdurando l'attuale tendenza climatica, nel breve-medio periodo possiamo prefigurare per il bacino glaciale del Belvedere il seguente scenario:

- interruzione di continuità tra la base della parete Est (sempre meno corazzata di ghiaccio) e la lingua valliva del Belvedere;
- aumento della franosità sulle pareti conseguente alla degradazione del permafrost;
- ulteriore perdita di spessore delle masse glaciali a discapito della stabilità delle morene;

- riduzione della valenza idrica, energetica, paesaggistica, turistica.

Lo scenario prefigurato per il Belvedere può essere esteso anche agli altri settori glacializzati delle Alpi. Proprio per accrescere nel grande pubblico la consapevolezza degli effetti del cambiamento climatico su un ambiente geomorfologico-ambientale estremamente vulnerabile e reattivo, il Comitato Glaciologico Italiano e la Società Geologica Italiana hanno recentemente realizzato l'opera in 3 volumi "Itinerari glaciologici sulle montagne italiane". Una guida a futura memoria.

TECNICHE DI RILIEVO PER IL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI: IL CASO DEL BELVEDERE

Alberto Cina¹, Iosif Horea Bendea¹, Alberto Bianchi², Paolo Maschio¹, Carlo De Michele², Marco Piras¹, Livio Pinto²

¹ Politecnico di Torino - DIATI

² Politecnico di Milano - DICA

ABSTRACT

Monitoring of volumetric variation and glacier movements is important for the study of climate change. In this note, after some basic concept of the 3D survey techniques, the case study of the Belvedere Glacier in Macugnaga (VB) is dealt with.

INTRODUZIONE

I ghiacciai e la loro evoluzione sono un importante “termometro” del cambiamento climatico del nostro pianeta. Tanto più diminuiscono, tanto meno calore viene riflesso dal loro candore; grazie all’elevato calore latente di fusione, i ghiacciai marini e terrestri agiscono come un vero e proprio sistema di condizionamento della temperatura dell’aria e dell’acqua (Wadhams, 2017). Lo studio delle loro variazioni di forma, spessore e velocità di

avanzamento è dunque importante per la climatologia e la valutazione del bilancio di massa per l’approvvigionamento idrico. Affronteremo in questa sede, con la dovuta sintesi e semplificazione, il solo aspetto del rilievo tridimensionale applicato al caso del Ghiacciaio del Belvedere a Macugnaga (VB).

Tale attività, iniziata nel 2015 con il progetto studentesco ASP (Alta Scuola Politecnica, in collaborazione tra i Politecnici di Torino e Milano) deno-



Figura 1 - Rilievo con ricevitore GNSS su marker.



Figura 2 - Rilievo con stazione totale.

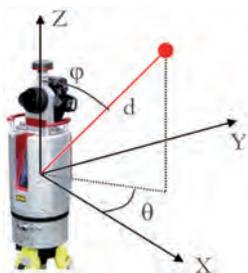


Figura 3 - LiDAR con camera digitale.

minato DREAM (*Drone tEchnology for wAter resources and hydrologic hazards Monitoring*), è proseguita per tre anni. Su queste tematiche è stato recentemente istituito presso il Politecnico di Torino – DIATI il laboratorio “*Glacier-Lab*” in un progetto dipartimentale sui cambiamenti climatici.

Ma come si può creare un modello 3D di un ghiacciaio?

CREAZIONE DI UN MODELLO 3D “IN PILLOLE”

Rilevare la forma di un oggetto e la sua variazione nel tempo costituisce un problema a 4 dimensioni: 3 nello spazio e 1 nel tempo che intercorre tra misure successive. Il rilievo può essere fatto

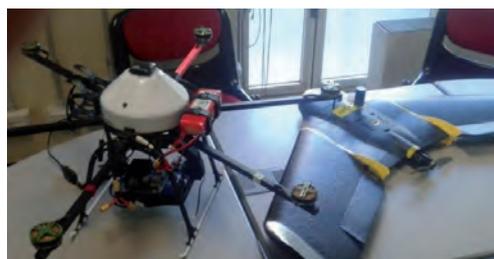


Figura 4 - Droni ad ala fissa e multi rotore per fotogrammetria.

con misure a terra percorrendo l’oggetto con strumenti di misura: ricevitori GNSS (Figura 1) o stazioni totali (Figura 2) richiedono il “contatto” col terreno, consentono buone precisioni (1 cm) (Cina 2014; Barzaghi, Pinto, Pagliari 2018) ma, essendo legate al movimento umano, non consentono di acquisire rapidamente un elevato numero di punti per una descrizione dettagliata dell’oggetto.

Rilevi “estensivi” di grandi superfici vengono fatti generalmente con tecniche di “telerilevamento” che non richiedono il contatto con l’oggetto: principalmente il LiDAR (*Light Detection And Ranging*) e la fotogrammetria. I sensori possono essere usati da terra o aerotrasportati su velivolo o drone.

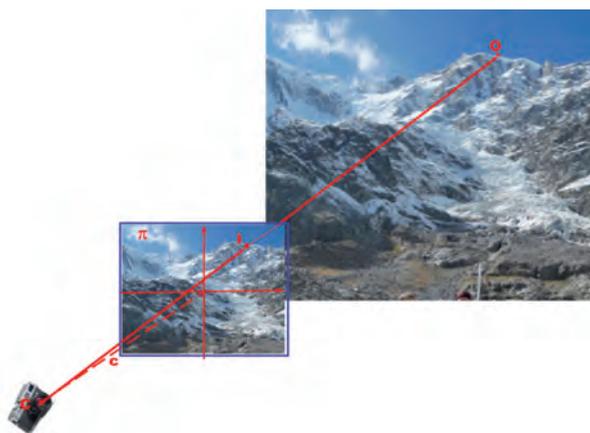


Figura 5 - Punto oggetto “O”, immagine “I” e centro di presa “C”.

Con il LiDAR determiniamo la posizione 3D di numerosi punti, con velocità di anche 1-2 milioni/s, che chiameremo “nuvola”. Viene misurata la distanza con impulso laser e 2 angoli con la rotazione dello strumento e degli specchi (Figura 3). Le portate sono variabili, ma possono superare 1 km. L’analisi del segnale di ritorno permette di misurare la riflettività della superficie e con camere digitali associate si possono “colorare” le nuvole con i valori radiometrici per una visione realistica dell’oggetto.

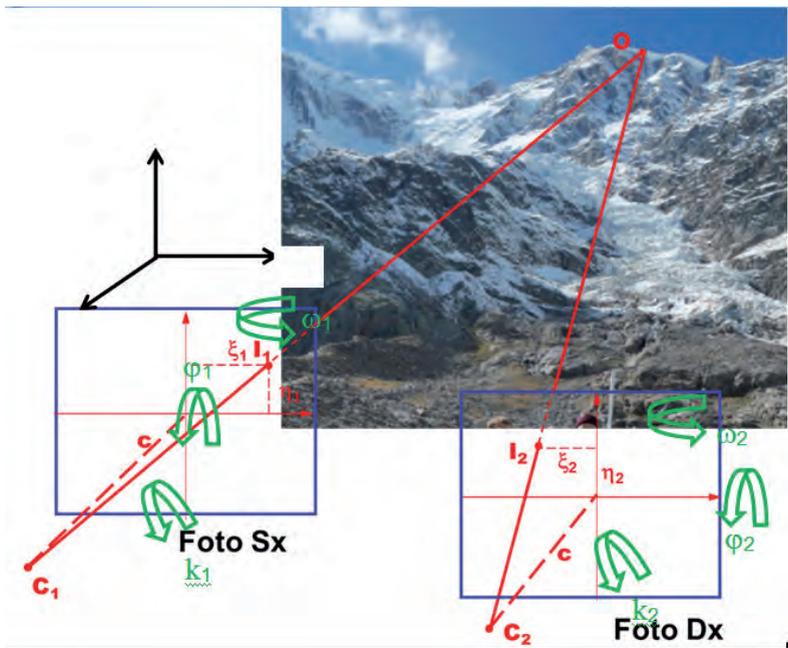


Figura 6 - Intersezione di raggi omologhi da due fotografie.

Anche la fotogrammetria può produrre un risultato finale identico ma con un processo completamente diverso. Nata un secolo fa si è evoluta nel tempo, dall'era analogica a quella digitale, pur mantenendo immutati i principi fondamentali. Si basa su prese fotografiche terrestri o aeree, oggi anche da drone (Figura 4), viste le piccole dimensioni e le elevate risoluzioni di alcune moderne camere digitali. Sotto opportune ipotesi è dunque anche una tecnica di basso costo.

Ma come è possibile determinare la posizione di punti in un sistema di riferimento geodetico cartografico da semplici fotografie?

La fotografia è una visione prospettica che associa ad ogni punto O sull'oggetto 3D un punto I sull'immagine 2D di coordinate ζ, η . Esse dipendono dall'orientamento della camera e dalla posizione del centro di presa C nel sistema di riferimento

usato, oltre che dalla sua distanza c dal sensore C (Figura 5). Il principio su cui si basa la fotogrammetria è la condizione di allineamento dei tre punti O, I e C da cui vengono generate le equazioni di "collinearità" (Krauss, 94).

Se ad ogni punto oggetto corrisponde un punto immagine non vale purtroppo il viceversa! Proiettando il punto immagine per il centro di presa, solo la direzione del raggio proiettante può essere ripristinata, ma il punto può spostarsi su tale direzione se non è nota la distanza da C . A differenza del LiDAR, in fotogrammetria questa è ottenuta dall'intersezione con la direzione "omologa", ovvero dello stesso punto (I_2) proiettata da un altro fotogramma (Figura 6), quando le prese sono correttamente orientate. Per questo motivo le immagini devono presentare una zona di sovrapposizione generalmente non inferiore al 60%.

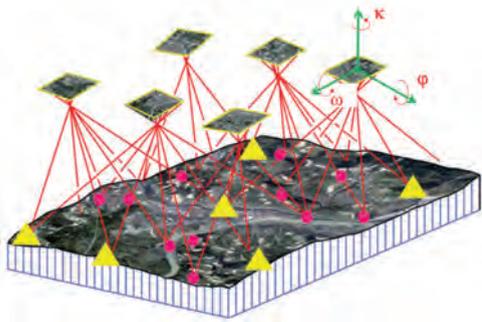


Figura 7 - Blocco fotogrammetrico con GCP (gialli) e TP (viola).

Possiamo allora applicare questo principio ad ogni punto dell'immagine una volta che sia:

- 1) ripristinata la "proiettività", nota la posizione del centro di presa rispetto al sensore della camera;
- 2) posizionato correttamente il centro di presa nel sistema di riferimento dell'oggetto (X,Y,Z) e ruotato il sensore di (ω , φ , κ) per rendere paralleli gli assi del sistema oggetto e camera.

La condizione 1 è ottenuta con una "calibrazione" della camera e dell'ottica: svolta un tempo in laboratori specializzati, può essere oggi compiuta dall'utente con appositi software, nota con precisione la posizione di alcuni punti nel sistema oggetto e immagine.

È la condizione 2 che influisce più pesantemente sul processo fotogrammetrico in quanto le posizioni e l'assetto della camera possono essere:

a) determinati da punti noti rilevati sul terreno e ben visibili sulle fotografie, generalmente "marker" ad alta visibilità. Li chiameremo GCP (*Ground Control Point*). La misura di punti a terra (Figura 1) rappresenta il maggior impegno umano. Come si può poi vedere in Figura 7, il blocco fotogrammetrico è connesso con punti "di legame" detti TP (*Tie Point*) visibili su più fotogrammi e la loro individuazione viene

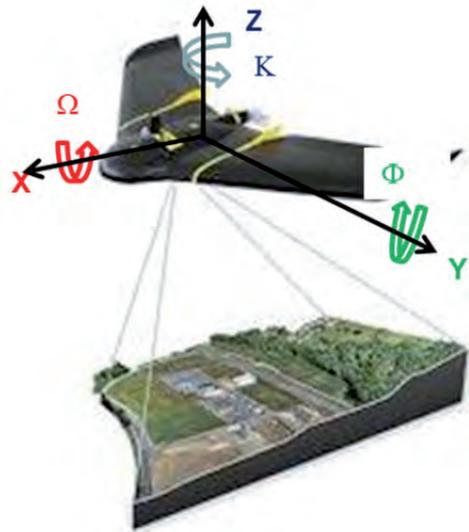


Figura 8 - Fotogrammetria diretta (DF).

oggi fatta automaticamente con algoritmi di *image matching*. Con la presenza di GCP essi permettono di orientare simultaneamente ogni fotogramma in maniera analitica, partendo dalle equazioni di collinearità. Chiameremo questo procedimento "Triangolazione Aerea" (TA).

b) misurati direttamente (Figura 8): le posizioni con ricevitore GNSS e gli angoli con una piattaforma inerziale (IMU, *Inertial Measurement Unit*). Ciò è diventato possibile solo più recentemente: chiameremo questo procedimento "Fotogrammetria Diretta" (DF).

Questa soluzione potrebbe in teoria prescindere dai GCP e la fotogrammetria aerea professionale usa effettivamente sofisticate, moderne e costose strumentazioni GNSS e inerziali per la misura delle posizioni e assetti di ogni fotogramma. Nell'ipotesi di prese aeree con piccoli droni si può pensare ad una soluzione intermedia: acquisire le sole posizioni dei centri di presa con ricevitori GNSS, ormai di piccole dimensioni, mantenendo un numero minimo di punti di appoggio



Figura 9 - La parete Est del Monte Rosa e il Ghiacciaio del Belvedere.

a terra. La misura degli angoli di assetto richiederebbe infatti IMU troppo onerose economicamente e difficilmente trasportabili nel carico previsto (*payload*) di un drone.

Con queste premesse e senza la pretesa di addentrarci nel complesso campo della fotogrammetria digitale, osserviamo ora un caso pratico.

IL MONITORAGGIO DEL GHIACCIAIO DEL BELVEDERE

La parete Est del Monte Rosa che insiste su Macugnaga (VB), unica nelle Alpi per dimensioni e spettacolarità, alimenta la lingua glaciale del Belvedere, di lunghezza circa 3 km e superficie 1.6 km² (Figura 9). La storia e le evoluzioni di questo ghiacciaio sono da tempo studiate e documentate (Diolaiuti, D'Agata, Smiraglia 2003), per cui uno degli scopi delle misure da noi

condotte su questo sito è sperimentare metodologie di rilievo che, con bassi costi strumentali e tempistiche ragionevoli, possano permettere un monitoraggio del ghiacciaio a cadenze periodiche.

Per tre anni dal 2015 sono state fatte campagne di misura semestrali, in tarda primavera e in autunno, periodi particolarmente significativi da un punto di vista idrologico. Come riferimento è stato preso un volo fotogrammetrico del 2009 messo a disposizione dalla Regione Piemonte utilizzato a suo tempo per la cartografia regionale. Non entriamo per brevità nelle fasi del processo fotogrammetrico riportando alcuni risultati significativi. Ricordiamo solo le principali:

Nel 2015 sono stati installati e rilevati 52 marker con strumenti GNSS prima di ogni volo. Questo per il movimento del ghiac-



Figura 10 - Punti d'appoggio GCP sul Ghiacciaio del Belvedere.

ciaio estremamente variabile e valutabile anche in circa 0,5 m in 2 settimane. Di essi solo 28 posti fuori dalla lingua glaciale (principalmente sulla sommità delle morene) sono risultati stabili.

Volo con droni ad ala fissa e multirottore, con altezza di volo progettata per una risoluzione a terra (GSD - *Ground Sample Distance*) di circa 5 cm. Oltre a droni specifici per riprese fotogrammetriche, è stato anche utilizzato con buoni risultati un drone commerciale (circa 600 €) che

è stato attrezzato con camera digitale a ottiche intercambiabili e sincronizzata ad un ricevitore GNSS per determinare i centri di presa (Figura 11).

Elaborazione dei dati GNSS per la posizione accurata dei suoi GCP, ricerca e collimazione dei marker sui fotogrammi con attribuzione delle coordinate calcolate. Orientamento del blocco con software fotogrammetrico (Figura 12) e creazione dei modelli digitali del terreno (DTM) in ogni campagna di misura (Figura 13).



Figura 11 - Drone "commerciale" allestito con camera fotografica, ricevitore GNSS con antenna e dispositivo di sincronizzazione.

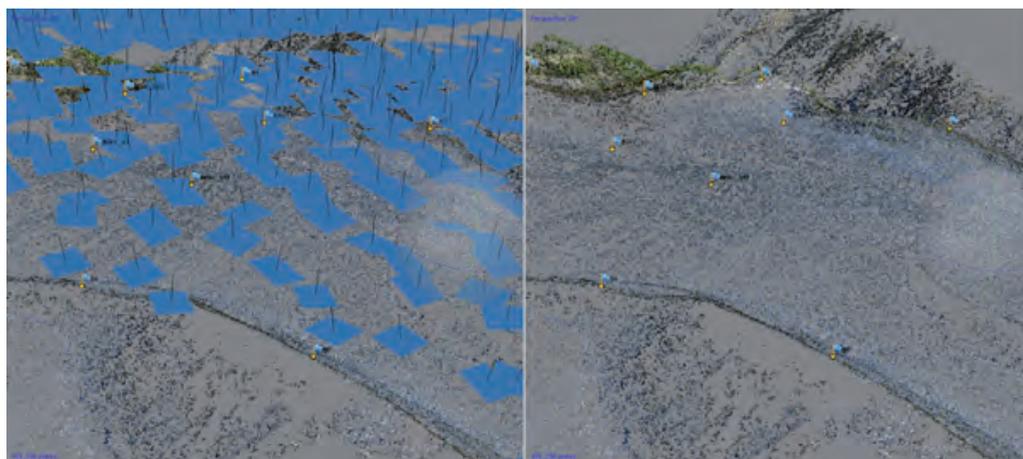


Figura 12 - Generazione (DTM) da circa 1200 foto. Le bandierine sono i GCP

Confronti multi temporali tra modelli digitali a diverse epoche e stima delle velocità di spostamento (vettori rossi in Figura 14) e di variazione della superficie (Figura 15).

Con riferimento al periodo 2009-2016 possiamo osservare in Figura 15 la variazione di altezza in diversi colori, le zone di accumulo (azzurre) alle estremità delle lingue e nella zona di “carico” della parete mentre l’abbassamento della superficie per fusione è evidente nella lingua glaciale con colori caldi (gradazioni di giallo e rosso).

Un dato di sintesi della variazione volumetrica è riportato in tabella 1: una varia-

Area	1,62 km ²
Differenza media quote	-11,5 m
Variazione negativa di volume	19 milioni m ³

Tabella 1. Ghiacciaio del Bevedere, sintesi della variazione di volume 2009-2016.

zione di 19 milioni di m³ corrisponde al volume di un cubo di 265 m di lato!

CONCLUSIONI

La fotogrammetria è una tecnica ben nota anche in applicazioni di monitoraggio di ghiacciai. La prospettiva è

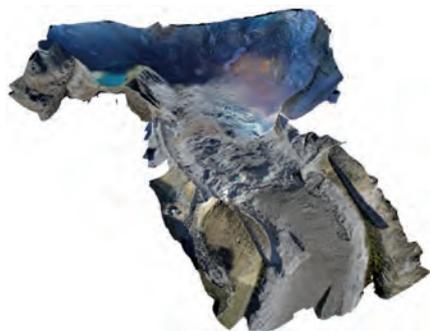


Figura 13 - Modello 3D del Ghiacciaio del Bevedere.



Figura 14 - Vettori spostamento di alcuni GCP.

renderla più sostenibile riducendo l'impegno umano a terra con la fotogrammetria diretta. A titolo di esempio, il rilievo dei GCP nel caso del Belvedere richiede circa 2-3 giorni di lavoro di 2 o 3 squadre, con misuratori "ben allenati" che percorrono il ghiacciaio, sempre più fessurato, non senza pericoli oggettivi. Il volo fotogrammetrico può invece essere eseguito con un drone ad ala fissa nelle ore centrali di un solo giorno anche da una sola persona. Sul lato strumentale sono ipotizzabili oggi soluzioni di costo limitato, a patto di "ingegnerizzare" i vari componenti (drone, camera, GNSS, ...). Occorre ovviamente soddisfare diverse esigenze, principalmente sensori con alte prestazioni, specialmente con temperature molto basse, molto leggeri e possibilmente con un basso costo, e una loro connessione sinergica, oltre alla compatibilità radioelettrica, per una soluzione di rilievo realistica e applicabile che renda il monitoraggio periodico un'operazione sostenibile economicamente e logisticamente.

RINGRAZIAMENTI

Agli studenti dei tre cicli dei progetti ASP – DREAM e ai dottori Carlo Troisi e Gianni Siletto della Regione Piemonte per il materiale fotogrammetrico fornito per i confronti con i voli recenti.

BIBLIOGRAFIA

- Barzaghi, R. Pinto, L. Pagliari, D. (2018). *Elementi di topografia e trattamento delle osservazioni*. Novara, De Agostini. ISBN 978-88-251-7425-0.
- Cina, A. (2014). *Dal GPS al GNSS per la geomatica*. CELID, Torino. ISBN 978-88-6789-020-0.
- Diolaiuti, G. D'Agata, C. Smiraglia, C. (2003). *Belvedere Glacier, Monte Rosa, Italian Alps: Tongue Thickness and Volume Variations in the Second Half of the 20th Century*. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, May 2003, 255-263.
- Kraus, K., 1994. *Fotogrammetria*. Vol.1 – *Teoria e applicazioni*. Traduzione di Sergio Dequal. Torino, Levrotto & Bella, 518 pp. ISBN-10: 888218028X.
- Whadams, P. (2017): *Addio ai ghiacciai. Rapporto dall'Artico*. Bollati Boringhieri, Gravellona Toce (VB), 274 pp. ISBN 978-88-339-2883-8.

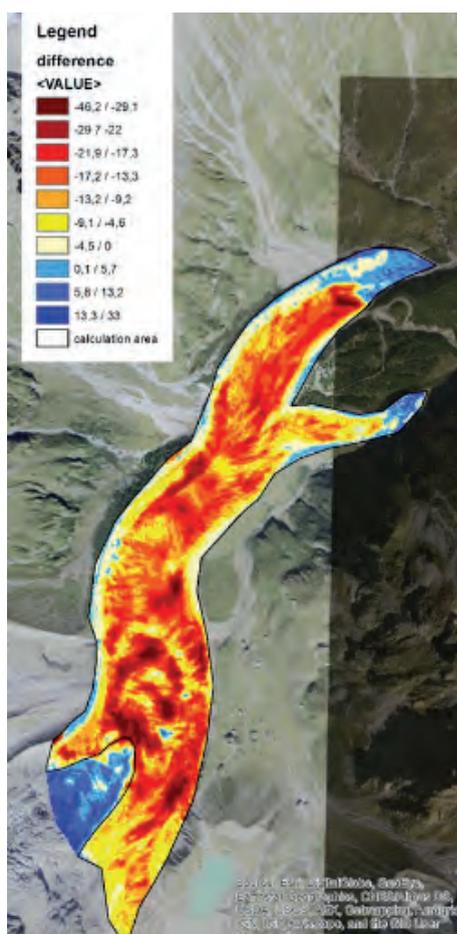


Figura 15 – Confronto modelli digitali 2016 - 2009.

CARSISMO AL GHIACCIAIO DEL BELVEDERE (Macugnaga, VB)

Gian Domenico Cella ¹, Lia e Valerio Botta ¹, Ettore Ghielmetti ²

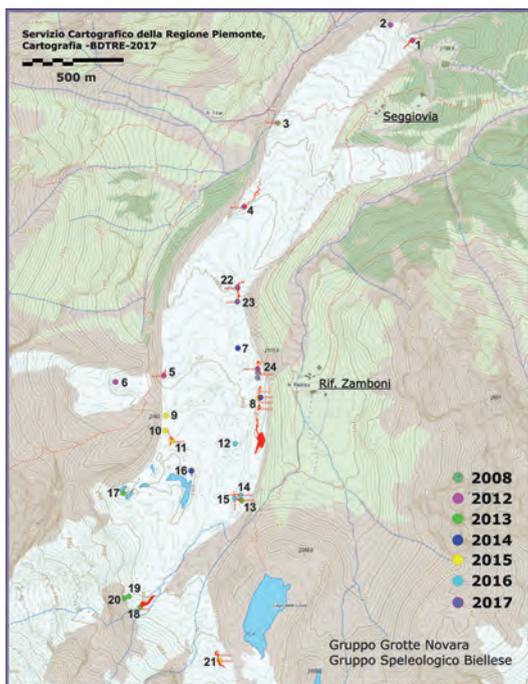
¹ Gruppo Grotte CAI Novara

² Gruppo Speleologico Biellese CAI

ABSTRACT

The Belvedere glacier extends with moderate slope for almost three km from the east cliff of Monte Rosa; it collects seven steep glaciers. In the years 2009-2017 speleologists mainly from Novara and Biella explored twentyfour ice caves; they can be clustered into several groups:

- Glacial mills. The most interesting is the Grande Inghiottitoio (length 237 m, depth 104 m).
- Contact caves.
- Endoglacial meanders, that comprises active caves with significant length such as the Effimera (length > 700 m, depth ~80 m) and the Zamboni complex (length >610 m, depth 53 m). The first one, as far as we know, is the largest ice cave of Alps.
- Caves associated with the draining of glacial lakes; few of them host suspended water basins.
- Many relicts of fossil ice pipings.

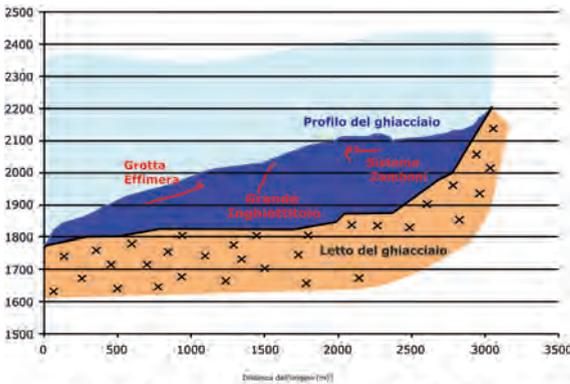


Elenco grotte del Belvedere (sviluppo, profondità)

Gruppo Grotte Novara - Gruppo Speleologico Biellese 2017

- 1 - Risorgente Lobo Nord: 73 m, +3m
- 2 - GrottiCella: 7 m, -3 m
- 3 - Inghiottitoio Fillar: 40 m, -18 m
- 4 - Effimera: >700m, -90 ca
- 5 - Inghiottitoio Nordend: 57m, -32 m
- 6 - Emissario Nordend: >30 m, +5 m ca
- 7 - Sottovuoto sPintus: 39m, -32m
- 8 - Sistema Zamboni (T. Eclipse) > 607 m, +6, -47 m
- 9 - Lago Effimero 1: 4m, 0 m
- 10 - Lago Effimero 2: 12 m, -3 m
- 11 - Bingo: 208 m, -59 m
- 12 - Locce 4: 26 m, -20 m
- 13 - Locce Inferiore: 48 m, -14 m
- 14 - Locce 2: 58 m, -37 m
- 15 - Locce 3: 39 m, -8 m
- 16 - Inghiottitoio Rosa Est: 22 m, -10 m
- 17 - Inghiottitoio Rosa Ovest: 19 m, -9 m
- 18 - Inghiottitoio Tre Amici: 135 m, -70 m
- 19 - Grotta Gemella Est: 14 m, -8 m
- 20 - Grotta Gemella Ovest: 18 m, -11 m
- 21 - Locce Ovest: 147 m, +4 -16 m
- 22 - Golosello: 75 m, -49 m
- 23 - Grande Inghiottitoio: 237 m, -104 m
- 24 - Lochness: m.107, -4 m

Posizione e dati sintetici di ciascuna delle 24 grotte finora esplorate.



Profilo del ghiacciaio del Belvedere
 Fronte Nord - ghiacciaio Tre Amici
 (BDTRE, 2017 e De Vialantini, 1961)

PREMESSA

Il Belvedere è un ghiacciaio nero che si estende con moderata pendenza quasi tre km alla base della parete Est del Monte Rosa; raccoglie i tributi di sette ripidi ghiacciai che vi convergono.

Negli anni 2008-2018 sono state esplorate numerose grotte glaciali di varia tipologia.

LE GROTTA GLACIALI

Da un punto di vista morfologico, possiamo raggrupparle in:

Mulini glaciali

Tipicamente sono cavità verticali che traggono origine dall'assorbimento di un corso idrico superficiale. Al Belvedere sono poco comuni: quelli scoperti si trovano nella zona centrale del ghiacciaio, camuffati dalla copertura morenica. Sottovuoto sPintus, l'unico finora disceso, raggiunge una trentina di metri di profondità.

In questo gruppo ci piace inserire anche il Grande Inghiottitoio, con il suo ramo fossile Go l'Osello, la grotta più profonda finora esplorata (-104 m), che convoglia le acque del meandro a valle del sistema Zamboni.

Grotte di contatto

Si sviluppano al contatto tra basamento del ghiacciaio e il ghiacciaio stesso. Sono



Grotta di contatto: inghiottitoio Tre Amici.

caratterizzate da sezioni piuttosto larghe e schiacciate che progressivamente si riducono in altezza per effetto della pressione; l'andamento è tendenzialmente rettilineo, la lunghezza non eccessiva. Si aprono alla fronte del ghiacciaio o in corrispondenza di arrivi laterali (Fillar, Nordend, Tre Amici). Tra queste, merita ricordare l'inghiottitoio generato dall'emissario del ghiacciaio Tre Amici, profondo 70 m.

Meandri endoglaciali

Sono forse le grotte più interessanti del Belvedere. Si tratta di condotte attive, tendenzialmente suborizzontali, caratterizzate dalla presenza di torrenti interni che trasferiscono velocemente a valle ingenti masse d'acqua.

Tipicamente l'andamento è variamente

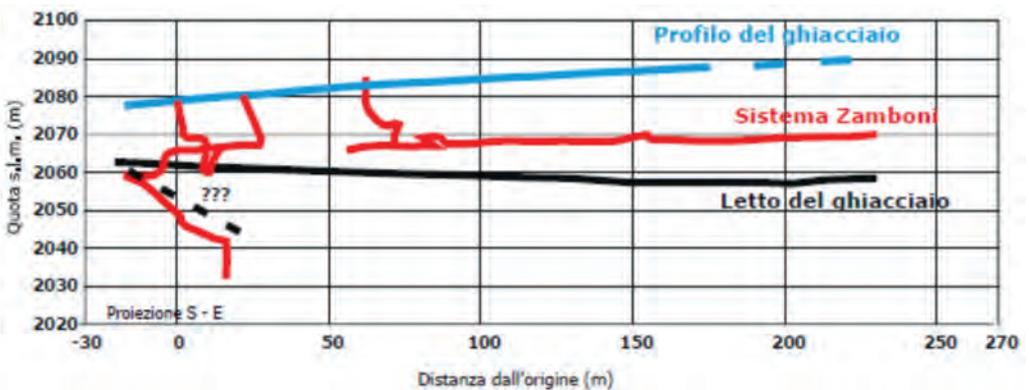
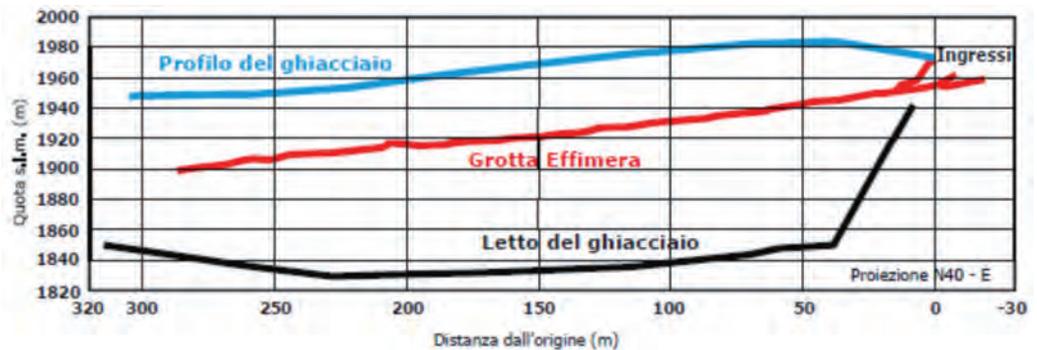
meandriforme, la lunghezza importante (centinaia di metri), le sezioni di tipo vadoso, anche se non mancano sezioni subcircolari nei tratti fossili (antiche condotte freatiche?).

Alternano tratti scavati completamente nel ghiaccio a tratti scavati tra deposito morenico e ghiaccio.

Si sviluppano ai bordi del ghiacciaio.

Il confronto con dati di letteratura ci fa ritenere che il Sistema Zamboni si sviluppi a breve distanza dal letto del ghiacciaio, al contrario di Effimera che lo sovrasta di circa 80 metri. Lo spessore del ghiaccio soprastante si aggira tra i 20 (Sistema Zamboni) e i 50 metri (Effimera).

Misure di scorrimento plastico hanno evidenziato un abbassamento della volta delle gallerie di circa 3 cm/gior-



Relazione tra cavità endoglaciali verso superficie e letto del ghiacciaio.

BINGO, UNA DEPRESSIONE TRE LAGHI QUATTRO POZZI

Ghiacciaio del Belvedere - Macugnaga -VCO (I)

Exploration and survey: J. Bertona, L. Botta, V. Botta, L. Gallimberti
Gruppo Grotte Novara 2015
Graphic design: L. Botta



Development: m. 207,5 Difference in level: m. +1,5 - 58
UTM WGS84: 32 T 0415444 509172

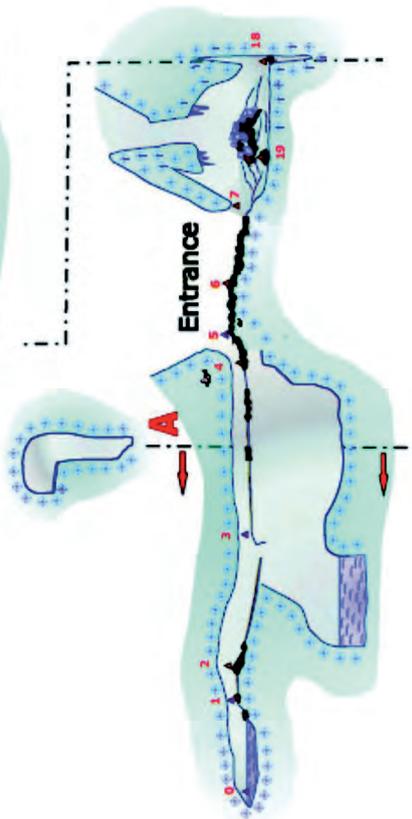


BINGO, UNA DEPRESSIONE TRE LAGHI QUATTRO POZZI

Ghiacciaio del Belvedere - Macugnaga -VCO (I)



ELEVATION



no; riteniamo che solo il calore liberato dal torrente interno ne garantisca la sopravvivenza. La riduzione della portata comporta a breve una marcata riduzione della sezione, cui fa seguito l'occlusione. L'accesso a queste grotte di norma è legato a fattori accidentali, quali crolli o cattura di flussi idrici.

Condotte associate a svuotamenti lacustri

In corrispondenza dei bacini lacustri che si osservano stagionalmente sulla superficie del ghiacciaio (Locce, Cappella Pisati, base dello sperone Marinelli), frequentemente si incontrano gallerie totalmente o parzialmente allagate.

Lo svuotamento dei bacini, dovuto all'attivazione di inghiottitoi sul loro fondo se

non a quota inferiore, in alcuni fortunati casi ne ha permesso l'esplorazione. Lo sviluppo è variamente verticale, con morfologie miste ma prevalentemente freatiche; alcune ospitano bacini sospesi. La grotta più interessante, anche esteticamente, è indubbiamente Bingo (sviluppo 208 m, profondità 59 m), che si apre poco a valle del Lago Effimero; nella zona terminale (sud) un pozzo sceso per 34 m dà su un roboante torrente non raggiungibile per la progressiva restrizione della sezione.

In un caso (Locce Inferiore) è stato possibile accedere a gallerie parzialmente o totalmente allagate, con scorrimento idrico lentissimo, che dubitativamente associamo a un livello freatico locale.



Meandro endoglaciale: Sistema Zamboni.



Galleria a pressione sul fondo del Grande Inghiottitoio.

Tronconi fossili

Sparse nella parte centrale del ghiacciaio frequentemente si incontrano tronconi di gallerie oramai fossili; si tratta di gallerie ora superficiali, che si sono conservate solo per l'esiguo spessore della volta.

CONCLUSIONI

Complessivamente sono state rinvenute, esplorate e studiate 24 grotte glaciali. La caratteristica più interessante è la presenza di condotte suborizzontali dallo sviluppo di parecchie centinaia di metri, per nulla comuni nei ghiacciai alpini.

BIBLIOGRAFIA

J. Bertona et al., 2016: *Grotte e carsismo al ghiacciaio del Belvedere (Macugnaga, VB)*, in *Labirinti* 35, pp 4-45.

Vari indizi (presenza di una vasta conca a dislivello negativo, presenza di laghi glaciali temporanei, tracciamento delle acque, ipotesi di letteratura) convergono nell'ipotizzare la presenza di uno o più bacini sotterranei nell'area rifugio Zamboni - emissario Locce - sperone Marinelli.

RINGRAZIAMENTI

Nell'esplorazione si sono intervallati speleologi di Novara, Biella, Cuneo, Saluzzo, Genova, Sesto Calende, Varallo.

IL GHIACCIAIO DEL GORNER (Canton Vallese - Svizzera)

Paolo Testa

Gruppo Speleologico CAI Varallo
Progetto Speleologia Glaciale

ABSTRACT

The Gorner glacier (Gornergletscher) lies at the foothill of the northern face of Monte Rosa, in the Swiss Alps. It is 13.5 km long with a surface of 59.7 km², thus being the second largest glacier in the Alps. Its thickness averages ca. 130 m and reaches ca. 380 m between 2500 and 2600 m. On the Gorner glacier, ice karst is very much developed with surface flows (bèdières), sinks (moulins) and few sub-glacial caves, the latter being studied since 1969. Like most Alpine glaciers, also the Gorner glacier is receding and, at the same time, its thickness is reducing.

Il ghiacciaio svizzero del Gorner (in tedesco *Gornergletscher*) si trova nel Canton Vallese a sud-est di Zermatt e discende

dal gruppo del Monte Rosa, nelle Alpi Pennine; con i suoi 13,5 km di lunghezza e un'area di 59,7 km² è, per estensione, il



Fase di rilievo di un mulino durante il campo internazionale 2014.



Documentazione di un mulino.

secondo ghiacciaio delle Alpi (dati 2017). Ha origine dalla confluenza di più lingue glaciali provenienti dalla dorsale che collega il Rosa al Breithorn, ad un'altitudine compresa fra i 2200 e i 4600 m. La principale, che dà nome al ghiacciaio, si trova in destra orografica e arriva fino a 3700 metri alla cresta Weissgrat; mentre in sinistra orografica troviamo, non meno importante, la lingua del Grenzletscher che arriva fino ai 4554 metri del colle Gnifetti. Vi sono poi altre lingue laterali di alimentazione, tutte sul lato sinistro, come il Breithornletscher, il Trittjigletscher e l'Unterer Theodulgletscher. La velocità di scorrimento è variabile, sia giornalmente che stagionalmente ed anche da zona a zona: le zone di accumulo hanno velocità, in inverno o in estate, di 15-20 cm/giorno

mentre la zona di ablazione presenta valori medi di 5-10 cm/giorno in inverno e 30-50 cm/giorno d'estate (Bezinge, 1973), con valori annui da 44 a 175 m (Smiraglia, 1992).

Lo spessore medio del ghiaccio è di circa 130 metri, con valore massimo di circa 380 metri nella zona compresa fra 2500 e 2600 m di quota.

Fra il 1948 ed il 1949 sono state eseguite, da parte della compagnia idroelettrica svizzera EOS, alcune perforazioni e sondaggi sismici a riflessione che hanno permesso di ricostruire il profilo del letto roccioso della zona di ablazione, rilevando una depressione di 3 km di lunghezza per 150 m di profondità.

Al contrario di quanto avviene per la maggior parte dei principali ghiacciai



Condotta endoglaciale.

alpini, la direzione di scorrimento della lingua principale del Gorner è impostata sull'asse E-W anziché N-S, ciò è causa di un'elevata insolazione che, come vedremo, si riflette in un elevato tasso di ablazione e nello sviluppo eccezionale di forme termo-carsiche.

L'area di ablazione ha una lunghezza di 5 km per 1 km di larghezza e varia dai 2200 metri di altitudine, dove si trova la fronte oggi, fino ai 2600 metri, con una inclinazione del 4-5%. La zona operativa è compresa tra 2400 e 2600 metri di quota. La caratteristica più notevole di questo

ghiacciaio è la sua morfologia superficiale, praticamente unica, che lo rende uno dei più interessanti al mondo a livello glacio-carsico: si distingue per le sue morfologie epiglaciali, ma soprattutto endoglaciali. Sono presenti molti torrenti epiglaciali (*bèdière*), le cui acque di fusione hanno scavato solchi, in alcuni casi molto profondi e lunghi centinaia di metri, per poi gettarsi in inghiottitoi (mulini glaciali) e scomparire entro il ghiacciaio. Si osservano anche altre forme epiglaciali: laghi, vaschette e, talvolta, la particolarità di alcuni mulini

completamente allagati che si svuotano successivamente. Per quanto invece riguarda le forme endoglaciali, troviamo soprattutto mulini glaciali che si sviluppano in altri pozzi interni e meandri. Questi inghiottitoi, creati dalle acque di fusione convogliate dalle bédières, sono molto importanti per la dinamica del ghiacciaio in quanto assorbono la stragrande maggioranza delle acque di fusione e di conseguenza influenzano il comportamento del ghiacciaio stesso. Le prime ricerche sulle cavità glaciali del Gorner di cui abbiamo notizia si riferiscono all'estate del 1969, quando alcuni speleologi svizzeri accompagnano Albert Bezinge in una galleria di contatto (per circa 250 m di sviluppo) nel bacino svuotato del lago Gornersee (Bezinge & Vivian, 1976).

Nel 1985 Mario Vianelli, considerato il padre della speleologia glaciale italiana, effettuò una ricognizione per verificare le potenzialità del ghiacciaio, constatando l'elevata presenza di morfologie glaciocarsiche, superiore a tutti gli altri ghiacciai delle Alpi.

Tra il 1999 e il 2004 il team La Venta effettuò diversi campi, esplorando numerose cavità e conducendo studi sul carsismo glaciale e sull'idrologia riportati in alcuni interessanti articoli.

Tra il 2005 e il 2008 a cura del Gruppo Speleologico CAI Varallo, e tra il 2009 e il 2013 con la nascita del Progetto Speleologia Glaciale, sono stati effettuati numerosi campi per monitorare

e documentare diverse cavità prese in esame.

Nell'ottobre 2014 è stato organizzato il primo "International Glacier-Caving Camp" con la partecipazione di esperti speleologi e ricercatori, tra cui biologi del Museo Nazionale di Storia Naturale di Parigi, specializzati in micro-flora e fauna in ambiente glaciale, e astro-biologi del Centro aerospaziale tedesco di Colonia (Germania). Durante i dieci giorni di campo gli speleologi hanno supportato gli scienziati; tramite le esplorazioni e gli studi condotti nelle principali cavità intraglaciali e subglaciali è stato possibile creare una registrazione storica della criosfera carsica del ghiacciaio nel 2014. Un altro importante obiettivo raggiunto in questo primo campo di ricerca internazionale è stato testare per la prima volta l'uso di UAV (droni) per eseguire rilievi di fotogrammetria e realizzare dettagliati modelli 3D su diverse aree del ghiacciaio, in particolare su due dei suoi più grandi mulini.

Purtroppo anche il ghiacciaio del Gorner non è indenne dal cambiamento climatico che sta avvenendo: in questi ultimi quindici anni abbiamo assistito ad un arretramento della fronte, un abbassamento dello spessore ed un leggero restringimento della larghezza. Nell'inverno 2016-17, molto breve e povero di nevicate, le ondate di caldo dell'estate 2016 hanno fatto registrare per i ghiacciai svizzeri una diminuzione di circa il tre per cento del loro volume (fonte: *Swiss Glacier Network*).

BIBLIOGRAFIA

Piccini L., Romeo A. (2000): "Morfologia ed evoluzione dei mulini del Ghiacciaio del Gorner", *Kur*.

Piccini L., Badino G. (2001): "Moulins and contact caves in the Gornergletscher: morphology and hydrology", *Kur*.

Piccini L., Romeo A., Badino G. (2002): "Moulins and marginal contact caves in the Gornergletscher, Switzerland", *Nimbus* n° 23-24.

IL GHIACCIAIO DEL BELVEDERE (Macugnaga - VB) NOTE SULL'IDROGEOLOGIA IPOGEA

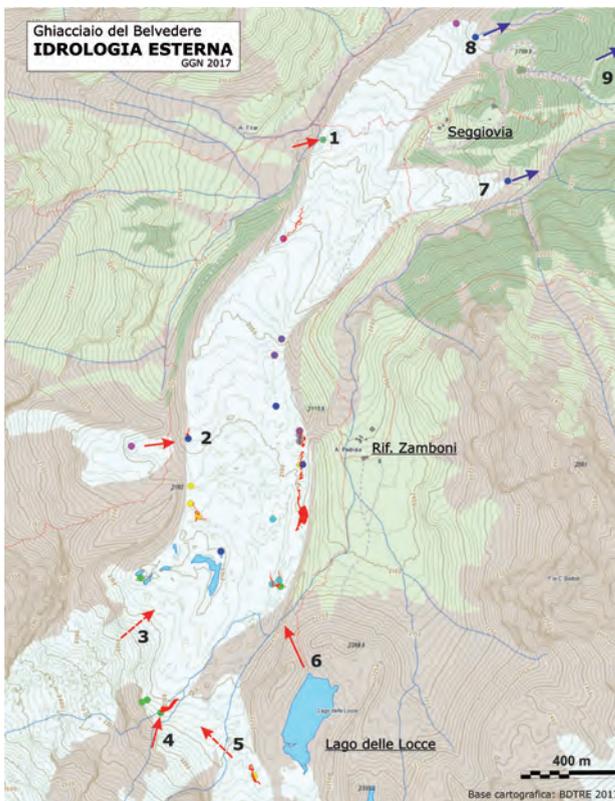
Gian Domenico Cella, Lia Botta

Gruppo Grotte CAI Novara

ABSTRACT

Four tracing experiments run in the years 2002-2016 by the Unità di Crisi Lago Effimero and by speleologists from Novara and Biella showed the presence of two endoglacial streams, located near the eastern and the western moraine.

Realese curves of tracers are coherent with the presence of one or more underground water basin, as already suggested in the literature.



Principali immissari ed emissari.

Il ghiacciaio del Belvedere possiede 5 grandi immissari provenienti dagli omonimi ghiacciai e 3 emissari.

Proveniente dal Fillar un vorticoso torrente si immette nel Belvedere (1) dopo aver scavato nella morena una impressionante dolina, che in passato (2003) è stata colmata da un lago temporaneo originato dalla rotta glaciale del Lago Effimero.

L'emissario del ghiacciaio Nordend dà origine a un bel lago glaciale prima di gettarsi in un inghiottitoio nel Belvedere (2).

L'apporto dato dal ghiacciaio del Rosa (3) non è quantificabile, in quanto scorre all'interno della morena.

L'emissario del ghiacciaio Tre Amici si immette nel Belvedere dopo un breve percorso su una inclinata parete rocciosa (4).

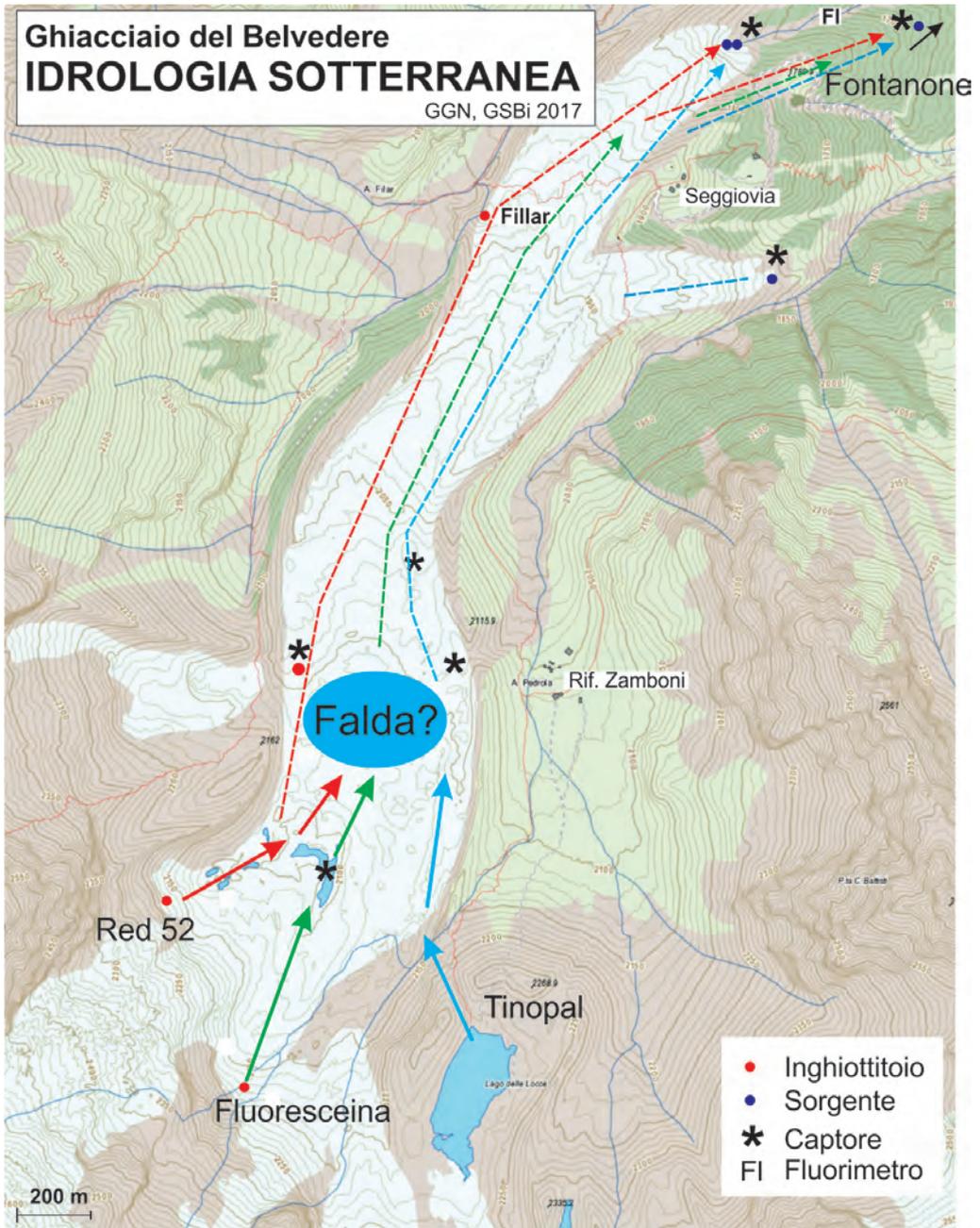


Lago glaciale originato dall'emissario del Rosa.

Il ghiacciaio delle Locce contribuisce con modesti afflussi idrici nel settore meridionale (5); più consistente invece il contributo fornito dall'omonimo lago, tramite un condotto sotterraneo artificiale (6).

Buona parte delle acque sotterranee del ghiacciaio viene alla luce alla fronte Nord, dove dà origine al torrente Anza (8); non trascurabile è la cospicua sorgente del Fontanone, che si apre a monte della fra-

Nome	Temp. (°C)	pH	Salinità (µS/cm)	Portata (l/s)
<i>Fillar</i>	3.5-7	-	-	50-200
<i>Tre Amici</i>	4.2	7-8	50-75	20-30
<i>Emissario Locce</i>	9-10.5	9	60-70	20-30
<i>Sist. Zamboni</i>	0.1	9	65	30 ca
<i>Fronte Nord (Anza)</i>	0.2	7.5	40	50-400
<i>Fronte E (Pedriola)</i>	0.1	8	20	1-5
<i>Fontanone</i>	3.7	8	50-65	250-350



Tracciamenti: carta schematica dei risultati.



Inghiottitoio Fillar: depositi rilasciati dalla rotta del Lago Effimero.

zione Pecetto (9; posizionamento schematico). Dalla fronte Est fuoriesce solo una modesta sorgente (7).

Riportiamo in tabella la portata e alcune caratteristiche chimico-fisiche rilevate nel periodo estivo.

Per quanto di nostra conoscenza, quattro sono state le campagne di tracciamento condotte per seguire i percorsi sotterranei delle acque: Unità di crisi Lago Effimero, anni 2002 e 2003; GGN 2014; GGN e GSBi 2016.

Le principali conclusioni cui si è giunti sono state:

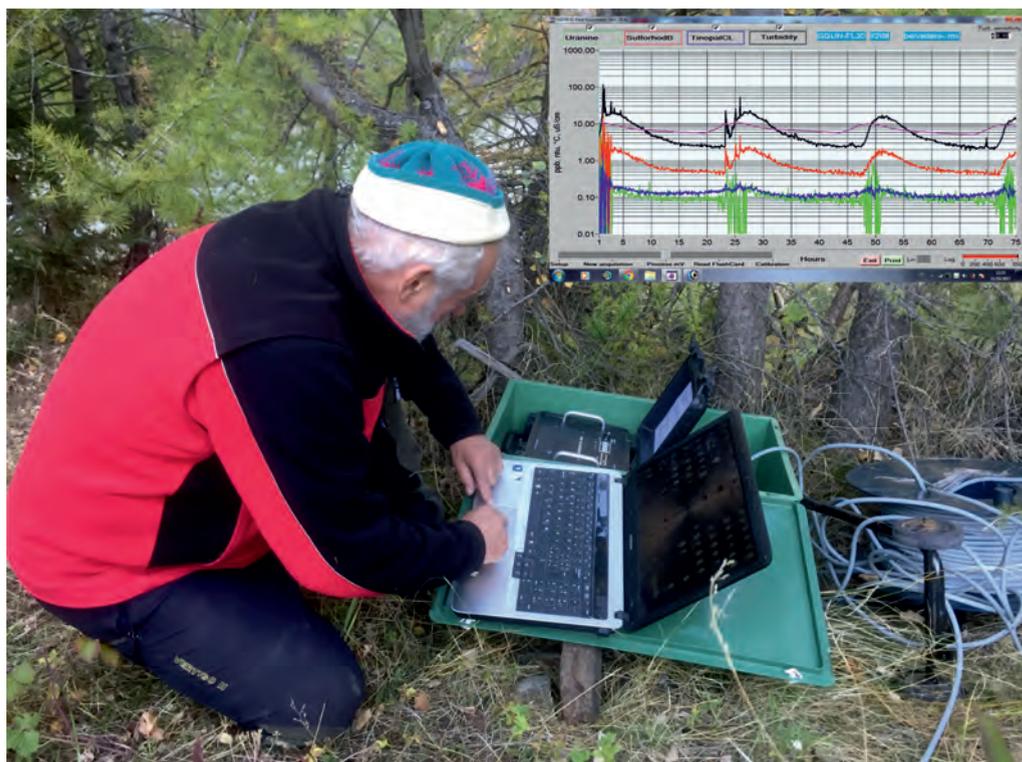
- Le acque di tutti gli immissari convergono alla fronte Nord e nel Fontanone.

- I tempi di transito alla fronte sono molto brevi (10-24 h).

- La sorgente della fronte Est non è collegata al flusso principale.



Inghiottitoio Tre Amici: tracciamento.



Rilevamento in continuo dei traccianti rilasciati (Campagna 2016).

- È probabile che esistano due percorsi sotterranei.
 - Quasi sicuramente di fronte al rifugio Zamboni e alle pendici del costone Marinelli esistono una o più falde idriche sotterranee. Nel periodo invernale, a seguito della occlusione di condotte sotterranee e per effetto della pressione del ghiacciaio, parte delle acque risale originando vari laghi glaciali; nel

periodo estivo avanzato l'attivazione di deflussi ipogei ne provoca lo svuotamento.

RINGRAZIAMENTI

Valerio Botta, Juri Bertona, Ettore Ghielmetti per il supporto sul campo.
 A. Uggeri (Idrogea, Varese) e R. Semeraro (Lab. Speleologia e Fluorimetria, Gorizia) per le indagini fluorimetriche.

EVOLUZIONE DELLE CAVITÀ GLACIALI E RELAZIONE CON LE MORFOLOGIE DI SUPERFICIE

Paola Tognini

Gruppo Grotte Milano CAI-SEM
Federazione Speleologica Lombarda
Progetto Speleologia Glaciale

ABSTRACT

All the Alpine glaciers are presently affected by huge ice mass losses, with conspicuous reduction in volume and retreating of the glacier snouts. Ice mass reduction goes together with changing in morphology, stress distribution and subsequent jointing. Constant monitoring and observations through time of glacial caves point out as recent glacier changing is affecting also on the evolution of en-glacial caves systems and on the formation of contact caves.

It is in fact well demonstrated that glacial caves strictly depend on the distribution of stress through the ice mass and on air and water flow entering the caves: every change in one of these factors causes a change in the morphology of caves. On the other hand, the existence of glacial caves controls the evolution of the glaciers themselves, by breakdown and collapse of caves causing sometimes huge losses of ice mass, and by a more criptical process of "erosion" under ice by sublimation and melting processes inside caves. Formation and evolution of glacial caves can also control some peculiar features on the glaciers surface, such as sinkholes and collapse dolines, unroofed canyons, englacial deposits causing the formation of glaciers cones, etc. . .

Some examples of Forni Glacier (Northern Italy) and Morteratsch Glacier (Southern Switzerland) show the important role glacial caves may have in the evolution of a glacier. On these two glaciers it has been observed the way the evolution of very large contact caves has been leading to the collapse of large areas at the snout during the last few years: thanks to the breakdown of large glacial galleries, at the snout huge ice masses are suddenly lost, together with a considerable reduction in length. The collapse of large sub-glacial caves thus dramatically and suddenly changes glacier morphology at the snout.

Glacial caves therefore play a significant role in the evolution of the glaciers, being responsible for rapid and spectacular retreats and peculiar morphologies: information given by the study of en-and sub-glacial caves may thus help in forecasting glacier evolution in the very next future.

KEY-WORDS: *glacier; glacial caves; contact caves; en-glacial caves; sub-glacial caves; Morteratsch Glacier; Forni Glacier.*

Dopo una fase di avanzata agli inizi degli anni '80, negli ultimi 40 anni i ghiacciai alpini stanno reagendo ai recenti innalzamenti delle temperature medie estive ed alla scarsità di precipitazioni nevose con forti perdite di massa, che si traducono in riduzioni di volume e arretramenti della posizione della fronte. Attualmente,

la riduzione dei ghiacciai alpini è di circa il 50% rispetto al 1850, di cui il 30% si è verificata negli ultimi 50 anni.

Alla riduzione di volume di ghiaccio si accompagnano modificazioni morfologiche, dello stato di sforzo e della conseguente fratturazione. Il monitoraggio e le osservazioni nel tempo delle cavità gla-



Ghiacciaio del Morteratsch (Luglio 2010) - Il crollo di una grande galleria subglaciale, esplorata l'inverno precedente, ha provocato la perdita istantanea di una massa di ghiaccio lunga più di 50 m nella zona della fronte.

ciali mettono in evidenza come le recenti modificazioni dei ghiacciai abbiano influito anche sull'evoluzione dei sistemi di grotte endoglaciali e sulla formazione di grotte di contatto. E' infatti ormai assodato che le cavità glaciali dipendano strettamente dalla distribuzione degli sforzi interni alla massa di ghiaccio e dai flussi di acqua e di aria che vi entrano a diverse temperature: ogni modifica di questi fattori si traduce in modifiche delle morfologie delle cavità. Ma è vero anche viceversa: a loro volta, la presenza di cavità glaciali condiziona l'evoluzione dei ghiacciai stessi, sia attraverso fenomeni di crollo e collasso delle cavità, che asportano istantaneamente grandi masse di ghiaccio, sia attraverso meno conosciuti e difficilmente quantificabili processi di sublimazione per flusso d'aria all'interno delle cavità. Questi ultimi

esercitano una sorta di "erosione" al di sotto ed all'interno del ghiacciaio, la cui entità dovrebbe essere tenuta in considerazione quando si calcola il bilancio di massa di un ghiacciaio.

Spedizioni sui grandi ghiacciai del mondo permettono di farsi un'idea delle morfologie, spesso spettacolari, che le grotte glaciali possono mostrare, ma i piccoli e relativamente modesti ghiacciai alpini offrono l'opportunità di studiare sistematicamente, di anno in anno, l'evoluzione di queste grotte e di metterla in relazione con l'evoluzione dei ghiacciai stessi. Alcuni esempi di quanto osservato sul Ghiacciaio dei Forni (Valtellina, SO) e del Morteratsch (Engadina, CH), dove dagli anni '90 sono in corso studi sistematici del carsismo glaciale, mostrano l'importanza delle osservazioni che gli speleologi

possono fare, con i semplici metodi di posizionamento, rilievo topografico e documentazione fotografica utilizzati in grotta, anche senza grande dispendio di strumentazioni scientifiche.

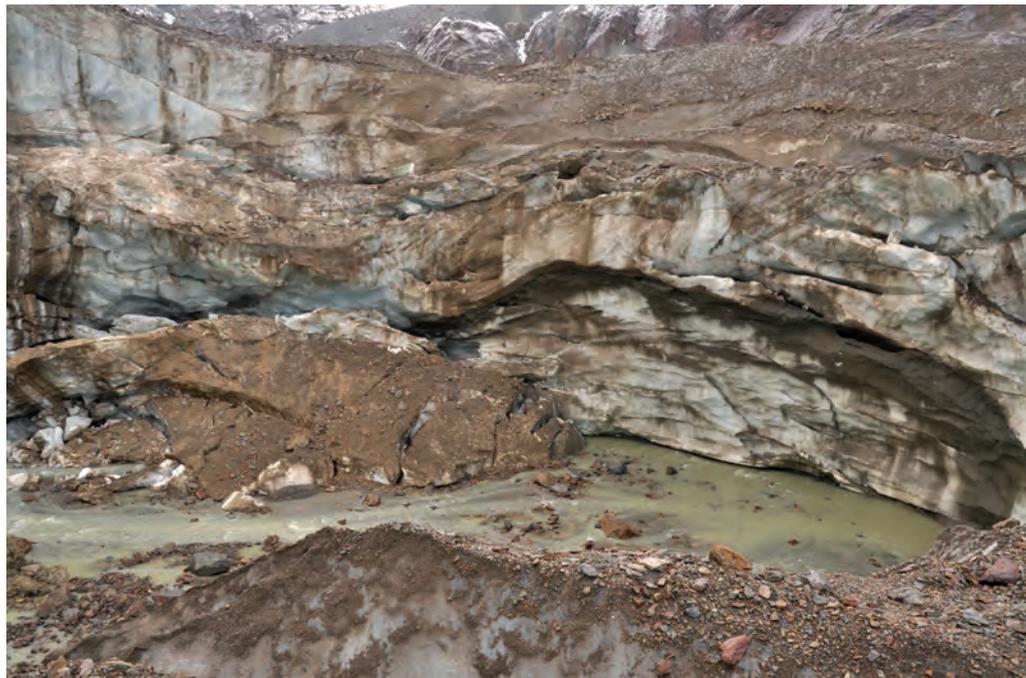
In questi due ghiacciai si è potuto osservare come l'evoluzione di grandi cavità di contatto alla fronte abbia portato, nel giro di pochi anni, al collasso di ampie zone della stessa. Le recenti estati calde hanno incrementato la fusione, aumentando le portate dei torrenti subglaciali, e favorendo anche processi di sublimazione per flusso d'aria, creando cavità di contatto di maggiori dimensioni rispetto al passato. Questo ha compromesso la stabilità della fronte, che, a causa del collasso delle grandi cavità presenti, perde quasi istantaneamente enormi volumi di ghiaccio e

decine di metri in lunghezza. Il crollo delle grandi gallerie subglaciali modifica quindi drasticamente la morfologia della fronte, causando la rapida perdita di ingenti masse di ghiaccio.

La formazione di grandi cavità di contatto, preludio a grandi crolli e conseguente rapida evoluzione della fronte, è stata segnalata anche in altri ghiacciai, come il ghiacciaio dello Scalino e la Vedretta di Fellaria Orientale (Valmalenco, SO), il Gorner o il Ferpectle (CH), ma innumerevoli sono gli esempi in tutto l'arco alpino e nel mondo. Sembrerebbe quindi che le cavità di contatto alla fronte giochino un ruolo fondamentale per l'evoluzione della fronte stessa, e siano responsabili di arretramenti rapidi e spettacolari: le informazioni fornite dallo studio delle



Ghiacciaio dei Forni (2007) - Le morfologie delle cavità di contatto mostrano come il ruolo giocato dall'acqua sia importante in fase iniziale, ma divenga marginale nell'evoluzione di queste grotte rispetto al più importante effetto di processi di fusione e sublimazione sulle pareti e sulla volta.



Ghiacciaio dei Forni (estate 2018) - Il crollo della volta di una grande cavità alla fronte ha modificato in modo drammatico le morfologie della stessa e ha causato una perdita di ghiaccio su una lunghezza di più di 100 m.

cavità endo e subglaciali possono quindi sicuramente aiutare a capire quella che potrebbe essere la prossima evoluzione dei ghiacciai.

Mentre assai chiaro appare il ruolo giocato da processi di crollo, molto più criptico e meno evidente, ma non per questo meno importante, è il ruolo dei processi di sublimazione e di fusione interna alle cavità, molto difficili da quantificare ma sicuramente di importanza rilevante nella perdita di massa di un ghiacciaio.

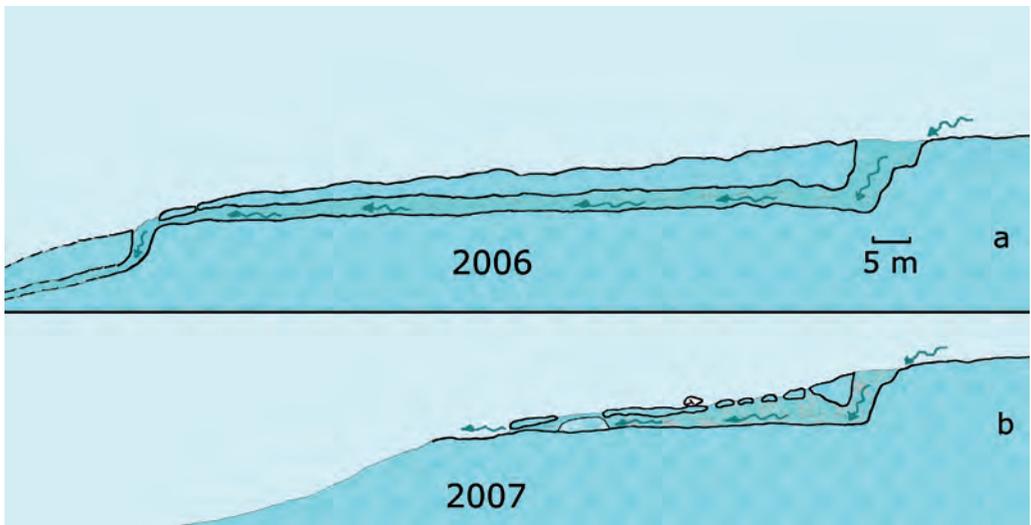
Anche l'ablazione superficiale che, ad ogni stagione estiva, asporta diversi metri di spessore di ghiaccio, è un fattore molto importante per l'evoluzione delle cavità, e responsabile della formazione di morfologie superficiali molto particolari, difficilmente spiegabili con i normali processi epiglaciali.

In particolare lo "scoperchiamento" di

cavità, che spesso si presentano come forre endoglaciali, origina la formazione di canyon epiglaciali, a volte profondi diverse decine di metri: se non si tiene conto di questo processo di "decapitazione" per ablazione, risulta difficile giustificare questi improvvisi approfondimenti delle *bédière* superficiali, in genere poco profonde e di scarsa portata (per lo meno sui ghiacciai alpini). Sul Ghiacciaio del Morteratsch, ad esempio, questo fenomeno è osservato da più di 10 anni: ogni anno si assiste allo scoperchiamento di una parte di una forra endoglaciale, ed alla formazione, più a monte, di una nuova cavità, che l'anno successivo viene decapitata: la parte a valle delle forre mostra ogni anno parti nuove e profonde, mano a mano che nuovi tratti di cavità endoglaciali vengono esposte dall'ablazione, mentre la parte a monte si "appiattisce" progressivamente,



Ghiacciaio del Morteratsch (2009) - L'importanza di processi di fusione e sublimazione interna è mostrata dai numerosi scallops che lavorano la volta e le pareti, dovuti alla circolazione di aria più calda: sono questi processi che mantengono aperte le cavità di contatto, contrastando il collasso plastico del ghiaccio, e sono responsabili della perdita di grandi quantità di ghiaccio.



L'evoluzione di una piccola forra endoglaciale sul Ghiacciaio dei Forni, scoperschiata dall'ablazione superficiale.



Ghiacciaio del Morteratsch - Lo scoperchiamento di forre endoglaciali a causa dell'ablazione superficiale, che asporta diversi metri di ghiaccio ogni anno, crea canyon epiglaciali che difficilmente si possono spiegare con le portate delle bédrière superficiali.



Ghiacciaio del Morteratsch - Le spettacolari forme di questo canyon epiglaciale sono spiegate dalla sua origine, per decapitazione di una forra endoglaciale.



Ghiacciaio dei Forni - La presenza di depositi sulla superficie di un ghiacciaio, proteggendo dall'ablazione il ghiaccio sottostante, porta alla formazione di coni di ghiaccio: sul Ghiacciaio dei Forni si è osservata la formazione di questi coni di ghiaccio a partire da depositi esumati dal fondo di una cavità endoglaciale, scomparsa per ablazione superficiale.

segno che la formazione delle forre non è legata a processi superficiali.

L'evoluzione di grotte glaciali origina anche altre morfologie superficiali caratteristiche. All'interno delle grotte si formano infatti depositi di detriti di varie dimensioni, portati dalle acque superficiali, liberati dal ghiaccio in fusione o caduti all'interno dalla superficie. Quando l'ablazione superficiale porta questi depositi allo scoperto, si assiste alla progressiva formazione di coni di ghiaccio. La formazione di coni di ghiaccio non è, ovviamente, legata esclusivamente a depositi di grotta, ma sicuramente questo tipo di

depositi fornisce una grande quantità di materiale che affiora sulla superficie di un ghiacciaio.

Da queste brevi osservazioni, si evidenzia quindi la strettissima relazione tra i ghiacciai e le cavità in essi contenute, unita all'estrema mutevolezza di entrambi. Ne deriva quindi l'importanza di osservazioni sistematiche nel corso degli anni e di un'accurata documentazione di quanto osservato: il contributo degli speleologi glaciali alla comprensione dell'evoluzione futura dei nostri ghiacciai può quindi essere davvero determinante.

ESISTE UNA FAUNA DELLE GROTTI GLACIALI?

Enrico Lana ^{1, 3}, Valentina Balestra ^{2, 3}

¹ Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET
Gruppo Speleologico Alpi Marittime

² Speleo Club Tanaro

³ Biologia Sotterranea Piemonte - Gruppo di ricerca

ABSTRACT

During a recent exploration inside ice-caves of "Belvedere Glacier" (Macugnaga, Monte Rosa) and "La Rossa Glacier" (Devero Valley) we had the confirmation that the fauna found in such cavities is the characteristic one of the near-snow zones.

But in rock-caves containing ice the situation is very different: the "Borna d'la Glace" of Chabaudey (Aosta Valley) is the habitat of cryophilic arachnids like **Ischyropsalis dentipalpis** Canestrini, 1872.

The cave "Patarasa" (SW Piedmont) is the **locus typicus** of the cryophilic Diplopoda **Crossosoma mauriesi** Strasser, 1970.

In the "Buca del Ghiaccio della Cavallaria" (NW Piedmont) has been found another population of **Ischyropsalis dentipalpis** Canestrini, 1872 and a new species of Leiodidae Leptodirinae: **Archeoboldoria sturani** Casale & Giachino, 2010.

Ice-caves of the southern Piedmont are important sites for the hibernation of bats species.

The "global warming" is threatening this subterranean habitats and their inhabitants.

Nelle calotte ghiacciate delle zone polari terrestri, recenti ricerche hanno rivelato la presenza di batteri cosiddetti "estremofili", che raggruppano forme di vita adattate a condizioni ambientali estreme. In particolare, alcuni di questi riescono a sopravvivere a temperature inferiori a -15° C.

È sulla base di questi studi che si è ipotizzata la presenza di forme di vita extra-terrestre simili su altri pianeti del sistema solare, come per esempio nelle calotte ghiacciate di Marte.

Ma ritornando sulla nostra Terra, una fauna batterica simile potrebbe essere ipotizzabile nei nostri ghiacciai alpini in cui si aprono alcune cavità glaciali. Questi sono però studi molto specialistici per i quali

noi non siamo ancora attrezzati, per cui qui parleremo della fauna di invertebrati che normalmente si trova in queste grotte.



Ischyropsalis dentipalpis
(Borna d'la Glace).



Troglohyphantes nigraerosae
(Buca del Ghiaccio).

Durante un recente sopralluogo, effettuato esplorando grotte glaciali su rami collaterali del ghiacciaio del Belvedere (Macugnaga, Monte Rosa) abbiamo constatato che la fauna presente è quella caratteristica delle zone perinivali: gasteropodi (*Phenacolimax* sp.), scorpioni (*Euscorpium* sp.), opilioni, ragni Linyphiidae, sinfili e carabidi (*Bembidion* sp.), oltre a larve acquatiche di plecoteri e ditteri nivicoli (*Chionea* sp.).

Nel 2012, in ambienti simili nell'estremo Nord del Piemonte (Pozzo a neve F-2 della Val Formazza) avevamo trovato acari criofili della famiglia Rhagidiidae e, in particolare, una nuova specie del genere ***Troglocheles***.

Constatata la relativa uniformità e coincidenza della fauna di queste cavità con quella perinivale, esamineremo qui alcuni casi di grotte ghiacciate nella nostra regione, in roccia, ma contenenti ghiaccio, dove la fauna criofila è decisamente più adattata alla vita ipogea.

La Borna d'la Glace di Chabaudey 2001 Ao/AO (La Salle, Aosta), è nota da tempi immemorabili ai locali perché vi cavavano ghiaccio nelle stagioni calde fino a qualche decennio fa. La cavità, tettonica in paleofrana, si ricarica durante le nevicate invernali, ma ormai d'estate

non v'è più ghiaccio al suo interno. Quest'anno (2018), in maggio, abbiamo constatato qualche residuo nevoso alla base del pozzetto d'ingresso e qualche sottile velo ghiacciato sulle rocce più profonde. Dal punto di vista della fauna è notevole la presenza dell'opilione criofilo ***Ischyropsalis dentipalpis*** Canestrini, 1872, già segnalato all'inizio del secolo scorso.

Spostiamoci nel cuneese, in alta Valle Grana (Castelmagno), per trovare un'altra grotta nota da secoli: la Grotta del Ghiaccio "Patarasa" (1100 Pi/CN). Anche qui vi è una lunga storia legata all'estrazione di ghiaccio, presente tutto l'anno. Gli effetti del riscaldamento climatico sono qui ancora più evidenti: circa 10 anni fa avevamo constatato che una spessa coltre di ghiaccio ricopriva tutta la parte più interna e arrivava a oltre 1 metro di spessore sul fondo; l'anno scorso (2017), a fine luglio, vi erano colonne di ghiaccio nella parte centrale e qualche decina di centimetri di una coltre ghiacciata sul fondo; quest'anno, nello stesso periodo, il ghiaccio era completamente scomparso nella parte centrale e vi era un residuo di qualche centimetro di spessore nella parte più profonda. Dal punto di vista faunistico, la grotta è il ***locus typicus*** del



Canavesiella lanai
(Grotta "La Custreta").



Archeoboldoria lanai
(Grotta “Boira dal Salè”).

diplopode criofilo ***Crossosoma mauriesi*** Strasser, 1970.

La “Buca del Ghiaccio della Cavallaria” (1609 Pi/TO) si trova nel centro-nord del Piemonte, sul promontorio che costituisce l'estrema propaggine della riva orografica destra della Valle della Dora Baltea (Valle d'Aosta). Anche qui, gli abitanti di Brosso, il paese sottostante, salivano alla “Buca” per cavare ghiaccio nella stagione calda. Una testimonianza del pittore naturalista e entomologo Mario Sturani, datata dell'estate 1942, riporta che in questa cavità tettonica in paleofrana vi erano coltri di 30-40 cm di ghiaccio, specialmente nella saletta finale, a una profondità di



***Crossosoma* sp.**
(Grotta Romina).

circa 15 m rispetto all'ingresso. Questo ghiaccio si genera dallo scioglimento della neve: l'acqua percola verso il basso e poi si ricongela a causa della bassa temperatura del sottosuolo. Nel 2002-2004 l'abbiamo visitata più volte per ricerche entomologiche, constatando che, in agosto, vi era un velo residuo di qualche centimetro di ghiaccio nella saletta finale. L'anno scorso (2017), sempre in agosto, abbiamo constatato che non rimaneva più ghiaccio nella stessa saletta. La cavità è popolata da opilioni (***Ischyropsalis dentipalpis*** Canestrini, 1872), ragni (***Troglohyphantes nigraerosae*** Brignoli, 1971) e isopodi criofili (***Alpioniscus feneriensis*** Parona, 1880).



Triphosa dubitata
(Grotta Romina).

Inoltre, vi abbiamo trovato una nuova specie di coleotteri leptodirini che abbiamo chiamato ***Archeoboldoria sturanii*** Casale & Giachino, 2010, in onore del citato Mario Sturani.

La storia della colonizzazione di queste cavità fredde è legata alle glaciazioni e a popolazioni di artropodi criofili che vivevano nelle zone limitrofe ai ghiacci (ambiente perinivale) che costituivano il loro ambiente elettivo di vita. Al termine delle glaciazioni, con il ritirarsi della coltre ghiacciata, alcune specie non l'hanno

seguita, ma si sono rifugiate nel sotto-suolo, adattandosi gradualmente alla vita ipogea e differenziandosi in nuove entità tassonomiche.

Con le attuali popolazioni di coleotteri leptodirini del Piemonte, si può tracciare una mappa della massima espansione delle coltri glaciali durante le ultime glaciazioni. Seguendo questo ragionamento e segnando le posizioni delle specie già conosciute, siamo riusciti a scoprire nuove specie di questi insetti, andando a cercarli laddove vi erano delle lacune nella distribuzione, lungo la linea della massima espansione glaciale (es. *Canavesiella lanai* Giachino, 1993, *Archeoboldoria lanai* Giachino & Vailati, 1997, *Archeoboldoria pascuttoii* Giachino, Lana & Vailati, 1997).

Spostiamoci ora nell'estremo sud del Piemonte, dove per decenni residui di ghiacciai sotterranei hanno impedito l'esplorazione di molte decine di cavità; una di queste è stata soprannominata "Romina"; si tratta di una condotta suborizzontale che termina su una frana ghiacciata. Durante una recente visita, abbiamo potuto constatare la presenza di diplopodi criofili (*Crossosoma* sp.), resti di coleotteri criofili (*Oreonebria* cf. *castanea*) e di una fauna parie-



Plecotus auritus
(Rem del Ghiaccio).



Barbastella barbastellus
(Rem del Ghiaccio).

tale costituita da lepidotteri (*Triphosa dubitata* Linnaeus, 1758, *Hypena obsitalis* Hübner, [1813]), ditteri e tricoteri.

Una quindicina di anni fa, nella Conca delle Carsene, ripulendo il fondo del ghiacciaio sotterraneo dell'Abisso Scarasson (221 Pi/CN) a -130 m dall'ingresso, dai residui del campo interno dello "speleonauta" Michel Siffre (che vi fece nel 1962 un esperimento di sopravvivenza in solitaria per un mese), abbiamo constatato la presenza di numerosissimi esemplari del diplopode criofilo *Crossosoma cavernicola* (Manfredi, 1951) che camminavano sul ghiaccio, fra i residui legnosi del campo. Il ghiacciaio interno dello Scarasson si è ormai molto ridotto, come si vede dalla foto di copertina del n° 163 del bollettino "Grotte" del Gruppo Speleologico Piemontese, mentre una ventina di anni or sono, aveva l'aspetto del ghiacciaio interno della Grotta "Rem del Ghiaccio", recentemente scoperta, con stratificazioni di colori diversi e alcuni metri di spessore. Peraltro, anche qui il ghiacciaio si va progressivamente riducendo; in queste grotte, oltre a resti di vertebrati e di tricoteri inclusi nel ghiaccio, abbiamo documentato la presenza di diplopodi criofili (*Crossosoma* sp.) e di alcune specie di Chiroterti che la

frequentano e vi trascorrono il letargo durante l'inverno. Da segnalare, ***Myotis nattereri*** (Kuhl, 1818) e ***Myotis blythii*** (Tomes, 1857), ***Barbastella barbastellus*** (Schreber, 1774), ***Plecotus macrobullaris*** (Kuzynkin, 1965) e ***Plecotus auritus*** (Linnaeus, 1758).

Lo scioglimento dei ghiacci anche in ambiente sotterraneo, è un fenomeno effettivo e progressivo; auspichiamo che si svolgano ulteriori ricerche per

conoscere la fauna criofila associata e magari l'inizio dello studio della popolazione microbica di questi ghiacci criptici e antichi, prima che scompaiano completamente.

Possiamo solo dire che, nonostante l'influsso negativo delle attività umane, la natura troverà una via e nuove forme per sopravvivere; del resto, è già sopravvissuta nelle ere geologiche a catastrofi ancora più grandi del genere umano.



I ditteri del genere Chionea, che vivono in ambienti perinivali, sono frequenti sia nelle grotte glaciali sia in quelle che conservano ghiaccio all'interno durante l'anno.

I TRACCIAMENTI NELLO STUDIO DEI GHIACCIAI: ESEMPI DAI GHIACCIAI DEI FORNI E DEL MORTERATSCH

Paola Tognini

Gruppo Grotte Milano CAI-SEM
Federazione Speleologica Lombarda
Progetto Speleologia Glaciale

ABSTRACT

In the upper ice fragile horizon, water flow inside a temperate glacier is similar to karst water circulation: it can thus be investigated with hydrogeological methods normally used in karst systems, i.e. dye tracing tests.

A detailed and continuous restitution graph allows estimation of the development and efficiency of the en-glacial karst drainage system. Furthermore, dye tracing tests can have a more practical issue. Water storage basins, both inside or below a glacier, forming en- or sub-glacial lakes or basins, can cause a risky situation for GLOF (Glacial Lake Outburst Flow): an early recognition of a potential GLOF risk condition could be basic for prevention of great damage to down-flow settlements. Dye tracing tests could be an efficient, quick and easy method to evaluate possible GLOF risk. As an example of the method's potential, two dye tracing tests are described, on Morteratsch and Forni Glacier.

KEYWORDS: *glaciers; dye tracing tests; dye tracers; GLOF risk evaluation.*

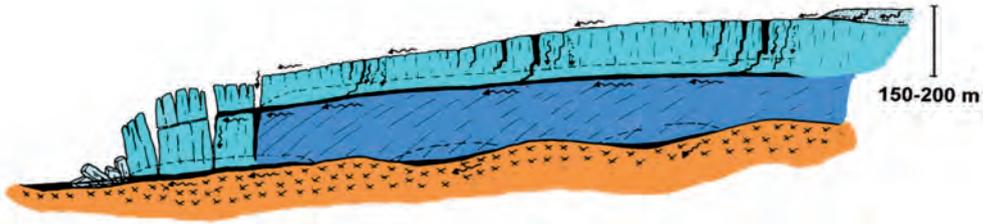
Il carsismo glaciale mostra una grande analogia morfologica con il carsismo in roccia, pur essendo naturalmente diversi i processi di formazione: processi prevalentemente chimici sono infatti responsabili della formazione di grotte in roccia, mentre le grotte glaciali sono formate da processi fisici di passaggio di stato solido-liquido dell'acqua. Le similitudini non riguardano soltanto le forme: negli ultimi decenni ricerche nei ghiacciai di tutto il mondo hanno mostrato che all'interno di un ghiacciaio temperato l'acqua si muove attraverso condotti con una struttura, un'organizzazione del drenaggio e un funzionamento idrodinamico molto simili a quelli di un sistema carsico. In un ghiacciaio in genere si possono individuare due tipi di acquiferi:

- acquiferi endoglaciali nella parte supe-

riore, che possono essere assimilati ad acquiferi carsici sospesi, limitati alla base da un limite di permeabilità, rappresentato dalla transizione tra ghiaccio a comportamento fragile e ghiaccio a comportamento plastico; all'interno di un ghiacciaio, possono esistere più acquiferi endoglaciali, variamente interconnessi, ma anche isolati tra loro: il ghiaccio, infatti, se non fratturato, è virtualmente impermeabile; - acquiferi subglaciali, limitati alla base dal substrato roccioso o da copertura sedimentaria.

I due diversi tipi di acquiferi in genere coesistono, e possono entrare in contatto nella zona della fronte, tramite fratture e crepacci che attraversano l'intero spessore del ghiacciaio e permettono alle acque dei due acquiferi di mescolarsi tra loro.

La caratteristica più peculiare del ghiaccio



Sezione schematica di un ghiacciaio che mostra, dall'alto verso il basso:

- **la transizione tra ghiaccio a comportamento fragile (azzurro chiaro) e ghiaccio a comportamento plastico (azzurro più scuro, a circa 150-200 m di profondità);**
 - **acquiferi endoglaciali, non necessariamente interconnessi, nella porzione superiore, a comportamento fragile;**
 - **zona satura, con condotte allagate, sviluppata lungo la transizione fragile/plastico, che gioca il ruolo di limite di permeabilità;**
 - **acquiferi subglaciali, al contatto tra la base del ghiacciaio e il substrato;**
 - **la zona della fronte, dove, a causa del ridotto spessore del ghiaccio e dell'intensa fratturazione, è possibile la connessione tra acquiferi endoglaciali e subglaciali: è la zona dove le acque endo- e subglaciali vengono a giorno.**
- (Disegno Paola Tognini)**

è il suo comportamento meccanico, che è fortemente influenzato dalla temperatura, dalla pressione e dalla velocità di applicazione delle sollecitazioni alle quali è sottoposto. Esiste quindi uno "strato" superficiale, fragile e quindi permeabile, e una parte "profonda" a comportamento plastico, virtualmente impermeabile. Grotte endoglaciali si formano soltanto dove il ghiaccio si comporta in modo fragile, vale a dire in una zona di spessore compreso tra i 50 e i 150-200 m circa: 200 m è la profondità massima osservata per grotte e pozzi glaciali, in tutti i ghiacciai temperati e subpolari della Terra, indipendentemente dallo spessore del ghiaccio. In corrispondenza della transizione fragile-plastico (che è una fascia, e non un limite netto), si stabilisce un limite di permeabilità/carsificabilità, che determina la formazione di una zona satura. Le

condotte in zona satura possono esistere solo se allagate, quando la pressione dell'acqua contrasta il collasso plastico del ghiaccio: eccezionalmente, possono risultare visibili, per brevissimi periodi, quando vengono smembrate da crolli.

Questa forte analogia nella struttura degli acquiferi carsici e degli acquiferi glaciali permette di studiare questi ultimi con gli stessi metodi utilizzati comunemente in idrogeologia carsica, attraverso test di tracciamento delle acque.

Come per i sistemi carsici in roccia, i tempi e le modalità di arrivo dei traccianti alle sorgenti (localizzate in corrispondenza degli scaricatori glaciali alla fronte) possono dare molte informazioni sulla struttura dei sistemi di grotte e sul grado di "carsificazione". Ma i test di tracciamento delle acque nei ghiacciai possono anche dare informazioni di grande importanza



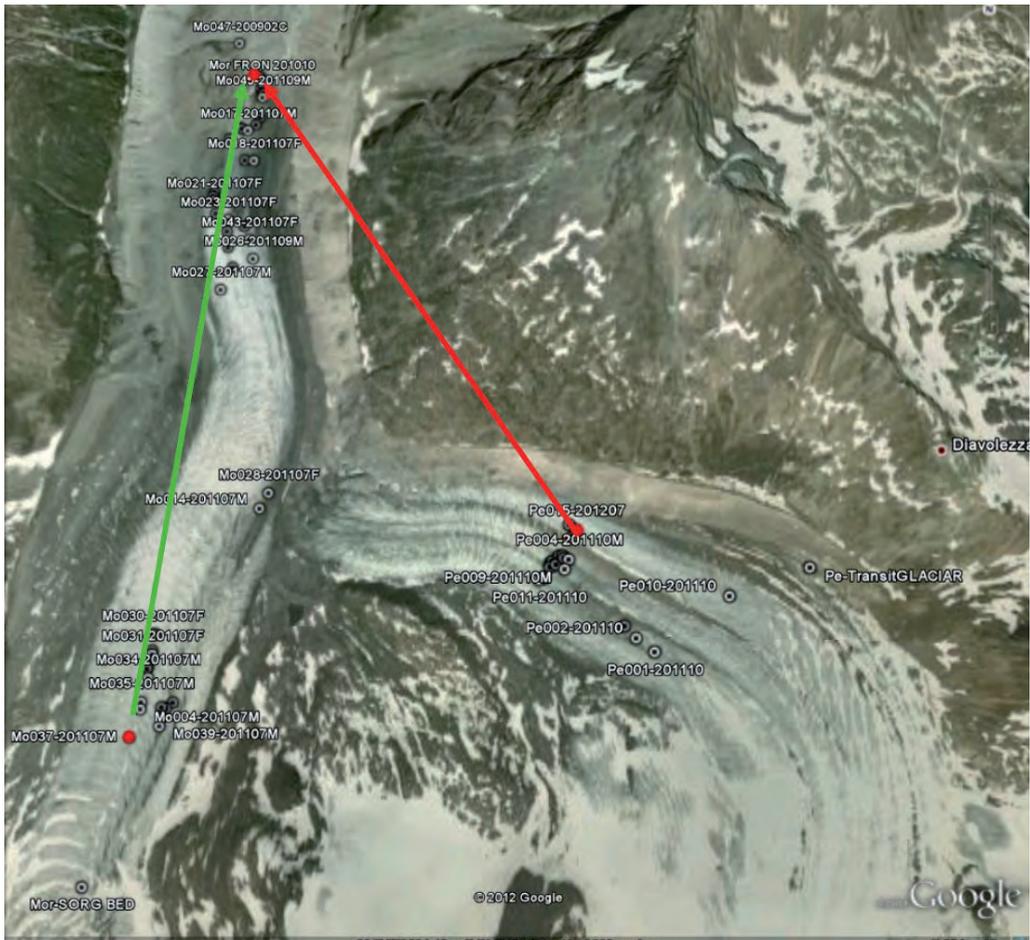
Ghiacciaio dei Forni, settembre 2009: il crollo di una cavità di contatto ha permesso di accedere, per un breve periodo, a un lago subglaciale, lungo circa 28 m, largo una decina di metri, con una superficie stimata di circa 185 m². Simili osservazioni dirette sono però molto rare.

“applicativa”. Grazie all’impermeabilità del ghiaccio, all’interno di un ghiacciaio possono formarsi accumuli di masse d’acqua, a formare bacini endoglaciali, così come laghi sottoglaciali possono formarsi al contatto con il substrato. La presenza di laghi o bacini endo- o subglaciali può rappresentare una situazione di potenziale rischio di GLOF (Glacial Lake Outburst Flow), quando, per motivi vari, le masse d’acqua accumulate si dovessero liberare (per esempio, per rottura delle soglie che le sostengono, o per apertura, o crollo, di gallerie endoglaciali). Nel caso di volumi idrici importanti, questo può rappresentare una situazione di grande rischio potenziale anche per le popolazioni che vivono a valle: numerose sono infatti le testimonianze storiche delle devastazioni causate dalle “piene dei

ghiacciai”, in tutto il mondo.

L’esplorazione di grotte glaciali raramente porta a scoprire laghi endo- o subglaciali: è una situazione abbastanza rara. In mancanza di osservazioni dirette, i test di tracciamento delle acque possono essere un metodo efficiente, veloce e semplice per valutare la possibilità di rischio da GLOF. Con questi scopi, sono stati organizzati due test di tracciamento, in collaborazione con il SUPSI di Lugano (Scuola Universitaria Superiore della Svizzera Italiana, Prof. Sebastian Pera): il primo alle Vadret da Morteratsch e da Pers (CH), nel settembre 2012, e il secondo al Ghiacciaio dei Forni, nell’ottobre 2014.

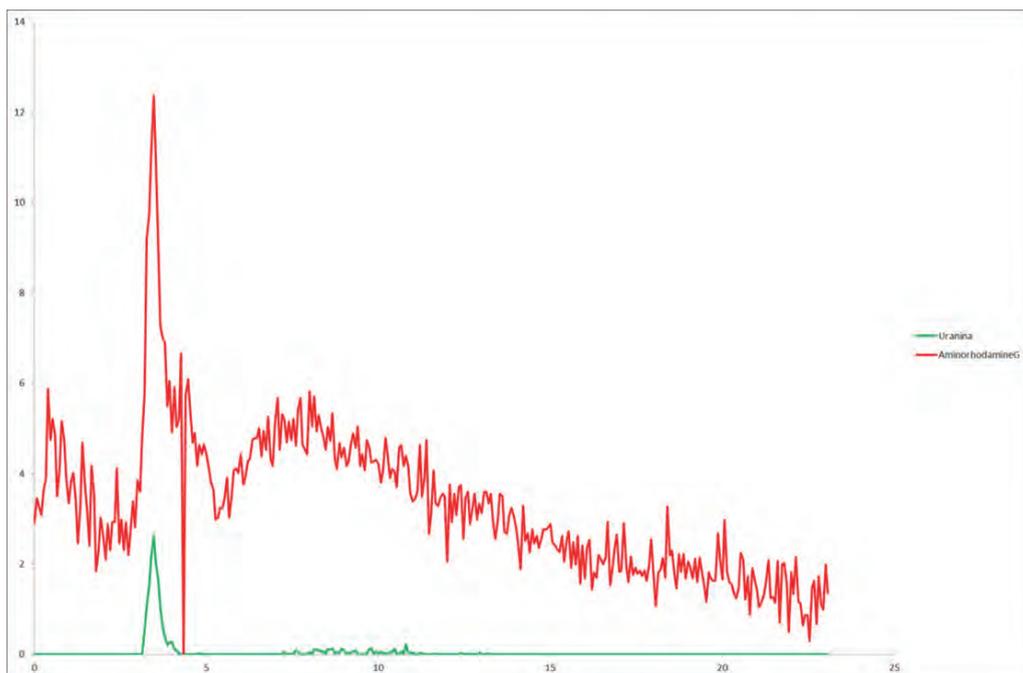
In entrambi i casi, due diversi traccianti (Fluoresceina e Aminorodamina G) sono stati immessi simultaneamente in due differenti inghiottitoi. Sono state preventiva-



I punti di immissione dei due traccianti alla Vadret da Morteratsch (a sinistra) e da Pers (a destra): ora la connessione tra le due lingue è scomparsa, e due corpi costituiscono due apparati glaciali separati.

mente misurate le portate dello scaricatore alla fronte, con il metodo della diluizione salina (con Salinomadd, data logger con software per il calcolo automatico della portata), onde determinare la quantità di tracciante da utilizzare. I traccianti sono stati rilevati utilizzando fluorimetri da campo con data logger per il rilevamento simultaneo dei due traccianti, torbidità e temperatura, con sensibilità 2 ppb: Fluorimetro Albillia GGUN FL22 e Albillia GGUN FL30. Per il test al Ghiacciaio dei

Forni è stato utilizzato solo quest'ultimo, in quanto il primo, non rilevando la torbidità, nel precedente test al Ghiacciaio del Morteratsch non ha fornito grafici utilizzabili: uno dei principali problemi nei test su acque di ghiacciaio è infatti dato dall'elevata torbidità dell'acqua, che maschera la risposta dei traccianti. L'uso di fluorimetri da campo ha dato la possibilità di ottenere grafici di restituzione continui e dettagliati, cosa che ha permesso di stimare sia lo sviluppo



Curve di restituzione dei traccianti: in rosso la rodamina immessa alla Vadret da Pers, in verde la fluoresceina immessa alla Vadret da Morteratsch. I due grafici sono molto diversi, a testimonianza di sistemi di drenaggio con caratteristiche molto diverse.

e l'efficienza del sistema di drenaggio endoglaciale, sia la possibile esistenza di laghi o bacini di accumulo all'interno o alla base del ghiacciaio.

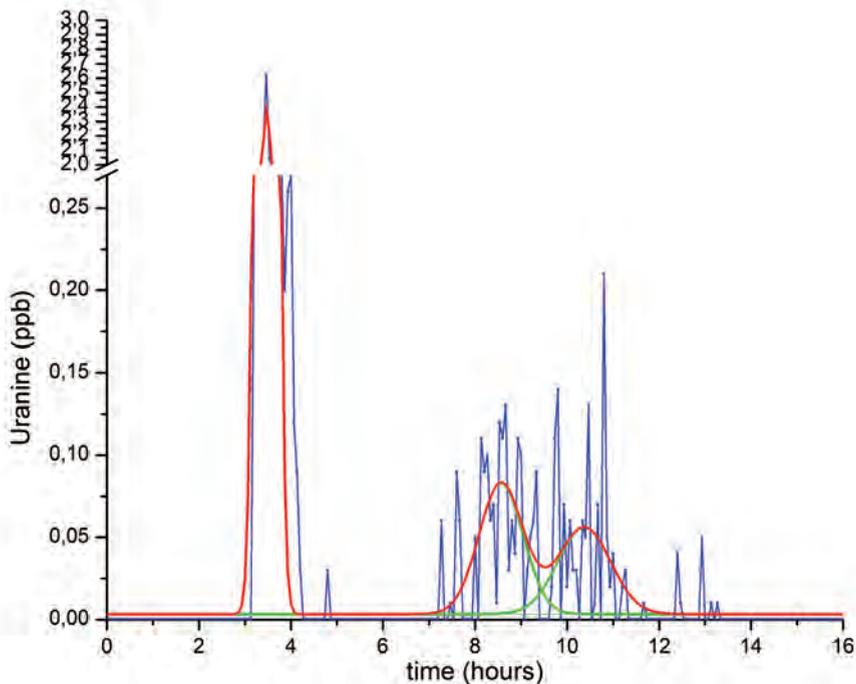
GHIACCIAIO DEL MORTERATSCH

Il Ghiacciaio del Morteratsch (Canton Grigioni, Engadina) è il principale ghiacciaio delle Alpi Centrali e il più lungo del Gruppo del Bernina. È un tipico ghiacciaio vallivo, formato dalla confluenza di due distinte lingue: la Vadret da Morteratsch, che si origina nell'anfiteatro Piz Morteratsch-Pizzo Bernina, e la Vadret da Pers, che scende dal Piz Palù. Come tutti i ghiacciai alpini, anche il Ghiacciaio del Morteratsch sta subendo una mas-

siccia perdita di volume e un rapido ritiro alla fronte: la connessione della Vadret da Morteratsch con la Vadret da Pers esisteva ancora al momento del test, ma è praticamente scomparsa nel 2015. Entrambe le lingue contengono sistemi di cavità endoglaciali ben sviluppate.

Un tracciante (Aminorodamina G) è stato immesso in un mulino della Vadret da Pers, l'altro (Fluoresceina) è stato immesso in uno dei grandi inghiottitoi glaciali della zona superiore della Vadret da Morteratsch, dove si trovano i mulini più profondi di questo ghiacciaio. La distanza tra i punti di immissione e il punto di rilevamento è, rispettivamente, di 2200 (Pers) e 2580 m (Morteratsch).

La morfologia del ghiacciaio e la distribu-



Dettaglio ingrandito della curva di restituzione della Fluoresceina immessa alla Vadret da Morteratsch, che evidenzia come il tracciante arrivi con picchi distinti, a testimonianza di vie di drenaggio complesse.

zione dei campi di crepacci hanno fatto ipotizzare la possibilità che “gradini” o soglie del substrato possano provocare la formazione di laghi endo- o subglaciali, con un potenziale rischio di GLOF: anche Frey *et alii.* (2010) ipotizzano la possibilità che possano esistere conche di sovraescavazione glaciale e correlati bacini sub-glaciali.

I grafici di restituzione dei traccianti sono significativamente diversi per i due diversi punti di immissione:

- Vadret da Morteratsch – La maggior parte del tracciante esce in corrispondenza del primo picco di arrivo (dopo circa 3,7 h): questo mostra l’esistenza di un collettore principale, che drena il flusso dominante; due picchi minori (dopo 8 e

10 h) mostrano invece l’esistenza di diffluenze laterali, con percorsi più lunghi e articolati e probabilmente una maggiore sinuosità;

- Vadret da Pers- La curva di restituzione di questo tracciante è più complessa. Al primo picco di arrivo (dopo circa 3,7 h) segue un secondo arrivo, più lento e con curva più ampia che presenta un picco massimo dopo circa 8 h dall’immissione. Il primo picco è presumibilmente dovuto a un flusso rapido attraverso un collettore principale, ma, a differenza del sistema del Morteratsch, gran parte del tracciante viene ritenuta e rilasciata successivamente con una curva di restituzione più lenta. La buona simmetria della seconda curva di restituzione fa ipotizzare la presenza di

un serbatoio (lago endo- o subglaciale?) dove il tracciante subisce un rallentamento e può distribuirsi in modo omogeneo. In entrambi i sistemi, per il primo arrivo si ricava una velocità di deflusso simile: circa 0,65 m/s. Poiché in genere la sinuosità dei canali endo- e subglaciali è di circa 1,5 m/s, la velocità effettiva potrebbe essere nell'ordine di 1 m/s, simile a quella stimata alla fronte: più le velocità di drenaggio endoglaciale sono prossime a quelle di deflusso superficiale, più il grado di sviluppo delle condotte carsiche è elevato. Il test di tracciamento ha quindi evidenziato che in entrambi i bacini il drenaggio endoglaciale avviene in gran parte attraverso una rete di condotti principali ben sviluppati e ben organizzati. Il sistema della Vadret da Mortertasch è probabilmente più complesso, con una rete di condotti secondari, responsabili di un percorso di deflusso più lungo e complesso; per la Vadret da Pers si evidenzia invece la possibilità che esista un bacino endo- o subglaciale, che potrebbe rappresentare un possibile rischio di GLOF. I risultati sono

compatibili con ricerche di Frey et alii (2010). Questi bacini dovrebbero essere situati al contatto con il substrato, con un rischio di GLOF relativamente limitato. La Lingua della Vadret da Morteratsch non mostra invece evidenze di possibili bacini subglaciali, probabilmente a causa dello spessore del ghiaccio, superiore al limite della transizione fragile-plastico, per cui la circolazione idrica endoglaciale non arriva a interessare la base del ghiacciaio.

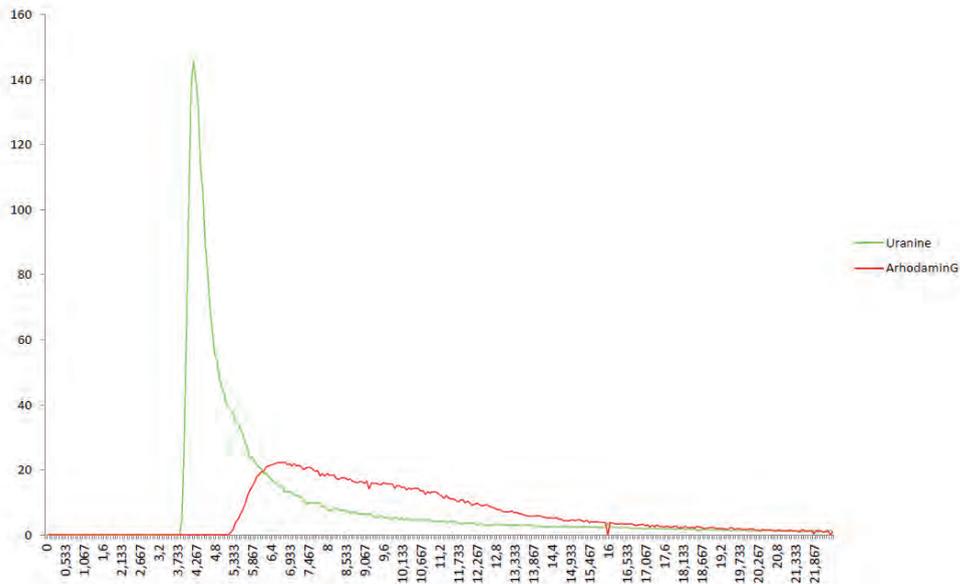
GHIACCIAIO DEI FORNI

Il Ghiacciaio dei Forni (Valfurna, Lombardia), situato nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale, è il secondo ghiacciaio italiano per estensione.

Anche in questo caso sono stati utilizzati due traccianti: Aminorodamina G, immessa in un piccolo inghiottitoio nel settore orientale del ghiacciaio, in una zona un tempo ricca di mulini e grotte, ora con ghiaccio assottigliato e fortemente crepacciata, a una distanza di 1122 m dal punto di rilevamento, e Fluoresceina in un mulino nel settore occidentale, a una distanza di 2615 m dal punto di rilevamen-



***I punti immissione dei traccianti al Ghiacciaio dei Forni:
in verde la fluoresceina, in rosso la rodamina.***



Curve di restituzione dei traccianti: in rosso la rodamina, in verde la fluoresceina. I due grafici sono molto diversi, a testimonianza di sistemi di drenaggio con caratteristiche molto differenti: sistema di condotte carsiche ben sviluppate nel settore occidentale, circolazione di tipo dispersivo attraverso piccole condotte o fratture nel settore orientale

to. Anche qui si voleva valutare il grado di organizzazione della rete di drenaggio e possibili rischi legati a bacini endo- o subglaciali.

I due traccianti mostrano una curva di restituzione nettamente diversa:

- il sistema occidentale mostra la tipica curva di un sistema carsificato, con un buono sviluppo della rete di drenaggio carsico;
- il sistema orientale mostra una curva tipica di acquiferi scarsamente carsificati, con prevalente circolazione dispersiva attraverso sistemi di frattura.

Le portate e le velocità di deflusso sono molto basse (0,22 m/s per il sistema occidentale, 0,12 m/s per il sistema orientale), a causa delle basse temperature nel giorno del test. In entrambi i casi, non

sembra si possano ravvisare indizi della possibile esistenza di bacini idrici endo- o subglaciali. Va segnalato, però, che nel mese di agosto 2014 un'improvvisa piena ha liberato una grande quantità di acqua dal sistema occidentale, causando crolli di grandi porzioni di ghiaccio alla fronte e loro trasporto a diverse centinaia di metri dalla fronte stessa: questo suggerisce che le condizioni all'interno dei ghiacciai possono cambiare rapidamente, e che i test di tracciamento dovrebbero essere ripetuti più volte, sia in tempi diversi, sia con punti di immissione differenti.

I test di tracciamento delle acque di cavità endoglaciali permettono comunque di ricavare informazioni sull'efficienza della rete di drenaggio («carsificazione»), analogamente a quanto si fa nel caso di

acquiferi carsici in roccia, ma sono altresì un metodo semplice, poco costoso e molto efficace di individuare la presenza di possibili bacini di accumulo endo- o subglaciali, evidenziando così possibili rischi da GLOF (particolarmente elevati nel caso di bacini endoglaciali).

Ai due tracciamenti hanno partecipato: E. Beccaluva, R. Colucci, D. Corengia, A. Ferrario, S. Franchi, M. Inglese,

B. Mavlyudov, V. Nava, S. Pera, M. Pera, T. Schneider, U. Taranto, P. Testa, P. Tognini, M. Uboldi, con la collaborazione di: Scuola Universitaria Superiore della Svizzera Italiana – Istituto di Scienze della Terra, Progetto Speleologia Glaciale, G. G. Milano CAI-SEM, G. G. Saronno CAI-SSI, G. S. CAI Varallo, A. S. Comasca, Federazione Speleologica Lombarda, Società Speleologica Italiana, Comitato Scientifico Centrale CAI.

BIBLIOGRAFIA

Frey H., Haeberli W., Linsbauer A., Huggel C., Paul F., 2010 – *A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials*. Natural Hazards and Earth System Science 10: 338-352

RISCHI E PERICOLI

Gian Domenico Cella

Gruppo Grotte CAI Novara

ABSTRACT

In this work objective dangers of glacial caving are summarized and grouped by environment and type: external, entrance, ice galleries and ice galleries at floor glacier, pits, ice and its properties, water.

For each topic, indications are provided to evaluate the level of risk and to have behavioral advice.

PREMESSA

Questo lavoro, originariamente previsto come sessione del convegno, è stato poi presentato la giornata successiva, nel contesto del corso SNS di speleologia glaciale. Cerca di elencare i principali rischi oggettivi connessi a questa attività,

fornendo suggerimenti atti a ridurre gli effetti perniciosi.

Sarò grato a chi vorrà farci pervenire critiche e suggerimenti.

Per quanto concerne equipaggiamento e tecnica di progressione, argomento troppo lungo da affrontare in questo con-



Bel rischio!



***Galleria di contatto: cedimento a flessione della volta.
Si notino a valle i resti della volta già crollata.***

testo, rimando alle specifiche dispense dei corsi SNS.

Tutte le attività umane sono soggette a rischi, grandi o piccoli che siano; non ne è di certo esente la speleologia glaciale, visto il particolare ambiente nel quale operiamo! La loro conoscenza, comunque acquisita (teorica e pratica), ci permetterà in ogni caso di affrontarli con accettabile sicurezza.

L'AMBIENTE ESTERNO

Nei paesi temperati l'ambiente nel quale si sviluppano i ghiacciai è un ambiente di alta montagna. Ne consegue una lunga serie di pericoli oggettivi, dei quali lo speleologo deve tenere conto.

La *temperatura* è assai variabile in funzione dell'ora della giornata e delle condizioni

meteo: può scendere anche di parecchi gradi sotto lo zero.

Il *meteo* può presentare repentini cambiamenti: nel giro di una manciata di minuti si può passare dal solleone alla bufera. Utile pertanto consultare preventivamente più di una stazione meteo locale.

La *pioggia* è in genere di ostacolo, vuoi in termini di aumento di portata dei torrenti, vuoi perché agisce sulla coesione del ghiaccio nel suo insieme.

Frequentemente questi ambienti sono soggetti alla *nebbia*, magari dovuta a nuvole di bassa quota: il GPS permette di orientarsi e muoversi con ragionevole sicurezza, specie se sono state preventivamente registrate le tracce dei percorsi o almeno le coordinate dei punti di uscita dal ghiacciaio.

Il vestiario indossato deve tenere conto di

tutte queste problematiche: sarà specifico per l'alta quota (alcuni speleo indossano tuta e sottotuta), con occhiali per il sole, passamontagna, guanti, duvet, ghette, scarponi, ramponi, ecc. Non scordate la crema solare. Non guasta avere con sé vestiario di emergenza, in caso di maltempo o di ... bagni non voluti!

La lettura di un buon manuale di alpinismo in alta quota non guasta, anche per conoscere le tecniche di progressione in cordata – sempre consigliata durante le ricognizioni estive nel caso di copertura nevosa – e di recupero nel caso di cadute in pozzi o crepacci.

Un'ultima informazione, che può tornare molto utile: le onde radio attraversano bene il ghiaccio, per cui è possibile comunicare con l'interno semplicemente usando una piccola radio. Cosa utilissima per dare notizie circa variazioni di portata dell'acqua, maltempo in arrivo e scambiare informazioni con i colleghi che stanno all'interno.

L'INGRESSO

Se la grotta è *verticale*, ci si muove sempre assicurati alla corda di discesa, che dovrà essere ancorata in almeno tre punti diversi riparati dal sole (copertura con neve, ghiaccio, zaini + una persona di guardia).

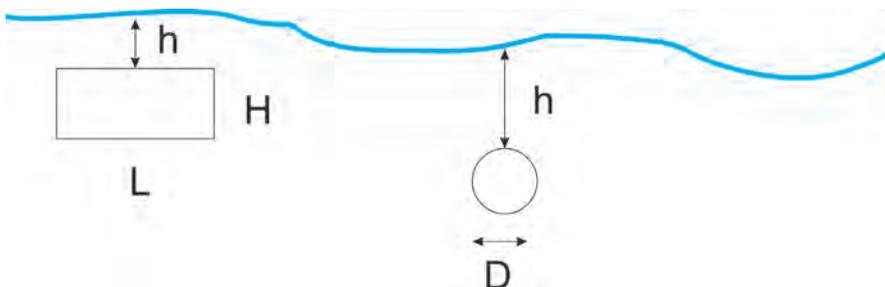
L'ingresso dei pozzi va sempre bonificato preventivamente da pietrame e blocchi di ghiaccio instabili; l'operazione viene eseguita calandosi dall'alto (ovviamente assicurati!) e rimuovendo con l'aiuto di una piccozza lunga il materiale instabile. Questa raccomandazione è particolarmente importante quando operiamo in ghiacciai "neri"; rimane sempre consigliato l'ingresso nelle ore più fresche.

Occorre anche fare molta attenzione al percorso della corda sui pozzi, evitando lame e blocchi di ghiaccio instabili; frazionare per evitarli.

Nelle *grotte di contatto* l'operazione di bonifica non è sempre possibile, a causa della modesta stabilità statica della volta. In questi casi si sceglie un settore di ingresso relativamente tranquillo, avendo cura di passare negli istanti immediatamente successivi al distacco di un blocco; conviene lasciare comunque un compagno di guardia al lato opposto dell'ingresso che possa guidarci quando poi usciremo dalla grotta.

L'innesto su una galleria di contatto di pozzi o scivoli che danno all'esterno è un'altra fonte di pericolo oggettivo non prevedibile dall'interno: attraversare questi tratti velocemente, lontano se possibile dalla traiettoria delle cadute.

Nei primi tratti di grotta, specie quelle



- h = spessore della volta
- H = altezza della galleria
- L = larghezza della galleria
- D = diametro della galleria

di contatto in ghiacciai “neri”, porre attenzione ai *blocchi rocciosi inglobati nella volta*: evitare di stazionarci sotto, si staccano autonomamente e con una certa frequenza. Il fenomeno è acuito quando la cavità attraversa accumuli di neve poco consolidata.

In tutti i casi, un abbattimento consistente del rischio si ottiene operando nei momenti più freddi, di notte o nella stagione inoltrata.

IL GHIACCIO

È l'elemento al cui interno si sviluppano le grotte glaciali.

Ha una densità di 0.9 kg/dm^3 (galleggia). Dal punto di vista delle proprietà meccaniche ha una resistenza a compressione di 5-50 MPa ($50\text{-}500 \text{ kg/cm}^2$) e una resistenza a trazione di 0.7-3 MPa ($7\text{-}30 \text{ kg/cm}^2$). Quindi possiede una buona resistenza a compressione, una modesta resistenza tensile e una certa resistenza a flessione (una sollecitazione flessionale comporta una componente compressiva che interessa all'incirca i 2/3 del materiale).

In un ghiacciaio presenta un doppio comportamento.

È fragile nella zona superficiale: la fragilità

è acuita dalla bassa temperatura e dalle sollecitazioni ad alta velocità.

È viscoso in profondità, al di sotto dei 50-100 m di profondità; il movimento viscoso è funzione della pressione. Nostre misure dirette a 30-50 m di profondità hanno evidenziato spostamenti nell'ordine di 3-4 cm al giorno.

Dal punto di vista della sicurezza, il ghiaccio fragile è quello che richiede maggiore attenzione da parte nostra.

Aspetto e proprietà meccaniche del ghiaccio (in linea di massima):

Blu-verde: ottime.

Trasparente: molto buone, ma fragile.

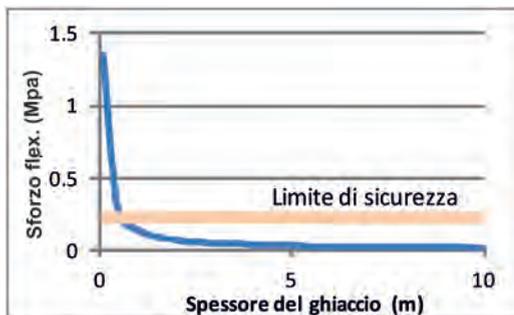
Biancastro compatto: contiene aria, da valutare sul momento.

Biancastro e poroso: cattive.

Con zone scure o nerastre: presenza di acqua, infido.

LA STABILITÀ DELLE GALLERIE

La predizione, concettualmente abbastanza semplice, è in realtà complessa, principalmente per via delle proprietà poco predicibili del ghiaccio con cui abbiamo a che fare: stato tensionale, fratturazione, bolle di aria, disomogeneità, presenza di detriti, ecc.



Gallerie di contatto: sollecitazione alla volta (calcolo conservativo).

Sin: dipendenza dallo spessore del ghiaccio per una galleria larga 10 m.

Dx: dipendenza dalla larghezza per una galleria con spessore del ghiaccio di 1 m.

A una profondità h avremo una pressione P (Pa) = h (m) · d (kg/ton) · g (9.8 m/s²)

Così a 100 m di profondità possiamo aspettarci alle pareti della galleria una pressione di circa 0.9 MPa, e cioè di circa 9 kg/cm². Possiamo dunque stare abbastanza tranquilli!

Valutazioni generali inerenti la stabilità delle gallerie glaciali:

Più compatto è il ghiaccio, maggiore sarà la resistenza;

Una galleria tondeggiante è più resistente di una rettangolare;

Più piccola la dimensione (D, L) maggiore sarà la resistenza;

Maggiore la larghezza (L), minore sarà la resistenza;

Nelle gallerie tendenzialmente piatte,

bassi valori dello spessore del ghiaccio (h) portano al cedimento della volta.

Altre osservazioni utili:

La presenza di blocchi di ghiaccio crollati sul pavimento di una galleria è indice del collasso di un tratto di volta. Non farsi ingannare dal grado di arrotondamento degli spigoli per dedurre la cronologia; l'arrotondamento può essere molto veloce.

Nei pozzi le spinte del ghiacciaio, associate a infiltrazione di acqua, possono portare al crollo anche parziale delle pareti; anche in questo caso fratture esterne parallele alla sezione del pozzo e presenza di grandi blocchi di ghiaccio crollati sono segnali di allarme.

La presenza di fratture aperte sulla volta evidenzia un cedimento flessionale in corso.



Galleria di contatto: ammasso di ghiaccio derivante dal crollo della volta e riarrangiamento della stessa (Grotta della Rossa).

Una galleria regolare con volta tondeggiante, senza fratture e crolli di ghiaccio è indice di una buona stabilità.

Un altro pericolo è costituito dai “falsi pavimenti”, in ghiaccio o depositi di neve vecchia, che possono cedere sotto il peso dell’esploratore. La regola generale è di non staccarsi mai dalla corda, a meno di essere davvero sicuri della solidità del pavimento e in ogni caso mai abbandonare la corda quando si cammina su depositi di neve.

L’ACQUA

Nelle grotte glaciali è fredda e bagnata! (0.1 - 2 °C): bisogna evitarla, per quanto possibile. Una volta bagnati è bene uscire quanto prima. Valutare l’uso di una muta subacquea.

La notte e la stagione autunnale/invernale comportano una notevole riduzione dei

flussi, se non addirittura la loro scomparsa.

Nel muoverci dobbiamo prestare attenzione alla possibile presenza di acqua che scorre sotto il ghiaccio.

Nei pozzi glaciali possono verificarsi improvvise risalite di acqua presumibilmente dovute a movimenti della massa di ghiaccio che possono ostruire temporaneamente vie di deflusso.

Anche il collasso dell’invaso di bacini interni può generare il quasi istantaneo allagamento delle gallerie associate (rotta glaciale) fino a un centinaio di metri di altezza, con rovinose piene a valle del ghiacciaio. L’evento è piuttosto raro, ma ben documentato in letteratura.

RINGRAZIAMENTI

Sono grato a Paola Tognini e Marco Ricci con cui ho discusso a lungo circa queste problematiche.

LA COMMISSIONE “GLACIER, FIRN AND ICE CAVES” DELL’ UNIONE INTERNAZIONALE DI SPELEOLOGIA

Valter Maggi

Università di Milano Bicocca.

Unione Internazionale di Speleologia, “Glacier, firn and ice caves commission”

ABSTRACT

The UIS Commission of Snow, Firn and Ice Caves (GLACIOCAVES) was established to understand the mechanism of formation and evolution of ice caves and glacier caves, evaluate the relationship of ice caves and glacier caves with climate change, recovery informations on geographic and topographic dispersion of the ice caves and glacier caves, provide future scenarios of ice caves and glacier caves, and help in the protection and conservation. Because the complexity of the commission topics and the diversity of the environments, and permit to improve the collaboration inside different branch of disciplines, the Commission share the activity between two main topics: Ice caves (Carbonate, Gypsum, Volcanic tubes, other rocks) are more related to the void in the rocks (geometry-topography), cave microclimate and external meteo-climate. Glacier Caves (Glaciers, Ice Caps, Nevee) are more related to the ice flow and glacier dynamics and hydrodynamics of melting waters. Ice caves are spread around the world, in all the “speleo” medium, carbonate, gypsum, lava tubes, artificial cavities, originated by natural and anthropogenic mechanisms. Permanent natural underground ice deposits can be related to the past meteo-climate and the recent climate change, and geographic distribution and topographic position will be useful for genetic models. Glacial caves are epehymeral caves, opening in glaciers and nevee. The origins are mainly related to ice flows, glacier dynamics and glacier hydrological settings, and the existence are seasonal and easily closed by ice.

La presenza di ghiaccio e neve nelle grotte italiane, e di tutto il mondo, è un fatto conosciuto da moltissimo tempo. Lo stesso Leonardo da Vinci, verso la fine del 1400, dopo un periodo in Valsassina (LC) racconta: “...Queste gite son da fare nel mese di maggio. E i maggiori sassi scoperti che vi si trovano in detto paese son le montagne di Mandello, visine alle montagne di Lecche e di Gravidonia, inverso Bellinzona a 30 miglia di Lecco, e quelle di valle di Chiavenna; ma la maggiore è quella di Mandello, la quale ha nella sua basa una busa di verso il lago, la quale va sotto

200 scalini; e qui d’ogni tempo è diaccio e vento.”(Maggi et al., 2018), riferendosi alla Ghiacciaia del Moncoden (1506 Lo Lc) a 1640 m s.l.m, sulla Grigna Settentrionale, ora completamente vuota se non per alcuni depositi invernali/primaverili.

La stessa Unione Internazionale di Speleologia (UIS) si è dotata, sin dalla sua fondazione, di una specifica Commissione di Lavoro, *Glacier, firn and ice caves commission*, che mi onoro di presiedere e che si occupa sia dei depositi di ghiaccio presenti in cavità carsiche che delle grotte che si formano all’interno dei ghiacciai.

Si tratta di due ambienti completamente diversi, ma che sono accomunati dalla necessaria esperienza e passione speleologica e sono caratterizzati dal ghiaccio come contenitore o come contenuto.

Lo scopo della Commissione è quello di comprendere i meccanismi di formazione ed evoluzione delle grotte ghiacciaie (ice caves) e delle grotte in ghiaccio (glacier caves), ed in particolare capire quali sono i rapporti che queste grotte hanno con i cambiamenti climatici in atto. Di fondamentale importanza diventa anche riconoscere l'esistenza sia in termini geografici che ricostruirne la topografia interna (anche storica) per poter poi ricostruire l'evoluzione dei depositi di ghiaccio stessi. È chiaro che diventa importante, anche alla luce dei recenti cambiamenti climatici, arrivare alla protezione delle grotte stesse, specialmente di quelle che sono diventate siti di importanza turistica.

Le grotte che si formano all'interno di ghiacciai sono oggetti particolarmente effimeri, fortemente instabili, e legati alla dinamica dei ghiacciai stessi. Durante questo Convegno, molte sono le presentazioni su ricerche ed esplorazioni in molti ghiacciai italiani e non, per cui mi limito a citarle in quanto uno degli oggetti studiati dalla Commissione.

Se le grotte nei ghiacciai sono evidentemente legate alla presenza del ghiacciaio stesso, e quindi anche legate a condizioni ambientali e climatiche particolari (alta montagna, precipitazioni, limite delle nevi permanenti, ecc.), le grotte contenenti ghiaccio sono più disperse sia geograficamente che altitudinalmente e presenti anche in aree non (o non più) glacializzate (Persoi e Lauritzen, 2018). È chiaro che trovare grotte contenenti neve, specialmente nelle stagioni invernali-primaverili, è un fatto normale nelle aree dove in que-



Schellenberger Eishöhle, nella Germania meridionale. Grotta turistica da più di 100 anni, studiata per comprendere l'impatto dell'uomo su questi sistemi estremamente delicati.

ste stagioni si hanno nevicate. È anche possibile che, in casi particolari, la neve si possa conservare anche durante le stagioni estive, più calde, specialmente dopo periodi invernali particolarmente ricchi di nevicate.

Più difficile è la presenza di un vero e proprio deposito di ghiaccio, la cui conservazione è legata non tanto alle condizioni climatiche esterne (come per i ghiacciai), ma alla dinamica micrometeorologica della grotta stessa, oltre alla possibilità di avere un (quasi) costante accumulo di neve o acqua durante le stagioni fredde. Le grotte ghiacciaie sono degli inestimabili archivi di informazioni climatiche ed ambientali. Come i loro cugini esterni, i ghiacciai, preservano nel tempo la storia della composizione chimica dell'atmosfera, della neve e dell'acqua che li hanno costruiti. Tanto lavoro c'è da fare, anche

soltanto per disegnare una carta precisa della loro localizzazione, della loro estensione altitudinale e della loro dimensione. Da questo punto di vista, anche in Italia c'è ancora molto da fare e va fatto velocemente dato che i cambiamenti climatici stanno inesorabilmente distruggendo questa importante risorsa ipogea.

Per ultimo voglio ricordare due persone, due amici, che sono stati pietre miliari dello studio delle grotte ghiacciaie e delle grotte in ghiaccio. **Alfredo Bini**, che ci ha lasciati il 30 aprile 2015, oltre a essere stato uno speleologo e un geologo di fama mondiale, è stato colui che ha per primo messo le basi degli studi glaciologici in grotta. E **Giovanni Badino**, che ci ha lasciati l'8 agosto 2017, padre della speleologia glaciale e dell'evoluzione delle grotte nei ghiacciai.

A entrambi un grande saluto!



Alfredo Bini,
geology professor at the University of Milan, has been for 40 years a most inspiring karstologist and caver and it is difficult to overrate his influence on the Italian speleo community. He was one of the first speleologists with interest in the ice caves.

Alfredo passed away on 30 April 2015.



Giovanni Badino,
physics professor at the University of Turin, was researcher, speleologist and explorer and spent his life within the speleo community. Extremely talented for the popularization of the underground science, he studied glacier caves all around the world.

Giovanni passed away on 8 August 2017.

Soci GGN

Alberto AGNESINA	TRECATE	349-1690976	alberto_agnesina@libero.it
Giovanni ALBERGANTI	OMEGNA	349-4378789	intgianni@tiscali.it
Marcella BALLARA	COGNE	328-6352011	marcellaballara@gmail.com
Stefania BERTOLASI	VERBANIA	347-9970775	niky.bs@libero.it
Juri BERTONA	NOVARA	347-4757016	juri.bertona@gmail.com
Ferdinando BIANO	VESPOLATE	331-2439125	bianof@alice.it
Paolo BOLZONELLO	NOVARA	339-2671721	paolo.bolzonello@libero.it
Lia BOTTA	NOVARA	348-7646299	lialiascia@gmail.com
Sara BOTTA	BELLINZAGO N.	0321-986933	sarafab66@gmail.com
Valerio BOTTA	BELLINZAGO N.	0321-986933	
Enrico CAMASCHELLA	NOVARA	347-7956119	enrico@enricocamaschella.it
Giacomo CAPETTA	NOVARA		
Letizia CAPORUSSO	TRENTO	338-6211816	letizia_caporusso@hotmail.com
Filippo CARUSO	BOLOGNA	338-6434114	filippo.caruso@gmail.com
Gian Domenico CELLA	NOVARA	347-3651499	cellagd@hotmail.com
Mariarosa CERINA	TRECATE	0321-777452	m.cerina@virgilio.it
Gianni CORSO	NOVARA	347-3810639	gianni1.corso@gmail.com
Vittoria DE REGIBUS	NOVARA	347-1067893	vittoria.der@gmail.com
Valeria DI SIERO	NOVARA	335-7329830	disiero@live.it
Rosella FAVINO	TRECATE	349-6358406	rfavino@gmail.com
Paolo FAZIO	OMEGNA	338-7619559	pibemass@gmail.com
Francesco FIORETTI	ARMENO	349-3980727	info@buonisentieri.com
Luciano GALIMBERTI	ALZATE DI MOMO	347-3059740	galimberti.speleo@libero.it
Marco GALIMBERTI	ALZATE DI MOMO	331-9577061	galimba96@gmail.com
Paolo GALIMBERTI	ALZATE DI MOMO	0321-925013	
Massimo GALLETTI	BEURA CARDEZZA	328-3249974	massimo.galletti1z1z@alice.it
Arianna GIGANTE	GALLIATE		
Daniele GIGANTE	GALLIATE	340-4898770	daniele.gigante4@gmail.com
Laura GIGANTE	GALLIATE		
Angela GUIGLIA	BELLINZAGO N.	0321-986933	
Fiorenzo GUIGLIA	BELLINZAGO N.	333-8782291	fiorenzo.guiglia@gmail.com
Vittorio LUZZO	LAMEZIA TERME	0968-623446	
Riccardo MAFFONI	GALLIATE	349-0753261	riccardo.maffoni@fastwebnet.it
Giulia MAIOCCHI	CASALE CORTE CERRO	349-7466494	maiogiulia89@gmail.com
Alex MANCIN	OLEGGIO	347-6934841	alexmancin@alice.it
Katia MAUCERI	NOVARA	339-4187654	katia.mauceri@libero.it
Martina MAZZETTA	NOVARA	0321-496792	
Roberto MAZZETTA	NOVARA	331-1018531	Roberto.Mazzetta@bancopopolare.it
Ilaria MORMINO	BOLOGNA	338-6124996	ilaria.mormino@fastebnet.it
Giovanni PAVESI	CASALVOLONE	338-6473561	giopavesi@adslnocable.it
Marco PIROLA	NOVARA	347-4627979	marcopirola64@gmail.com
Silvia POMONI	ALZATE DI MOMO	339-7827382	silvia.pomoni@compass-group.it
Francesca PUCCIO	NOVARA	339-8154742	francesca.puccio@gmail.com
Silvia RAIMONDI	NOVARA	339-1219006	birtzu@hotmail.com
Marco RICCI	NOVARA	0321-189 2753	riccimontironi@libero.it
Claudio SCHIAVON	TOLMEZZO	335-434728	claudioschiavon@yahoo.it
Chloé TEUWISSEN	COGNE		
Guy TEUWISSEN	COGNE	328- 3313447	g.teuwissen@gmail.com
Roberto TORRI			geolroby@hotmail.com
Deborah VENEZIAN	NOVARA	340-2889042	deborah.venezian@yahoo.it



Supplemento a CAINOVARA 65 - Giugno 2019
Spedizione abb. postale D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1 comma 2, D.C.B. - Novara
In caso di mancato recapito, restituire a: Gruppo Grotte Novara CAI - Vicolo Santo Spirito, 4 - (I) 28100 Novara

LABIRINTI FVBIWLLI