

LA CRIOSFERA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

IL CASO STUDIO

Renato Roberto Colucci

CNR - Dipartimento di Scienze del
Sistema Terra e Tecnologie per
l'Ambiente (ISMAR, Trieste)
Unione Meteorologica del
Friuli Venezia Giulia
www.umfvg.org

Emanuele Forte

Dipartimento di Matematica e
Geoscienze, Università di Trieste

Negli ultimi anni le ricerche glaciologiche in Friuli Venezia Giulia stanno vivendo un periodo di rinnovato interesse, in particolare grazie allo sviluppo di nuove tecnologie come il Laser Scanner, usato da terra o da rilievi aerei, più efficienti attrezzature Georadar ed una più larga diffusione di stazioni meteorologiche di alta quota.

Queste tecniche ed attrezzature sono state usate nell'area del monte Canin (Alpi Giulie) per meglio interpretare gli attuali resti glaciali, sia da un punto di vista glaciologico che climatologico, sia per affrontare lo studio della criosfera sotterranea, che rappresenta un nuovo approccio per gli studi paleoclimatologici in aree montane.

In questo lavoro presentiamo alcuni casi studio ed alcuni risultati preliminari connessi all'uso della geofisica in aree glacializzate.

An aerial photograph of a rugged mountain landscape. The terrain is a mix of light-colored, sandy or silty ground and dark, jagged rock formations. A prominent, light-colored, fan-shaped feature is visible in the upper left quadrant. The overall scene is brightly lit, with strong shadows cast by the rock outcrops.

DEL MONTE CANIN
ALPI GIULIE

INTRODUZIONE

L'uso delle tecniche elettromagnetiche per lo studio delle masse ghiacciate, e per misurare le proprietà di neve e ghiaccio, è consolidato da molti anni. Le metodologie più utilizzate sono il *Time Domain Reflectometry* (TDR), a scala puntuale (Stein and Kane, 1983; Stacheder et al., 2005), e il *Ground Penetrating Radar* (GPR o Georadar) applicato a larga scala (Annan et al., 1994; Arcone, 1996; Godio, 2009). Il GPR in particolare mira al raggiungimento di vari obiettivi, ma è tradizionalmente usato per evidenziare la stratigrafia del ghiaccio, misurare lo spessore di neve e ghiaccio e stimare il volume di ghiacciai e glacionevati, talvolta anche con l'ausilio di aerei o elicotteri per ottenere rapidamente un gran numero di misure anche in zone logisticamente complesse o inaccessibili. L'obiettivo finale, e forse il più importante, è la stima dell'equivalente in acqua di un ghiacciaio che è espresso in metri di acqua equivalente (mWE).

Per poter raggiungere questo scopo, oltre a stimare il volume di un corpo glaciale, sono indispensabili accurate misure per

valutarne la densità media che, applicata all'intera massa, porta a stabilire la quantità d'acqua contenuta in un determinato ghiacciaio. Solitamente, per queste stime, si usa una densità costante pari a $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ (Paterson, 1994) che è una buona approssimazione se ci troviamo di fronte ad una calotta di ghiaccio o un ghiacciaio grande e spesso, ma non è applicabile su apparati glaciali di piccole dimensioni composti non solo da ghiaccio ma da vari livelli di neve, firn e sedimenti a diversa granulometria intrappolati all'interno.

Si è portati generalmente a credere che i piccoli ghiacciai e glacionevati, come quelli del Canin ad esempio, siano trascurabili nella stima dell'acqua immagazzinata, a scala globale, nelle masse ghiacciate del pianeta, ma, come recentemente puntualizzato da alcuni autori (ad es. Bahr e Radic, 2012), siccome i maggiori ghiacciai alpini hanno aree dell'ordine di 100 km^2 , per contenere l'errore nelle stime globali al di sotto del 10%, tutti i ghiacciai più grandi di $1.43 \times 10^{-2}\text{ km}^2$ (0.014 km^2) vanno necessariamente inclusi nei bilanci di massa. Anche lo studio di piccoli ghiacciai e glacionevati, caratterizzati spesso da importanti variazioni di massa in breve tempo, risulta quindi estremamente importante.

Più semplice, in termini di bilancio di massa, ma più complesso in termini di interpretazione della stratigrafia interna, invece, è l'uso del GPR nelle applicazioni in grotta. Qui i depositi di ghiaccio permanente mostrano generalmente poche variazioni di densità, ma la corretta interpretazione delle strutture basali e interne, le sottili inclusioni di sedimenti, la presenza di bolle d'aria o di acqua e le concentrazioni di blocchi di roccia possono dare informazioni importantissime sull'evoluzione di queste masse ghiacciate ipogee.

Determinare in maniera precisa il volume e le caratteristiche morfologiche delle masse ghiacciate e dei limiti della grotta, dal punto di vista strettamente geofisico, non è certamente facile anche a causa della morfologia delle cavità che normalmente è complessa e irregolare, e della

roccia che è spesso parzialmente ricoperta da detrito e/o intensamente fratturata. Nel corso degli ultimi anni sono state eseguite varie campagne GPR su alcuni glacionevati del Monte Canin ed in alcune cavità interessate da depositi di ghiaccio permanente e stratificato. In particolare nel corso del 2011 sono stati eseguiti un rilievo completo del glacionevato orientale del Canin (World Glacier Inventory ID number: IT4L00003002; Haeberly et al., 1988) e del glacionevato del Prevala, oltre che di una grotta di ghiaccio nella zona del monte Leupa.

Nella primavera 2012 è stato eseguito un rilievo GPR completo della porzione orientale del glacionevato occidentale del Canin (WGI ID number: IT4L00003004, Haeberly et al., 1988) mentre nel corso dell'autunno è stato eseguito un rilievo ipogeo nella "caverna del Vasto" nei pressi di Sella Ursic, alle spalle di un piccolo glacionevato di cui si trova traccia in bibliografia appena nel 2002 (Almasio, 2002) e che è stato recentemente denominato glacionevato del Vasto (Colucci, 2012). Nel corso del 2013 i rilievi glaciologici nel complesso del Canin sono proseguiti con la consueta valutazione dei bilanci di massa dei principali apparati glaciali monitorati.

In autunno è stata estratta una carota di ghiaccio di circa 8 m di lunghezza da un deposito di ghiaccio permanente di cavità, che verrà analizzata e datata presso i laboratori dell'Eurocold, Università di Milano Bicocca.

AREA DI STUDIO

Ghiacciai

Il massiccio del Monte Canin, all'interno del Parco Naturale delle Prealpi Giulie, è caratterizzato da potenti successioni di dolomie (Dolomia Principale) e calcari stratificati (Calcari del Dachstein) oltre che da porzioni di calcari massicci di età giurassica (circa 200-150 milioni di anni fa).

Le ripide pareti settentrionali proteggono dalla radiazione solare i resti dei ghiacciai omonimi che, seppur figurino nel WGI ancora come tali, dagli anni '90 andrebbero

Fig. 1 - La prima immagine dei ghiacciai del Canin di Giacomo Savorgnan di Brazzà nell'autunno 1880 (sopra). Nell'immagine sotto (Renato R. Colucci, autunno 2012), con punto di vista simile, è evidente la quasi totale scomparsa del ghiacciaio avvenuta nell'ultimo secolo.



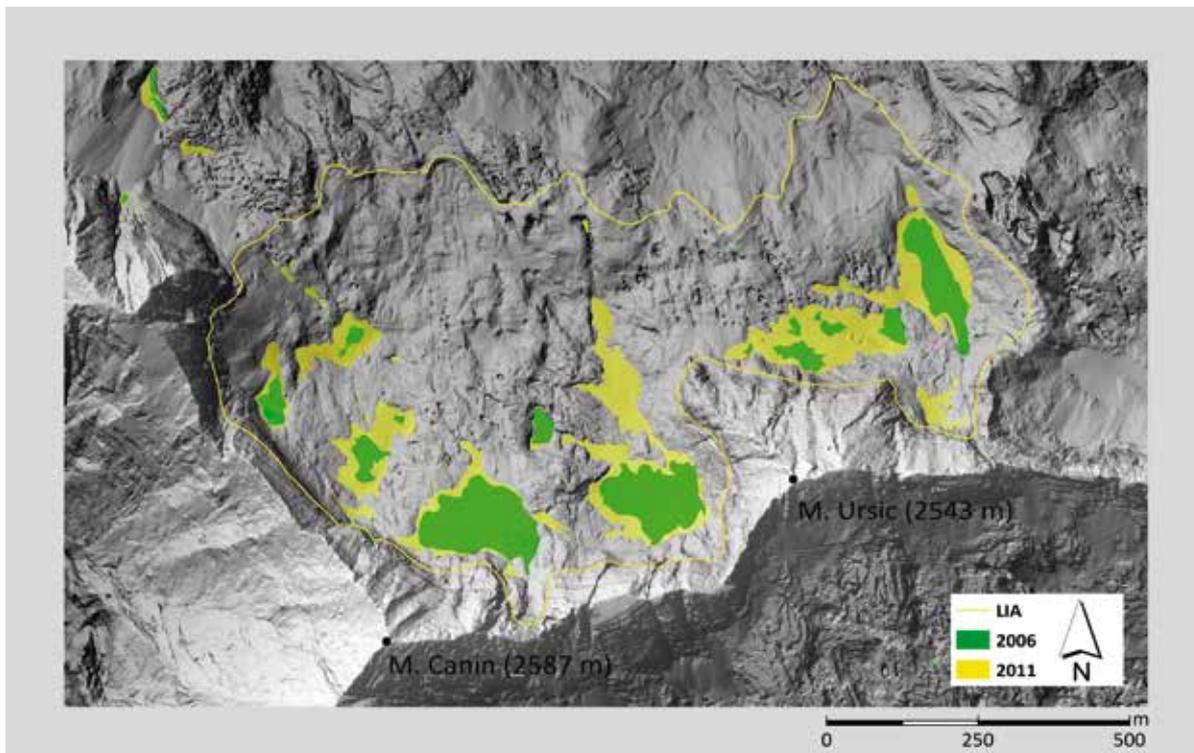


Fig. 2 - Estensione areale del ghiacciaio del Canin al massimo della piccola età glaciale di prima metà '800 (LIA), e la dimensione dei glacionevati residui tra il 2006 e 2011. Le 3 aree verdi residuali più estese dell'autunno 2006 rappresentano, da sx a dx, il glacionevato occidentale settore est e settore ovest ed il glacionevato orientale. Gli areali gialli rappresentano la situazione al 4 ottobre 2011 quando è stato eseguito il sondaggio LiDAR da UMFVG.

riclassificati come piccoli glacionevati di circo alimentati da valanghe e da trasporto eolico, localizzati tra i 2150 m ed i 2300 m di quota. Non esistono al momento dati sul movimento di questi piccoli glacionevati, informazioni queste che però sono in corso di acquisizione.

I ghiacciai del Canin furono raggiunti per la prima volta alla fine del XIX secolo da Giacomo Savorgnan di Brazzà, ed è grazie a lui che si deve la prima e più antica immagine del ghiacciaio occidentale che documenta la situazione nell'autunno del 1880 (figura 1).

Secondo Marinelli (1894) Il ghiacciaio, alla fine del XIX secolo, misurava circa 3 km in larghezza e 0.7 km in lunghezza. Già allora la fase di ritiro glaciale sembrava evidente, e dalle prime osservazioni il trend di generale contrazione nel corso degli ultimi 130 anni è stato interrotto da moderate fasi di avanzamento tra il 1910 ed il 1920 e tra il 1946 ed il 1961, mentre una forte accelerazione nella riduzione glaciale è stata registrata a partire dalla fine degli anni '80 del secolo scorso e fino al 2000 (Desio, 1927; Serandrei Barbero et al., 1989; Armando et al., 2006).

Oggi, dei 4 ghiacciai principali un tempo presenti (Prestrelenig, Ursic, Canin orientale e Canin occidentale,) rimangono

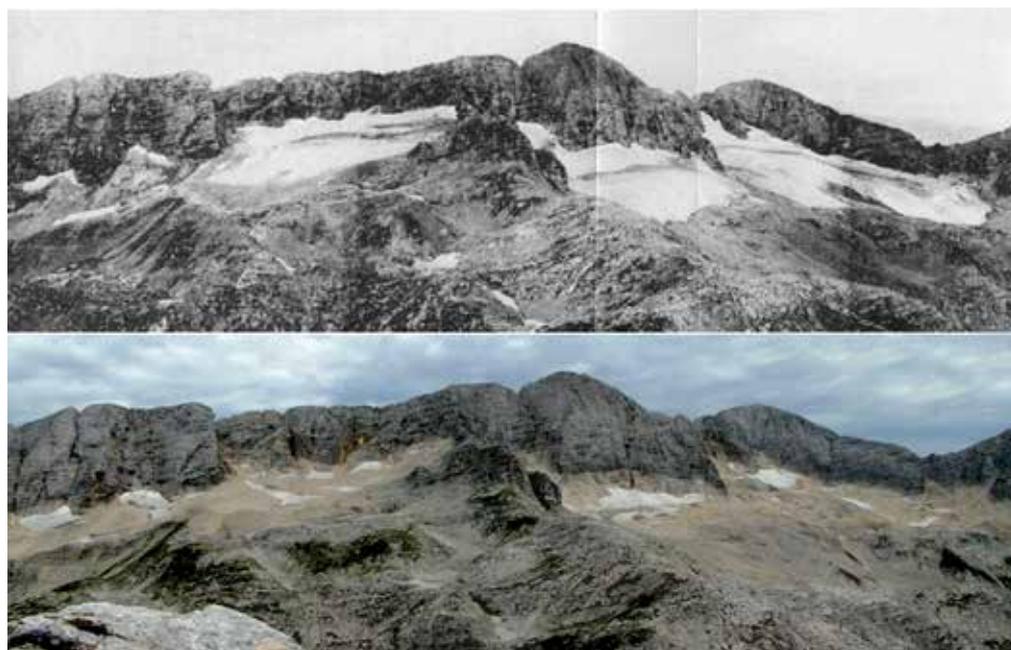


Fig. 3 - Da sinistra a destra: i ghiacciai Ursic, Canin Orientale e Canin Occidentale nel 1893 (sopra, Antonio Ferrucci) e nel 2011 (sotto, Renato R. Colucci). Il ghiacciaio dell'Ursic è da considerarsi estinto, mentre piccoli glacionevati resistono ancora al piede delle pareti dell'Ursic e del Canin.

soltanto 3 piccoli glacionevati maggiori (Canin orientale est, Canin occidentale est ed ovest) ai quali va aggiunto il glacionevato di Prevala che, nonostante non sia presente nel WGI, per dimensione e tipologia risulta simile agli altri. Da menzionare anche il piccolo glacionevato del Vasto, oltre ad alcune piccole placche di ghiaccio visibili ancora sotto il Monte Forato e la Torre Gilberti, a testimoniare l'imponente contrazione subita dai ghiacciai delle Alpi Giulie in poco più di un secolo (figure 2 e 3).

Ghiaccio in grotta

Nella catena alpina, numerose cavità di alta quota ospitano depositi di ghiaccio di varie dimensioni, frequentemente con spessori di parecchi metri. L'età di questo ghiaccio può superare le centinaia o addirittura le migliaia di anni, tuttavia la struttura, la formazione e lo sviluppo di queste masse glaciali sotterranee non sono state ancora interamente interpretate e solo di recente sono oggetto di studi specifici e mirati da parte del mondo scientifico. Allo stesso modo, il comportamento del

ghiaccio perenne sotterraneo nelle cavità carsiche in relazione al clima esterno non è ancora stato ben compreso, e questo aspetto rappresenta potenzialmente uno strumento importantissimo per gli studi paleoclimatici.

Sulle Alpi esistono alcuni laboratori naturali realizzati all'interno di cavità interessate da significativi depositi di ghiaccio che operano ormai da alcuni anni, in particolare in territorio austriaco (ricordiamo gli studi condotti ad esempio nella Eisriesenvelt nel Tennengebirge, Austria). Altre indagini sono condotte in molte nazioni dell'Europa alpina ed orientale, anche in collaborazione con ricercatori italiani. Nel nostro Paese degne di nota risultano le indagini condotte nel comprensorio delle Grigne (Citterio et al. 2002), e sui depositi di ghiaccio ipogei della Grotta dello Spec-

chio e del Castelletto di Mezzo in Dolomiti di Brenta, Trentino (Borsato et al. 2006). In Friuli Venezia Giulia l'unico esempio di indagine finora condotta sul ghiaccio di cavità risale al 2003 presso la Grotta del Pic Chiadenis in Alpi Carniche (Muscio e Mocchiutti 2009).

L'area del Canin, fin dagli anni '60, è oggetto di numerose indagini speleologiche ed idrologiche (e.g. Casagrande & Cucchi, 2007) che hanno permesso la scoperta di alcuni tra i più importanti sistemi ipogei a livello nazionale ed internazionale.

In molte di queste cavità sono stati rinvenuti depositi di ghiaccio permanente e stratificato (ad esempio figura 4), in alcuni casi anche di dimensioni importanti, ma nessuno studio in merito alla loro formazione, dinamica ed evoluzione è mai stato intrapreso.

Nel corso dell'estate 2011 una cavità del complesso del Canin interessata da ghiaccio permanente è stata attrezzata con numerose stazioni di monitoraggio della temperatura: in roccia a varie profondità, in aria e nel ghiaccio stesso. Lo spessore e il volume dei corpi di ghiaccio sono stati inoltre stimati tramite tecniche GPR.

INQUADRAMENTO CLIMATICO

L'area del monte Canin è interessata da precipitazioni medie annue molto elevate, anche superiori ai 3000 mm (Figura 5). Dal dicembre 1972, inoltre, sono raccolte presso il rifugio Gilberti (1850 m s.l.m.) regolari osservazioni giornaliere invernali della copertura nevosa, mentre dalla fine degli anni '90 una stazione meteorologica automatica (AWS) è installata al Livinal Lunc a 1830 m di quota a circa 2 km in linea d'aria dai residui glaciali. Dai dati registrati si evince come la media della neve caduta tra l'1 dicembre ed il 30 aprile di ogni anno sia di circa 7 m. La temperatura media annua misurata nel periodo 2000-2012 risulta uguale a 3.9 ± 0.8 °C. Usando il gradiente medio atmosferico di 6.5 °C al km la temperatura alla fronte dei glacionevati è stata stimata in 1.5 ± 0.9 °C. Nel 2011 una nuova AWS è stata installata nei pressi dei glacionevati e permetterà in futuro di ottenere maggiori informazioni sulla climatologia dell'unica area con caratteristiche ancora glaciali delle Alpi Giulie, assieme a quelle del Montasio e del Triglav (Slo).

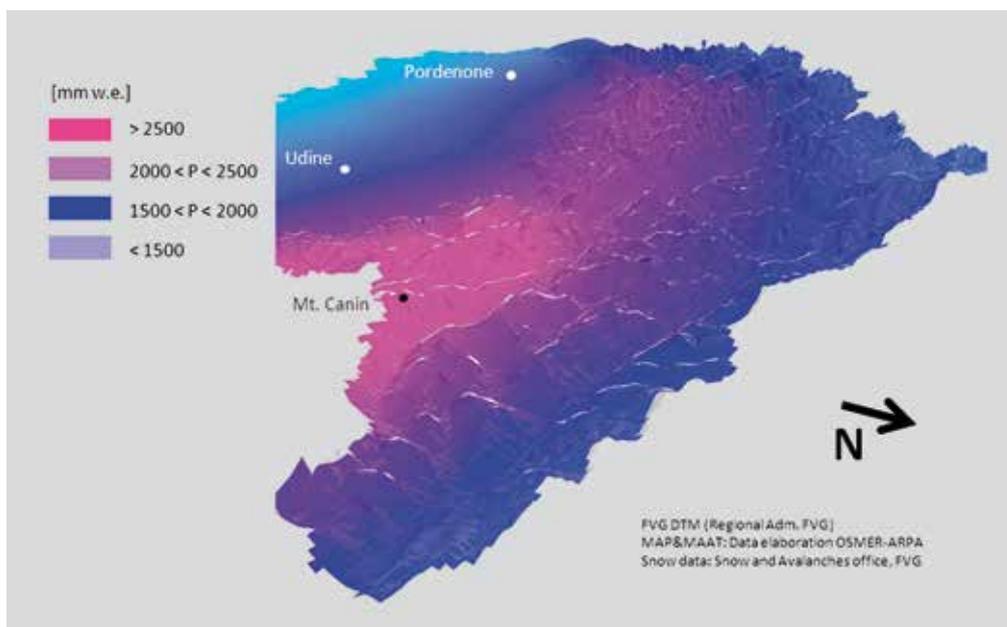
LA NUOVA STAZIONE METEOROLOGICA

La nuova stazione meteorologica del Canin è stata installata grazie al progetto CLIMAPARKS (Cambiamenti climatici e gestione delle aree protette, cooperazione territoriale europea e programma per la cooperazione transfrontaliera, Italia-Slovenia 2007-2013) che vede coinvolto in prima linea il Parco Naturale delle Prealpi Giulie. Collabora anche il progetto MONICA (Monitoring of Ice within caves, FRA 2012 Università di Trieste) che vede coinvolti il Dipartimento di Matematica e Geoscienze

Fig. 4 - Un deposito di ghiaccio permanente e stratificato all'interno di una grotta di ghiaccio del massiccio del Canin.



Fig. 5 - Mappa delle precipitazioni medie annuali nell'area montana del FVG; rilievi in 3D e vista da Nord Est.



dell'Università di Trieste (DMG), il Dipartimento di Scienze del Sistema Terra e Tecnologie dell'Ambiente dal Consiglio Nazionale delle Ricerche presso l'ISMAR di Trieste, l'Università dell'Insubria (BICOM Varese), l'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia (UMFVG) e l'Università di Milano Bicocca. La stazione è collocata su alcune bancate di roccia non lontano dalle morene terminali (LIA) del ghiacciaio Orientale (figura 6). Le serie di dati raccolti permetteranno di conoscere con maggiore dettaglio la climatologia di una delle ultime aree glacializzate del Friuli Venezia Giulia, attualmente in una fase di stasi dopo la forte e repentina contrazione degli anni 1980-2000. La stazione, georeferenziata grazie alla collaborazione della Direzione Centrale Risorse Agricole, Naturali e Forestali – ufficio neve e valanghe, è posta ad un'altitudine di 2202 m s.l.m. e rappresenta attualmente il più elevato sito di rilevamenti meteorologici di tutto il Friuli Venezia Giulia.

La prima installazione ha visto l'implementazione di strumentazione precedentemente impegnata in una campagna osservativa in Antartide, messa a disposizione dal BICOM, Università dell'Insubria (VA). In seguito, nel corso dell'estate 2012, è stata acquistata ed installata una stazione NESA progettata per fornire dati di temperatura dell'aria, umidità, precipitazioni, altezza neve, radiazione solare diretta, radiazione solare riflessa e temperatura del suolo in roccia a varie profondità. La manutenzione è attualmente curata da UMFVG.

RISULTATI DEI RILIEVI GPR

Il GPR emette onde elettromagnetiche nel sottosuolo e registra le riflessioni che si originano ogniqualvolta siano presenti discontinuità elettromagnetiche che, a loro volta, sono legate a specifiche caratteristiche dei diversi materiali presenti. I dati GPR vengono acquisiti utilizzando antenne che sono normalmente mantenute in contatto con la superficie topografica (ma esistono anche applicazioni in remoto) e vengono traslate nello spazio,



Fig. 6 - La stazione meteorologica automatica, fotografata a dicembre 2011. In basso a sinistra nella foto è visibile una parte avanzata degli ultimi resti del ghiacciaio orientale del Canin.

permettendo di ottenere informazioni sul sottosuolo con intervalli molto piccoli, anche di qualche centimetro. Si possono utilizzare antenne che emettono segnali con diversa frequenza ed in questo modo è possibile variare la massima profondità di indagine (che per materiali ghiacciati può raggiungere centinaia di metri) o il grado di dettaglio (che può arrivare al centimetro). Una volta registrati, i dati sono elaborati con la finalità di migliorarne l'interpretabilità. Si effettuano infatti vari tipi di filtraggi e il recupero dell'ampiezza delle onde riflesse che, altrimenti, risultano fortemente attenuate. Inoltre, i dati registrati lungo pendii scoscesi, come nel caso di ghiacciai e glacionevati, devono essere corretti in modo da tener conto delle variazioni topografiche, oltre che convertiti in profondità a partire da dati originariamente acquisiti in funzione del tempo trascorso dall'istante di immissione dell'onda elettromagnetica nel sottosuolo.

I dati GPR elaborati sono quindi rappresentazioni di "profili" o "sezioni" verticali lungo il percorso di acquisizione e mostrano in ascissa e ordinata la distanza lineare lungo la superficie di acquisizione e la profondità dalla superficie topografica, rispettivamente. I profili GPR possono venir interpretati, dapprima bidimensionalmente e successivamente in 3D, integrando e correlando in un volume tutteei dati.

In figura 7a viene mostrato l'insieme dei profili interpretati relativi al ghiacciaio orientale del Canin, acquisiti nell'ottobre

2011. Con diversi colori sono stati indicati i principali orizzonti presenti, in particolare in rosa è evidenziato il contatto tra il ghiaccio e la roccia/detrito sottostante, mentre tra gli orizzonti verde (al top) e giallo (alla base) è presente, mista a materiale ghiacciato, una grande quantità di detrito.

La figura 7b pone in evidenza un profilo trasversale al ghiacciaio, con evidenziati i medesimi orizzonti già descritti precedentemente e la superficie basale, estrapolata fino al perimetro del ghiacciaio al momento dell'acquisizione dati.

In figura 7c sono rappresentate le due superfici che racchiudono il volume del ghiacciaio al momento dell'acquisizione: in azzurro la superficie topografica definita da indagini LIDAR, in viola la base del ghiacciaio, ottenuta tramite l'interpolazione dei dati GPR.

Grazie a queste indagini e a specifiche analisi quantitative effettuate sui dati (Forte et al., 2013) è stato possibile ricavare diverse nuove informazioni sul corpo glaciale esaminato. Lo spessore massimo è risultato di quasi 30 m, nella parte settentrionale, non lontano dalla fronte glaciale, mentre l'estensione areale era di circa 17.000 m² (ottobre 2011). Integrando dati GPR con dati LIDAR e rilievi topografici puntuali è stato anche stimato il volume del ghiacciaio che nell'autunno 2011 era pari a oltre 200.000 m³.

Le indagini condotte sul glacionevato del Prevala hanno portato a nuove e, per certi versi, inaspettate informazioni.

Fig. 7 - Dall'alto in basso: A) Integrazione 3D dei profili GPR sul Ghiacciaio orientale del Monte Canin con evidenziati i principali riflettori; B) profilo longitudinale al ghiacciaio con evidenziata la superficie basale del ghiacciaio e i principali riflettori interni (la scala verticale mostra la quota sul lmm); C) rappresentazione 3D del volume del ghiacciaio delimitato dalla superficie topografica (in azzurro) e dalla superficie basale (in viola).

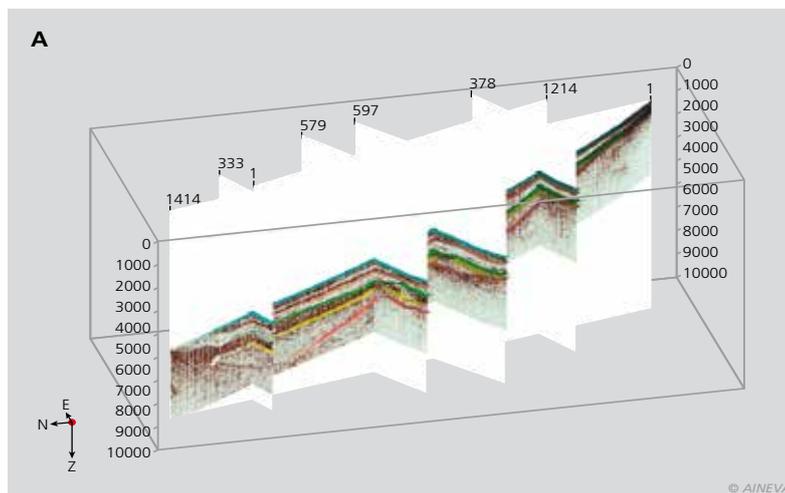
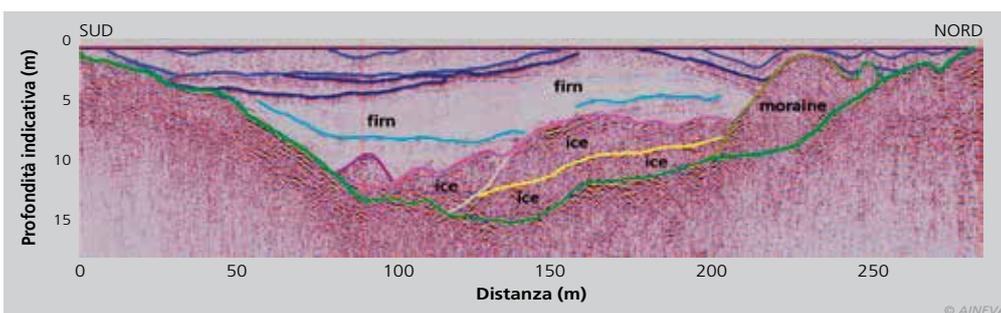
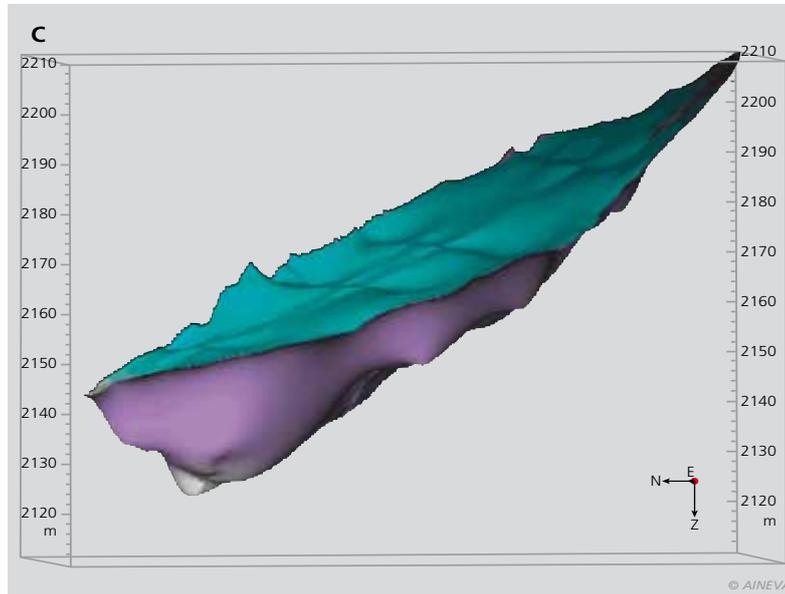
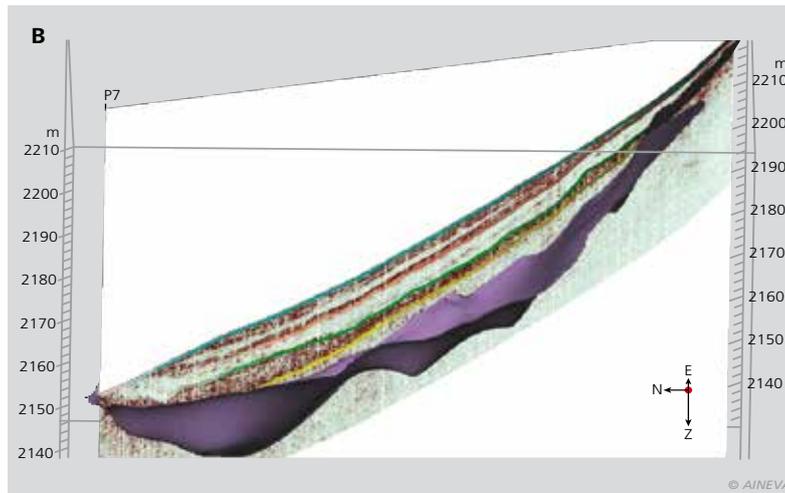


Fig. 8 - Esempio di profilo GPR interpretato acquisito nel luglio 2011 sul glacionevato del Prevala. I riflettori in blu e azzurro rappresentano stratificazioni interne alla neve e al firn, mentre in viola è evidenziato il top del ghiaccio. La base del glacionevato è evidenziata dall'orizzonte verde. Si noti la presenza della morena frontale (al di sotto del livello verde scuro). Il profilo è rappresentato senza correzione topografica per meglio evidenziare la continuità laterale delle superfici.



Come risulta infatti evidente dalla figura 8, lo spessore massimo del materiale ghiacciato è risultato pari a circa 15 m e, al di sotto del firn, i dati GPR hanno evidenziato la presenza di ghiaccio ("ice" in figura 10). Data la quota del corpo glaciale (media 1900 m slmm) e la sua limitata estensione (lunghezza massima di circa 300 m), in passato il Prevala non è stato preso in considerazione probabilmente non ritenendo vi fosse presenza di ghiaccio ed ipotizzando spessori molto limitati.

Le tecniche GPR sono state usate anche per quantificare gli spessori, la stratigrafia e la struttura interna dei corpi di ghiaccio sotterraneo. Sono state acquisite decine di profili in due cavità usando antenne schermate bistatiche a 250 MHz, 500 MHz e 800 MHz. Le sezioni GPR sono state combinate per ottenere il volume e quindi una interpretazione 3D dei depositi. Tutti i dataset sono stati elaborati adottando un procedimento di elaborazione standard (DC removal, drift correction, background removal, analisi spettrale e filtraggio, recupero di ampiezza, analisi di velocità/conversione in profondità, migrazione) integrato da specifici algoritmi quali la deconvoluzione per aumentare la risoluzione verticale e rendere più semplice l'identificazione di stratificazioni sottili, e l'analisi degli attributi per meglio evidenziare continuità e variazioni laterali. L'interpretazione dei dati della Grotta nella zona del Monte Leupa ha evidenziato interessanti caratteristiche morfologiche che, in alcuni casi, è stato possibile verificare con ispezioni dirette grazie alla peculiare topografia della cavità. All'interno del ghiaccio sono stati riconosciuti numerosi orizzonti così come il contatto tra ghiaccio e roccia a circa 5 m di profondità al di sotto dell'attuale superficie. Oltre a questo, i dati acquisiti hanno evidenziato una cavità d'aria che è poi stato possibile ispezionare direttamente (figura 9). Nei primi 70 cm al di sotto della superficie attuale del ghiaccio si evidenzia una alta concentrazione di detrito e blocchi che non si riscontra nella parte più profonda del deposito (Figura 10).

Le indagini preliminari condotte nelle grotte di ghiaccio del Canin hanno permesso di iniziare una attività di ricerca mai compiuta in precedenza in Friuli Venezia Giulia ad esclusione di una datazione tramite trizio di un piccolo deposito di ghiaccio in Alpi carniche effettuato agli inizi degli anni 2000, e con pochissimi esempi sparsi nel resto delle Alpi, ma potenzialmente in grado di sviluppare interessanti applicazioni future. In questa fase è stato quindi possibile stabilire lo spessore, la geometria e la struttura interna di due depositi di ghiaccio permanente in cavità, inquadrare la microclimatologia ipogea di questi ambienti compresa l'interpretazione della probabile circolazione d'aria predominante.

CONCLUSIONI

La criosfera del massiccio del Monte Canin è stata indagata con un dettaglio mai raggiunto in precedenza rendendo possibile la misura di bilanci di massa sia stagionali sia annuali. I resti glaciali si sono ridotti in maniera molto considerevole, anche solo rispetto alle dimensioni possedute all'inizio degli anni '80 del secolo scorso, ma depositi cospicui di ghiaccio ancora persistono raggiungendo il massimo spessore nella placca orientale di quello che era il ghiacciaio orientale del Canin. L'assenza di evidenti crepacci trasversali, in tutti gli apparati, porta a ritenere che il movimento dei glacionevati del Canin sia quasi assente o comunque molto contenuto, ma misure in questo senso sono in corso di acquisizione. Gli anni 2000, in particolare a partire dalla seconda metà, mostrano una sostanziale stabilità degli apparati glaciali delle Alpi Giulie se non addirittura un debole segnale di ricostituzione degli stessi così fortemente ridotti in particolare nel corso degli anni '80 e '90. Ciò è verosimilmente dovuto agli apporti nevosi invernali più consistenti degli ultimi anni, che sono riusciti a contrastare le comunque frequenti e intense ondate di calore estivo. Per quanto concerne i depositi di ghiaccio sotterraneo, che hanno una maggior inerzia nei tempi di risposta ai mutamenti del sistema climati-

co, gli studi in corso potranno permettere di caratterizzare in maniera più completa l'evoluzione olocenica recente della criosfera delle Alpi Giulie.

RINGRAZIAMENTI

Queste ricerche sono state supportate dal Finanziamento di Ateneo per progetti di ricerca scientifica – FRA 2012 – Integrated Monitoring of Ice within Caves – MonlCa dell'Università di Trieste, dal progetto Climaparks, dall'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia e dalla Comunità Montana del Gemonese, Canal del ferro e Val Canale. Vogliamo ringraziare Marco Basso Bondini, Francesca Bearzot, Alice Buseti, Mauro Colle Fontana, Veronica Franco, Costanza Del Gobbo, Daniele Fontana, Stefano Pierobon, Marco Venier e Suzy Vizyntin, studenti del Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste, che hanno contribuito in maniera encomiabile alle operazioni sul campo. Un sentito ringraziamento va anche all'ufficio neve e valanghe della Regione FVG, in particolare nelle persone di Daniele Moro, Luciano Lizzero, Gabriele Amadori, Sergio Buricelli e Doriana Belligoi, alla Protezione Civile del FVG, alla stazione della Guardia di Finanza di Sella Nevea, e al Parco Naturale Regionale delle Prealpi Giulie per il supporto logistico offerto in svariate occasioni.

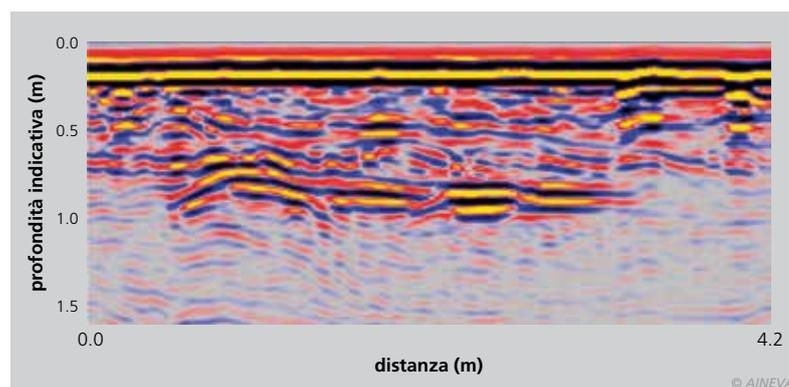


Fig. 10 - La cavità al di sotto del ghiaccio evidenziata anche dal rilievo GPR.

Fig. 9 - Il gran numero di diffrazioni nei primi 70 cm del deposito di ghiaccio è stato correlato ad un'alta concentrazione di sedimenti e blocchi probabilmente concentrati in questa zona a causa delle ripetute fasi di fusione e ricongelamento che interessano la parte più superficiale.

Bibliografia

- Almasio A. (2002). The Canin Glacier. Terra Glacialis Anno V: pp. 189-201.
- Annan A. P., Cosway S. W. and Sigurdsson T. (1994). GPR for snow water content. Fifth international conference on GPR, Waterloo Centre for Groundwater research, Univ. of Waterloo, Ontario, Canada 1994, 465-475.
- Arcone S. A. (1996). High resolution of glacial ice stratigraphy: a ground-penetrating radar study of Pegasus Runway, McMurdo Station, Antarctica, Geophysics 61, 1653-1663.
- Armando E., Baroni C. and Meneghel M., eds. (2006). Reports of the glaciological survey 2005, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 29 (2), 211-266.
- Bahr D.B. and Radić, V. (2012). Significant contribution to total mass from very small glaciers, The Cryosphere, 6, 763-770.
- Borsato A., Miorandi R., Flora O. (2006) - I depositi di ghiaccio ipogei della Grotta dello Specchio e del Castelletto di Mezzo (Dolomiti di Brenta, Trentino): morfologia, età ed evoluzione recente Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 81 (2004): 53-74
- Casagrande G., and Cucchi F. (2007) L'acquifero carsico del Monte Canin, spartiacque tra Adriatico e Mar Nero. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, 19, 57-66.
- Citterio M., Turri S., Bini A. & Maggi V., (2002) - Glaciologia e climatologia ipogea in Moncodeno (Grigna Settentrionale, Lecco). Atti Convegno Nazionale in ricordo di Arditò Desio - I ghiacciai, le montagne, l'uomo. Le variazioni dei ghiacciai montani e le modificazioni dei sistemi naturali ed antropici. Bormio 12-13 settembre 2002.
- Colucci R.R. (2012). Evidence of recent and holocene evolution of the cryosphere in Friuli Venezia Giulia (Italy) PhD unpublished thesis.
- Desio A., (1927). Le variazioni dei ghiacciai del Canin nell'ultimo quarantennio. In Alto, 1927.
- Forte E., Dossi M., Colucci R.R. Pipan M. (2013). A new fast methodology to estimate the density of frozen materials by means of common offset GPR data. Special issue of the J. of Applied Geophysics: Forward and Inverse Problems in GPR Research, Volume 99, December 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/10.1016/j.jappgeo.2013.08.013>, pp. 135-145.
- Godio A. (2009). Georadar Measurements for the snow cover density, American Journal of Applied Sciences 6-3, 414-423.
- Haeberli W., Bosch H., Scherler K., Østrem G., Wallén C., (eds.), (1989). World Glacier Inventory: Status 1988. IAHS(ICS)/UNEP/UNESCO/World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 458 pp.
- Marinelli O. (1894). Il ritiro dei ghiacciai del Canin, In Alto.
- Muscio G., Mocchiuti A. (2009) Andar per grotte – Monografia curata dal circolo Speleologico ed Idrologico Friulano - Udine
- Paterson W.S.B. (1994). The physics of glaciers, 3rd edition, Elsevier Science, Tarrytown, N.Y., 480pp, ISBN 978-0123694614.
- Serandrei Barbero R., Rabagliati R., Zecchetto S. (1989). Analisi delle misure alle fronti dei ghiacciai delle Alpi Giulie e correlazioni con i dati climatici, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 12, 139-149.
- Stacheder M. C., Huebner S., Schlaeger S. and Brandelik A. (2005). Combined TDR and low frequency permittivity measurements for continuous snow wetness and snow density determination. In: Kupfer, K. (Ed.), Electromagnetic Aquametry, 16. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 367-382.
- Stein J. and Kane D. L. (1983). Monitoring the unfrozen water content of soil and snow using time domain reflectometry, Water Resources Research 19 (6), 1573-1584.

Note foto

- 1) Si concede il permesso per la pubblicazione delle immagini allegate all'articolo esclusivamente per la realizzazione di questo numero speciale.
- 2) La ortofoto di dettaglio del glacionevato orientale del Canin è stata realizzata il 1 ottobre 2013 ed è copyright esclusivo di Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia-ONLUS. Tale informazione va esplicitata nel testo.