

# GHIACCIAIO, di DOSDÉ CENTRALE

**M. Fioletti, L. Bonetti  
e F. Berbenni**

ARPA Lombardia - Centro  
Nivometeorologico

**M. Sterli e I. Stain**  
Studio di geologia applicata

**rilievo gnss/aerofotogrammetrico,  
prospezione georadar, valutazione  
dei volumi dell'apparato glaciale**

**DOSDÉ CENTRALE GLACIER  
GNSS/aerophotogrammetric  
survey, georadar prospecting,  
evaluation of the glacial system volumes**

*The Dosdé Centrale Glacier is a Lombard glacial system located in the Valdidentro municipality in the Sondrio province, in the northern side of Cime di Lago Spalmo Orientale (3,298 m a.s.l.). On this glacier, in summer 2018 Centro Nivometeorologico of ARPA Lombardia carried out a series of Georadar measurements together with GNSS (Global navigation satellite system) and APR (drone) surveys. The bedrock surface, which represents the sedimentary-rocky substrate, has been reconstructed by processing Georadar profiles homogeneously distributed on the whole glacier surface. The basal surface, once reconstructed in its tridimensionality, generates a digital model of terrain (dem - digital elevation model), which becomes a benchmark for the analysis of volumetric variations with time.*

*Concurrently, several GNSS and SAPR surveys have been carried out in order to reconstruct the model of glacial surface. By comparing superficial and basal dem models it is possible to quantify the glacier volumetry. A comparison between the surveys carried out in different years allows users to appreciate what the ablation dynamics are and locate possible differential ablation processes.*

*Understanding such phenomena allows us to improve our knowledge of glaciological dynamics and provides essential information to get accurate models and reliable forecasts on the availability of water resources from glaciers.*

Il Ghiacciaio di Dosdé Centrale è un apparato glaciale Lombardo, situato nel comune di Valdidentro in provincia di Sondrio, sul versante settentrionale della Cima di Lago Spalmo Orientale (3298 m s.l.m.). Su tale ghiacciaio il Centro Nivometeorologico di ARPA Lombardia ha svolto, nell'estate 2018 una campagna di misure Georadar in concomitanza con rilievi GNSS (Global Navigation Satellite System) e APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto). La superficie del bedrock, che costituisce il substrato sedimentario-roccioso, è stata ricostruita grazie all'elaborazione di profili Georadar distribuiti uniformemente sull'intera superficie del ghiacciaio. La superficie basale, una volta ricostruita nella sua tridimensionalità, produce un modello digitale del terreno (dem - digitale elevation model), che diviene un caposaldo di riferimento per l'analisi delle variazioni volumetriche nel tempo. In parallelo sono stati svolti rilievi GNSS e APR al fine di ricostruire il modello della superficie glaciale. Il confronto tra dem superficiale e basale permette di quantificare la volumetria del ghiacciaio. Il confronto tra rilievi eseguiti in anni diversi consente di apprezzare quali siano le dinamiche di ablazione e di localizzare eventuali processi di ablazione differenziale. La comprensione di tali fenomeni permette di incrementare la conoscenza sulle dinamiche glaciologiche ed apporta essenziali informazioni per ottenere modelli accurati e previsioni attendibili sulla disponibilità della risorsa idrica di origine glaciale (Fig.1).





Fig. 2 - Cime di Lago Spalmo e Ghiacciai di Dosdè.

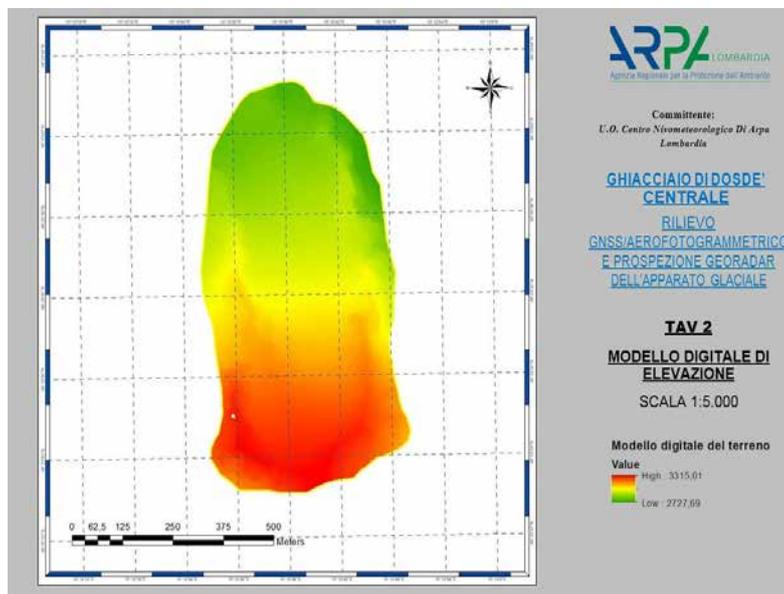


Fig. 3 - Distribuzione dello spessore del ghiaccio.

## INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il ghiacciaio di Dosdè Centrale è posto in Val Viola Bormina in comune di Valdidentro (So). Geograficamente è ubicato nelle Alpi Retiche Occidentali, sulla catena montuosa Piazzì-Paradisino.

La vedretta si estende sul versante settentrionale delle Cime di Lago Spalmo Orientale (3298 m s.l.m.), a quote all'incirca comprese tra 2780 e 3240 m s.l.m. ed ha una superficie di 18 ha (Fig.2).

Le finalità delle indagini svolte nel settembre 2018 sono state:

- Rilievo dell'andamento della superficie glaciale e delle aree adiacenti, con re-

stituzione ortofotografica e con elaborazione del modello digitale di elevazione (DEM) della superficie;

- Rilievo della superficie substrato roccioso;
- Modellazione dei dati raccolti e stima dei volumi di ghiaccio.

## AEROFOTOGRAMMETRIA E DEM DELLA SUPERFICIE

Il rilievo del Ghiacciaio di Dosdè Centrale è stato ottenuto con due voli distinti, per un tempo nominale complessivo di volo (per il solo rilievo) di 17':55", e con una distanza nominale di volo di 13090 m. Le misure aerofotogrammetriche sono state eseguite da un sistema così composto:

- **APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto)** tutt'ala in materiale espanso nero (EPP) con fotocamera alloggiata in un apposito vano posto nella parte inferiore e batterie al litio che permettono una autonomia di oltre 45 minuti di volo operativo.
- **Stazione di terra** composta da un PC dotato del software di volo e da un radiocomando manuale. Durante il volo l'interfaccia utente permette un controllo in tempo reale dei parametri sottoelencati:
  - posizione GPS
  - altezza
  - distanza dalla Stazione di Terra
  - tensione batteria
  - numero di satelliti agganciati
  - potenza del segnale radio
  - intensità del vento
  - direzione del vento.

Per permettere la georeferenziazione assoluta delle acquisizioni aero-fotogrammetriche, sono stati posizionati a terra diversi "target", georeferenziati tramite rilievo topografico con metodologia GNSS (Global Navigation Satellite System).

L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di ricostruire la topografia della superficie glaciale della Vedretta di Dosdè Centrale. In particolare, si è ottenuto un'ortofotografia dell'area di indagine



Fig. 4 - Operazioni di rilievo georadar sez.8.

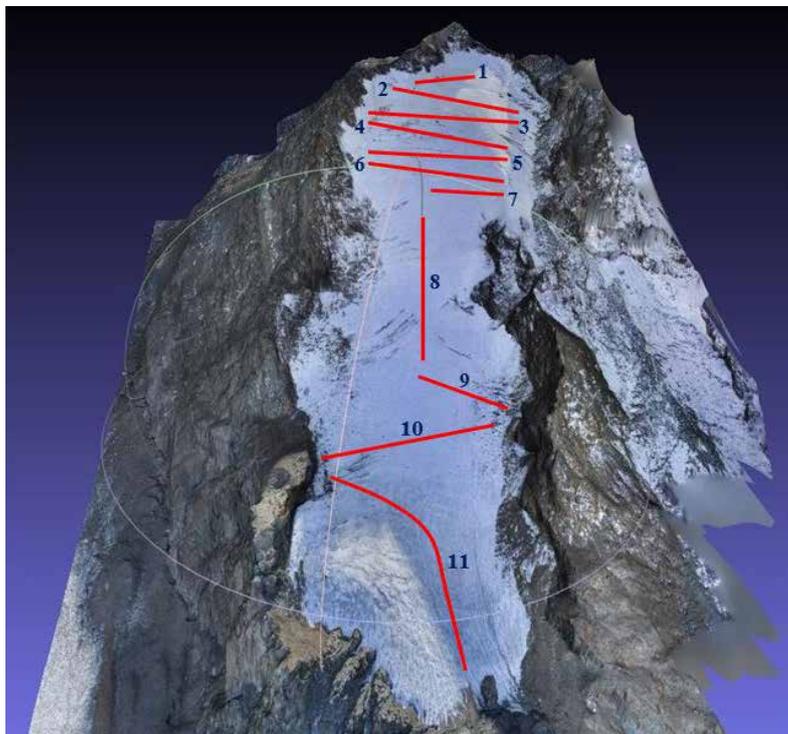


Fig. 5 - Distribuzione sezioni del rilievo georadar.



Fig. 6 - Operazioni di rilievo georadar sez.5.

## GLACIOLOGIA

con risoluzione media intorno a 4 cm/px e un modello digitale del terreno DEM (DIGITAL ELEVATION MODEL) con risoluzione media inferiore a 20 cm/px (Fig.3).

### RILIEVO DELLA SUPERFICIE DEL SUBSTRATO ROCCIOSO

E' stata inoltre eseguita un'indagine georadar per la corretta misura della profondità del bedrock (Fig.4).

La metodologia G.P.R. (Ground Probing Radar) si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche ad alta frequenza, immesse, riflesse e ricevute al fine di acquisire informazioni sullo stato fisico esistente nei materiali indagati.

Le modalità di propagazione di tali onde sono strettamente legate alle costanti dielettriche dei materiali, a loro volta dipendenti dallo stato fisico dei materiali

(densità, porosità, permeabilità, conducibilità etc.). Tutte le interfacce che separano materiali con caratteristiche diverse possono quindi essere individuate, in modo tanto più certo quanto più alto è il contrasto fisico.

Operativamente, attraverso un dispositivo trasmittente-ricevente denominato antenna, collegato ad un registratore grafico, viene inviata nel mezzo di indagine una serie continua di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza. In corrispondenza delle superfici di discontinuità una parte dell'energia trasmessa è riflessa e captata dalla sezione ricevente dell'antenna, un'altra parte penetra ulteriormente e potrà essere riflessa da una superficie sottostante. Contemporaneamente al movimento dell'antenna, il registratore grafico produce una sezione continua spazio-tempo nella quale si osservano le tracce delle diverse riflessioni (o, co-

Fig. 7 - Esempio di risultato interpretazione di una sezione georadar.

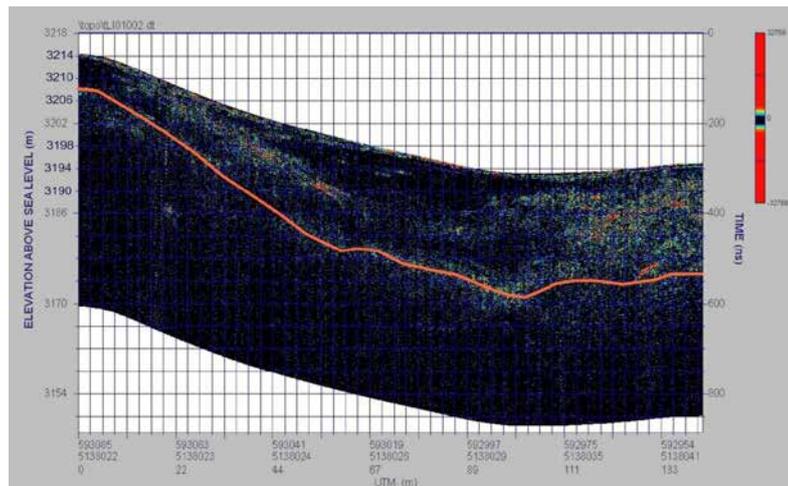


Fig. 8 - Parte centrale e inferiore del ghiacciaio.



munque, delle anomalie nella risposta). La profondità massima di esplorazione è funzione della frequenza dominante del segnale emesso e della resistività elettrica del terreno. Il dato ottenuto dalla prova è denominato sezione radarstratigrafica o radargramma; ha carattere qualitativo poiché consente l'interpretazione delle caratteristiche delle diverse "riflessioni" sotto forma di geometria e di intensità del segnale ricevuto. La sezione riporta in ascissa i valori delle distanze misurate e in ordinata i valori di profondità derivati dai tempi di registrazione, nota la velocità dell'onda.

*Fig. 9 - Operazioni di rilievo georadar nella parte terminale del ghiacciaio.*



Conoscendo le principali grandezze fisiche elettromagnetiche dei terreni attraversati è possibile trasformare la sezione distanze-tempi in una sezione distanze-profondità.

Il rilievo è stato effettuato avvalendosi di una strumentazione composta da un Radar in array con 2 antenne da 200 Mhz e da 600 con configurazione a 2 canali. Sulla superficie del Ghiacciaio di Dosdè Centrale sono stati eseguiti 11 stendimenti per una lunghezza complessiva di 1600 m (Figg. 5 e 6).

## RISULTATI

I rilievi georadar eseguiti, grazie alle

particolari caratteristiche dielettriche dei materiali indagati, hanno permesso di verificare gli spessori del Ghiacciaio di Dosdè Centrale e, conseguentemente, di ricostruire l'andamento del letto del substrato roccioso sottostante. Nel settore superiore, ove si sono infittite le linee di scansione, lo spessore del ghiaccio varia dai 20 – 30 m delle porzioni centrali ai pochi metri dei bordi.

Come previsto, in corrispondenza del cambio di pendenza di quota 3050 m s.l.m. circa, la profondità del substrato roccioso è fortemente ridotta (min 8 ÷ 10 m). Procedendo verso il piede della scarpata centrale lo spessore riscontrato del

ghiaccio aumenta progressivamente sino a raggiungere valori massimi di 20 a 30 m e oltre, riducendosi poi gradualmente proseguendo verso la fronte.

L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di ricostruire i volumi attuali del ghiacciaio; la massa del Ghiacciaio di Dosdè Centrale è stata stimata in circa 3.000.000 m<sup>3</sup>.

La modellazione del substrato roccioso rappresenta un punto fondamentale e fermo per il monitoraggio futuro del ghiacciaio e la stima della sua riduzione di massa, consentendo un immediato confronto con le superfici modellate anno dopo anno (Figg. 7, 8 e 9).