

## Misure di spostamento e ablazione sul Ghiacciaio del Belvedere nel biennio 2006/07

Danilo GODONE (\*), Andrea TAMBURINI (\*\*), Franco GODONE (\*\*\*), Roberto CHIABRANDO (\*)

(\*) Università di Torino, Facoltà di Agraria, DEIAFA Sez. Topografia, Via L. da Vinci 44, 10095, Grugliasco (TO) tel 0116705526 , [danilo.godone@unito.it](mailto:danilo.godone@unito.it)

(\*\*) Tele-Rilevamento Europa - T.R.E. s.r.l., Via Vittoria Colonna 7, 20149 Milano, tel. 02.4343.121, [andrea.tamburini@treuropa.com](mailto:andrea.tamburini@treuropa.com)

(\*\*\*) CNR – IRPI Sez di Torino, Str. Delle Cacce 73, 10135, Torino, tel 0113977263 [franco.godone@irpi.cnr.it](mailto:franco.godone@irpi.cnr.it)

### Riassunto

Le dinamiche di un ghiacciaio particolarmente attivo come il Ghiacciaio del Belvedere necessitano accurate attività di monitoraggio, per lo studio dei fenomeni e la prevenzione di rischi correlati. Nel presente contributo sono presentati i primi risultati di una campagna di misura di spostamento e ablazione condotta tramite rilevamenti GPS ad alta precisione con numerose ripetizioni durante l'anno. La metodologia ha fornito interessanti risultati sia dal punto di vista topografico che glaciologico, restituendo dati rilevanti per lo studio del comportamento del ghiacciaio e confermando la piena applicabilità dei rilievi GPS in ambiente ostile come quello glaciale.

### Abstract

Glacial dynamics, especially for an active glacier as Belvedere, require high quality monitoring activities, in order to study those phenomena and forecast and prevent related hazards. This paper describes a survey campaign oriented to flow and ablation measurement, carried out through high precision GPS surveys, with high frequency surveys during the period. The first year of measurement has provided interesting issues, both in methodology and in survey results. GPS survey has proven to be effective also in glacier environment providing good accuracy during stake surveys and also assuring enough instrument ruggedness, as measurement has also been carried out in bad weather conditions.

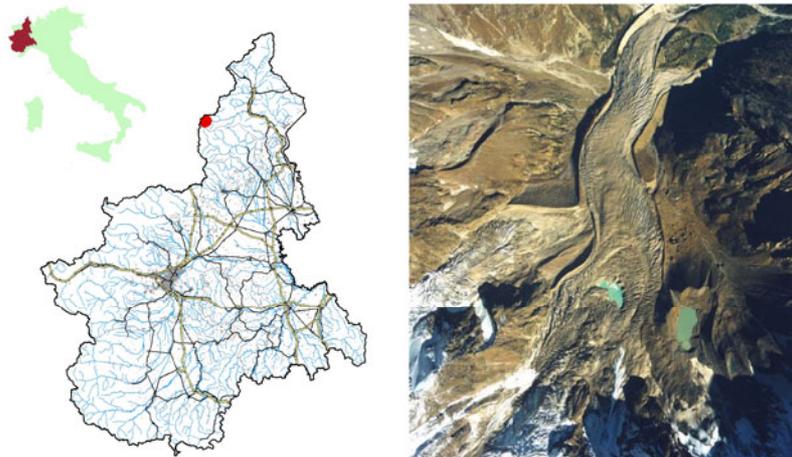


Figura 1 – Inquadramento geografico del Ghiacciaio del Belvedere

## Introduzione

I ghiacciai, da sempre oggetto di studi e ricerche, hanno visto crescere ulteriormente l'attenzione a loro rivolta in seguito alla diffusione e divulgazione delle problematiche riguardanti il *global warming*. Il ghiacciaio oggetto di studio è il Belvedere (Fig. 1), situato in Valle Anzasca nel comune di Macugnaga (VB) sul versante orientale del Monte Rosa, inserito nei casi studio del Progetto Europeo Galahad ([www.galahd.eu](http://www.galahd.eu)), coordinato da CESI RICERCA S.p.A., che ha come obiettivi lo sviluppo e l'integrazione di tecniche di monitoraggio innovative per lo studio e la mitigazione del rischio legato all'evoluzione di versanti instabili, ghiacciai e valanghe. Il ghiacciaio del Belvedere costituisce un caso unico nell'arco alpino essendo caratterizzato da dinamiche riscontrabili, ai giorni nostri, unicamente nelle aree himalayane (Mercalli e Cat Berro, 2002).

Il Belvedere è uno dei ghiacciai italiani più noti, descritto già da De Saussure (1779-1796) e oggetto di particolare attenzione a partire dall'inizio del sec. XX da parte di illustri studiosi su aspetti glaciologici, morfologici, climatici, fisici, topografici, geofisici (Porro, 1918; Porro e Somigliana, 1918; Monterin, 1922, Sacco, 1930, De Visintini, 1961, E.I.R.A., 1961). Vengono effettuate anche ricerche sulle associazioni floristiche colonizzante l'ambiente periglaciale e la loro composizione specifica compilando una breve chiave dicotomica (Negri, 1918).

Nell'ultimo decennio, in coincidenza con i primi segnali di aumento globale della temperatura, il bacino glaciale del Belvedere denuncia una straordinaria attività geodinamica che non trova paragoni nelle Alpi e che ha indotto talora situazioni di rischio anche molto elevato, tali da richiedere l'intervento del Dipartimento della Protezione Civile. Evento tra i più significativi è stato il fenomeno di *surge*, manifestatosi con un rapido incremento di volume e di velocità e culminato con la formazione di un lago epiglaciale ("Lago Effimero") nell'estate 2002 (Haeberli et al, 2002; Tamburini e Mortara, 2004).

La misura degli spostamenti superficiali di un ghiacciaio, benché complessa da effettuare in modo sistematico a causa delle difficoltà operative e dell'elevato impegno di risorse richiesto, fornisce uno degli indicatori fondamentali per valutarne lo stato evolutivo. Le rapide modificazioni morfologiche del ghiacciaio del Belvedere durante la fase di *surge* hanno consentito l'esecuzione di misure dirette di spostamento discontinue e per periodi di tempo limitati; i dati più completi ed attendibili derivano pertanto da confronti di ortoimmagini e/o restituzioni aerofotogrammetriche (Kaab et al., 2004). Tali misure hanno fornito valori di spostamento annuo massimi pari a circa 200 m nel 2002, al culmine della fase di *surge*, a fronte di velocità medie, in condizioni ordinarie, di 30-50 m/anno. Nel giugno 2006, nella parte inferiore della lingua glaciale ad una quota variabile tra 1950 e 2100 m s.l.m. è stata installata una rete di paline ablatometriche (Tamburini et al., 2006) disposte lungo due allineamenti trasversali distanti tra loro circa 500 m (Fig. 2). Nel presente lavoro vengono illustrati i risultati ottenuti nel 2006 e fornite alcune anticipazioni sull'andamento rilevato nell'anno in corso.



Figura 2 – Localizzazione delle paline ablatometriche e installazione nel ghiaccio mediante sonda a vapore

### Materiali e metodi

Le paline ablatometriche, installate previo sopralluogo al fine di rispettare criteri di distribuzione ottimale (Kaser et al, 2003), sono state misurate a intervalli regolari per determinare il tasso di ablazione (perdita di massa del ghiacciaio attraverso fusione, spostamento di neve, sublimazione) e di spostamento.

La disposizione di massima delle paline è stata definita precedentemente in ambiente ArcGis<sup>TM</sup> su supporto ortofotografico, in funzione della morfologia del ghiacciaio e della dinamica attesa. Le collocazioni delle paline (in formato *shapefile* e l'ortofotografia (in formato compresso .ECW) sono state trasferite su un dispositivo palmare corredato di ricevitore GPS e di *software* GIS ArcPad<sup>TM</sup> per facilitarne il ritrovamento in fase di installazione e nelle successive campagne di misura (Fig. 2).

In fase d'installazione la posizione delle paline è stata determinata tramite rilievo GPS in modalità statica con ricevitori Leica 1200<sup>TM</sup> in doppia frequenza e tempi di acquisizione di 30 minuti. Preliminarmente è stato materializzato un caposaldo su un masso esterno all'area del ghiacciaio e occupato con un ricevitore per effettuare il posizionamento relativo.

Nelle campagne di misura successive all'installazione si è proceduto, dopo l'installazione della stazione sul caposaldo, alla misura in modalità statico-rapido con tempi di acquisizione di 10 minuti, grazie all'ottimale configurazione satellitare, determinata in fase di pianificazione prima di ogni campagna di misura.

Le misure GPS sono state oggetto di post processamento nel *software* Leica – Geo Office Combined<sup>TM</sup> per l'elaborazione delle *baselines* e in seguito in Star Net<sup>TM</sup> per la compensazione della rete. Le coordinate dei punti sono state restituite con precisioni centimetriche.

La misura dell'ablazione è stata effettuata misurando la sporgenza delle paline dalla superficie glaciale in contemporanea al rilievo GPS. All'occorrenza si è inoltre provveduto a sostituire le paline danneggiate, a rischio di seppellimento da parte del detrito o quelle quasi totalmente emerse causa caratterizzate da elevato tasso di ablazione in modo da avere garantito un monitoraggio continuo.

### Risultati e discussione

In Fig. 3 vengono rappresentate le velocità di spostamento planimetrico giornaliero relative ai diversi intervalli temporali intercorrenti tra misure successive, variabili da una settimana ad un mese. L'andamento delle velocità di spostamento mostra, salvo situazioni particolari, una buona

correlazione sia con la posizione di ciascuna palina lungo la sezione di misura che con il periodo di esecuzione del rilievo. Le massime velocità di spostamento raggiungono i 13 cm/giorno, e sono state riscontrate nella parte centrale della lingua glaciale. In generale, si è assistito ad un decremento generalizzato della velocità di spostamento superficiale a partire dal mese di ottobre. Particolare è il caso della palina 1, posta in un settore estremamente crepacciato dove i valori di spostamento sono risultati mediamente inferiori rispetto a quelli misurati alle altre paline: ciò lascerebbe intendere un'evoluzione locale probabilmente meno rappresentativa dell'evoluzione della lingua glaciale. Le direzioni di spostamento medie nell'intero arco temporale esaminato sono rappresentate in Fig. 3.

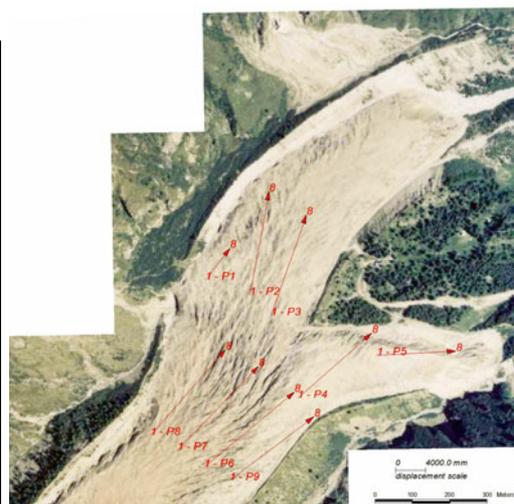
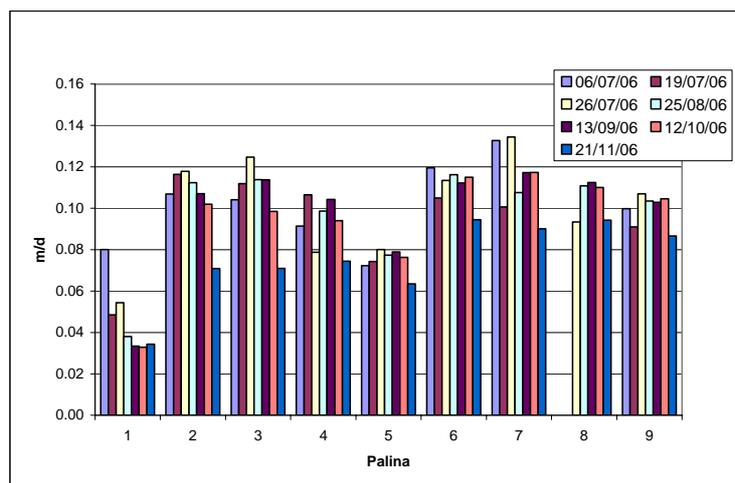


Figura 3 – Spostamenti planimetrici medi giornalieri e vettori di spostamento planimetrico superficiale riferiti all'intero periodo esaminato (giugno-novembre 2006).

A partire dalla prima metà del mese di giugno 2007 le misure sono state riprese con frequenza mensile. I dati sono ancora in corso di analisi; un primo dato, emerso dal confronto con i dati dello scorso anno, è quello relativo alla velocità di spostamento annua delle paline, che varia tra 30 e 35 m/anno, testimoniando una sensibile riduzione rispetto ai valori massimi che avevano caratterizzato l'estate 2002.

I dati di ablazione hanno confermato l'elevata dinamicità del ghiacciaio del Belvedere e anche in per questi dati sono stati riscontrati comportamenti differenti in funzione del periodo, posizione e copertura detritica della porzione di ghiacciaio oggetto di analisi. In Fig. 5 vengono riportati i valori di tasso di ablazione medio giornaliero relativi ai diversi intervalli temporali intercorrenti tra misure successive

La distribuzione dei valori di ablazione giornaliera nel corso del periodo indagato (dal 28/06/06 al 22/10/06) suggerisce alcune considerazioni di carattere generale:

- i valori più elevati, pari ad 11 cm/g, sono stati osservati nel corso del mese di luglio;
- il mese di agosto, caratterizzato da maltempo e da un significativo abbassamento delle temperature ha provocato una temporanea riduzione della velocità di ablazione ;
- la stagione di ablazione 2006 si è protratta fino agli inizi del mese di novembre, circostanza eccezionale ma confermata anche osservazioni svolte in altri settori dell'arco alpino

Le considerazioni precedentemente riportate testimoniano il marcato impatto negativo del clima del 2006 sul glacialismo.

Per quanto riguarda la prima metà del 2007, i dati sono ancora in corso di elaborazione. Le prime misure sembrerebbero tuttavia indicare un inizio precoce della stagione di ablazione, come conseguenza delle temperature eccezionalmente elevate misurate nel corso del mese di aprile e nella prima metà del mese di maggio.

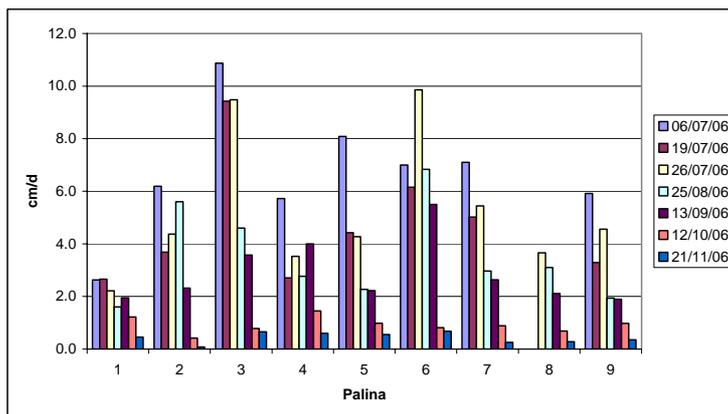


Figura 4 – Ablazione media giornaliera durante il 2006.

## Conclusioni

I risultati delle misure eseguite hanno confermato la valenza metodologica dell'approccio adottato sia nella materializzazione dei punti di misura che nella tecnica utilizzata per il ritrovamento dei punti e la determinazione della loro posizione, consentendo inoltre di acquisire informazioni inedite sull'evoluzione recente del ghiacciaio del Belvedere. Le velocità puntuali di spostamento misurate e la loro distribuzione spaziale hanno consentito di acquisire informazioni dettagliate circa la dinamica della lingua glaciale nei settori esaminati. La velocità media di flusso attuale del ghiacciaio, pari a 35 m/anno, è sensibilmente inferiore ai valori massimi riscontrati nel 2002 (circa 200 m/anno), e sembrerebbe indicare che il fenomeno di surge, che ha interessato il ghiacciaio a partire dal 2001, sia attualmente in fase di esaurimento. Alla luce dei primi controlli, risultati altrettanto significativi sono attesi dalle campagne di misura programmate per la stagione di ablazione 2007.

## Ringraziamenti

Si ringraziano: l'Ing. G. Viazzo per l'elaborazione dell'ortoimmagine; le Guide Alpine M. Cucchi e L. Schranz per la collaborazione all'installazione delle paline e alle campagne di misura.

## Bibliografia

- De Saussure H. B., (1779 – 1796), *Voyages dans les Alpes*, Vol. 4, Neuchatel, pp. 348
- De Visintini G., (1961), "Rilievo sismico a riflessione sul ghiacciaio del Belvedere (Monte Rosa)" *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, 10, II serie, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Comitato Glaciologico Italiano, Torino, pp. 65 – 70
- Ente Italiano Rilievi Aerofotogrammetrici (E.I.R.A.), (1961) "Il rilievo topografico", *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, 10, II serie, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Comitato Glaciologico Italiano, Torino, pp. 58 – 64
- Haeberli W., A. Käab, F. Paul, M. Chiarle, G. Mortara, A. Mazza, P. Deline and S. Richardson (2002): "A surge-type movement at Ghiacciaio del Belvedere and a developing slope instability in the east face of Monte Rosa, Macugnaga, Italian Alps". *Norwegian Journal of Geography*. **56**. 104-111
- Hooke L. R.(2005), *Principles of glacier mechanics*, second edition, Cambridge University press, pp 420
- Kaab A., Huggel C., Barbero S., Chiarle M., Cordola M., Epifani F., Haberli W., Mortara G., Semino P., Tamburini A., Viazzo G. (2004) "Glacier hazards at Belvedere Glacier and the Monte Rosa east face, Italian Alps": *Proceedings of processes and mitigation Proc. Intern. Symp. "Interpraevent 2004"* (Riva del Garda, 24-27 may 2004)

- Kaser G., Fountain A., Jansson P. (2003) *A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers*. International Hydrological Programme - Technical Documents in Hydrology No. 59 UNESCO, Paris. 34 – 51
- Mercalli L, Cat Berro D. Mortara G. (2002) “Emergenza al ghiacciaio del Belvedere (Macugnaga, VB)” *Nimbus Online Glaciologia* <http://www.nimbus.it/ghiacciai/2002/020626belvedere.htm> ISSN 1122-4339.
- Monterin U., (1922), “Il ghiacciaio di Macugnaga dal 1780 al 1922” *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, 5, Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Roma, pp.12 – 40
- Negri G., (1918), “Ricerche sulla vegetazione del bacino glaciale del Lys (Monte Rosa)” *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, 3, Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Roma, pp. 69 – 83
- Porro F. (1918), “Nota preliminare sui lavori eseguiti nel 1917 intorno al Ghiacciaio di Valle Anzasca” *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, 3, Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Roma, pp. 16 – 17.
- Porro F., Somigliana C., (1918), “Ghiacciaio di Macugnaga” *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, 3, Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Roma, pp. 188 - 190.
- Sacco. F., (1930), “Il Glacialismo nelle valli Sesia, Strona, Anza e nell’Ossola”, *Ufficio idrografico del Po, Pubblicazione N° 10 – Vol. 4, Ministero dei Lavori Pubblici, servizio Idrografico, Roma*, pp. 35 - 69
- Tamburini A., Mortara G., (2004), “The Case of the “Effimero” Lake at Monte Rosa (Italian Western Alps): studie, field surveys, monitoring” *Proceedings of the 10<sup>th</sup> ERB Conference “Progress in Surface and Subsurface Water studies at Plot and Small Basin Scale”* Edited By Maraga F., Arattano M., 179 – 184
- Tamburini A., Mortara G., Godone D., (2006) “Misure di ablazione sulla lingua del Ghiacciaio del Belvedere”, *Nimbus Online Glaciologia* [www.nimbus.it/ghiacciai/2006/060904belvedere.htm](http://www.nimbus.it/ghiacciai/2006/060904belvedere.htm) ISSN 1122-4339.