

# **Bilancio volumetrico e di massa di un ghiacciaio alpino campione tramite rilievi GPS in modalità RTK: il Ghiacciaio della Sforzellina**

Marco BELO'(\*)(\*\*), Claudio SMIRAGLIA(\*) & Gruppo di Ricerca Glaciologica del Dipartimento Scienze della Terra "Ardito Desio" dell'Università degli Studi di Milano

(\*) Università degli Studi di Milano, Dipartimento Scienze della Terra "Ardito Desio", Gruppo di Ricerca Glaciologica, Via Mangiagalli 34 20100 – Milano, 02/50315514, [marco.belo@unimi.it](mailto:marco.belo@unimi.it)

Ente indirizzo, tel, fax, mail

(\*\*) Trimble Italia, Centro Torri Bianche Palazzo Larice 3 20059 Vimercate – Milano, 039/6858510, Fax. 039/6858515

## **Riassunto**

Le nuove tecnologie di misura applicate alla tutela e al monitoraggio del territorio trovano spazio anche nel settore della glaciologia. Alla classica metodologia di misura dei bilanci di massa, mediante l'utilizzo di paline ablatometriche, si affiancano oggi nuove tecniche di indagine quali interferometria InSAR, telerilevamento, DGPS, etc. Con il presente lavoro verranno presentati i risultati ottenuti grazie all'applicazione di strumentazione satellitare GPS per quantificare le variazioni di volume e di massa di un ghiacciaio alpino campione.

## **Abstract**

New surveying methods for land management and monitoring have application fields in glaciology also. New technologies (i.e.: interferometry, remote sensing and GPS) are now playing an important role in the environmental research sector, supporting for example the classic glaciological approach (by ablation stakes) for the mass balance measurements. By this contribution are shown the results obtained through the application of GPS techniques for mass balance measurements on a small Alpine glacier.

## **Introduzione:**

Lo studio degli apparati glaciali di tipo alpino ed extralpino ricopre oggi un ruolo di primaria importanza nel tentativo di determinare lo stato di salute del pianeta. I cambiamenti climatici in atto su scala globale stanno rapidamente alterando le tendenze climatiche sia a scala locale che a quella globale. Numerose sono le informazioni ottenibili dal monitoraggio degli apparati glaciali che ogni anno vengono condotte da squadre di ricercatori e di volontari. La ricostruzione dei climi del passato e la realizzazione di modelli climatici per il futuro, la stima della risorsa idrica disponibile e gli studi di tipo geomorfologico dell'ambiente alpino sono solamente alcuni degli aspetti di interesse che inducono al monitoraggio degli apparati glaciali. Oggetto del presente lavoro è una nuova metodologia di indagine per la determinazione dei bilanci di massa di apparati glaciali di medie-piccole dimensioni. Per bilancio di massa si intende il rapporto tra quantità di ghiaccio, neve e nevato guadagnati e/o persi da un ghiacciaio nel corso di un anno idrologico. La nuova metodologia si avvale del confronto tra DTM calcolati con punti raccolti con strumentazione GPS nelle diverse campagne glaciologiche.

## **Area di studio**

L'area di studio è il Ghiacciaio della Sforzellina, piccolo apparato di circo situato nelle Alpi italiane (Alpi Retiche, Valtellina). E' uno dei ghiacciai più studiati di questo settore alpino: dall'anno idrologico 1986-87 ad oggi viene infatti calcolato il bilancio di massa annuale con il metodo glaciologico classico delle paline ablatometriche, e dal 1925 vengono effettuate misure delle variazioni frontali (Catasta & Smiraglia, 1988; 1993; Barsanti & Smiraglia, 1994; Barsanti et al., 1995a; 1995b;). Recentemente rilievi geofisici e topografici hanno permesso di stimare lo spessore di ghiaccio ed il volume complessivo dell'apparato (Guglielmin et al., 1994; Pavan et al., 2000).

## **Strumenti e metodi**

### ***Rete statica di inquadramento***

Al fine di agevolare l'accuratezza e la logistica dei rilievi GPS da effettuare in tempo reale sul Ghiacciaio della Sforzellina si è materializzato un vertice (attraverso la collocazione di un chiodo topografico) nelle immediate adiacenze della fronte del ghiacciaio. Questa procedura, oltre a migliorare l'accuratezza dell'inquadramento cartografico dell'area di studio, ha permesso di eseguire i rilievi in modalità cinematica continua in tempo reale via radio-link grazie alla contenuta distanza tra ricevitore Master e ricevitori Rover. Per la determinazione del nuovo vertice si è proceduto alla realizzazione di una rete GPS statica, dotata di punti di controllo su alcuni vertici IGM95 disponibili nell'intorno dell'area di studio. Il nuovo vertice è stato materializzato su una roccia montonata. Per conferire stabilità al chiodo, si è proceduto alla foratura della roccia attraverso un trapano a percussione per un'a profondità di 5 cm e diametro di 18 mm. Il chiodo, una volta collocato, è stato cementato alla roccia attraverso l'utilizzo di resina sintetica bifasica.

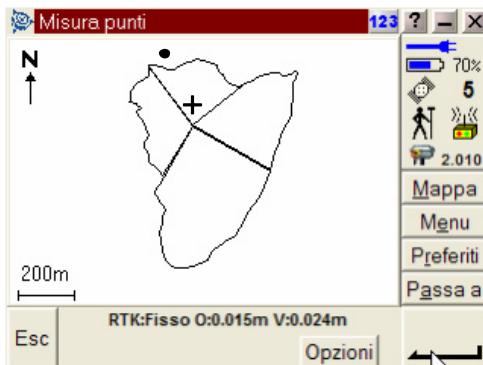
### ***Georeferenziazione del sito/ghiacciaio e suddivisione dell'area***

La procedura di inquadramento seguita, ha permesso anche la realizzazione di un sito di riferimento calibrato dell'area in oggetto. Questo tipo di informazioni, in formato di file .dc, sono state trasferite sui data collector di campagna utilizzati per la gestione dei rilievi in tempo reale eseguiti con i ricevitori GPS Rover. Questa procedura infatti, grazie alla possibilità di visualizzazione di una mappa di background sullo schermo dei data collector Trimble TSCe utilizzati, ha facilitato il compito degli operatori permettendo la navigazione e la visualizzazione in tempo reale delle misure in cinematico continuo in corso.

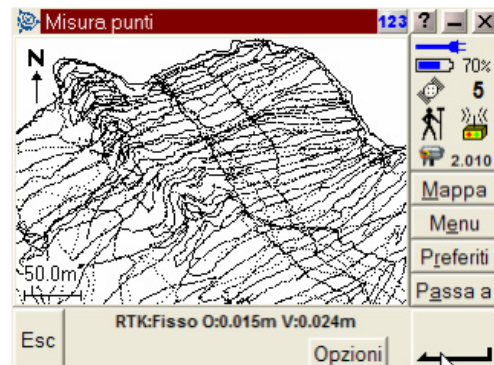
Per agevolare la logistica delle misure di campagna, l'intera superficie del ghiacciaio è stata suddivisa in quattro settori. Di ogni settore è stato individuato un contorno attraverso il software d'ufficio, ed il rispettivo file mappa in formato .dxf è stato caricato a bordo di ogni data collector per permettere agli operatori di verificare l'andamento delle misure in tempo reale sulla mappa grafica e la densità della maglia di punti da raccogliere per la realizzazione del grigliato del DTM.

### ***Campagne di rilievo GPS in RTK***

Le campagne di misura finalizzate alla raccolta di punti per la realizzazione dei modelli digitali del terreno sono state eseguite utilizzando 4 ricevitori GPS nelle estati 2003 e 2004 nel mese di settembre. Il primo ricevitore, un GPS Trimble modello 5700 L1/L2 in configurazione Master è stato collocato sul vertice ubicato presso la fronte del Ghiacciaio della Sforzellina e nominato "SFO\_01". Come radio link per l'invio della correzione differenziale in tempo reale è stata utilizzata una radio Trimble TrimTalk 450s 430-450 MHz. Come ricevitori Rover sono stati utilizzati un GPS Trimble R8 L1/L2, un GPS Trimble 5800 L1/L2 ed un ricevitore Trimble 5700 L1/L2 in configurazione Rover, con antenne Zephyr per il ricevitore 5700 ed antenne 5800/R8 integrate per gli altri due ricevitori Rover utilizzati.



*Figura 1 – Schermata del data collector TSCe con rappresentati in mappa grafica i quattro settori nei quali è stata suddivisa la superficie del ghiacciaio.*



*Figura 2 – Schermata del data collector TSCe rappresentante la mappa grafica con il percorso seguito dagli operatori durante l'acquisizione cinematica continua in tempo reale (RTK).*

Tutti i ricevitori Rover erano dotati di radio interna modello Ttalk 450s per la ricezione della correzione differenziale. La maschera di elevazione per ogni antenna è stata impostata sui 13 gradi ed il valore soglia di PDOP a 6. Come data collector dei ricevitori, utilizzati anche per la navigazione attraverso l'utilizzo della mappa grafica, sono stati utilizzati dei TSCe con software Trimble Survey Controller. L'utilizzo della mappa grafica (figura 2) ha permesso agli operatori la raccolta di una grande quantità di punti (circa 21.000 per ogni campagna di misura per una superficie di estensione del ghiacciaio pari a 262.569 m<sup>2</sup>).

### **Realizzazione dei modelli digitali del terreno**

I dati ottenuti dai rilievi in RTK in acquisizione continua sono stati scaricati nel software d'ufficio Trimble Geomatics Office, nel quale è stata fatta una prima analisi sulle variazioni volumetriche ed areali intercorse nell'arco di un anno. In seguito, i dati sono stati esportati in formato .CSV ed importati nel software d'elaborazione Surfer V.8, per la realizzazione dei modelli digitali del terreno e per la determinazione delle variazioni volumetriche intercorse. I dati importati sono stati organizzati in Grid 300 per 300 per un totale di 90000 nodi secondo la metodologia di interpolazione del kriging, con spacing X = 2 e spacing Y = 2

### **ConfrontoDTM**

I modelli digitali del terreno così ottenuti, inquadrati nel medesimo sistema cartesiano Gauss-Boaga, sono stati sovrapposti e confrontati, mettendo in evidenza le variazioni volumetriche intercorse nel periodo di indagine campione. Complessivamente la variazione volumetrica intercorsa è stata di circa 943877 m<sup>3</sup>, corrispondente ad un valore di ablazione media di circa -3.6 m. Come evidenziato dalla figura 4, la riduzione di spessore del ghiaccio all'interno del bacino di ablazione non è avvenuta omogeneamente. Settori di ghiacciaio con medesima esposizione, elevazione ed inclinazione hanno fatto registrare differenti valori di perdita di volume. La non omogeneità nella distribuzione dei valori di ablazione sulla superficie del ghiacciaio nella zona di ablazione è dovuta alla presenza di uno strato di detrito più ampio e consistente.

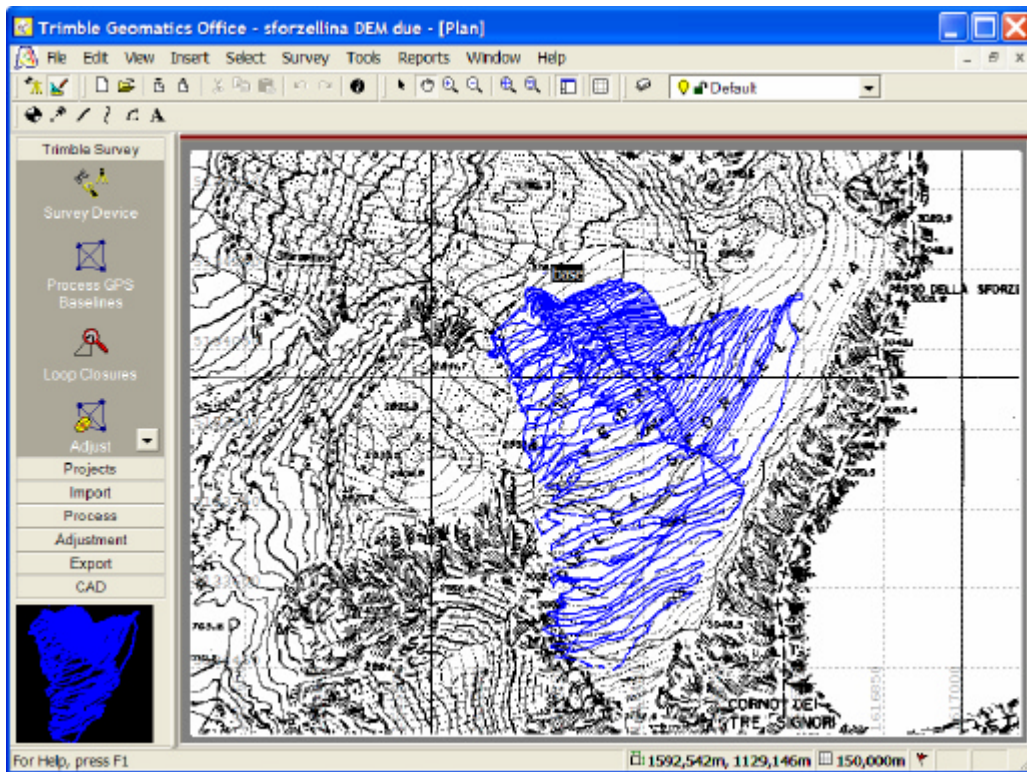


Figura 3 – Percorso coperto dagli operatori con i ricevitori GPS Rover durante i rilievi di dettaglio in tempo reale (RTK) sulla superficie del Ghiacciaio della Sforzellina.

La presenza di tale detrito è causa di fenomeni di ablazione differenziale, meccanismo questo in grado di preservare il ghiaccio in alcuni settori a copertura detritica più spessa, e di accelerare la fusione nelle aree a copertura più esigua.

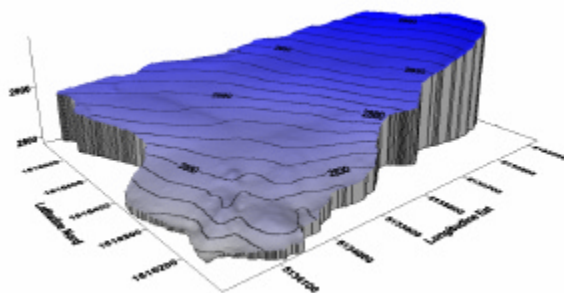


Figura 4 – Modello Digitale del Terreno (DTM) del Ghiacciaio della Sforzellina

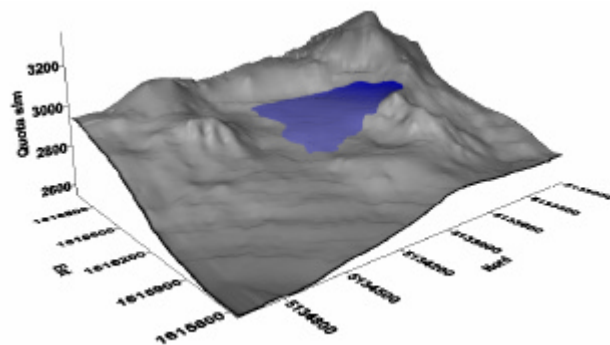


Figura 5 – DTM del circo glaciale del Pizzo dei Tre Signori ed ubicazione del Ghiacciaio della Sforzellina

Per meglio apprezzare l'entità della fusione occorsa nel periodo intercorso tra i due rilievi, e nel periodo che va dall'anno di redazione della Carta Tecnica della Regione Lombardia (1983) ad oggi, la carta CTR ed i due rilievi sono stati inquadrati nel medesimo sistema di riferimento e via software è stato possibile eseguire 7 sezioni campione lungo le quali analizzare l'andamento della superficie del ghiacciaio.

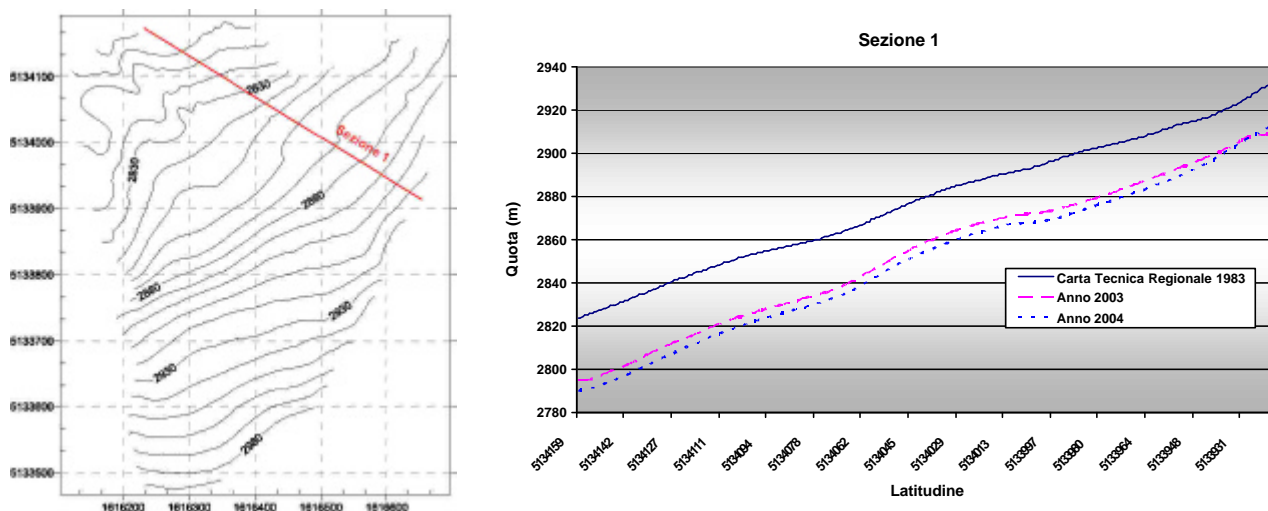


Figura 6 - Sezione numero 1. Ubicazione in carta della sezione ed analisi grafica della variazione del profilo negli anni 1983 (fonte dati Carta Tecnica Regionale Regione Lombardia) e negli anni 2003 e 2004.

E' interessante notare come nella parte più bassa dell'apparato glaciale (corrispondente al bacino di ablazione) nel giro di circa un ventennio siano andati persi circa 25 m di spessore di ghiaccio (figura 6). Il software di calcolo per la realizzazione dei modelli digitali del terreno utilizzato ha permesso anche la realizzazione di una nuova carta aggiornata della superficie del ghiacciaio. La nuova carta topografica così ottenuta verrà usata come riferimento per le prossime campagne di misura, e su di essa verranno riportate l'evoluzione della copertura detritica e morfologie di interesse per lo studio dell'evoluzione dell'apparato glaciale stesso.

## Conclusioni

L'utilizzo di apparecchiatura GPS si è dimostrato un valido ed affidabile strumento per le indagini glaciologiche di apparati di medio-piccole dimensioni. La tecnologia in tempo reale (RTK) adottata ha infatti permesso di raccogliere una grande quantità di informazioni in breve tempo inerenti le caratteristiche geometriche principali dell'apparato glaciale indagato. Non vanno tuttavia trascurate alcune procedure di pianificazione del rilievo che possono risultare cruciali per il buon esito della campagna, quali per esempio il planning delle misure. Infatti, lavorando in alta montagna ed in valli contornate da ripidi creste rocciose, il limite nell'applicazione di strumentazione GPS in RTK potrebbe nascere da una scarsa copertura di satelliti o da valori elevati di PDOP. Una buona pianificazione del rilievo è tuttavia sufficiente ad ovviare a questa tipologia di problematiche. I risultati ottenuti con per il bilancio di massa si sono inoltre dimostrati in accordo con i dati ottenuti con il metodo glaciologico classico delle paline ablatometriche. Il vantaggio dell'utilizzo di strumentazione GPS nasce dal fatto di poter disporre di una maggiore quantità di informazioni ottenibili in minor tempo e con grande accuratezza.



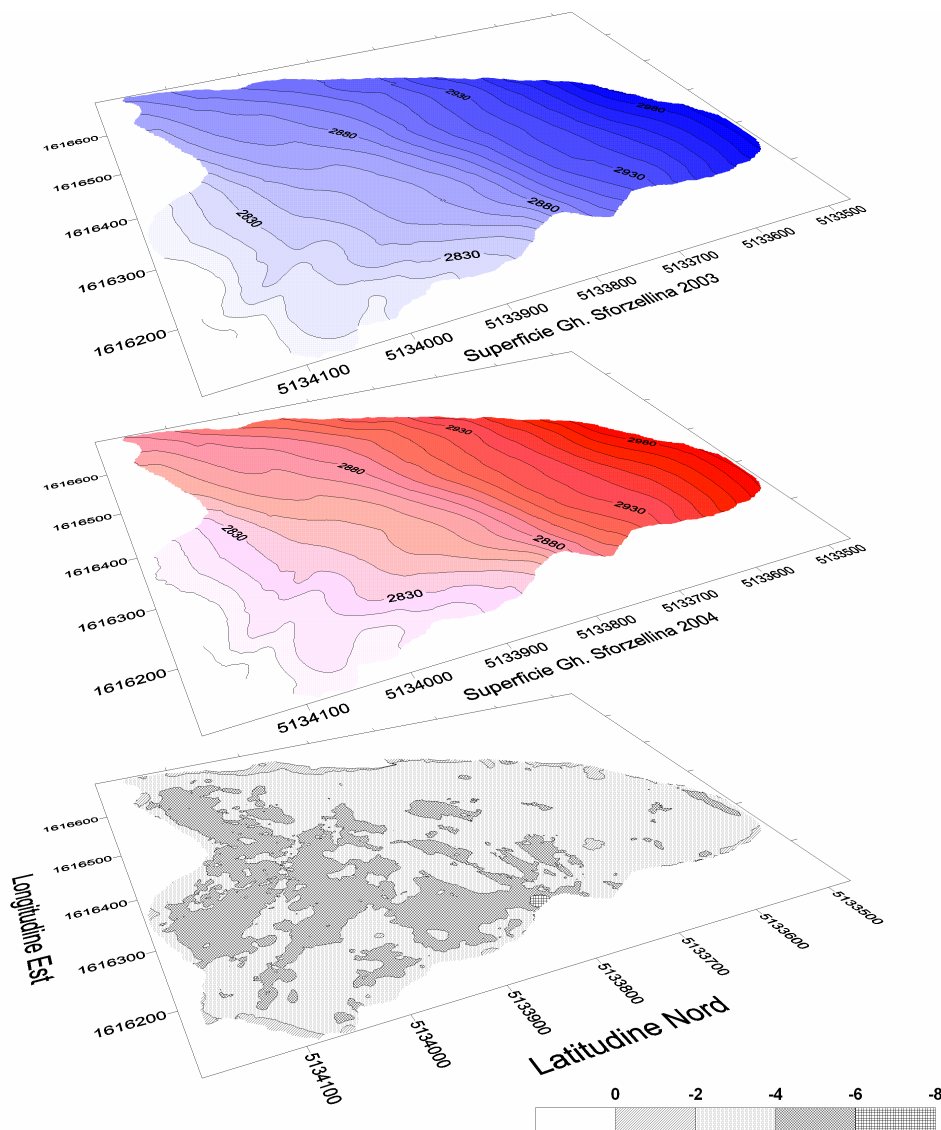


Figure 7 – Grafico delle isovriazioni del Ghiacciaio della Sforzellina nei due anni di indagine

#### Riferimenti bibliografici

- Barsanti M., Pelfini M., Smiraglia C. (1995), "Glacier mass balance: some results from Central Italian Alps". *Zeitschrift fur Gletscherkunde und Glaziologie*, 31, 149-157.
- Catasta G., Smiraglia C. (1988), "Primi risultati delle ricerche sul bilancio di massa al Ghiacciaio della Sforzellina (Gruppo del Cevedale, Alpi Centrali)", *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 11 (1), 25-30.
- Catasta G., Smiraglia C. (1993), "The mass balance of a cirque glacier in the Italian Alps (Ghiacciaio della Sforzellina, Ortles - Cevedale Group)". *Journal of Glaciology*, 131, 87-90.
- Barsanti M., Smiraglia C. (1994), "Alpin glaciers as indicators of climatic environmental fluctuations in progress. The example of the Ghiacciaio della Sforzellina". *Atti "Man and Mountains"-Primo Conv. Intern. Protezione e Sviluppo dell'Ambiente Montano, Ponte di Legno, 2022 giugno 1994*, Grafiche Galeati, Imola, 61-75.