

FRANCESCA MERLI (*), MAURO PAVAN (**), GIANCARLO ROSSI (***),
CLAUDIO SMIRAGLIA (****), ANDREA TAMBURINI (*****) & GIANLUIGI UBIALI (*****)

VARIAZIONI DI SPESSORE E DI VOLUME DELLA LINGUA DEL GHIACCIAIO DEI FORNI (ALPI CENTRALI, GRUPPO ORTLES-CEVEDALE) NEL XX SECOLO. RISULTATI E CONFRONTI DI METODOLOGIE

ABSTRACT: MERLI F., PAVAN M., ROSSI G.C., SMIRAGLIA C., TAMBURINI A. & UBIALI G., *Forni Glacier (Central Alps, Ortles-Cevedale Group): area and volume tongue variations during the 20th century. Methods and results.* (IT ISSN 0391-9838, 2001).

Area and volume variations of the Forni Glacier tongue during the 20th century were computed by comparing three different maps, surveyed in 1929, 1953 and 1998 respectively. Digital Elevation Models (DEM) relevant to the above mentioned epochs were carried out and compared in ARC/INFO environment. As no maps were available for 1998 glacial tongue surface, a proper topographic survey was carried out using carrier-phase DGPS technique. Area and volume variations occurred from 1929 to 1953 are -0.70 km^2 and about -70 million m^3 (-44 m w.e.) respectively, while the values for the following period are -0.45 km^2 and about $-15.5 \text{ million m}^3$ (-22 m w.e.) respectively. The results obtained applying the above mentioned method for the 1929-1953 period were compared with those analytically obtained by Abbadessa in 1955, giving a good fit.

KEY WORDS: Glacier variations, DGPS, Ghiacciaio dei Forni, Valtellina (Alps).

RIASSUNTO: MERLI F., PAVAN M., ROSSI G.C., SMIRAGLIA C., TAMBURINI A. & UBIALI G., *Variazioni di spessore e di volume della lingua del Ghiacciaio dei Forni (Alpi Centrali, Gruppo Ortles-Cevedale) nel XX secolo. Risultati e confronti di metodologie.* (IT ISSN 0391-9838, 2001).

Il Ghiacciaio dei Forni in alta Valtellina (Alpi Lombarde, Gruppo Ortles-Cevedale) costituisce il più vasto apparato vallivo delle Alpi Ita-

liane. Rilievi topografici del ghiacciaio vennero effettuati nel 1926, nel 1936 e nel 1953. Un primo confronto fra le carte topografiche venne realizzato da Abbadessa nel 1955, valutando le variazioni di spessore e di volume subite dalla lingua del ghiacciaio tra il 1929 ed il 1953. Questo lavoro è stato ripetuto con metodi informatici: il confronto ha richiesto la digitalizzazione delle carte del 1929 e del 1953 (quella del 1936 non è stata reperita) per renderne possibile la sovrapposizione tramite l'uso del programma ARC/INFO. Si sono quindi elaborati i DEM relativi alle variazioni di livello subite dal ghiacciaio dal 1929 al 1953 ed in base ad essi si sono valutate le variazioni areali, volumetriche e perimetrali. I valori così calcolati non si discostano sensibilmente da quelli ottenuti da Abbadessa. Risulta infatti una variazione areale di $-0,6924 \text{ km}^2$ contro i precedenti $-0,70 \text{ km}^2$, accompagnata una variazione volumetrica di $69.308.000 \text{ m}^3$ (corrispondente alla perdita di una lama d'acqua media dello spessore di 44 m) contro i precedenti $-69.889.000 \text{ m}^3$. Per quanto riguarda la seconda metà del XX secolo si è preferito ricavare le variazioni areali e volumetriche dal confronto fra la carta del 1953 e un DEM appositamente realizzato tramite rilievo con tecnica DGPS. I valori derivanti dal confronto indicano una perdita di volume pari a $15.567.538 \text{ m}^3$ (corrispondente alla perdita di una lama d'acqua media dello spessore di 22 m in equivalente in acqua) ed una riduzione areale di $0,4495 \text{ km}^2$, corrispondente al 60% dell'area del 1953.

TERMINI CHIAVE: Variazioni dei ghiacciai, DGPS, Ghiacciaio dei Forni, Valtellina.

INTRODUZIONE

Il Ghiacciaio dei Forni, ubicato in alta Valfurva, è l'apparato glaciale più esteso del gruppo Ortles-Cevedale e costituisce il più vasto ghiacciaio di tipo vallivo delle Alpi Italiane. Esposto a nord, ha una superficie totale di circa 12 km^2 , di cui $5,7 \text{ km}^2$ costituiscono la superficie di accumulo. Passando dalla quota massima di 3679 m a quella minima di 2450 m , presenta una lunghezza massima di 5000 m ed una larghezza media di 2580 m (SGL, 1992).

(*) Via Locatelli 2 - 24050 Zanica (BG).

(**) DIPTERIS, Università di Genova, viale Benedetto XV 5 - 16132 Genova.

(***) Via Montello, 80 - 30033 Noale (VE).

(****) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34 - 20133 Milano (claudio.smiraglia@unimi.it).

(***** Enel Hydro, via Pastrengo 9 - 24068 Seriate (BG).

Lavoro compiuto nell'ambito del cofinanziamento MURST 1999 «Ghiacciai alpini e variazioni ambientali» (Resp. Naz. prof. A. Biancotti, Resp. locale prof. A. Bini).

Il Ghiacciaio dei Forni è costituito da una lingua ben evidente formata dalla confluenza di tre ampi bacini di raccolta, costituiti da altrettanti circhi.

A partire dagli anni '20 del XX secolo, l'Ufficio Idrografico del Po (UIPO) intraprese una serie di studi sul Ghiacciaio dei Forni al fine di conoscerne l'entità delle riserve idriche rappresentate dal ghiacciaio e le loro variazioni. Inizialmente si studiò l'evoluzione dell'apparato glaciale mediante rilievi della fronte e profili trasversali compresi tra quota 2200 e 3200 m, in seguito si estese una rete trigonometrica da cui nel 1929 si elaborò la carta topografica relativa a tutta la superficie glaciale, in scala 1:5000 con curve di livello ogni 5 m. Nel 1936 e nel 1953 vennero eseguiti altri due rilievi topografici aventi le medesime caratteristiche del precedente, ma limitati alla sola lingua glaciale.

Nel 1955 Abbadessa eseguì un accurato confronto dei tre rilievi, ricavandone tre profili trasversali sovrapponibili. Dal confronto di questi emerse una perdita di spessore limitata nella zona più elevata della lingua e via via maggiore scendendo di quota, fino ad un massimo di 80 m a 2400 m. Successivamente lo stesso autore, utilizzando le tre carte a grande scala, calcolò mediante semplici algoritmi geometrici le variazioni volumetriche della lingua dei Forni e ricavò una riduzione volumetrica subita dal ghiacciaio nel periodo compreso tra il 1929 ed il 1953, pari a 69.889.000 m³.

VARIAZIONI DELLA LINGUA DEL GHIACCIAIO DEI FORNI NEL PERIODO 1929-1953

Il lavoro eseguito da Abbadessa (1955) è stato ripetuto con metodi informatici, mediante confronto tra DEM (*Digital Elevation Model*) relativi alla superficie del ghiacciaio nei due anni considerati.

Il lavoro è stato così organizzato:

- Digitalizzazione delle cartografie 1929 e 1953.
- Georeferenziazione ed inquadramento delle carte nel sistema di riferimento locale adottato per i rilievi del 1953.
- Elaborazione di modelli digitali di elevazione (DEM) per i due anni considerati e valutazione delle variazioni areali e di volume mediante confronto con strumenti informatici.

Quest'ultima operazione è stata eseguita in ambiente Arc-Info, a partire dai dati di quota relativi alla superficie del ghiacciaio nelle due anni considerati. I rispettivi DEM sono stati realizzati per mezzo delle funzioni CREATETIN e TINLATTICE di Arc-Info. La variazione di volume della lingua glaciale nel periodo considerato è stata calcolata applicando la funzione CUTFILL di Arc-Info ai DEM relativi alla superficie del ghiacciaio rispettivamente nel 1929 e nel 1953.

L'area di calcolo è stata fatta corrispondere alla massima estensione raggiunta dalla lingua glaciale nei due periodi presi in esame (1929-1953), prendendo come limite

superiore il profilo che unisce i punti 12-13 dei rilievi di Abbadessa (1955).

I valori così ottenuti sono riportati nella tab.1, dove sono stati confrontati con quelli ottenuti precedentemente da Abbadessa (1955).

TABELLA 1 - Confronto dei risultati di Abbadessa (1955) con quelli del presente lavoro

TABLE 1 - Comparison between the Abbadessa (1955) results and this paper

| | Metodo di Abbadessa | Metodo informatico | Differenza tra i due metodi | Variazione % |
|------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------|
| Riduzione volume | 69.889.000 m ³ | 69.353.000 m ³ | 536.000 m ³ | 0.76 |
| Superficie 1929 | 1.44 km ² | 1.4315 km ² | 0.0085 km ² | 0.59 |
| Superficie 1953 | 0.74 km ² | 0.7391 km ² | 0.0009 km ² | 0.12 |

Le differenze che emergono dalla tabella sono minime e sono probabilmente imputabili alle diverse metodologie di lavoro utilizzate. In fig. 1 viene rappresentata con colori diversi la distribuzione areale delle variazioni di spessore (ablazione o accumulo) fra il 1929 ed il 1953.

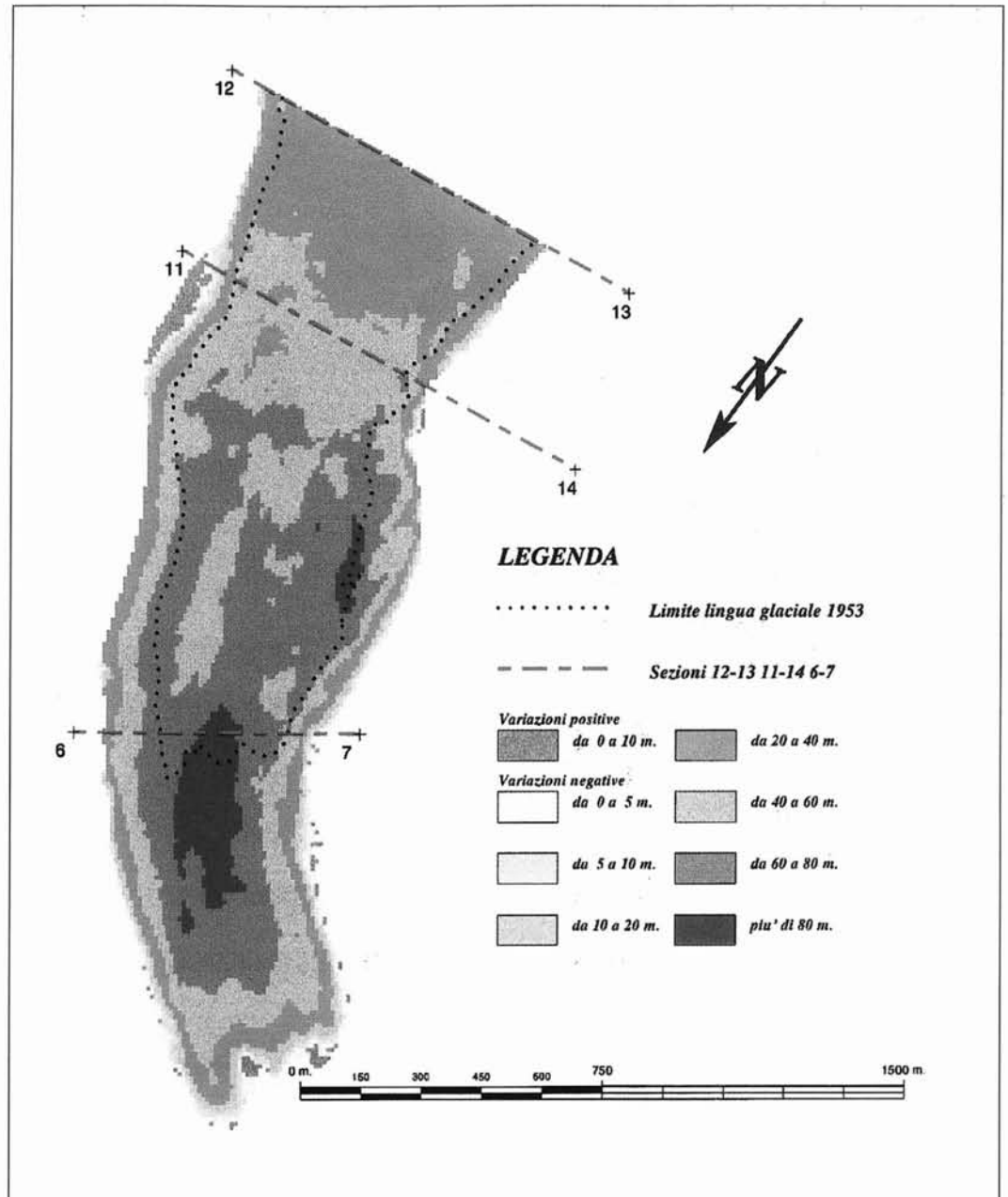
Si può osservare come le aree con variazione di segno positivo siano distribuite unicamente ai margini della lingua del ghiacciaio del 1929, in piccoli lembi sia sulla destra idrografica, sia nella zona frontale, probabilmente dovute all'accumulo di materiale morenico.

Nella restante area del ghiacciaio presa in considerazione le variazioni di quota sono tutte negative ed i valori aumentano progressivamente sia passando dalla periferia al centro del ghiacciaio, sia nella zona che risulta scoperta dal ghiaccio nel 1953, sia in quella dove il ghiacciaio è ancora presente. In particolare vi è una zona centrale, corrispondente a quella dove si trova oggi il salto roccioso, in cui è stato misurato un abbassamento superiore a 80 m. Fasce longitudinali di minore riduzione possono corrispondere alle classiche morene mediane ben evidenti sulla superficie del ghiacciaio in entrambi i rilievi cartografici. In sintesi il bilancio di massa della lingua glaciale dei Forni fra il 1929 ed il 1953 è risultato nettamente negativo con una perdita annua di circa 1800 mm in equivalente in acqua.

VARIAZIONI DELLA LINGUA DEL GHIACCIAIO DEI FORNI NEL PERIODO 1953-1998

Nella seconda metà del XX secolo il Ghiacciaio dei Forni ha subito notevoli variazioni sia di volume che di superficie. La stima di tali variazioni è stata eseguita con la stessa metodologia adottata per il periodo precedente, ed ha richiesto l'esecuzione di un apposito rilievo topografico della superficie del ghiacciaio e del settore di fondovalle compreso tra i limiti della lingua glaciale nel 1953

FIG. 1 - Ghiacciaio dei Forni: variazioni di spessore della lingua dal 1929 al 1953.

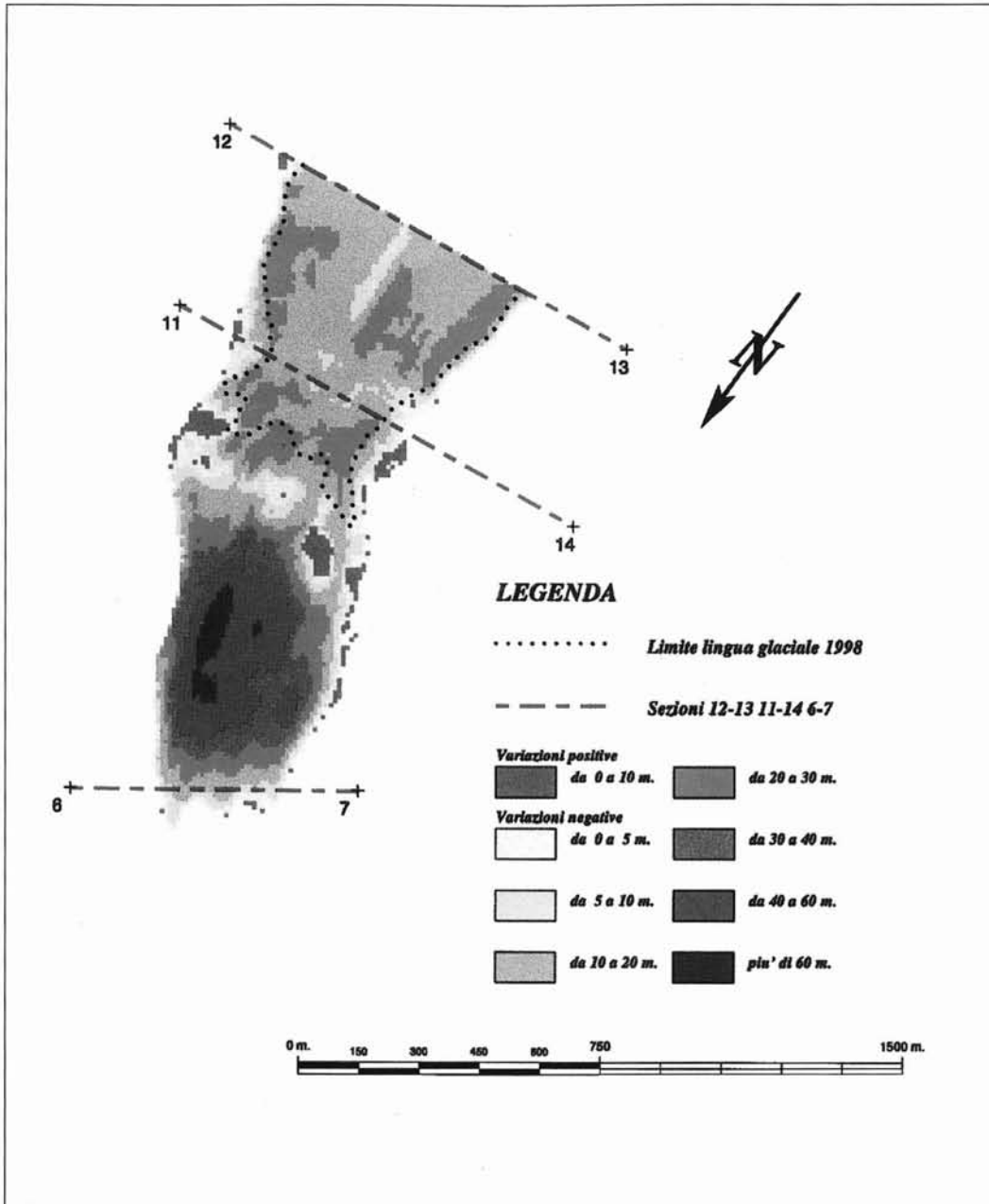


e nel 1998, non essendo disponibili rilievi recenti dell'area oggetto di studio. Il rilievo è stato eseguito con tecnica GPS differenziale (DGPS), nella versione interferenziale, che ha consentito di ottenere precisioni adeguate allo scopo del rilievo. Per poter inquadrare il rilievo nel sistema di riferimento locale adottato nei rilievi precedenti, è stata determinata, sempre con tecnica GPS, la posizione di alcuni capisaldi di appoggio riconoscibili sul terreno tra quelli riportati sulle carte precedenti. Il rilievo della lingua glaciale e del fondovalle è stato eseguito utilizzando contemporaneamente tre ricevitori GPS, due trasportati a spalle da altrettanti operatori, il terzo installato in corri-

spondenza di uno dei punti di appoggio precedentemente individuati, rispetto al quale sono state determinate le coordinate planoaltimetriche dei punti costituenti la traiettoria seguita dall'operatore, campionata con cadenza temporale prefissata (5 secondi). La campagna di misura è stata eseguita nel mese di luglio 1998.

I dati del rilievo sono stati integrati con dati desunti dalla Carta Tecnica Regionale nei settori che non hanno subito variazioni tra il 1983 ed il 1998, al fine di poter disporre di un sufficiente numero di informazioni, adeguatamente distribuite nell'area di studio, per la realizzazione del DEM relativo alla superficie attuale del ghiacciaio.

FIG. 2 - Ghiacciaio dei Forni: variazioni di spessore della lingua dal 1953 al 1998.

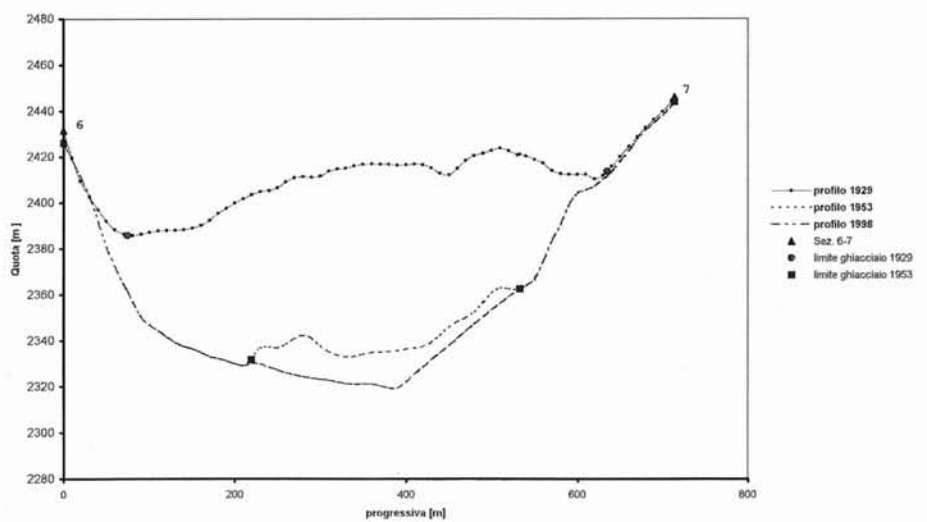
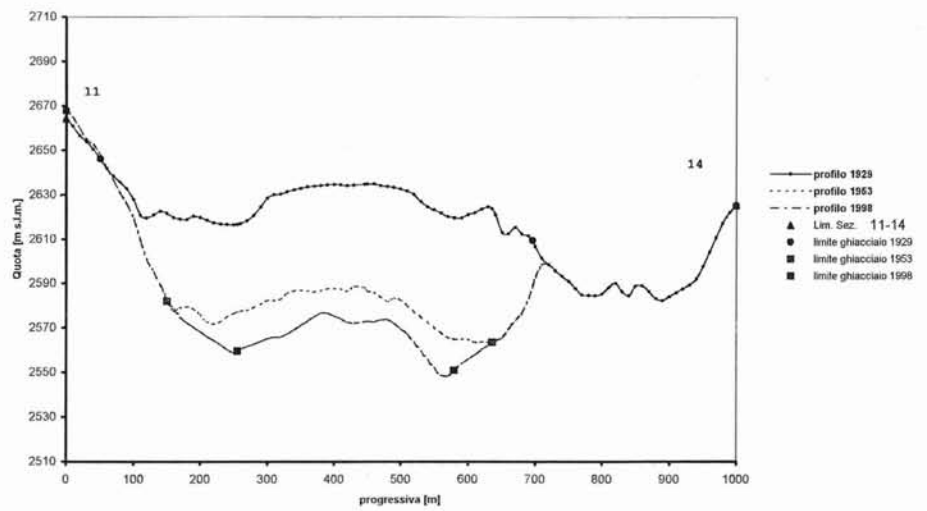
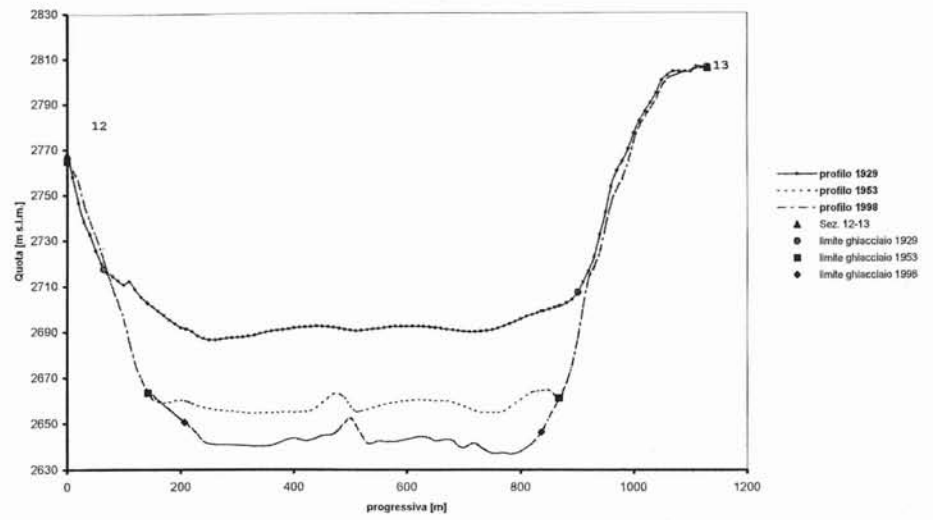


Il confronto tra i DEM relativi ai due anni considerati, eseguito secondo la metodologia esposta nel paragrafo precedente, ha consentito di valutare la variazione di superficie, di spessore e di volume della lingua glaciale. La distribuzione areale delle variazioni di spessore è rappresentata in fig. 2.

A completamento del lavoro sono stati tracciati tre profili trasversali, corrispondenti a quelli eseguiti precedentemente da Abbadessa (1955), i cui estremi sono individuati dai punti 6-7, 11-14 e 12-13. In fig. 3 vengono riportati i grafici di confronto.

Come si può osservare nella figura 3, in corrispondenza della sezione 6-7 il ghiacciaio è attualmente scomparso, facendo emergere il substrato sottostante il cui profilo appare asimmetrico. Il versante occidentale è infatti più acclive di quello orientale, ma è comunque ben evidente il profilo a U tipico delle valli modellate dall'erosione glaciale. Si osservi che anche il profilo trasversale del ghiacciaio nel 1929 è nettamente asimmetrico con un versante orientale più lungo e meno inclinato di quello occidentale. Ben evidente la differenza morfologica fra i profili 1929 e 1953; il primo si presenta infatti prevalentemente conves-

FIG. 3 - Ghiacciaio dei Forni: sezioni trasversali della lingua. Dall'alto in basso: sezione 12-13, sezione 11-14, sezione 6-7.



so e regolare, mentre il secondo appare depresso e concavo ed è reso irregolare dalle elevate morene mediane. La variazione di spessore è di circa 80 m fra il 1929 ed il 1953 e di ulteriori 20 m fino al 1998.

Per quanto riguarda la sezione 11-14 si può notare che il ghiacciaio è oggi ancora presente, ma, rispetto al 1953, risulta ristretto lateralmente di circa 100 m; inoltre presenta una morfologia spiccatamente convessa dovuta alla maggiore intensità d'ablazione che ha caratterizzato la zona periferica del ghiacciaio stesso, dove affiorano vaste superfici di rocce montonate, e all'incremento dell'altezza delle morene mediane. L'abbassamento della superficie è valutabile in circa 50 m fra il 1929 ed il 1953 e di altri 20 m dal 1953 al 1998.

In corrispondenza della sezione 12-13, infine, la superficie glaciale si è abbassata di una quarantina di metri dal 1929 al 1953 e di altri 20 fino al 1998. La morfologia si è mantenuta pressoché inalterata, anche se la regolarità della superficie del 1929 viene interrotta da una imponente morena mediana che fra il 1953 ed il 1998 si sposta di circa 12 m verso ovest.

La variazione volumetrica è stata stimata di 15.619.271 m³ dei quali 15.567.538 m³ rappresentano il termine negativo e quindi il volume di ablazione.

Come si può osservare in fig. 3, nella seconda metà del secolo il Ghiacciaio dei Forni ha subito nella zona della lingua una notevole riduzione areale. È infatti passato dai 739.406 m² del 1953 ai soli 289.920 m², perdendo circa il 61% dell'area che occupava nel 1953. La perdita di superficie ha interessato essenzialmente la zona più bassa della lingua tanto che la fronte del ghiacciaio è passata da quota 2420 m a quota 2480 m. Non è mancata la riduzione laterale che è stata particolarmente accentuata in prossimità della sezione 11-14. La perdita più consistente di spessore di ghiaccio si osserva nel settore inferiore della lingua, compreso tra la quota minima della fronte del ghiacciaio nel 1953 (2420 m) e quella attuale che si attesta intorno ai 2480 m, dove si superano i 60 m di riduzione. Questa è invece molto ridotta appena al di sotto della fronte attuale, dove è emerso un ripido gradino di rocce montonate; si trattava evidentemente di una zona a flusso distensivo, dove lo spessore del ghiaccio era limitato. Anche nell'area dove è tuttora presente il ghiacciaio l'abbassamento di quota è stato modesto; la classe negativa più rappresentata è infatti quella dai -10 m ai -20 m e comunque non sono state rilevate variazioni superiori ai -30 m. La riduzione massima si ha lungo il margine del ghiacciaio, probabilmente per maggiore influenza del reirraggiamento provocato dalle pareti rocciose laterali, che ha reso la morfologia superficiale del ghiacciaio più convessa. Le aree a variazione positiva sono molto limitate e corrispondono ad accumuli morenici ben evidenti, ad esempio nella zona poco a valle della fronte attuale alla base del gradino roccioso sopra citato. Nella tab. 2 sono sintetizzati i valori delle variazioni di superficie e di volume subite dalla lingua del Ghiacciaio dei Forni nei due periodi considerati (1929-1953 e 1953-1998).

TABELLA 2 - Variazioni della lingua Ghiacciaio dei Forni avvenute nel periodo 1929-1953 e 1953-1998

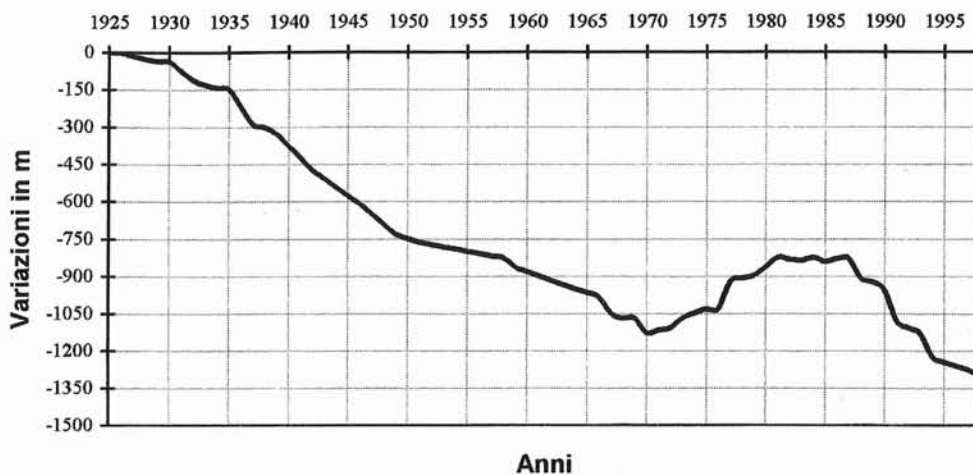
TABLE 2: Variations of the Forni Glacier tongue (1929-1953 and 1953-1998)

| | periodo 1929-1953 | periodo 1953-1998 |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Volume d'ablazione | 69.308.000 m ³ di ghiaccio | 15.567.538 m ³ di ghiaccio |
| Equivalente in acqua | 62.377.200 m ³ | 14.010.784 m ³ |
| Bilancio netto specifico totale | -44.182 mm w.e. | -21.800 mm w.e. |
| Bilancio netto specifico medio annuale | -1.841 mm w.e. | -484 mm w.e. |
| Perdita areale | 692.400 m ² | 449.486 m ² |
| Perdita % della superficie | 50% | 61% |

Come appare dalla tabella la perdita di volume relativa al periodo 1929-1953 è stata decisamente più elevata rispetto al periodo successivo.

Questa diversità del volume d'ablazione, e quindi del bilancio netto totale, potrebbe essere in parte legata alla notevole differenza di superficie considerata fra il primo ed il secondo periodo (1,4 km² nel 1929 e 0,73 km² nel 1953) per cui nel periodo 1929-1953 l'ablazione è stata stimata su una maggiore estensione superficiale. Il bilancio netto specifico (il rapporto cioè fra il volume di ablazione e la superficie interessata) conferma tuttavia che nel secondo periodo si è realmente verificata una riduzione nell'entità dell'ablazione media annua. La causa di questo particolare andamento dell'ablazione, che ha visto una maggiore perdita media annua di spessore del ghiacciaio durante il primo periodo considerato, è probabilmente da ricercarsi nell'evoluzione dei parametri climatici durante il XX secolo. In particolare si è constatato che le temperature medie mensili dei mesi estivi (da maggio a settembre) sono state nettamente più elevate nella prima metà del secolo che non nella seconda (almeno fino all'inizio degli Anni Novanta). Se si prendono in considerazione, ad esempio, gli scarti termici delle temperature medie estive decennali rispetto alla media 1915-1993 registrate a Sondrio (media Valtellina), si osserva la contrapposizione fra una fase molto calda dal 1925 al 1954 (con scarti positivi delle medie decennali che superano 1 °C) ed una fase più fresca fra il 1955 ed il 1984 (con scarti negativi di oltre 0,5 °C). Tale andamento ampiamente noto e descritto nella letteratura climatologica (Pinna, 1991 e 1996), ha provocato dapprima una serie di bilanci di massa nettamente negativi con un'intensa fase di riduzione delle masse glaciali e successivamente una breve fase di espansione in seguito a bilanci positivi (Patzelt, 1985; Wood, 1988; Zanon, 1991) registrata a livello globale (Grove, 1988). Alla fine degli Anni Ottan-

FIG. 4 - Ghiacciaio dei Forni: variazioni frontali cumulate dal 1925 al 1998.



ta del XX secolo la fase di espansione poteva considerarsi conclusa ed iniziava una nuova fase di regresso con ritmi talora più accelerati rispetto alla prima metà del XX secolo. Anche il Ghiacciaio dei Forni ha seguito l'evoluzione sopra descritta ed al culmine della fase di espansione ha portato la propria lingua 400 m più a valle rispetto alla posizione del 1953 (Pelfini & Smiraglia, 1992) (fig. 4).

Sicuramente questa fase di avanzata della lingua è stata provocata da un incremento dell'accumulo nei bacini collettori che ha portato ad un aumento dello spessore del ghiacciaio e ad una serie di bilanci di massa positivi. Le variazioni di spessore e volumetriche 1953-1998 hanno quindi inglobato questo evento, facendo registrare per il periodo considerato un bilancio netto medio annuo meno negativo rispetto al periodo precedente. A partire dall'inizio degli anni '90 gli scarti delle temperature estive sono tornati ad essere positivi, i bilanci di massa della lingua sono divenuti ampiamente negativi (Casartelli & alii, 1994) e il ghiacciaio ha ricominciato ad arretrare riportandosi sopra il salto roccioso.

La riduzione volumetrica della lingua del ghiacciaio verificatasi dopo la conclusione della fase fresca è ingente, tanto che si può ipotizzare che una notevole parte dei 15.567.538 m³ di ghiaccio, calcolati tramite il confronto tra i DEM del 1953 e del 1998, sia stata persa negli ultimi dieci anni.

CONCLUSIONI

Il confronto basato su carte a grande scala della lingua del Ghiacciaio dei Forni fra il 1929-1953 ed il 1953-1998 ha messo in evidenza che nella totalità del periodo considerato si è avuta una perdita notevole di superficie (da 1,43 km² a 0,29 km²), di spessore (65 m di acqua equivalente) e di volume (oltre 76 milioni di m³ di equivalente in

acqua). È emersa tuttavia una notevole differenza fra il primo ed il secondo periodo che hanno visto rispettivamente un bilancio specifico netto medio annuo di -1841 mm e -484 mm di equivalente in acqua.

Sulla notevole differenza di ablazione tra i due periodi, in particolare per quanto riguarda il bilancio medio meno negativo 1953-1998, può avere influito la fase di espansione del ghiacciaio verificatasi tra il 1971 ed il 1987, che ha sicuramente comportato anche una serie di bilanci di massa positivi ed un incremento dello spessore del ghiacciaio; questo in relazione alla breve «fase fredda posteriore agli anni '50».

In ogni caso la dinamica della lingua dei Forni nel secolo XX, e in particolare la differenza dei suoi bilanci di massa fra la prima e la seconda metà del XX secolo, trova riscontri nel risultato di altri lavori, ad esempio Rota & alii (2001), che hanno preso in considerazione la lingua del Ghiacciaio del Lys, in Valle d'Aosta. Anche le ricostruzioni dei bilanci di massa basate sulle correlazioni con i parametri climatici hanno spesso messo in evidenza come i valori più negativi si collocassero contemporaneamente a quelli dei Forni fra la fine degli Anni Venti e l'inizio degli Anni Cinquanta per il Ghiacciaio del Rodano, in Chen & Funk, 1990, e per l'Hintereisferner in Greuell, 1992. Infine, per quanto riguarda le metodologie impiegate per la raccolta e l'elaborazione dei dati si possono formulare alcune considerazioni:

- Gli strumenti informatici utilizzati si sono rivelati altamente efficaci, sia in termini operativi che in termini di accuratezza dei risultati, come dimostrato dall'ottima corrispondenza con il risultato dei calcoli eseguiti con tecniche tradizionali (Abbadessa, 1955).
- La tecnica GPS si è rivelata molto valida, consentendo di completare in modo rapido ed economico (due giornate complessive di lavoro) il rilievo dell'intera area di studio e di ottenere precisioni senz'altro adeguate allo scopo del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- ABBADESSA F. (1955) - *Rilievi e indagini sul Ghiacciaio dei Forni*. Boll. Comit. Glac. It., ser. II, 6, 101-128.
- CASARTELLI G., KAPPENBERGER G. & SMIRAGLIA C. (1994) - *Accumulo e ablazione sui ghiacciai delle Alpi Lombarde. Risultati di alcuni recenti bilanci di massa*. Riv. Geogr. It., 103, 1-30.
- CHEN J. & FUNK M. (1990) - *Mass balance of Rhonegletscher during 1882/83-1986/87*, Journ. Glaciol., 36, 123, 199-209.
- GREUILL W. (1992) - *Hintereisferner, Austria: mass - balance reconstruction and numerical modelling of the historical length variations*. Journ. Glaciol., 38, 129, 233-244.
- GROVE J.M. (1988) - *The Little Ice Age*. Routledge, London.
- PINNA M. (1991) - *Le variazioni recenti del clima (1800-1990) e le prospettive per il XXI secolo*. Mem. Soc. Geogr. It., 46, 9-68.
- PINNA M. (1996) - *Le variazioni del clima*. Angeli, Milano.
- PATZELT G. (1985) - *The period of glacier advances in the Alps*. Zeit. Gletscherk. Glazialgeol., 21, 403-407.
- PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1992) - *Alcune serie secolari di variazioni frontali dei ghiacciai delle Alpi Lombarde*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 143-147.
- ROTA T., BONACINA E., DE LOTTO P., ROSSI G.C. & SMIRAGLIA C. (2001) - *Variazioni volumetriche della lingua di ablazione del Ghiacciaio del Lys (Monte Rosa, Valle d'Aosta) nel XX secolo*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5 (in stampa).
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO (1992) - *Ghiacciai in Lombardia*, Bolis, Bergamo, 368 pp.
- WOOD F.B. (1988) - *Global alpine glacier trend, 1960s to 1980s*. Arctic Alp. Res., 20, 404-413.
- ZANON G. (1991) - *Vent'anni di progresso dei ghiacciai: 1965-1985*. Mem. Soc. Geogr. It., 46, 153-166.