

MARCO BARSANTI (\*), GIACOMO CASARTELLI(\*\*), MAURO GUGLIELMIN (\*\*\*),  
MANUELA PELFINI (\*\*\*\*), CLAUDIO SMIRAGLIA (\*\*\*\*\*)& GIUSEPPE STELLA (\*\*\*\*\*)

## NOVE ANNI DI BILANCIO NEGATIVO AL GHIACCIAIO DELLA SFORZELLINA (ALPI LOMBARDE). RAPPORTI CON IL CLIMA E IPOTESI DI ESTINZIONE

ABSTRACT: BARSANTI M., CASARTELLI G., GUGLIELMIN M., PELFINI M., SMIRAGLIA C. & STELLA G., *Nine years of negative balance at the Ghiacciaio della Sforzellina (Alps of Lombardy, Italy). Relationships with climate and extinction hypothesis.* (IT ISSN 0391-9838, 1995).

The Ghiacciaio della Sforzellina is a small cirque glacier in the Ortles-Cevedale Group (Alps of Lombardy, Italy). Starting from the hydrological year 1986-87, the mass balance was performed; the results were always negative till 1994-95. Total loss was about 7,33 m w.e., corresponding to about  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  w.e. By correlations between mass balances and climatic parameters, it was calculated that the Ghiacciaio della Sforzellina has lost from 1970 to 1986 between 13 and 18 m of water equivalent (i.e. between  $5.3$  and  $7.6 \times 10^6 \text{ m}^3$  w.e.). By means of vertical electric soundings the thickness of the glacier and its residual storage (about  $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) was calculated. If the climatic conditions will not change in a short time, the survival time of the glacier could be evaluated at about thirty years.

KEY WORDS: Glaciology, Climatic fluctuations, Alps of Lombardy (Italy).

RIASSUNTO: BARSANTI M., CASARTELLI G., GUGLIELMIN M., PELFINI M., SMIRAGLIA C. & STELLA G., *Nove anni di bilancio negativo al Ghiacciaio della Sforzellina (Alpi Lombarde). Rapporti con il clima e ipotesi di estinzione.* (IT ISSN 0391-9838, 1995).

Il Ghiacciaio della Sforzellina è un piccolo apparato di circo nel Gruppo Ortles-Cevedale (Alpi Lombarde). Dall'anno idrologico 1986-87

si è realizzato annualmente il bilancio di massa, che fino al 1994-95 è risultato costantemente negativo. La perdita complessiva è stata di 7,33 m w.e., corrispondenti a poco più di  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  w.e. Attraverso correlazioni fra bilanci di massa e parametri climatici si è valutato che dal 1970 al 1986 la Sforzellina avrebbe perso un equivalente in acqua compreso fra 13 e 18 m, corrispondenti a  $5,3$  e  $7,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Con sondaggi elettrici verticali si è valutato lo spessore del ghiacciaio e la riserva idrica corrispondente, che ammonta a circa  $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Se la situazione climatica non subirà variazioni in tempi brevi, il tempo di sopravvivenza del ghiacciaio può essere stimato in un trentennio.

TERMINI CHIAVE: Glaciologia, Bilancio di massa, Fluttuazioni climatiche, Alpi Lombarde.

### INTRODUZIONE

Il Ghiacciaio della Sforzellina è situato nell'alta Valtellina (Valfurva), nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale (fig. 1). È un piccolo apparato di circo ( $0,42 \text{ km}^2$  di area), sul quale da un decennio sono in corso, attraverso convenzioni con l'Azienda Energetica Municipale di Milano, rilievi volti a determinare i principali parametri geometrici e dinamici. Recentemente si sono approfondite due tematiche: 1) relazioni fra dinamica glaciale e parametri climatici; 2) entità delle riserve idriche rappresentate dal ghiacciaio e loro variazioni. Si sono quindi compiute misurazioni della velocità superficiale e del bilancio di massa annuo attraverso i tradizionali metodi di terreno e si sono effettuati rilievi geofisici per determinare lo spessore. Parte dei dati sono stati già presentati in precedenti pubblicazioni (ad esempio, CATASTA & SMIRAGLIA, 1993; BARSANTI & SMIRAGLIA, 1994; GUGLIELMIN & alii, 1995; BARSANTI & alii, 1995). In questa nota viene presentata una sintesi dei risultati ottenuti insieme ai dati più recenti.

### BILANCIO DI MASSA 1987-1995 E RELAZIONI CON IL CLIMA

Dall'anno idrologico 1986-87 con le tradizionali metodologie di terreno (misura diretta di accumulo e ablazione presso una ventina di paline infisse sulla superficie del ghiacciaio) si è

(\*) AEM-Milano, Dipartimento Energia e Ambiente.

(\*\*) Comitato Scientifico Lombardo del Club Alpino Italiano.

(\*\*\*) Servizio Geologico Regione Lombardia.

(\*\*\*\*) Università di Milano, Dipartimento Scienze dell'Ambiente e del Territorio.

(\*\*\*\*\*) Università di Milano, Dipartimento Scienze della Terra.

(\*\*\*\*\*\*) ENEL-Milano, Centro Ricerca Ambiente e Materiali.

Comunicazione presentata al Convegno «Cento anni di ricerca glaciologica in Italia», Torino, 19-20 Ottobre 1995 (Communication presented at the Meeting «100 years of glaciological research in Italy», Turin, 19-20 October 1995).

Il lavoro qui presentato fa parte di una ricerca sulle riserve idriche glaciali dell'alta Valtellina, realizzata attraverso una convenzione fra il Comitato Glaciologico Italiano e l'AEM di Milano, coordinata dal prof. C. SMIRAGLIA. Gli autori ringraziano il Parco Nazionale dello Stelvio, il Centro Nivometeorologico della Regione Lombardia di Bormio e il Comitato Scientifico del Club Alpino Italiano per l'insostituibile supporto logistico e tutti gli operatori del Comitato Glaciologico Italiano e del Comitato Scientifico del CAI che hanno collaborato al lavoro di terreno.

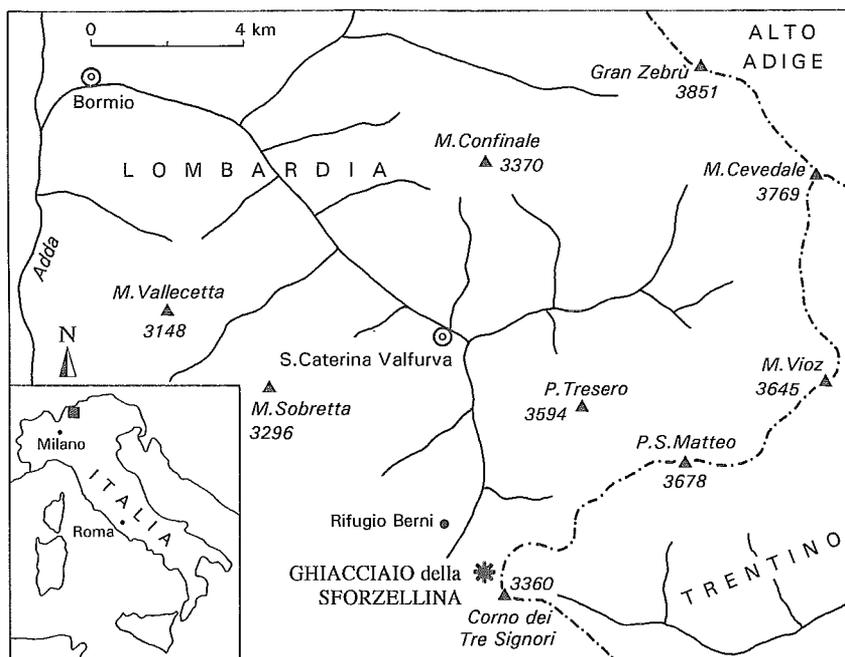


FIG. 1 - La localizzazione del Ghiacciaio della Sforzellina.

FIG. 1 - The location of the Ghiacciaio della Sforzellina.

TABELLA 1 - Ghiacciaio della Sforzellina. Bilancio netto specifico e totale dal 1986/87 al 1994/95

TABLE 1 - Ghiacciaio della Sforzellina. Specific and total net balance from 1986/87 to 1994/95

Quota m s.l.m.	Superficie km <sup>2</sup>	bilancio netto 1986/87		bilancio netto 1987/88		bilancio netto 1988/89		bilancio netto 1989/90		bilancio netto 1990/91	
		mm	m <sup>3</sup> w.e.								
2780-2800	0,0030	-2420	- 7250	-1700	- 5100	-1400	- 4200	-1900	- 5700	-1400	- 4200
2800-2850	0,0640	-1980	-126500	-1960	-125440	-1320	- 84480	-2210	-141440	-1950	-124800
2850-2900	0,1160	-1540	-178260	-1310	-151960	-1240	-143840	-1720	-199520	-1730	-200680
2900-2950	0,1290	- 460	- 59945	- 830	-107070	- 440	- 56760	- 860	-110940	-1270	-163830
2950-3000	0,0720	- 110	- 8100	- 150	- 10800	+ 470	+ 33840	- 310	- 22320	- 190	- 13680
3000-3050	0,0250	- 60	- 1600	- 90	- 2250	+ 450	+ 11250	- 120	- 3000	+ 120	+ 3000
3050-3100	0,0070	- 250	- 1750	- 300	- 2100	+ 330	+ 2310	- 400	- 2800	- 380	- 2660
3100-3150	0,0030	- 250	- 750	- 320	- 960	+ 340	+ 1020	- 380	- 1140	- 420	- 1260
2780-3150	0,4190	- 920	-384155	- 970	-405680	- 570	-240860	-1160	-486860	-1210	-508110

Quota m s.l.m.	Superficie km <sup>2</sup>	bilancio netto 1991/92		bilancio netto 1992/93		bilancio netto 1993/94		bilancio netto 1994/95	
		mm	m <sup>3</sup> w.e.						
2780-2800	0,0030	-1120	- 3360						
2800-2850	0,0640	-1780	-113920	-1167	- 74725	-1300	- 83200	-1163	- 69250
2850-2900	0,1160	-1210	-140360	- 699	- 81150	-1150	-133400	- 963	- 97500
2900-2950	0,1290	- 480	- 61920	- 242	- 31300	- 600	- 77400	- 809	- 97125
2950-3000	0,0720	+ 90	+ 6480	+ 677	+ 48727	+ 600	+ 43200	- 203	- 13437
3000-3050	0,0250	- 230	- 5750	+ 750	+ 18750	+ 700	+ 17500	+ 169	+ 4062
3050-3100	0,0070	- 360	- 2520	- 36	- 250	- 42	- 300	- 250	- 1875
3100-3150	0,0030	- 320	- 960						
2780-3150	0,4190	- 770	-322310	- 286	-119950	- 712	-294300	- 728	-275125

determinato il bilancio di massa della Sforzellina. Per la maggior parte degli anni, tenendo conto delle difficoltà di accesso tardoprimaverile al ghiacciaio, ci si è limitati alla valutazione del bilancio netto. Si dispone così di una serie di bilanci di nove anni (1987-1995), che sono risultati costantemente negativi.

Come appare dalla tab. 1, dove sono presentati i valori di bilancio netto specifico e totale, nel periodo indicato il Ghiacciaio della Sforzellina ha perso continuamente massa per un totale di 7 330 mm di equivalente in acqua, corrispondenti a 3 037 350 m<sup>3</sup>; la perdita media annua è stata pari a una lama d'acqua di 810 mm, corrispondenti a 337 483 m<sup>3</sup>. La variabilità annua è notevole, come è indicato anche dagli scarti quadratici medi ( $\sigma$ ), rispettivamente di 289 mm e 122 931 m<sup>3</sup>.

I valori del bilancio netto specifico distribuiti per fasce altimetriche sono presentati nella parte superiore della fig. 2 (A), mentre nella parte inferiore (B) gli stessi valori sono indicati attraverso istogrammi anche cumulati. Dall'osservazione del grafico (A) possono emergere alcune considerazioni. Si osservi innanzitutto come per gli ultimi due anni si sia verificata una riduzione areale e quindi anche altimetrica del ghiacciaio; come già evidenziato dalla tab. 1, non appaiono infatti né la fascia altimetrica inferiore (2 780-2 800), né quella superiore (3 100-3 150). Nel primo caso si tratta del settore inferiore della fronte che ha subito un arretramento sensibile, nel secondo del ripido canale che costituiva la parte più elevata del ghiacciaio e che ha perso quasi completamente la copertura di ghiaccio e nevato. Si osserva inoltre come, pur nella variabilità quantitativa dell'accumulo e dell'ablazione, l'andamento delle curve sia abbastanza simile. Si ha infatti una diminuzione piuttosto regolare dell'ablazione in funzione dell'altitudine fino a raggiungere la linea di equilibrio; al di sopra di questa l'accumulo tende a crescere fino a 3 050 m, per poi diminuire. Negli anni per i quali l'accumulo è stato praticamente nullo (1987, 1988, 1990) e la linea di equilibrio inesistente (le curve restano a sinistra dello 0 e quindi la linea di equilibrio è determinabile solo per estrapolazione), si osserva che l'ablazione diminuisce fino a 3 050 m, per poi aumentare.

La somiglianza delle curve del bilancio netto specifico, soprattutto per quanto riguarda l'inclinazione del settore centrale, è dimostrata anche dal calcolo del «gradiente di ablazione» che viene espresso in mm di acqua persa dal ghiacciaio per m di altezza (ANDREWS, 1975; ØSTREM & BRUGMAN, 1991) e che per la Sforzellina varia in misura relativamente limitata. Si passa infatti da un minimo di 6,6 mm/m per il 1995 a un massimo di 10,4 mm/m per il 1994; negli altri anni i valori oscillano fra 8,0 e 9,7 mm/m.

Le maggiori irregolarità delle curve si osservano nel loro settore inferiore, dove a partire dal 1988 la stretta fascia compresa fra 2 780 e 2 800 m fa registrare un'ablazione minore rispetto alla fascia altimetrica posta immediatamente a monte (2 800-2 850 m). In questo caso il bilancio è stato influenzato dall'ampliarsi della copertura morenica che caratterizza la parte più bassa del ghiacciaio e che ha ridotto l'ablazione. Un altro elemento geomorfologico che ha determinato il ridotto accumulo o addirittura

l'ablazione nel settore più alto del ghiacciaio, al di sopra di 3 050 m è la presenza di un ripido canale sul quale la neve non ha avuto possibilità di accumularsi a lungo e di trasformarsi, come è indicato dalle irregolarità delle curve al di sopra di quella quota.

Dal grafico è anche possibile ricavare la quota della linea di equilibrio che, come è noto, sui ghiacciai temperati coincide all'incirca con il limite delle nevi. Tenendo conto del punto di intersezione dell'asse 0, la linea di equilibrio, il luogo cioè dove il bilancio netto annuale è 0, si colloca fra un minimo di 2 965 m per il 1992 e un massimo di 3 030 m per il 1991. Come già osservato precedentemente, in alcuni anni il ghiacciaio era privo di accumulo netto e la linea di equilibrio risultava superiore all'altitudine massima del ghiacciaio.

Un tentativo di individuare le relazioni fra i bilanci di massa del Ghiacciaio della Sforzellina e i parametri climatici è stato compiuto sulla serie settennale 1987-1993 con gli usuali metodi di correlazione e regressione. Per quanto riguarda la selezione delle stazioni meteorologiche e dei parametri climatici nonché i limiti e i problemi insiti nella metodologia applicata, legati soprattutto alla brevità della serie storica presa in considerazione, si rimanda a BARSANTI & SMIRAGLIA (1994). Qui si riportano solo le equazioni utilizzate tenendo conto delle migliori correlazioni fra bilancio totale e parametri climatici:

$$a) \text{ Biltot} = -3383796 \text{ Log (tempmaxLuglio)} + 4012052$$

$$b) \text{ Biltot} = -4857694 \text{ Log (tempmaxLuglio)} + 1879564 \text{ Log (tempmaxAgosto)} + 3498736$$

$$c) \text{ Biltot} = -94892,2 \text{ (tempmaxLuglio)} + 45344,9 \text{ (tempmaxAgosto)} - 765936,1 \text{ Log (neve)} + 2469287.$$

Le equazioni sono state inizialmente verificate utilizzando i dati meteorologici del periodo-campione 1987-1993 per il calcolo degli scarti fra i valori osservati e i valori previsti dal modello; successivamente sono state applicate ai dati meteorologici dal 1970 al 1986 per ricostruire i bilanci glaciali. I dati e i risultati delle elaborazioni sono sintetizzati nella tab. 2.

Nella tab. 2 nelle colonne di sinistra sono presentati i dati meteorologici utilizzati riguardanti la stazione di S. Caterina Valfurva situata a 1 740 m qualche km più a valle rispetto al ghiacciaio (media delle temperature massime di luglio, media delle temperature massime di agosto, totale annuo delle precipitazioni nevose). Nelle colonne di destra sono presentati i valori del bilancio di massa netto totale ricostruiti utilizzando le equazioni sopra indicate e per il periodo 1987-1993 anche i valori misurati sul terreno. Quanto a quest'ultimo periodo la somiglianza fra i valori misurati e quelli calcolati è abbastanza variabile sia in rapporto agli anni sia in rapporto all'equazione utilizzata. Nella tab. 3 sono indicati gli scarti in percentuale fra i valori calcolati e i valori misurati per le tre equazioni sopra riportate.

Come si vede, la relazione che presenta gli scarti minori è quella a tre variabili (gli scarti massimi vanno da +11,6% del 1988 a -17,3% del 1990), con cinque anni nei quali le differenze in percentuale sono inferiori al 10%. Se si osservano poi gli scarti riguardanti tutto il periodo, si nota che i valori sono ridottissimi con differenze percentuali inferiori allo 0,2% per tutte le relazioni. È

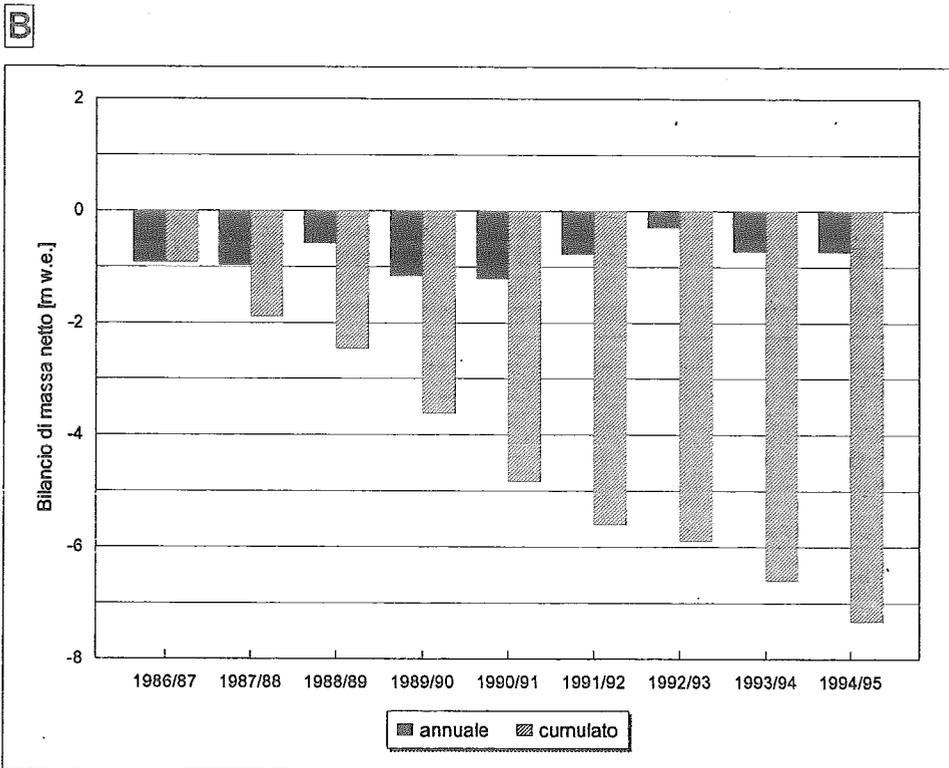
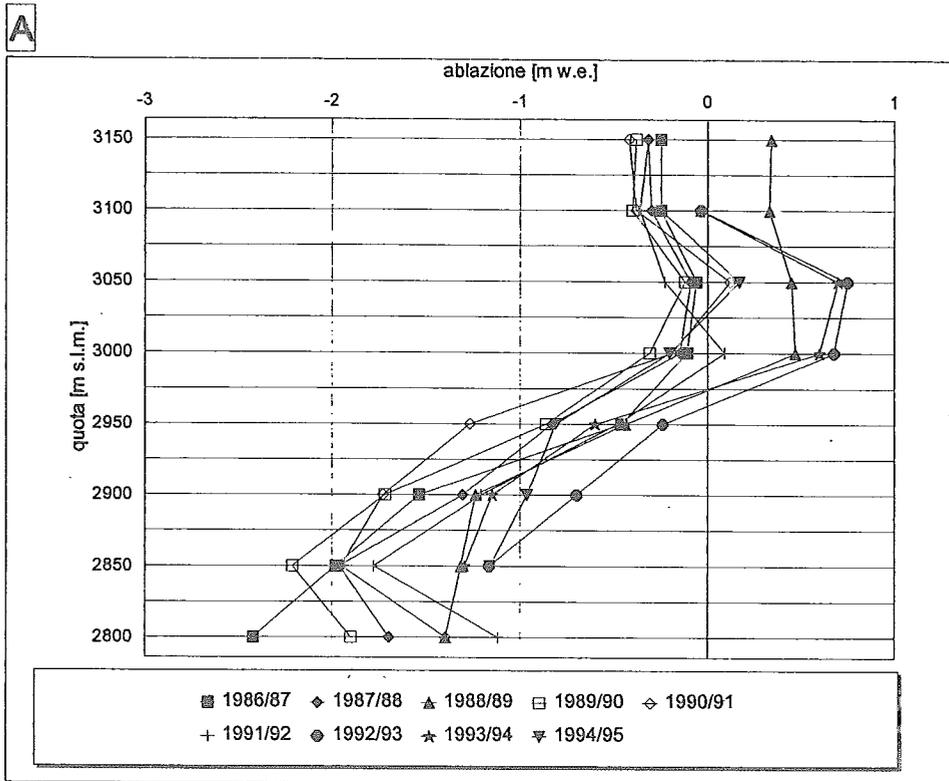


FIG. 2 - Ghiacciaio della Sforzellina. (A) Bilancio di massa netto specifico in rapporto all'altitudine dal 1987 al 1995; (B) bilancio netto specifico annuo e cumulato dal 1987 al 1995.

FIG. 2 - The Ghiacciaio della Sforzellina. (A) Net specific mass balance versus elevation for 1987-1995; (B) net specific annual and cumulative balance for 1987-1995.

TABELLA 2 - Ghiacciaio della Sforzellina. Bilancio netto totale (valori calcolati e misurati) dal 1970 al 1995.  
 TABLE 2 - Ghiacciaio della Sforzellina. Total net balance (calculated and measured values) from 1970 to 1995.

	Parametri climatici			Bilancio netto totale [m <sup>3</sup> ]			
	tmaxLu [°C]	tmaxAgo [°C]	neve [cm]	Rel. (a)	Rel. (b)	Rel. (c)	misurato
1970	20,0	17,0	292	-387426	-502899	-540863	-
1971	21,4	21,2	300	-486359	-466139	-492666	-
1972	19,2	18,4	266	-327313	-355664	-374073	-
1973	17,8	19,7	186	-216635	-137175	-60141	-
1974	20,3	19,8	267	-408624	-410312	-413003	-
1975	18,7	17,5	441	-294741	-347153	-540474	-
1976	17,9	13,8	154	-227347	-444765	-279025	-
1977	17,1	14,1	574	-160155	-331330	-627610	-
1978	15,6	16,4	365	-25238	-13721	-229927	-
1979	17,5	15,5	352	-194975	-306100	-442185	-
1980	18,1	21,5	315	-242864	-104733	-185490	-
1981	17,2	18,8	306	-167870	-106995	-213329	-
1982	19,9	16,9	316	-383002	-504253	-568700	-
1983	22,3	17,1	292	-551654	-735313	-761635	-
1984	20,4	18,0	322	-415863	-498504	-566418	-
1985	21,6	18,6	318	-504147	-600675	-656885	-
1986	18,8	13,6	408	-300220	-561296	-698543	-
			1970-1986 (calcolato)	<b>-5294432</b>	<b>-6427029</b>	<b>-7650968</b>	-
1987	18,4	17,4	306	-267833	-313670	-391632	-384155
1988	20,4	18,4	251	-419469	-485741	-470164	-405680
1989	18,6	18,2	214	-283721	-299785	-255379	-240864
1990	19,6	18,1	247	-360679	-414761	-402510	-486860
1991	22,0	21,8	275	-530432	-506628	-498195	-508110
1992	20,0	22,2	307	-390368	-290713	-326889	-322310
1993	17,8	19,3	210	-219114	-159135	-123309	-119950
			1987-1993 (misurato)	<b>-2471617</b>	<b>-2470432</b>	<b>-2468078</b>	<b>-2467929</b>
			1970-1993 (calc. + mis.)	<b>-7762361</b>	<b>-8894958</b>	<b>-10118897</b>	<b>=</b>
1994	20,8	19,4	192	-448005	-483507	-373642	-294300
1995	22,6	17,6	186	-570814	-740190	-617610	-275125

TABELLA 3 - Ghiacciaio della Sforzellina. Scarti in percentuale fra i valori di bilancio 1987-1993 calcolati (a) (b) (c) e misurati

TABLE 3 - The Ghiacciaio della Sforzellina. Percentages differences between the calculated (a) (b) (c) and measured balance values 1987-1993

	Δ%(a)	Δ%(b)	Δ%(c)
1987	- 30,3	-18,4	+ 1,9
1988	+ 3,4	+19,7	+11,6
1989	+17,8	+24,5	+ 6,0
1990	- 25,9	- 14,8	- 17,3
1991	+ 4,4	- 0,3	- 2,0
1992	+21,1	- 9,8	+ 1,4
1993	+82,3	+32,7	+ 2,8
Totale	+ 0,15	+ 0,01	+ 0,01

quindi parso plausibile applicare le relazioni indicate ai parametri meteorologici di un periodo precedente (1970-1986) per calcolare i bilanci netti totali della Sforzellina (parte superiore destra della tab. 2). Questi risulterebbero costantemente negativi per tutto il periodo considerato, con una perdita globale di equivalente in acqua che varia da 5294432 m<sup>3</sup> per la prima relazione, a 6427029 m<sup>3</sup> per la (b), fino a 7650968 m<sup>3</sup> per la (c), corrispondenti rispettivamente a una lama d'acqua di 12,60 m; 15,34 m; 18,26 m. Nel modello proposto perché si passi a un bilancio posi-

tivo la temperatura media delle massime di Luglio dovrebbe scendere a 15,3 °C.

Se si sommano i bilanci negativi per il periodo 1970-1986 a quelli calcolati con le stesse equazioni per il periodo 1987-1993 si raggiungono i seguenti valori complessivi dei bilanci totali netti (fra parentesi i corrispondenti bilanci complessivi specifici):

a) -7766049 m<sup>3</sup> (-18,534 m); b) -8897461 m<sup>3</sup> (-21,235); c) -10119046 m<sup>3</sup> (-24,150 m).

Se al posto dei valori calcolati per il periodo 1987-1993 si utilizzano i valori misurati sul terreno, si ottengono i seguenti valori complessivi:

a) -7762361 m<sup>3</sup> (-18,525 m); b) -8894958 m<sup>3</sup> (-21,229 m); c) 10118897 m<sup>3</sup> (-24,150 m).

Il modello è stato poi verificato con i dati di bilancio raccolti nel 1994 e nel 1995 (settore inferiore della tab. 2), con risultati tuttavia non soddisfacenti. Per il 1994 le differenze in percentuale sono infatti per le relazioni a) e b) superiori al 50%, mentre per il 1995 sono addirittura superiori al 100%. In ogni caso si è avuta una sovrastima anche notevole, con il massimo del 169% nel 1995 utilizzando l'equazione b), della negatività del bilancio.

Ciò può essere attribuito sia ad errori di calcolo del bilancio stesso, sia alla scarsa sensibilità delle relazioni utiliz-

zate nel cogliere situazioni particolari come quella del 1995, quando ad un Luglio molto caldo (il valore medio delle massime è il più elevato di tutto il periodo 1970-1995), si è contrapposto un Agosto relativamente fresco. In ogni caso il modello va ridimensionato e ridiscusso.

#### RILIEVI GEOFISICI E «TEMPO DI SOPRAVVIVENZA»

Per determinare lo spessore del ghiaccio, la morfologia del substrato e la riserva idrica residua, nell'Estate 1994 sono stati effettuati alcuni sondaggi geoelettrici. Per le metodologie e gli strumenti utilizzati si rinvia a GUGLIELMIN & *alii*, 1995. I sondaggi curati da M. GUGLIELMIN, sono stati 4, di cui 3 allineati longitudinalmente secondo l'asse centrale del ghiacciaio fra 2 800 e 2 900 m, il quarto spostato di poco sulla destra idrografica a 2 920 m circa. Gli spessori di ghiaccio rilevati sono abbastanza simili in tutti i sondaggi (si passa infatti da un massimo di 46 m in SF3 a un minimo di 38 m in SF2); è comunque osservabile una lieve sovraescavazione del letto roccioso fra i punti SF4 e SF2. Tenendo conto dell'evidente assottigliamento ai bordi del ghiacciaio, una stima di 30 m di spessore medio può essere verosimile. In tal caso il volume totale di ghiaccio può essere stimato, probabilmente ancora in eccesso, in circa  $12,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, corrispondenti a poco più di  $11 \times 10^6$  m<sup>3</sup> di equivalente in acqua, pari a 27 m di lama d'acqua.

Come si è visto nel periodo 1987-1995 l'ablazione totale misurata della Sforzellina è stata di poco più di  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> di equivalente in acqua, corrispondenti a 7,33 m, con una media annua di circa 337000 m<sup>3</sup>, corrispondenti a 0,8 m. Nel periodo 1970-1986 la media annua stimata varia secondo la relazione utilizzata fra 311437 m<sup>3</sup>, corrispondenti a 0,74 m (a); 378060 m<sup>3</sup>, corrispondenti a 0,90 m (b); 450056 m<sup>3</sup>, corrispondenti a 1,07 m (c). Ipotizzando che

le condizioni climatiche non varino in misura sostanziale nei prossimi decenni per il Ghiacciaio della Sforzellina si potrebbe ipotizzare un «tempo di sopravvivenza» di poco più di 33 anni se si utilizzano i valori misurati, di 36 anni con la relazione (a), di 30 con la relazione (b) e di 25 con la relazione (c). È appena il caso di sottolineare che si tratta di tempi del tutto indicativi la cui validità potrebbe essere messa in discussione non solo dalle numerose incertezze di valutazione e di calcolo già evidenziate, ma anche dalle modificazioni del sistema fisico glaciale che tenta di autoregolarsi; basti, come unico esempio, l'aumento areale e di spessore della copertura morenica del settore inferiore del ghiacciaio che, riducendo l'ablazione, ha già provocato la classica inversione del rilievo nella parte centrale della fronte.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS J.T. (1975) - *Glacial Systems. An approach to glaciers and their environments*. Duxbury Press, North Scituate, Mass., 191 pp.
- BARSANTI M. & SMIRAGLIA C. (1994) - *Alpine glaciers as indicators of climatic environmental fluctuations in progress: the example of the Ghiacciaio della Sforzellina*. Proceedings «Man and Mountain '94» - Primo Convegno Internazionale per la Protezione e lo Sviluppo dell'Ambiente Montano, Ponte di Legno (Bs), Italy, 20-24 Giugno, 1994, 61-75.
- BARSANTI M., PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1995) - *Glacier mass balance: some results from Central Italian Alps*. Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol., 31, 1-9.
- CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1993) - *The mass balance of a cirque glacier in the Italian Alps (Ghiacciaio della Sforzellina, Ortles-Cevedale Group)*. Journ. Glac., 39, 131, 87-90.
- GUGLIELMIN M., NARDO A. & SMIRAGLIA C. (1995) - *Lo spessore dei ghiacciai della Valsfurna. Misurazioni tramite sondaggi elettrici verticali*. Neve e Valanghe, 24, 58-67.
- ØSTREM G. & BRUGMAN M. (1991) - *Glacier Mass-balance Measurements*. National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Canada, 224 pp.