

GUGLIELMINA DIOLAIUTI (\*)

## LA RECENTE RIDUZIONE DEI GHIACCIAI LOMBARDI: I RISULTATI DEGLI ULTIMI BILANCI DI MASSA

**ABSTRACT:** DIOLAIUTI G., *The recent reduction of the Lombardy glaciers: results of the most recent mass balances.*

Since 1987 a mass balance monitoring network, which is now based on eight units, was created on the Lombardy glaciers. All the results of both balance years 1996/97 and 1997/98 are negative. The mean net specific balance in mm w.e. for the group of five glaciers (that it is possible to compare) increased from -538 mm in the first year to -1215 in the second one. The mean ELA (Equilibrium Line Altitude) rose from 2986 m a.s.l. to 3107 m a.s.l.

**KEY WORDS:** Glacier regression, Glacier mass balance, Lombardy Alps, Italy.

**RIASSUNTO:** DIOLAIUTI G., *La recente riduzione dei ghiacciai lombardi: i risultati degli ultimi bilanci di massa.*

A partire dal 1987 è stata creata sui ghiacciai lombardi una rete di monitoraggio dei bilanci di massa, che attualmente risulta estesa ad otto apparati. I risultati dell'anno di bilancio 1997/98 sono negativi per tutti i ghiacciai così come quelli dell'anno precedente. Il valore medio del bilancio netto specifico del gruppo di 5 ghiacciai per i quali è possibile operare il confronto è passato da -538 mm nel 1996/97 a -1215 mm nel 1997/98. La media dell'ELA (Equilibrium Line Altitude) è salita da 2986 m a 3107 m.

**TERMINI CHIAVE:** Regresso dei ghiacciai, Bilancio di massa glaciale, Alpi Lombarde, Italia.

### INTRODUZIONE

Il calcolo del bilancio di massa costituisce una delle metodologie più affidabili per ottenere informazioni sullo

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

I rilievi sui ghiacciai lombardi sono stati effettuati da operatori glaciologici volontari del Comitato Scientifico Lombardo e del Comitato Scientifico Centrale del Club Alpino Italiano in collaborazione con il Comitato Glaciologico Italiano. Il lavoro rientra nell'ambito del cofinanziamento MURST 1997, programma di ricerca «Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali». Responsabile nazionale prof. A. Biancotti; responsabile locale prof. S. Belloni. Ha collaborato alla raccolta e all'elaborazione dei dati D. Ieluzzi. Si ringrazia il Prof. C. Smiraglia per la lettura critica del testo.

«stato di salute» dei ghiacciai e per raccordare direttamente la loro evoluzione annuale con i parametri meteorologici. Il bilancio di massa annuale può essere definito come la differenza fra l'accumulo di neve e l'ablazione di neve, nevato e ghiaccio che si verificano nel corso di un anno idrologico sulla superficie di un ghiacciaio (per i vari metodi e le tecniche di monitoraggio si rimanda a Østrem & Brugman, 1991).

Attualmente i bilanci vengono effettuati su una sessantina di ghiacciai campione localizzati in tutti i continenti, anche se la maggior parte è situata sulle Alpi e sulle montagne scandinave; i dati sono pubblicati in appositi volumi a cura del World Glacier Monitoring Service (Haeberli & alii, 1998).

In Italia i primi bilanci di massa risalgono alla metà degli Anni Sessanta (Zanon, 1965; 1982) e hanno riguardato prima il Ghiacciaio della Marmolada nelle Dolomiti Occidentali e successivamente il Ghiacciaio del Caresèr, sul versante trentino dell'Ortles-Cevedale. Per quest'ultimo apparato si dispone ormai di una serie ultratrentennale di dati, la più lunga in assoluto rilevata sul versante italiano delle Alpi; un'altra serie ultradecennale è quella del Ghiacciaio della Sforzellina, sul versante lombardo dell'Ortles-Cevedale (Catasta & Smiraglia, 1993).

Nell'ultimo decennio l'aumentato interesse per questo tipo di ricerca da parte di enti produttori di energia idroelettrica ha portato alla realizzazione, in gran parte con il coordinamento del Comitato Glaciologico Italiano, di numerosi altri bilanci sulle montagne piemontesi (Mercalli & Mortara, 1999), atesine (Franchi & Rossi, 1999; Kaser & alii, 1999) e lombarde (Casartelli & alii, 1996).

Su queste ultime, dall'inizio degli Anni Novanta si è creata una rete di monitoraggio su numerosi ghiacciai per documentare la loro risposta in differenti situazioni morfologiche, dimensionali, di alimentazione e di esposizione, all'evoluzione climatica in atto.

Nella scelta dei ghiacciai si è dovuto tener conto di diverse esigenze scientifiche e logistiche, spesso contrastanti, da un lato, cioè la loro significatività e rappresentatività, dall'altro la loro accessibilità. L'attuale rete di monitoraggio è costituita da otto ghiacciai, così distribuiti (fra parentesi è indicato il primo anno di misura): Ferrè nel Gruppo Tambò-Stella (1998); Ventina, nel settore Masino-Disgrazia (1995); Occidentale di Fellaria, Scalino e Marinelli nel Gruppo del Bernina (1992, 1993 e 1997); Orientale di Dosdè nel settore Piazzi-Campo (1996); Sforzellina e Forni nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale (1987 e 1993). A questi si aggiunge dal 1997 il monitoraggio del settore superiore del Ghiacciaio del Cevedale al confine fra Lombardia e Alto Adige. Come si vede, la distribuzione dei bilanci copre tutti i gruppi montuosi delle Alpi Lombarde, se si eccettuano quelli dell'Adamello e delle Orobie (fig. 1), e interessa ghiacciai con varie e diversificate caratteristiche. Vi è compreso, ad esempio, il più vasto ghiacciaio vallivo-composto delle Alpi Italiane, quello dei Forni, con alimentazione prevalentemente diretta e nettamente esposto a Nord, accanto a quello della Sforzellina, minuscolo apparato di circo ad alimentazione mista; vi sono inseriti il Ventina, classico apparato vallivo dotato di una lingua ben evidente che scende fino a 2170 m, e il Marinelli, piccolo ghiacciaio di pendio con fronte a 2990 m.

I risultati dei bilanci di massa per l'annata di bilancio 1997/98 sui ghiacciai lombardi sono presentati nella tab. 1 (dove sono riportati per opportuno confronto anche tutti i dati rilevati sui ghiacciai lombardi) e nella fig. 2. I dati riguardano il bilancio netto specifico, cioè la variazione di spessore espressa in mm di equivalente in acqua dalla fine del periodo di ablazione 1997 alla fine del periodo di ablazione 1998. Come si osserva nella Tab. 1, tutti i bilanci sono negativi, con valori più elevati per il Ghiacciaio dei Forni con -2745 mm (si tratta però di un valore che non può essere confrontato con quelli degli altri ghiacciai in quanto le misure sono state effettuate esclusivamente sulla lingua dalla fronte fino a 2800 m e non nei bacini collettori), per il Marinelli (-2017 mm) e per la Sforzellina (-1682 mm); i valori meno negativi sono stati registrati al Ferrè (-481) e al Dosdè (-466). Il valore medio, non considerando il Ghiacciaio dei Forni, evidenzia la perdita di uno spessore di equivalente in acqua di 1224 mm.

Nel grafico della fig. 2 è riportato il bilancio netto in funzione dell'altitudine per tutti i ghiacciai monitorati. Si osserva come in alcuni casi (Scalino e Marinelli) la curva del bilancio per fasce altimetriche non supera il valore di 0, ad indicare che praticamente tutto il ghiacciaio è privo di accumulo residuo e che l'ELA teorica si colloca al di sopra del limite superiore del ghiacciaio stesso. Negli altri casi la curva sale oltre lo 0; è quindi identificabile una fascia superiore dove il bilancio è positivo e vi è stato dell'accumulo. Le dimensioni di queste aree e i relativi spessori di accumulo sono tuttavia talmente esigui da

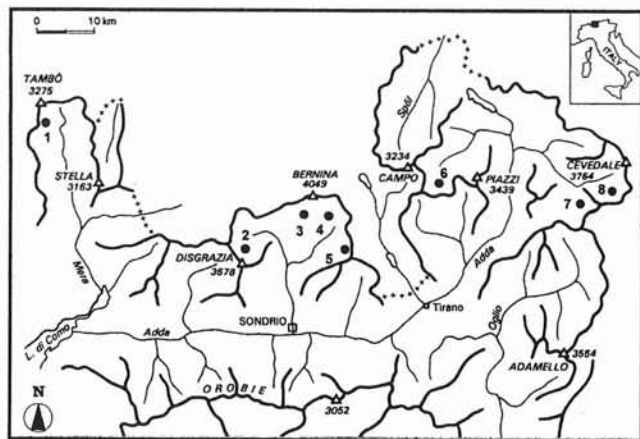


FIG. 1 - Distribuzione dei ghiacciai lombardi per i quali è stato effettuato il bilancio di massa: 1) Ghiacciaio del Ferrè; 2) Ghiacciaio del Ventina; 3) Ghiacciaio Marinelli; 4) Ghiacciaio Occidentale di Fellaria; 5) Ghiacciaio del Pizzo Scalino; 6) Ghiacciaio Orientale di Dosdè; 7) Ghiacciaio della Sforzellina; 8) Ghiacciaio dei Forni.

FIG. 1 - Distribution of Lombardy studied glaciers: 1) Ghiacciaio del Ferrè; 2) Ghiacciaio del Ventina; 3) Ghiacciaio Marinelli; 4) Ghiacciaio Occidentale di Fellaria; 5) Ghiacciaio del Pizzo Scalino; 6) Ghiacciaio Orientale di Dosdè; 7) Ghiacciaio della Sforzellina; 8) Ghiacciaio dei Forni.

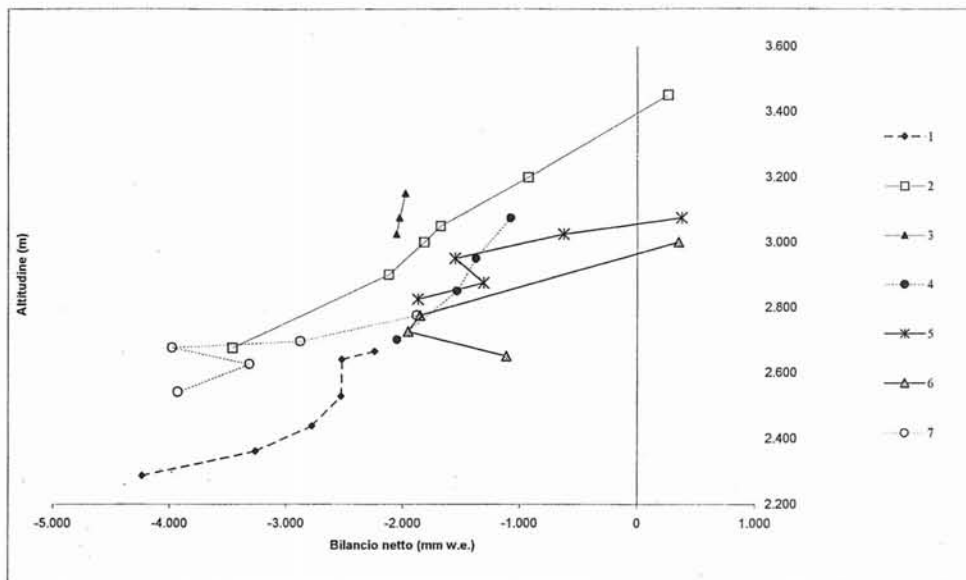
TABELLA 1 - Bilanci di massa dal 1986 al 1998 dei ghiacciai campione delle Alpi Lombarde

TABLE 1 - Mass balances of a sample of Lombardy glaciers from 1986 to 1998

Anno	Ventina	Fellaria	Scalino	Sforzellina	Forni (*)	Dosdè	Marinelli
1986-87				-920			
1987-88				-970			
1988-89				-570			
1989-90				-1160			
1990-91				-1210			
1991-92		-325		-770			
1992-93		-267	-719	-286	-2656		
1993-94		-131	-647	-712	-3102		
1994-95	-922	-107	-657	-728	-2198		
1995-96	-903	-55	-138	-860	-2890		
1996-97	-906	-219	-532	-814	-2581	-219	-284
1997-98	-1271	-1211	-1443	-1682	-2745	-466	-2017
Valore medio dall'inizio dei rilievi al 1997-98	-1001	-331	-689	-890	-2695	-343	-1151

FIG. 2 - Bilanci netti specifici dei ghiacciai lombardi per l'annata di bilancio 1997/98 in rapporto all'altitudine; in legenda sono riportati i numeri corrispondenti ai diversi apparati monitorati: 1) Ghiacciaio Ventina; 2) Ghiacciaio Fellaria; 3) Ghiacciaio Marinelli; 4) Ghiacciaio Pizzo Scalino; 5) Ghiacciaio Sforzellina; 6) Ghiacciaio Dosdè; 7) Ghiacciaio dei Forni.

FIG. 2 - Relationship between net mass balances (in mm w.e.) of Lombardy glaciers and altitude (in m a.s.l.) for the year 1997/1998, in the legend on the diagram are indicated the numbers of the studied glaciers: 1) Ghiacciaio Ventina; 2) Ghiacciaio Fellaria; 3) Ghiacciaio Marinelli; 4) Ghiacciaio Pizzo Scalino; 5) Ghiacciaio Sforzellina; 6) Ghiacciaio Dosdè; 7) Ghiacciaio dei Forni.



non modificare in alcun modo l'evidente negatività dei bilanci.

L'interpolazione lineare dei valori di bilancio alle singole quote permette in ogni caso di calcolare le ELA teoriche. Per quanto riguarda le ELA, riportate nella tab. 2, si osserva come il valore massimo si registra per lo Scalino (3478 m) e il minimo per il Dosdè (2913 m), con una media di 3107 m.

## CONFRONTI E CONCLUSIONI

Sui ghiacciai lombardi considerati il bilancio 1997/98 è stato nettamente negativo e indica che la fase di intensa riduzione in atto da oltre un secolo sta continuando e sta portando ad una riduzione areale e volumetrica di tutti gli

TABELLA 2 - ELA (Equilibrium Line Altitude) 1997 e 1998 dei ghiacciai campione delle Alpi Lombarde

TABLE 2 - 1997 and 1998 ELA (Equilibrium Line Altitude) of a sample of Lombardy glaciers

Ghiacciaio	Ela 1997 (m)	Ela 1998 (m)
Ferrè	—	2955
Ventina	2777	3040
Fellaria	3189	3390
Scalino	3034	3479
Sforzellina	3000	3054
Forni	2839	2921
Dosdè	2914	2913
Valore medio	2959	3107

TABELLA 3 - Matrice di correlazione dei bilanci di massa di alcuni ghiacciai delle Alpi Lombarde

TABLE 3 - Correlation matrix of mass balances of a sample of lombardy glaciers

	Fellaria	Scalino	Sforzellina	Forni (*)
Fellaria	1	0,91	0,82	0,1
Scalino	0,91	1	0,64	-0,1
Sforzellina	0,82	0,64	1	0,1
Forni (*)	0,1	-0,1	0,1	1

apparati, numerosi dei quali sono in pericolo di estinzione. Rispetto al 1996/97 tutti i ghiacciai evidenziano un incremento della negatività del bilancio che in molti casi, come si osserva nella tab. 1, aumenta di ordine di grandezza. Si osserva in particolare che per lo Sforzellina, il valore del bilancio 1997/98 è il più negativo dei 12 anni di monitoraggio e lo stesso si può affermare per il Ghiacciaio Occidentale di Fellaria (7 anni di monitoraggio). Anche il valore della ELA è aumentato fra il 1996/97 ed il 1997/98 passando da 3000 a 3054 m per il Ghiacciaio della Sforzellina, da 2777 a 3040 per il Ventina e da 3189 a 3390 per l'Occidentale di Fellaria.

Dalla tab. 1 si constata inoltre che in nessun anno e per nessun ghiacciaio da quando sono iniziati i rilievi sulle Alpi Lombarde si è registrato un bilancio positivo o in pareggio e che l'annata di bilancio 1997/98 è stata per la quasi totalità degli apparati considerati la più negativa. I valori dei bilanci dei singoli ghiacciai sono stati tutti reciprocamente correlati; i risultati sono presentati nella matrice della tab. 3 nella quale si osserva che i valori di cor-

relazione sono significativi per tre ghiacciai (Fellaria, Scolino e Sforzellina). Ciò potrebbe indicare che questi apparati rispondono in modo simile alle condizioni climatiche annuali. L'unica eccezione è rappresentata dal Ghiacciaio dei Forni (indicato con asterisco in tabella), che si differenzia rispetto agli altri, come già sottolineato, per dimensioni, tipologia e modalità di monitoraggio.

A proposito di negatività dei bilanci, particolarmente rappresentativo è il caso della Sforzellina, per il quale si dispone di una serie di bilanci di dodici anni. In questo periodo il ghiacciaio ha perso uno spessore in equivalente in acqua di 10,7 m, con una riduzione media annua di 0,89 m.

Non essendo ancora disponibili i dati dei bilanci di massa 1998 a livello internazionale, non è possibile un confronto fra i valori 1997/98 delle Alpi Lombarde con quelli degli altri settori alpini e di altre catene montuose. Per quanto riguarda il 1996/97, la media dei bilanci netti specifici annuali dei ghiacciai lombardi (-496 mm, sempre escludendo il Ghiacciaio dei Forni) è molto vicina alla media del campione di 32 ghiacciai dell'America Settentrionale e dell'Eurasia (-478 mm), presentata in Haerberli & alii, 1999. Le Alpi Lombarde si inseriscono dunque in un'evoluzione globale del glacialismo caratterizzata da una rapido secolare regresso.

- CASARTELLI G., KAPPENBERGER G. & SMIRAGLIA C. (1996) - *Accumulo e ablazione sui ghiacciai delle Alpi Lombarde e Svizzere. Risultati di alcuni recenti bilanci di massa*. Riv. Geogr. It., 106, 1-30.
- CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1993) - *The mass balance of a cirque glacier in the Italian Alps (Ghiacciaio della Sforzellina)*. Journ. Glac., 39, 87-90.
- FRANCHI G. & ROSSI GC. (1999) - *Bilancio di massa del Ghiacciaio Pendente (Hangender Ferner) degli ultimi tre anni (1996-1997-1998)*. Atti VIII Convegno Glaciologico Italiano, Bormio, 9-12 Settembre 1999. Riassunti, p. 48.
- HAEBERLI W., HOELZE M. & FRAUENFELDER R. (eds.) (1998) - *Glacier Mass Balance Bulletin (1996-1997)*, 5.
- KASER G., ZINGERLE C., OBERSCHMIED C. & MUNARI M. (1999) - *An extraordinary negative mass-balance of a small alpine glacier*. VIII Convegno Glaciologico Italiano, Bormio, 9-12 Settembre 1999. Riassunti, p. 54.
- MERCALLI L. & MORTARA G. (1999) - *Glacier Ciardoney (Grand Paradis), bilan de masse 1997-1998: une année fortement négative*. Reunion Societé Hydrotechnique de France-Section de Glaciologie et Nivologie, Grenoble, 4-5 Mars 1999, 4 pp.
- ØSTREM G. & BRUGMAN M. (1991) - *Glacier Mass-balance Measurement*. National Hydrology Research Institute, Saskatoon.
- ZANON G. (1965) - *Ricerche sul bilancio di massa glaciale con applicazione al Ghiacciaio della Marmolada (Alpi Orientali)*. Boll. Comit. Glac. Ital., ser. 2, 15, 23-69.
- ZANON G. (1982) - *Recent glaciological research in the Ortles-Cevedale region (Italian Alps)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 75-81.