

GEORG KASER (*), MICHELA MUNARI (**), BERND NOGGLER (*),
CHRISTOPH OBERSCHMIED (**) & PAOLO VALENTINI (**)

RICERCHE SUL BILANCIO DI MASSA DEL GHIACCIAIO DI FONTANA BIANCA (WEISSBRUNNFERNER) NEL GRUPPO ORTLES-CEVEDALE

ABSTRACT: KASER G., MUNARI M., NOGGLER B., OBERSCHMIED CH. & VALENTINI P., *Mass balance studies on the Ghiacciaio di Fontana Bianca (Weißbrunnferner) in the Ortles-Cevedale Group.* (IT ISSN 0391-9838,1995).

A 9 year mass balance series (1993/84-1987/88 and 1990/91-1994/95) was established at Weißbrunnferner - Ghiacciaio di Fontana Bianca in the Ortles - Cevedale Group, in the Italian Alps. With the exception of 1983/84, all years were characterized by a mass loss with an annual mean of $\bar{b} = -572$ mm we. The correlation with other mass balance series is poor and does not allow to fill the gap of missing data. The reason for the low correlations is, beside of the small number of comparable data, suggested to be the conditions of continuous recession. An analysis of the direct glaciological method shows low variations between the results of different glaciologists using the traditional way of determination. Automatized GIS analysis gives also reliable results.

KEY WORDS: Glacier mass balance, Glaciological method, GIS, Ortles-Cevedale (Alps).

RIASSUNTO: KASER G., MUNARI M., NOGGLER B., OBERSCHMIED CH. & VALENTINI P., *Ricerche sul bilancio di massa del Ghiacciaio di Fontana Bianca (Weißbrunnferner) nel gruppo Ortles-Cevedale.* (IT ISSN 0391-9838,1995).

È stato eseguito per nove anni (dal 1983/84 al 1987/88 e dal 1990/91 al 1994/95) il bilancio di massa del Ghiacciaio di Fontana Bianca - Weißbrunnferner, nel gruppo dell'Ortles - Cevedale, nelle Alpi Centrali. Fatta eccezione per il 1983/84, tutte le annate sono state caratterizzate da una perdita di massa, con un decremento annuale medio di $\bar{b} = -572$ mm we. La correlazione con altre serie di bilanci di massa è scarsa e non permette il completamento dei dati mancanti. La ragione delle basse correlazioni è da ricercare, oltre che nel ridotto numero di dati comparabili, anche nella continua condizione di ritiro. Il confronto tra risultati raggiunti da vari studiosi, che utilizzavano il metodo glaciologico tradizionale per la determi-

nazione del bilancio di massa, dimostra differenze minime; l'analisi automatizzata GIS dà dunque risultati attendibili.

TERMINI CHIAVE: Bilancio di massa, Metodo glaciologico, GIS, Ortles-Cevedale (Alpi).

RICERCHE SUL BILANCIO DI MASSA

Le prime ricerche sul bilancio di massa del Ghiacciaio di Fontana Bianca hanno avuto inizio, utilizzando il metodo glaciologico, nell'anno idrologico 1983/84 e sono state condotte fino al 1987/88 (SECCHIERI & VALENTINI, 1993). Il Ghiacciaio di Fontana Bianca si trova alla testata della Val d'Ultimo, sul settore orientale del gruppo Ortles-Cevedale ($\varphi = 46^{\circ}29'00''$; $\lambda = 10^{\circ}46'30''$), si estende tra 2.879 m e 3.400 m di quota ed è esposto a Est. In base ad una fotointerpretazione di riprese aeree, imprecisa per l'area del ghiacciaio (Carta Tecnica Provinciale 1:10.000, della Provincia Autonoma di Bolzano, Sezione 025/10 Lago Verde-Alto Adige, 1988) il Ghiacciaio di Fontana Bianca nel 1985 (anno al quale risale la ripresa in questione) presentava una superficie di 0,71 km². Da allora esso ha perso superficie non solamente su entrambe le lingue, ma anche sui bordi laterali e superiori e, secondo un rilievo cartografico di campagna del 1992, ne risultò una superficie di 0,66 km² (fig. 1). Nel frattempo il ghiacciaio ha continuato a ridurre la sua superficie e nella parte centrale isolotti di roccia si sono liberati dal ghiaccio, aumentando le loro dimensioni.

Dopo un'interruzione di tre anni, l'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, in collaborazione con l'Istituto di Geografia dell'Università di Innsbruck, ha ripreso i rilievi nell'anno di bilancio 1991/92. La rete di misurazione venne ripristinata con l'installazione di 15 paline di ablazione (fig. 1). Insieme ad un numero di anno in anno variabile di trincee di densità della neve esse forniscono la base per l'analisi del bilancio di massa annuale mediante il metodo glaciologico diretto (HOINKES, 1970). La tabella 1 riporta i bilanci specifici medi \bar{b} in [mm we]

(*) Institut für Geographie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A - 6020 Innsbruck.

(**) Ufficio Idrografico, Provincia Autonoma di Bolzano/Bozen, via Mendola 24, I - 39100 Bolzano.

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).

Dedichiamo questo lavoro al ricordo dell'Ing. Paolo Valentini. Per le analisi ringraziamo i colleghi Gerhard Markl (Innsbruck), Ludwig N. Braun (Monaco di Baviera) e Reinhard Böhm (Vienna).

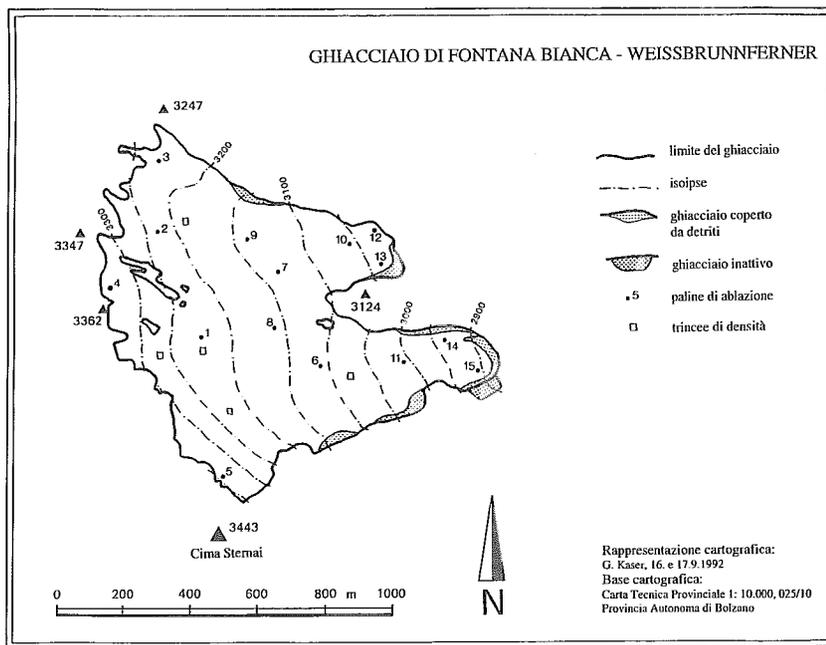


Fig. 1 - Ghiacciaio di Fontana Bianca - Weißbrunnferner. Le posizioni di paline e di trincee di densità.
 Fig. 1 - The Ghiacciaio di Fontana Bianca - Weißbrunnferner. The positions of the ablation stakes and accumulation pits.

TABELLA 1 - Bilancio di massa specifico (\bar{b}) in [mm we] o [kg m^{-2}] dei Ghiacciai Fontana Bianca-Weißbrunn (WBF), Caresèr (CAR), Sforzellina (SFO), Hintereis (HEF), Kesselwand (KWF) and Vernagt (VF)

TABLE 1 - Mean specific mass balance (\bar{b}) in [mm we] or [kg m^{-2}] of the Fontana Bianca Glacier-Weißbrunnferner (WBF), Caresèr Glacier (CAR), Sforzellina Glacier (SFO), Hintereisferner (HEF), Kesselwandferner (KWF) and Vernagtferner (VF).

	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95
WBF	395	-600	-106	-466	-1096				-1091	-556	-955	-682
CAR	-590	-760	-1140	-1640	-1010	-820	-1580	-1730	-1200	-300	-1750	
SFO				-920	-970	-570	-1160	-1239		-293		
HEF	32	-574	-731	-717	-946	-636	-996	-1325	-1119	-570	-1110	-461
KWF	178	-9	-495	-243	-264	-151	-264	-851	-413	-75	-830	144
VF	20	-112	-808	-290	-497	-312	-568	-1079	-860	-470	-1028	

Fonti: BARSANTI, PELFINI & SMIRAGLIA (1995); Glaziologische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften; Institut für Meteorologie und Geophysik, Innsbruck; SECCHIERI & VALENTINI (1992); WGMS (vari anni); ZANON (1992); ZANON (1995).

TABELLA 2 - Coefficienti di correlazione (r^2) dei bilanci specifici medi (n = 8)
 TABLE 2 - Coefficients of correlation (r^2) of specific mass balances (n = 8)

	WBF	CAR	HEF	KWF	VF
WBF		0,14	0,79	0,29	0,32
CAR	0,14		0,40	0,56	0,29
HEF	0,79	0,40		0,69	0,69
KWF	0,29	0,56	0,69		0,77
VF	0,32	0,29	0,69	0,77	

WBF: Ghiacciaio di Fontana Bianca-Weißbrunnferner; CAR: Vedretta del Caresèr, HEF: Hintereisferner; KWF: Kesselwandferner; VF: Vernagtferner.

del ghiacciaio per tutti gli anni rilevati. Durante il periodo di osservazione il ghiacciaio ha presentato un bilancio positivo soltanto nell'annata 1983/84. In tutti gli altri anni i bilanci sono negativi con una perdita totale per i 9 anni di osservazione di $\bar{b}_{\text{tot}} = -5.151$ mm we, corrispondenti ad una perdita media di 572 mm we l'anno. La perdita massima si è registrata nell'annata 1987/88 con un valore di $\bar{b}_{87/88} = -1096$ mm we.

IL GHIACCIAIO DI FONTANA BIANCA E I GHIACCIAI VICINI

La tabella 1 confronta i medi bilanci specifici \bar{b} del Ghiacciaio di Fontana Bianca con quelli di ghiacciai più o meno vicini, che sono stati anch'essi oggetti di rilievi. Si tratta della Vedretta del Caresèr (CAR) e del Ghiacciaio della Sforzelli-

TABELLA 3 - Esami del metodo per l'analisi del bilancio di massa
 TABLE 3 - Examination of different methods for mass balance analysis

	4 persone (I-IV*)	3 algoritmi GIS ^o (reticolo)
dati base	18 punti di rilievo foto = linea (b = 0) carta topografica	18 punti di rilievo
risultati \bar{b} [mm we]	I: -534 II: -556 III: -569 IV: -617	limiti del ghiacciaio trend: -526 idw: -557 kriging: -564
media	-569	-549
deviazione standard	35	20

*) R. BÖHM, L.N. BRAUN, G. KASER & G. MARKL; ^o) Arc/Info

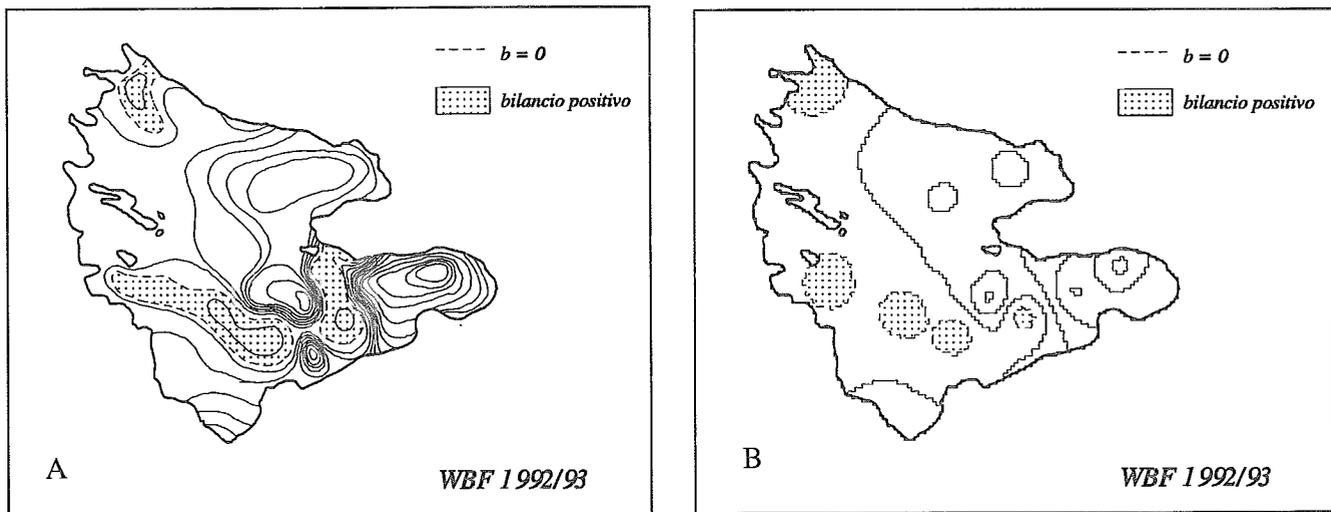


Fig. 2 - Ghiacciaio di Fontana Bianca - Weißbrunnferner. Analisi del bilancio di massa 1992/93; metodo tradizionale (A) e metodo GIS-IDW (B)
 Fig. 2 - The Ghiacciaio di Fontana Bianca Weißbrunnferner. The analysis of the glacier mass balance in 1992/93; traditional method (A) and GIS-IDW application (B)

na (SFO), entrambi nel gruppo Ortles-Cevedale, nonché l'Hintereisferner (HEF), il Kesselwandferner (KWF) e il Vernagtferner (VF), tutti e tre nel bacino idrografico della Rofenache, nell'Ötztal. In generale i ghiacciai mostrano tendenze simili. Un'analisi delle correlazioni dei singoli ghiacciai fra di loro è riportata in tabella 2. Del Ghiacciaio della Sforzellina non sono disponibili dati sufficienti per poter operare un confronto statistico.

Le correlazioni in genere sono limitate, le maggiori si verificano tra il Ghiacciaio di Fontana Bianca e il Hintereisferner, le minori tra il Ghiacciaio di Fontana Bianca e la vicina Vedretta del Caresèr. I coefficienti di correlazione dei ghiacciai molto vicini tra di loro nella Rofental (Hintereisferner, Kesselwandferner e Vernagtferner) sono relativamente alti ($r^2 = 0,69-0,77$).

La discussione sulle differenze tra i singoli ghiacciai e le loro cause è poco significativa per il ridotto insieme statistico di soltanto $n = 8$ anni. Una possibile causa per la relativamente elevata varianza delle serie dei bilanci di massa tra di loro si può ricondurre al fatto che sia stata rilevata una serie di anni con perdite di massa più o meno consistenti. Differenze dovute all'esposizione, ombreggiamento, rifrazione di terreni liberi da neve, albedo ecc. comportano una forte differenziazione spaziale del bilancio netto in caso di elevata ablazione della neve anche ad alte quote. Un'altra possibile causa può essere ricercata nell'applicazione individualmente differente del metodo glaciologico diretto (numero e distribuzione dei punti di rilievo), ma soprattutto nell'analisi delle isolinee di pari bilancio di massa specifico. Il prossimo capitolo vuole trattare questa possibilità.

ESAMI DEL METODO PER L'ANALISI DEL BILANCIO DI MASSA

Per esaminare cause di metodo nel calcolo di differenti risultati di bilanci di massa abbiamo chiesto a 4 esperti glaciologi di analizzare il bilancio di massa 1992/93 del Ghiacciaio di Fontana Bianca col metodo convenzionale, ossia disegnando a mano linee di eguale bilancio di massa specifico. Come base erano a disposizione una carta (fig. 1) con 18 valori puntuali del bilancio specifico (paline di ablazione e trincee di densità della neve) nonché una foto, che mostra il ghiacciaio nel momento di minima copertura di neve. I differenti risultati dei bilanci di massa specifici medi \bar{b} sono riportati in tabella 3. Il valore medio è $\bar{b} = -569$ mm we con una deviazione standard di $\sigma = 35$ mm we, cioè il 6%. La parte soggettiva dell'analisi in base al metodo glaciologico diretto, con presupposti di esperienza dell'operatore ed escludendo errori di analisi, rimane quindi relativamente ridotta e sicuramente non supera l'imprecisione del metodo glaciologico diretto (HOINKES, 1970).

ESAME DI ANALISI AUTOMATIZZATE (GIS)

In occasione di un secondo esperimento vennero utilizzati diversi procedimenti di interpolazione statistica, che vengono offerti come procedimenti reticolari standard nei sistemi informativi geografici (Geo Information System = GIS). Il metodo TREND utilizza regressioni polinomiali, per assegnare superfici ai valori puntuali inseriti. L'interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) determina valori di cella da una combinazione ponderata lineare di valori puntuali vicini tra di loro. La ponderazione è inversamente proporzionale alla distanza dai punti di partenza. Il procedimento KRIGING si basa sul presupposto, che la variabilità spaziale data dai valori puntuali possa essere distribuita statisticamente sulla superficie. I dati d'inserimento erano 18 valori puntuali, a disposizione anche in occasione delle analisi manuali. Con questo procedimento si deve rinunciare ad inserire la linea $b = 0$ mm we, in quanto questa verrebbe identificata con una molteplicità di valori puntuali e quindi sopravvalutata.

I risultati dei diversi procedimenti di interpolazione sono riportati nella parte destra della tabella 3. Con un valore medio di $\bar{b} = -549$ mm we, essi sono vicini a quelli dell'analisi convenzionale. La dispersione dei bilanci di massa calcolata in automatico è, con una tolleranza standard di $\sigma = 20$ mm we cioè il 3,6%, molto ridotta. La distribuzione spaziale del bilancio di massa specifico viene anch'essa calcolata in termini di tendenza, nei particolari comunque i campioni

sono differenti tra di loro. Ottimizzare numero e posizione dei punti di rilievo potrebbe condurre ad un miglioramento.

CONCLUSIONI

Il bilancio di massa del Ghiacciaio di Fontana Bianca è risultato positivo soltanto nel primo dei 9 anni di rilevamento (dal 1983/84 al 1987/88 e dal 1991/92 al 1994/95). In tutti gli altri anni vennero rilevate evidenti perdite di massa. In media, il ghiacciaio in questo periodo ha perso 572 mm we a⁻¹. Questo valore corrisponde anche alla tendenza negativa verificata anche su altri ghiacciai più o meno vicini. La correlazione tra le progressioni di rilevamento dei singoli ghiacciai comunque risulta limitata. Questa situazione non consente, insieme al fatto che un campione di dati di $n = 8$ significhi ben poco, di chiudere in misura soddisfacente la lacuna di rilevamenti sul Ghiacciaio di Fontana Bianca (1988/89-1990/91) tramite valori di bilanci di massa di ghiacciai vicini. La causa della scarsa correlazione probabilmente risiede nella ablazione della neve su grandi superfici avvenuta negli ultimi anni.

Le differenze all'interno delle analisi effettuate da diversi operatori sono dovute alla precisione del metodo. L'analisi con l'ausilio di procedimenti standard automatizzati all'interno di un reticolato GIS risultano soddisfacenti, almeno nel caso qui osservato e con la densità di punti di rilevamento disponibili.

BIBLIOGRAFIA

- BARSANTI M., PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1995) - *Glacier Mass Balance: Some Results from Central Italian Alps*. Symp. on glacier mass balances, Innsbruck, Sept. 1994. Zeitschr. Gletscher. Glazialgeol., 31. In stampa.
- GLAZIOLOGISCHE KOMMISSION DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (varii anni) - *Dati glaciologici* non pubblicati.
- HOINKES H. (1970) - *Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern*. Zeit. Gletscher. Glazialgeol., 6 (1-2), 37-90.
- INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND GEOPHYSIK (varii anni) - *Dati glaciologici* non pubblicati. Universität di Innsbruck.
- PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO-ALTO ADIGE (1988) - *Carta Tecnica Provinciale 1:10.000, Sezione 025/10 Lago Verde*.
- SECCHIERI F. & VALENTINI P. (1992) - *I ghiacciai della Val d'Ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale) e il loro contributo all'alimentazione del sottostante bacino*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 171-176.
- WORLD GLACIER MONITORING SERVICE (WGMS), (varii anni) - *Glacier Mass Balance Bulletin*. Iahs (Icsi)-Unep-Unesco.
- WORLD GLACIER MONITORING SERVICE (WGMS), (varii anni) - *Fluctuations of Glaciers*. Iahs (Icsi)-Unep-Unesco.
- ZANON G. (1992) - *Venticinque anni di bilancio di massa del Ghiacciaio del Careser (Alpi Centrali), 1966/67-1990/91*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 215-220.
- ZANON G. (1995) - *Research on Glacier Mass Balance in the Italian Alps*. Symp. on Glacier Mass Balances, Innsbruck, Sept. 1994. Zeitschr. Gletscher. Glazialgeol., 31 (In stampa).