

# Ghiacciaio del Basodino

Coordinate	680000/141000	
Comune	Bignasco	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1925	2.285 m slm
	1980	2.520 m slm
	2005	2.540 m slm
Quota massima	3.125 m slm	
Esposizione	Nord - Est	
Lunghezza	1973	1,6 km
	2005	1,5 km
Superficie	1973	2,3 km <sup>2</sup>
	2005	2,2 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1892	
Variazione di lunghezza dal 1892	- 637,3 m	
Variazione media annua	- 5,6 m	

1980, zona delle misurazioni



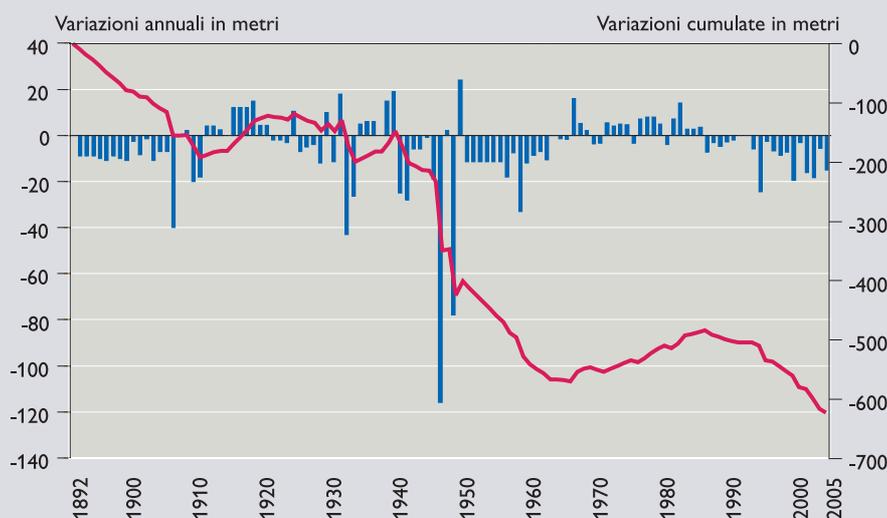
foto Claudio Valeggia

2005, zona delle misurazioni



foto Claudio Valeggia

## Ghiacciaio del Basodino, variazioni annuali e cumulate dal 1892



Le ricerche sul ghiacciaio del Basodino, uno dei più studiati della Svizzera, sono descritte in dettaglio alle pp. 29-39.

Di sfruttamento idroelettrico nella zona del Basodino si parlò già negli anni venti. Nel 1921 la Motor-Columbus SA di Baden invitò il CAS di Locarno a tener conto dei progetti dei bacini di accumulazione nella scelta del luogo dove costruire la nuova capanna del Basodino. All'inizio degli anni settanta, si valutò la possibilità di creare degli impianti per lo sci estivo sul Ghiacciaio del Basodino.

1854



Estratto Carta Dufour

1999



Swisstopo, Berna; Estratto CN 1:50.000, foglio No. 266

Il tema

L'analisi

Congiuntura

La ricerca

Libri e riviste

1885



foto dal libro "Va sentiero"

1925



foto Guido Ferrazzini, Lugano

2005



foto Claudio Valeggia

# Ghiacciaio del Corno

Coordinate	673000/145300	
Comune	Bedretto	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1980	2.550 m slm
	2005	2.570 m slm
Quota massima	2005	2.870 m slm
Esposizione	Nord	
Lunghezza	1973	0,65 km
	2005	0,60 km
Superficie	1973	0,27 km <sup>2</sup>
	2005	0,20 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1893	
Variazione di lunghezza dal 1893	- 20 m	
Variazione media annua	- 0,17 m	

1854



Estratto Carta Dufour

Alla fine della piccola era glaciale, il Ghiacciaio del Corno era collegato con il Ghiacciaio del Gries, e occupava il fondo della Valle del Corno, dove attualmente c'è un laghetto. I passi del Corno e del Gries, quest'ultimo storicamente uno dei più importanti delle Alpi Centrali, erano dei percorsi su ghiacciaio.

1983



foto Claudio Valeggia

2005



foto Claudio Valeggia

1999



Swisstopo, Berna: Estratto CN 1:50.000, foglio No. 265

# Ghiacciaio Grande di Croslina

Coordinate	699300/143200	
Comune	Chironico	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1989	2.670 m slm
	2005	2.704 m slm
Quota massima	2.974 m slm	
Esposizione	Nord	
Lunghezza	1973	0,85 km
	2005	0,54 km
Superficie	1973	0,32 km <sup>2</sup>
	2005	0,23 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1989	
Variazione di lunghezza dal 1989	-49 m	
Variazione media annua	-3,00 m	

Il tema

L'analisi

Congiuntura

La ricerca

Libri e riviste

1858



Estratto Carta Dufour

1999



Swisstopo, Berna; Estratto CN 1:50.000, foglio No.266

1919



foto Guido Ferrazzini, Lugano

A partire dal 1992, nell'avvallamento creato dall'erosione del ghiacciaio, si è formato un lago proglaciale contornato da bellissime rocce montonate rosse. In un articolo apparso nel 1994 sull'Alpinista Ticinese lo abbiamo denominato Laghetto di Croslina Grande. Nella foto del 1919, il ghiacciaio aveva una lingua imponente che scendeva fino a 2.500 m slm. Come indicato dalla Guida delle Alpi Ticinesi del CAS del 1932, l'accesso alla vetta del Campo Tencia non seguiva l'attuale percorso, ma utilizzava un passaggio più a Est a causa della presenza del ghiacciaio molto crepacciato e con seracchi. Il Ghiacciaio di Croslina Grande è comunemente noto come Ghiacciaio del Tencia.

1990



foto Claudio Vallengia

2004



foto Ti-press / Francesca Agosta

# Ghiacciaio del Cavagnöö

Coordinate	679200/144800	
Comune	Bignasco	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1980	2.547 m slm
	2005	2.537 m slm
Quota massima	2005	2.850 m slm
Esposizione	Est	
Lunghezza	1973	2,05 km
	2005	1,75 km
Superficie	1973	1,35 km <sup>2</sup>
	2005	0,89 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1893	
Variazione di lunghezza dal 1893	-842 m	
Variazione media annua	- 7,5 m	

1854



Estratto Carta Dufour

1999



Swisstopo, Berna; Estratto CN 1:25.000, foglio No. 1.233

1980



foto Claudio Valeggia

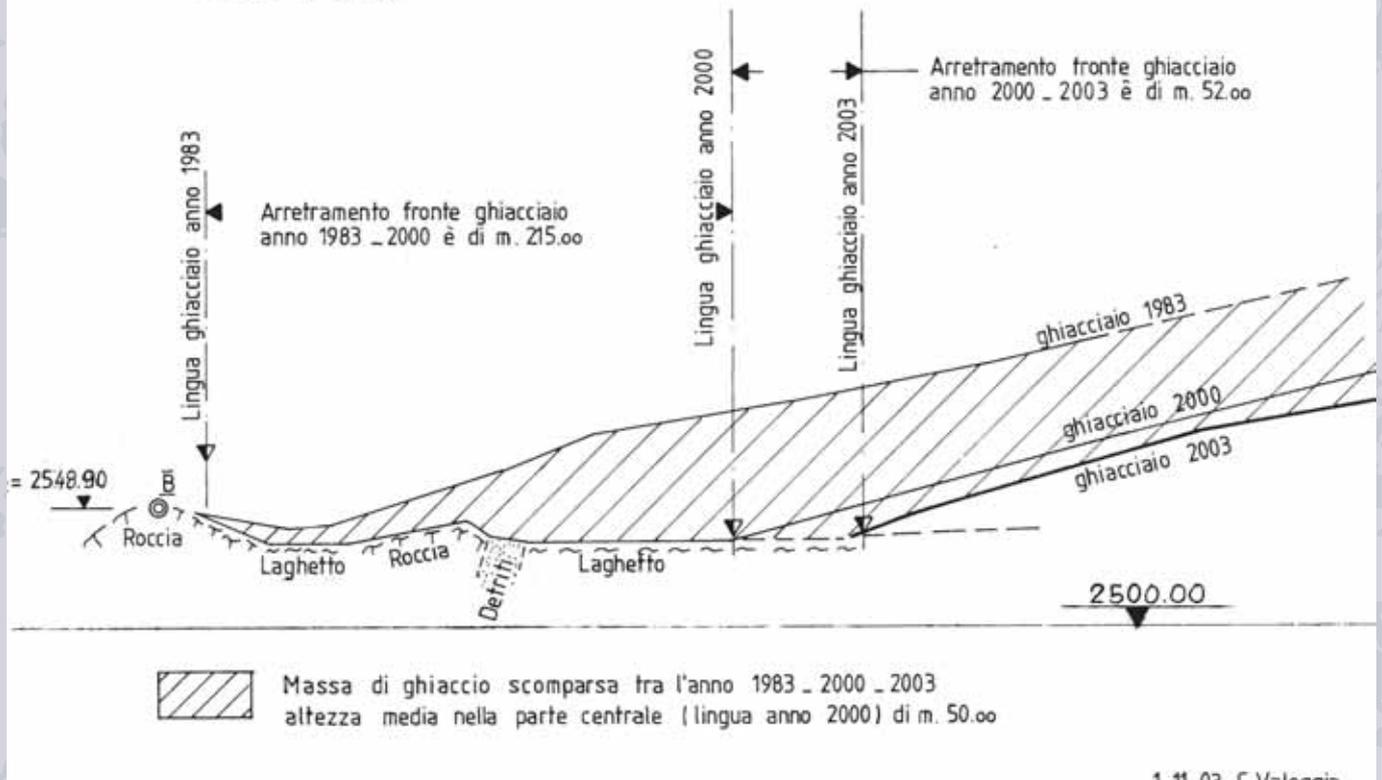
2004



foto Claudio Valeggia

## Ghiacciaio Cavagnoli

Profilo longitudinale anno 1983 - 2000 - 2003  
Scala 1:2000



Il ghiacciaio è stato misurato dal 1893 al 1910, poi le misure sono state sospese e riprese nel 1979. Con il ritiro, a partire dal 1987, si è formato un lago proglaciale riportato per la prima volta sulla CN 1:25.000 foglio Basodino nell'edizione 2002.

Come risulta dal profilo, il ritiro dal 1980 al 2003 ha pure comportato una perdita di spessore di 50 m. Alcuni piani delle Officine idroelettriche della Maggia (OFIMA) datati 1932, mostrano come il Ghiacciaio del Cavagnoli scendesse fino alla quota dell'attuale bacino artificiale a 2.310 m slm.

## Lago proglaciale



foto Claudio Valsegna



1 La marcia di avvicinamento.

foto Ti-press / Francesca Agosta

## Il rilevamento delle variazioni frontali dei ghiacciai

Come già nel 1800, anche oggi le misurazioni delle variazioni del fronte del ghiacciaio si basano su elementari principi di matematica, geometria e trigonometria ma con l'aiuto di strumenti ben diversi da quelli usati due secoli fa. In primo luogo, a valle del ghiacciaio, una serie di riferimenti fissi, marcati sulla roccia con incisioni, segni colorati, bulloni o piastre in metallo serve di base per seguire gli spostamenti. Partendo da uno o più di questi punti, si rileva la distanza dal fronte riportandola



2 Posizionamento dello specchio riflettore ai bordi del ghiacciaio.

foto Gabriele Corti



3 Dettaglio dello specchio riflettore.

foto Ti-press / Francesca Agosta



4 Preparazione di un punto di riferimento.

foto Gabriele Corti



# Vadrett di Camadra

Coordinate	679200/144800	
Comune	Aquila	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	2005	2.921 m slm
Quota massima	2005	3.140 m slm
Esposizione	Sud - Est	
Lunghezza	2005	0,4 km
Superficie	2005	0,18 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	2005	

1859



Estratto Carta Dufour

1999



Swisstopo, Berna; Estratto CN 1:25.000, foglio No. 1.233

2004



foto Ti-press / Francesca Agosta

Questo ghiacciaio è stato misurato per la prima volta nel 2005.

# Ghiacciaio di Val Torta

Coordinate	684500/147100	
Comune	Bedretto	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1980	2.488 m slm
	2005	2.512 m slm
Quota massima	2005	2.720 m slm
Esposizione	Nord	
Lunghezza	1973	0,55 km
	2005	0,35 km
Superficie	1973	0,167 km <sup>2</sup>
	2005	0,10 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1970	
Variazione di lunghezza dal 1970	-31 m	
Variazione media annua	-0,90 m	

Il tema

L'analisi

Congiuntura

La ricerca

Libri e riviste

1980



foto Claudio Valeggia

2004



foto Claudio Valeggia

1854



Estratto Carta Dufour

Il ghiacciaio è quasi completamente ricoperto da detriti e determinarne il fronte per la misurazione diventa sempre più difficoltoso. All'inizio del secolo scorso, il ghiacciaio scendeva fino a ca. 2.300 m slm, nella Val Torta. Un piccolo ghiacciaio esisteva anche nella conca a Nord del Passo di Cristallina, vicino alla Capanna del CAS.

1999



Swisstopo, Berna: Estratto CN 1:50.000, foglio No.265

# Vadrett di Bresciana

Coordinate	7223000/150700	
Comune	Aquila	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1896	2.470 m slm
	1980	2.710 m slm
	2005	2.910 m slm
Quota massima	3.380 m slm	
Esposizione	Ovest	
Lunghezza	1973	1,15 km
	2005	0,50 km
Superficie	1973	0,84 km <sup>2</sup>
	2005	0,50 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1896	
Variazione di lunghezza dal 1896	- 852 m	
Variazione media annua	- 7,8 m	

1858



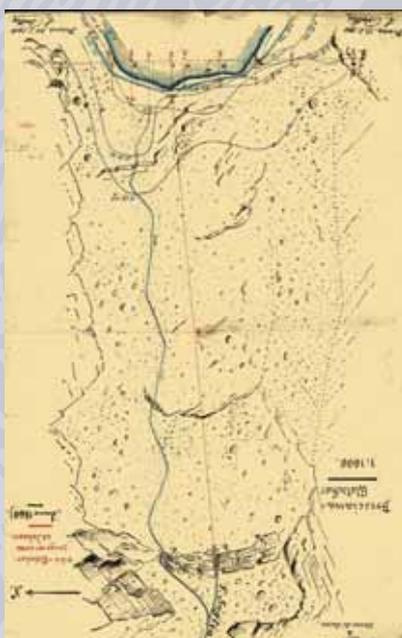
Estratto Carta Dufour

1999

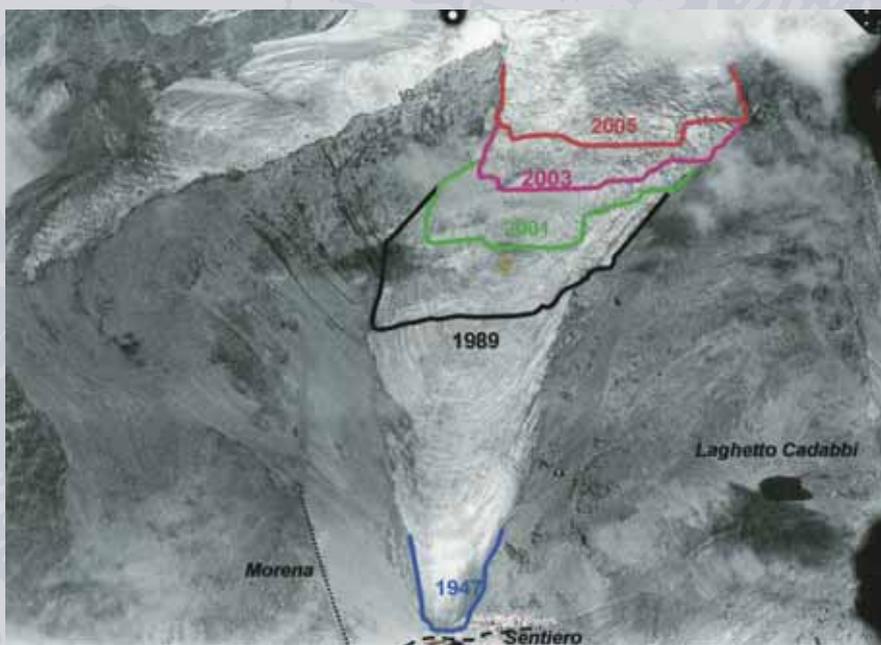


Swisstopo, Berna; Estratto CN 1:50.000, foglio No. 266

Schizzo del Vadrett di  
Bresciana 1908-1911



1947



Sezione forestale / Claudio Valeggia

Lo schizzo è stato volutamente ruotato per avere il medesimo orientamento della foto aerea.

Foto aerea del Vadrett di Bresciana, ripresa nel 1947, e posizione del fronte del ghiacciaio nel 1947, 1989, 2001, 2003 e 2005. Inoltre sono indicate la morena del 1850 e il laghetto dei Cadabbi (scala approssimativa 1:12.000).

1920



foto Guido Ferrazzini, Lugano

2004



foto Ti-press / Francesca Agosta

Il tema

L'analisi

Tre immagini degli anni 1959, 1989 e 2005 del fronte misurato del Vadrecc di Bresciana



foto Franco Viviani



foto Claudio Valeggia



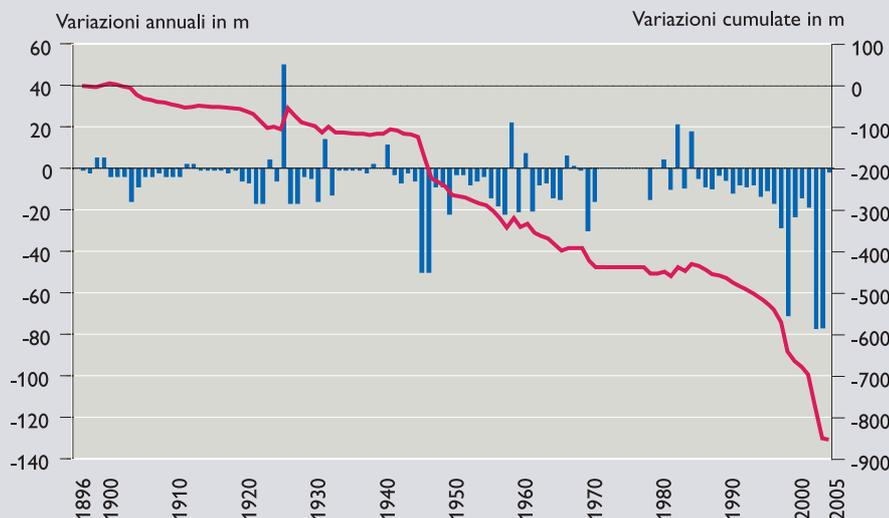
foto Claudio Valeggia

Congiuntura

La ricerca

Le riviste

### Vadrecc di Bresciana, variazioni annuali e cumulate dal 1896 al 2005



Nel 1896, all'inizio delle misurazioni, il ghiacciaio scendeva fino a ca. 2.450 m slm, in corrispondenza del salto che porta in Val Soia e ben oltre il sentiero che dalla capanna Adula UTOE porta in Val Malvaglia. Era ancora un ghiacciaio di tipo vallivo con una lingua molto evidente (vedi foto G. Ferrazzini). Luigi Lavizzari, nel suo "Escursioni nel Cantone Ticino" del 1863 nota: "Dangio sta allo sbocco della Val Soglia, che comunica con il vasto ghiacciaio di Bresciana...". Oggi il fronte è situato ca. 500 m più in alto, a quota 2.910 m slm. In 109 anni, oltre al ritiro in lunghezza di 852 m, c'è anche stato un ritiro in altezza di ca. 469 m. Il Vadrecc di Bresciana è comunemente chiamato Ghiacciaio dell'Adula.

# Ghiacciaio di Valleggia

Coordinate	682000/147000	
Comune	Bedretto	
Tipo di ghiacciaio	montano	
Quota minima	1980	2.412 m slm
	2005	2.427 m slm
Quota massima	2005	2.800 m slm
Esposizione	Nord - Est	
Lunghezza	1973	0,9 km
	2005	0,75 km
Superficie	1973	0,60 km <sup>2</sup>
	2005	0,54 km <sup>2</sup>
Inizio misurazioni	1971	
Variazione di lunghezza dal 1971	- 88,5 m	
Variazione media annua	- 2,6 m	

1854



Estratto Carta Dufour

1999



Swisstopo, Berna; Estratto CN 1:25.000, foglio No. 1.233

1985



foto Claudio Valeggia

2003



foto Claudio Valeggia

# Il ghiacciaio del Basodino

## Il volume

Andreas Bauder, VAW-ETHZ  
Olaf Eisen, VAW-ETHZ e Alfred Wegener Institut Bremerhaven  
Giovanni Kappenberger, MeteoSvizzera Locarno-Monti

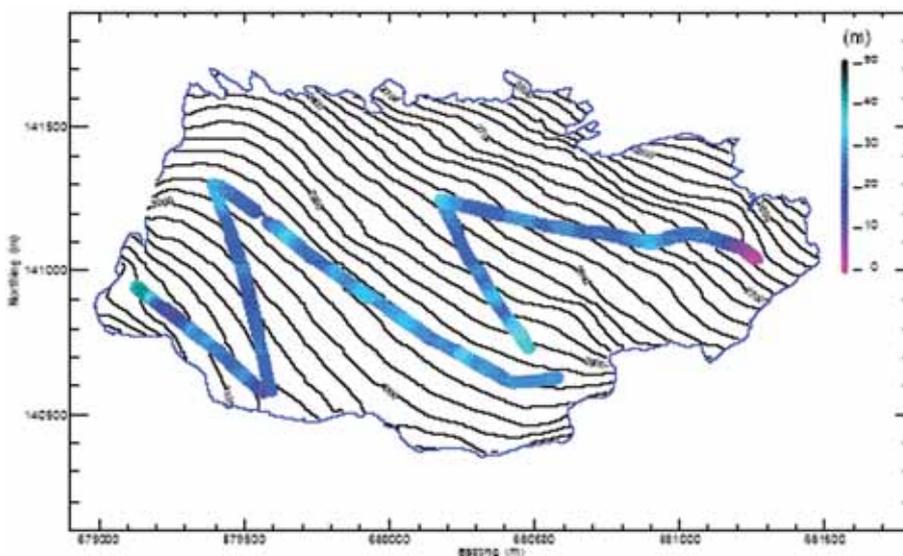
### L'uso del radar per misure di spessore

La scoperta della possibilità di utilizzare il radar per determinare lo spessore di un ghiacciaio avvenne accidentalmente verso la metà del secolo scorso in Groenlandia da un aereo che la stava sorvolando. Le condizioni meteorologiche erano critiche, con l'impossibilità di reperire l'orizzonte a causa delle nubi, della nebbia e della particolare illuminazione (*whiteout*). Improvvisamente, mentre il radar di bordo segnava un'altezza di circa 2 km sopra il suolo, l'aereo si trovò involontariamente posato sulla calotta di ghiaccio. Il radar aveva visto il fondo roccioso, mentre la neve e il ghiaccio non erano stati rilevati. Questa tragedia sfiorata portò i glaciologi a utilizzare i radar per determinare lo spessore dei ghiacciai.

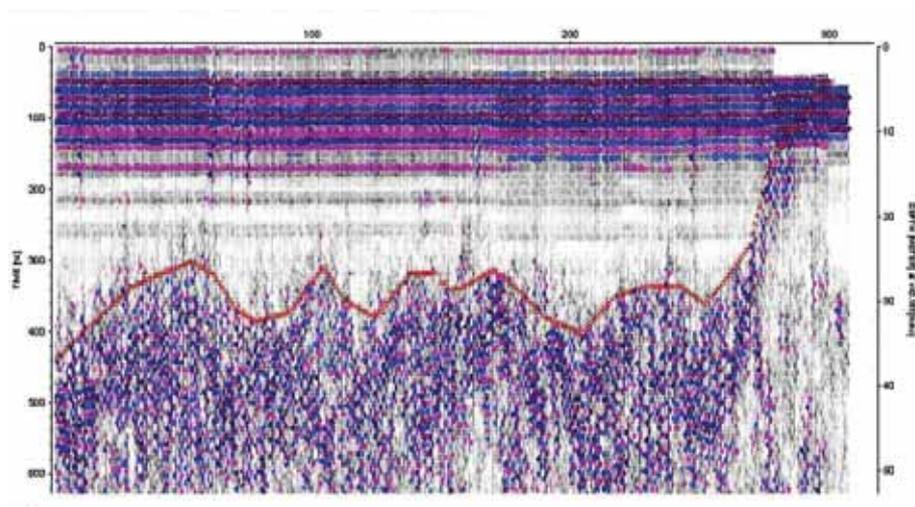
### Le misurazioni al Ghiacciaio del Basodino

Il radar dà buoni risultati quando la presenza di acqua liquida nella massa di ghiaccio è ridotta al minimo, situazione che nei ghiacciai temperati delle Alpi si manifesta poco prima dell'inizio del periodo di fusione.

Sul Ghiacciaio del Basodino, un sondaggio di profondità con l'ausilio di un radar elettrico è stato eseguito per la prima volta il 18 maggio 2005. È stato utilizzato un radar elettrico montato su due slittini costruiti con sci di fondo e trainati a mano. Da un emettitore sul primo slittino partivano gli impulsi, riflessi dal fondo roccioso e poi captati dal ricevitore montato sul



Ghiacciaio del Basodino con l'ubicazione dei profili e colorazione a seconda della profondità.



Esempio di sezione verticale non elaborata: traversa no. 5, da ovest a est, di 1.100 m di lunghezza e 300 punti di misura, rilievo del 18 maggio 2005.

secondo slittino posto a 4 m dal primo. Il tempo che intercorre tra il momento di partenza e quello di arrivo dell'onda è proporzionale alla profondità e, conoscendo la velocità d'onda, è facile risalire allo spessore. Sui grafici di rilevamento, la riflessione sul fondo, per contro, è disturbata e sono

necessarie più misure per permettere una giusta interpretazione dei risultati. Le esatte coordinate dei punti di misura sono determinate con un apparecchio GPS, in grado di rilevare i punti geografici con una precisione di pochi centimetri.

## Risultati

La profondità è stata misurata su una superficie di ca. 2 km<sup>2</sup>. Il valore medio dello spessore del ghiaccio è risultato di 27 m ( $\pm 3$  m), con valori situati in generale tra 20 e 35 m. Lo spessore maggiore, di 40 m, è stato individuato a 3.120 m s.l.m. sulla parte ovest del pianoro antistante la cresta che porta in vetta al Basodino. Assumendo uno spessore medio di ca. 15 m per la fascia al bordo del ghiacciaio, la stima del volume totale per il 2005 risulta di circa 50 mio. m<sup>3</sup> (0,050 km<sup>3</sup>). In base all'inventario dei ghiacciai di Maisch (2000), nel 1850 il volume del Ghiacciaio del Basodino era di 0,167 km<sup>3</sup>, nel 1973 di 0,072 km<sup>3</sup>. In altre parole, rispetto alla piccola era glaciale, è rimasto soltanto il 30% di ghiaccio.

foto Luca Silvanti



Radar completo, con Olaf Eisen al portatile di controllo collegato.

foto Giovanni Kappenberger



Andreas Bauder con GPS ad alta risoluzione durante la campagna di rilevamento radar al Ghiacciaio del Basodino del 18 maggio 2005.

## Bibliografia

Bauder A., Funk M. e Gudmundsson G. (2003), The ice thickness distribution of Unteraargletscher, Switzerland. *Annals of Glaciology*, 37, 331 - 336.

Bauder A., (2001). Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen. *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen* 169, 171 pp.

Eisen O. *et al.* (2003), Revealing the nature of radar reflections in ice, *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 5.

Maisch M. *et al.* (2000), *Die Gletscher der Schweizer Alpen*, Hochschulverlag AG ETH Zürich.

# Il bilancio di massa

Giovanni Kappenberger, MeteoSvizzera Locarno-Monti  
Andreas Bauder, VAW-ETHZ  
Giacomo Casar telli, Comitato Glaciologico Italiano

foto Urs Bläsi

## Definizione

Il bilancio di massa è la differenza tra l'accumulazione (di regola neve) e l'ablazione (perdita di massa, dovuta in particolare a fusione, evaporazione e caduta di seracchi) che avviene di regola sull'arco dell'anno idrologico (ottobre-settembre). La conseguenza visiva di un bilancio positivo di diversi anni è l'avanzata del fronte del ghiacciaio.

Esistono due metodi per calcolare il bilancio di massa di un ghiacciaio e sono entrambi applicati su quello del Basodino: si tratta del metodo glaciologico diretto e del metodo geodetico, illustrati di seguito in dettaglio.

La scelta del ghiacciaio del Basodino per le ricerche sul bilancio di massa è avvenuta per diversi motivi, sia di tipo logistico (teleferica San Carlo-Robiei, vicinanza di una stazione della rete di rilevamento automatico di MeteoSvizzera, a Robiei), come pure per l'interesse generale (Officine idroelettriche e altri Enti) e non da ultimo per l'attrattiva della zona e del ghiacciaio stesso, il più esteso del cantone.

## Il metodo glaciologico diretto

Il bilancio di massa secondo il **metodo glaciologico diretto** consiste nel rilevare l'accumulo (essenzialmente invernale) e determinare l'**ablazione** (essenzialmente estiva).

Il **bilancio invernale** (accumulo) è eseguito con numerosi sondaggi dello strato nevoso per determinarne lo spessore. Per conoscere il peso specifico della neve e determinarne l'equivalente in acqua, si scavano delle trincee a diverse quote nello strato di neve invernale e si pesa un cilindro unitario di neve.



D'inverno il ghiacciaio accumula neve. Se è tanta, la fusione estiva inizia solo lentamente, grazie alla forte riflessione dei raggi del sole, al momento della sua massima efficienza, quando è alto nel cielo. Una volta esposto, il ghiaccio essendo più scuro della neve, assorbe maggior calore e fonde fino a 10 cm al giorno (ciò che corrisponde a circa 1 m di neve polverosa invernale). Ghiacciaio del Basodino visto da Nord ripresa aerea del 17 Luglio 2005.

foto Giovanni Kappenberger



Misura della densità della neve per ricavare l'equivalente in acqua. Il volume è definito dal contenuto di un cilindro conficcato nei diversi strati della trincea e pesato.

Il tema

L'analisi

Congiuntura

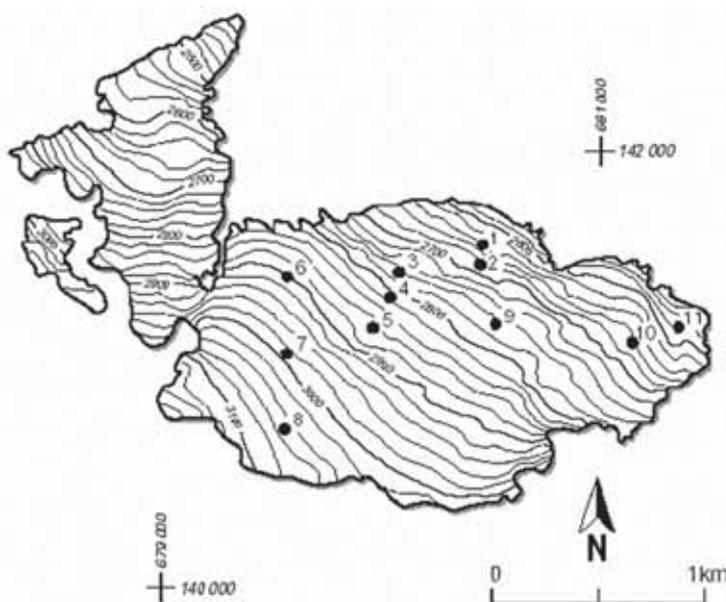
La ricerca

Libri e riviste



foto Carmen Strub

Preparazione di un foro con una trivella da 3 m tipo vite di ghiaccio per la posa di una palina, agosto 2004.



Planimetria del Ghiacciaio del Basodino (e di Caveragno a sinistra) con ubicazione delle paline (2004).

Il **bilancio estivo** (ablazione) è invece determinato con l'aiuto di paline infilate in un foro scavato per alcuni metri nella neve e nel ghiaccio in superficie mettono a nudo parte della palina. Applicando un peso specifico stimato allo strato fuso, è possibile calcolare il volume dell'acqua persa. La variazione della

massa è calcolata per differenti fasce d'altezza e per ogni fascia è determinato il valore netto annuale in equivalente in acqua.

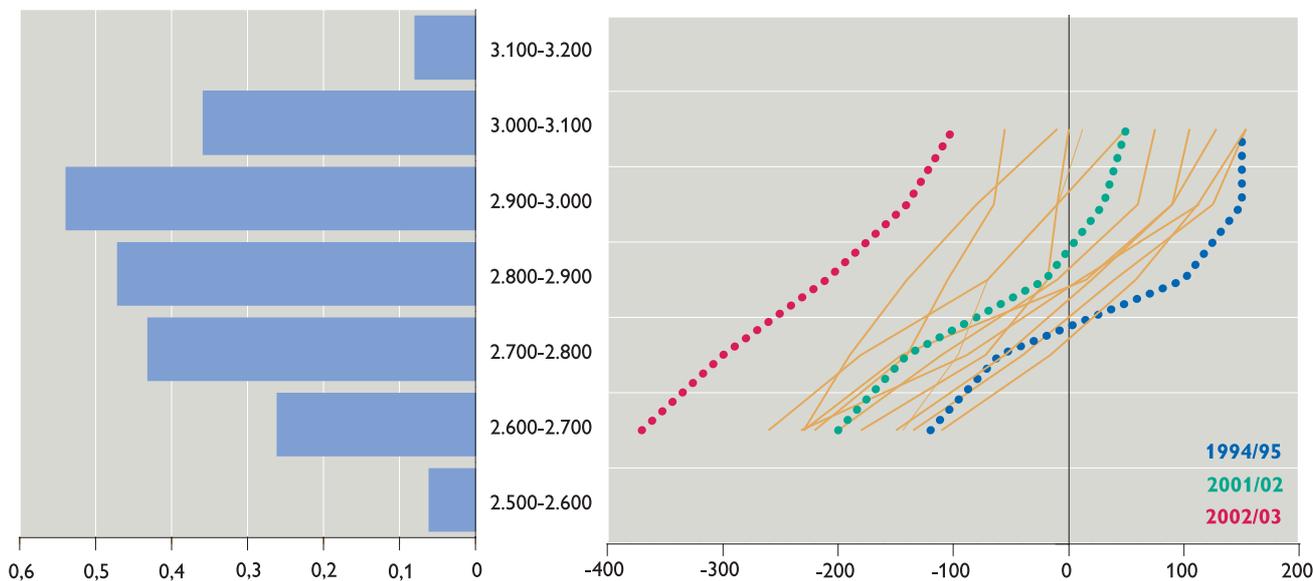
#### Risultati

Il riassunto di tutte le misurazioni effettuate sul Ghiacciaio del Basodino a partire dal 1992 è riportato nel grafico A. Due sono gli

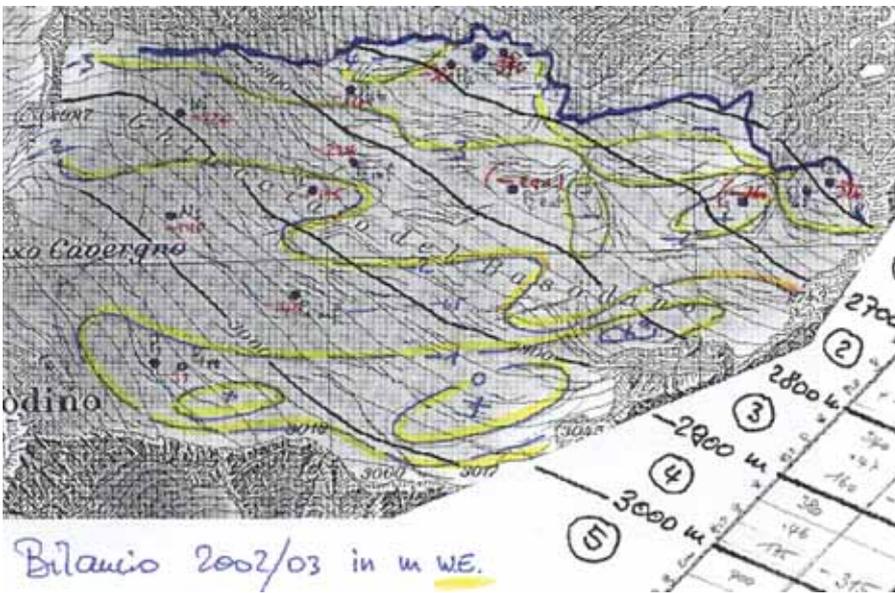
elementi che il grafico ci permette di sottolineare: a quote elevate risulta un aumento della massa, mentre a quote più basse constatiamo una perdita.

Per una adeguata lettura dei dati va in primo luogo tenuto presente che l'intersezione con lo zero segna la quota della linea d'equilibrio di quell'anno (**ELA**, *Equilibrium*

### A Bilancio di massa del Ghiacciaio del Basodino per fasce altimetriche<sup>1</sup>



<sup>1</sup> A sinistra è riportata l'area delle singole fasce altimetriche in km<sup>2</sup>, a destra il bilancio specifico per ogni fascia in cm di equivalente in acqua. I valori dei bilanci si riferiscono agli anni 1991-1992 fino al 2004-2005. Sono evidenziati due andamenti estremi (2002/03 e 1994/95) e uno medio (2001/02).



Schizzo di lavoro per la valutazione del bilancio di massa suddiviso in fasce altimetriche. Le linee gialle identificano le zone con un bilancio negativo, in metri di equivalente in acqua. Esempio dell'anno 2002/03.

Line Altitude). Il secondo parametro misura il rapporto tra la superficie di accumulo alla fine dell'estate a monte della linea d'equilibrio e quella totale del ghiacciaio e rappresenta il valore **AAR** (*Accumulation Area Ratio*): un valore di 2/3 indica un ghiacciaio stazionario, valori inferiori un bilancio nega-

tivo e valori superiori uno positivo.

Terzo e ultimo elemento, il bilancio netto annuo del ghiacciaio, ricavato dalla differenza tra quello invernale e quello estivo; esso viene indicato come equivalente in acqua e corrisponde a una lama d'acqua distribuita su tutto il ghiacciaio.

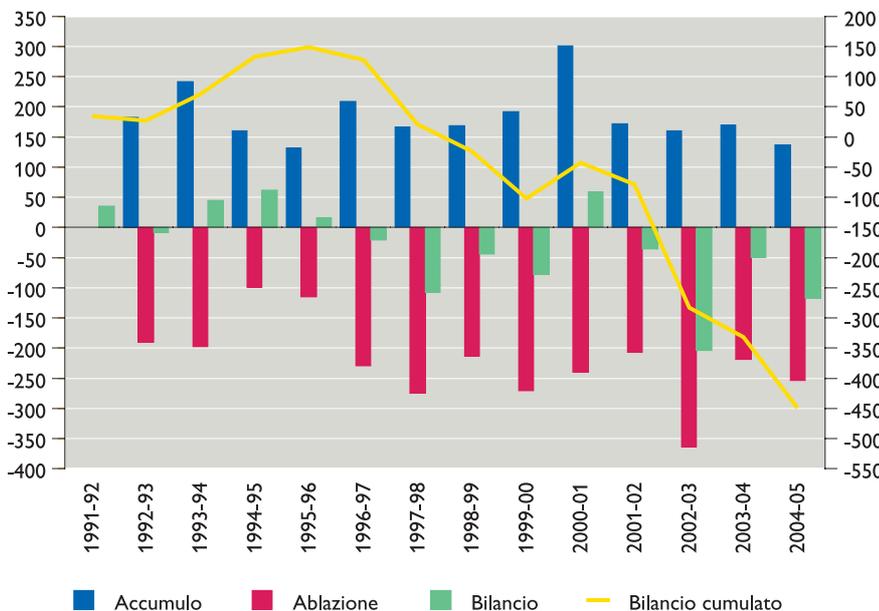
## Il metodo geodetico

### Le superfici del ghiacciaio e le sue variazioni

La determinazione della superficie del Ghiacciaio del Basodino è possibile su un arco di tempo di oltre 150 anni. Infatti, la prima carta topografica a disposizione, la carta Dufour, risale al 1851, mentre la carta Siegfried, del 1878, è la prima che presenta le curve di livello. Grazie a queste carte, si ha un'indicazione, seppur approssimativa, non solo dei bordi del ghiacciaio ma anche della morfologia della superficie, ciò che permette pure di confrontare i diversi rilievi cartografici.

Con l'introduzione delle foto terrestri prima e aeree poi, e grazie alla visione tridimensionale delle immagini (visione stereoscopica), è stato possibile fare un altro salto di qualità nella determinazione della superficie.

## B Bilancio di massa del Ghiacciaio del Basodino, 1992-2005<sup>1</sup>



<sup>1</sup> In centimetri equivalenti di acqua.

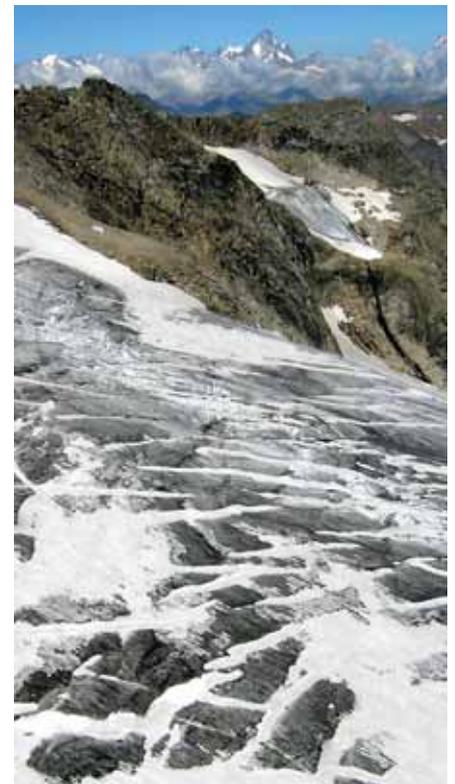
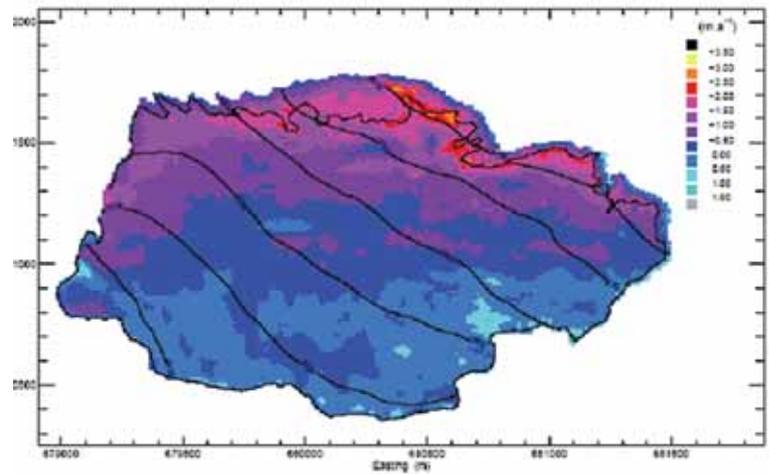


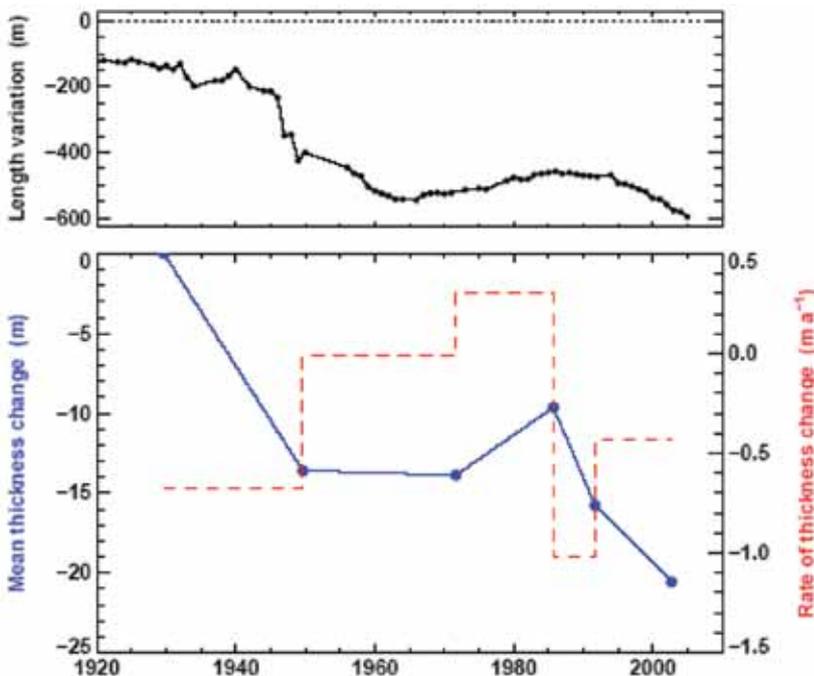
foto Urs Blasi



Immagine aerea del Ghiacciaio del Basodino ripresa da 4.500 m di quota il 18 settembre 1991 (swisstopo, Ufficio Federale di Topografia). Il Nord è in alto, la cima del Basodino si trova sotto a sinistra appena fuori dalla foto. Da notare la forte ablazione sul ghiacciaio che praticamente presenta solo ancora minuscole macchie di neve vecchia sulle parti superiori (in basso sulla foto).



Differenze di spessore del Ghiacciaio del Basodino risultanti da i rilievi fotogrammetrici effettuati nel settembre 1991 e quelli del settembre 2002, in metri. La linea nera indica il bordo inferiore del ghiacciaio alla fine dell'estate 2002 e nel contempo delimita la superficie di ghiaccio andata persa dal 1991. Da notare come la parte est del ghiacciaio - dove sono eseguite le misure di lunghezza - presenta meno perdite che il resto della superficie.



In alto: variazione cumulata delle differenze di lunghezza Ghiacciaio del Basodino.

In basso: variazioni cumulate della differenza dello spessore medio (in blu) e variazione media annua dello spessore del ghiacciaio (in rosso), in base ai rilievi degli anni 1949, 1971, 1991 e 2002, elaborati dal Laboratorio di Ricerche Idrauliche e Glaciologiche - VAW del Politecnico Federale di Zurigo.

### I rilievi fotogrammetrici

Il primo bilancio di massa del Ghiacciaio del Basodino effettuato grazie a rilievi fotogrammetrici risale a una serie di foto terrestri del 1929. Le **variazioni di spessore e del volume** hanno potuto essere stimate

anche in seguito, con l'aiuto di rilievi effettuati negli anni 1949, 1971, 1991 e 2002 ed elaborati al Laboratorio di Ricerche Idrauliche e Glaciologiche - VAW del Politecnico Federale di Zurigo.

### Confronto dei due metodi

Un confronto dei valori della perdita di spessore risultati dai due metodi applicati per lo stesso periodo 1991-2002 mostra differenze che richiederebbero ulteriori approfondimenti. È pure necessario valutare l'ordine di grandezza dell'errore per i due tipi di calcolo del bilancio e rivalutare la rappresentatività dei punti di misura (palline) scelti sul ghiacciaio.

Se da una parte permane qualche incertezza sull'ampiezza delle perdite effettive, tra il 1991 e il 2002, più importanti secondo il metodo geodetico, dall'altra appare chiaro che il calo dello spessore e le rispettive perdite di massa sono importantissime.

Considerando il grafico B nel periodo fino al 2002, gli spessori persi sembravano modesti, ma con l'estate 2003 questi hanno subito un'impennata impressionante: dal 2003 al 2005 la perdita totale in equivalente in acqua è stata di 3,5 m, per cui la media annua per il periodo considerato risulta di oltre un metro.

E il futuro?

Perdite di oltre 1 m all'anno per uno spessore medio di ghiaccio di ca. 25 m (2005) sembrano indicare chiaramente il destino del Ghiacciaio del Basodino.

Se anche gli anni futuri dovessero mantenere la stessa tendenza, entro una dozzina di anni il ghiacciaio sarà frammentato e tra una ventina di anni non potrebbero restare che

pochi residui di ghiaccio sotto le creste.

A paragone sono riportati i bilanci di massa di altri due ghiacciai svizzeri sui quali sono eseguiti rilevamenti sistematici. Il Ghiacciaio del Gries è situato a una dozzina di km a Nordovest del Basodino (monitorato dal Laboratorio di Ricerche Idrauliche e Glaciologiche-VAW del Politecnico Federale di Zurigo, M. Funk) ed è ca. 3 volte più vasto del Ghiacciaio del Basodino. Il Ghiacciaio del Silvretta, di ca. 3 km<sup>2</sup> si trova in una zona spesso esposta a flussi umidi da Nordovest che negli ultimi anni hanno causato precipitazioni più importanti che sul versante meridionale delle Alpi.

## Ringraziamenti

A Fosco Spinedi per il suo contributo sul terreno e alle OFIMA per il prezioso sostegno logistico.

## Bibliografia

Aellen M., Kappenberger G. e Casartelli G. (1995). Il Ghiacciaio del Basodino, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Vol. 18.

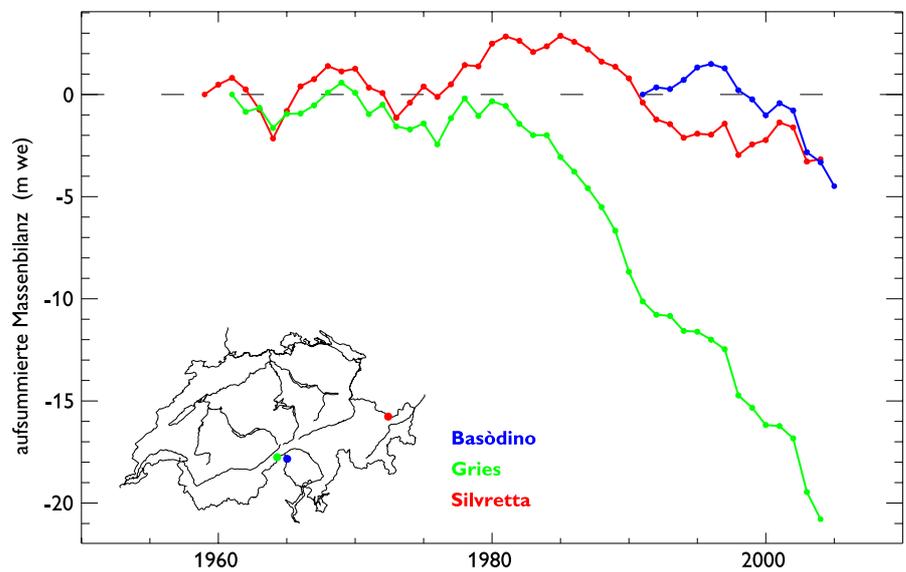
Bauder A. (2001), Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen 169, 171 pp.

Laboratorio di ricerche idrauliche e glaciologiche - VAW, (ed.) (1994), Annuario della commissione dei ghiacciai dell'Accademia Svizzera delle Scienze Naturali, Politecnico federale di Zurigo.

Müller F. et al. (1976) Firn und Eis der Schweizer Alpen, Gletscherinventar, Geographisches Institut ETHZ, Pubbl. no. 57, Zurigo.

Servizio Glaciologico Lombardo (1992) Ghiacciai in Lombardia. Nuovo Catasto dei Ghiacciai Lombardi (a cura di A. Galluccio e G. Catasta), Bolis, Bergamo.

Internet, [www.glaciology.ch](http://www.glaciology.ch) e [www.nimbus.it](http://www.nimbus.it)



Confronto delle curve cumulate del bilancio di massa netto, ossia la variazione dello spessore in metri, per i Ghiacciai del Basodino, Gries e Silvretta.

Da notare il cambiamento di tendenza avvenuto all'inizio degli anni '80, in particolare al ghiacciaio del Gries che possiede un'estesa lingua pianeggiante, ben al di sotto dell'attuale linea di equilibrio.

## I ghiacciai e ... l'arte, la radio, lo sci estivo

- Le montagne e con esse anche i ghiacciai hanno ispirato pittori, scrittori e musicisti di tutte le epoche. Nella Sinfonia delle Alpi di Richard Strauss, che descrive ogni aspetto della salita e della discesa da una vetta, c'è una breve scena intitolata "Sul ghiacciaio", forse l'unica specifica sul tema presente nel repertorio della musica classica. A Castiglione Olona, a pochi chilometri dal Ticino, nel Palazzo Branda si può vedere un'affresco di Masolino da Panicale (1383? - ca. 1440) che è considerato una delle prime rappresentazioni di un paesaggio di montagna nella storia della pittura.
- Per alcuni anni a partire dal 1897, il Ghiacciaio di Basso in Val Pontirone venne sfruttato come cava di ghiaccio dalla "Cristallina SA" (Società costituita l'11 luglio 1897 con un capitale sociale di 35.000,-) per l'esportazione del ghiaccio naturale. Il ghiaccio, a blocchi, veniva trasportato dalla Leggiuna a 2.300 m slm a quota 350 m slm con una teleferica, poi con carro alla stazione di Biasca da cui partiva in treno per Lugano, Milano e Torino.
- Nel 2005 le prime reti radio nazionali (Rete Uno, La Première, DRS 1, Radio Rumantsch), hanno trasmesso una serie di servizi in diretta e registrati di un progetto SRG SSR idée suisse intitolati "Rompiamo il ghiaccio", sul tema dei ghiacciai in generale. Per il Ticino è stata trattata la regione dell'Adula. Le registrazioni sono disponibili alla RTSI.
- All'inizio degli anni settanta, si ipotizzò la possibilità di creare degli impianti per lo sci estivo sul Ghiacciaio del Basodino (Corriere del Ticino 13 gennaio 1972).

Gabriele Corti

# Movimento superficiale con interferometria radar da satellite

Tazio Strozzi, Gamma Remote Sensing  
Giorgio Valenti, Sezione forestale cantonale

foto Fosco Spinedi



## Introduzione

Numerosi studi su ghiacciai artici e antartici hanno dimostrato il vasto potenziale della tecnica dell'interferometria radar da satellite per monitorare lo spostamento superficiale del ghiaccio con risoluzione centimetrica. L'archivio con numerose acquisizioni radar dei satelliti ERS-1 e ERS-2 dell'Ente Spaziale Europeo ESA disponibile sull'Europa centrale, consente di effettuare lavori simili anche su ghiacciai alpini. In questo contributo viene discussa un'analisi del movimento superficiale del Ghiacciaio del Basodino con l'interferometria radar da satellite.

## Dati radar ERS e interferogrammi

Le immagini radar utilizzate in questo studio sono state acquisite dai satelliti ESA ERS-1 e ERS-2 in orbita circumpolare attorno alla Terra a un'altezza di circa 800 km. L'analisi coerente di segnali acquisiti successivamente lungo l'orbita, procedimento detto di apertura sintetica, permette di ottenere una risoluzione al suolo di circa 25 m. Nell'approccio interferometrico due immagini radar acquisite da configurazioni orbitali leggermente diverse e in tempi differenti vengono combinate per analizzare la differenza di fase dei segnali (Bamler e Hartl, 1998; Rosen *et al.*, 2000). La fase interferometrica è sensibile sia alla topografia sia allo spostamento avvenuto nell'intervallo di tempo tra le due acquisizioni, con effetti atmosferici e perdita di correlazione del segnale quali fonti principali di rumore. L'uso di un modello di elevazione

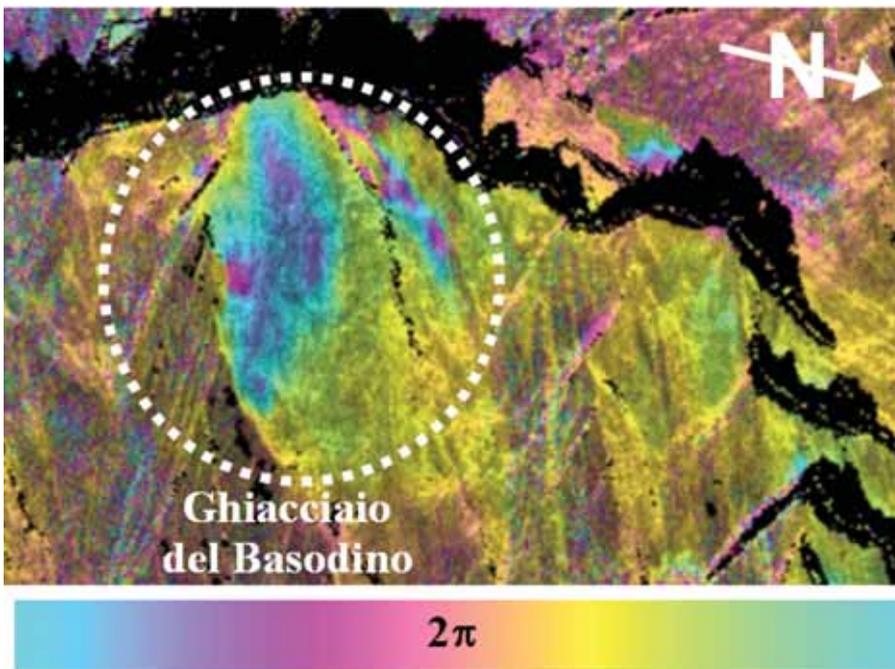
digitale del terreno (DHM25 © 2003 swisstopo nel nostro caso) permette la stima del contributo di fase dovuto alla topografia, che sottratto dall'interferogramma consente di ottenere una mappa di spostamento (Strozzi *et al.*, 2001). Le coppie di immagini utilizzate per lo studio dei ghiacciai sono scelte con disturbi atmosferici molto moderati analizzati sulle aree non soggette a movimento, e con un intervallo di un giorno in inverno per massimizzare la correlazione di fase.

Le immagini considerate in questo studio sono state acquisite dai radar nei giorni 13 e 14 marzo 1999 in orbita ascendente. L'interferogramma, definito differenziale dopo la sottrazione del contributo legato alla topografia, è presentato - per la zona del Ghiacciaio del Basodino - nella geometria originale di acquisizione nella figura in alto a p. 37. Un ciclo di fase di  $2\pi$ , che corrisponde a uno spostamento nella direzione di osservazione del satellite di mezza lunghezza d'onda del segnale (2,8 cm nel caso dei dati ERS), è rappresentato in cicli di colore. La frangia interfero-

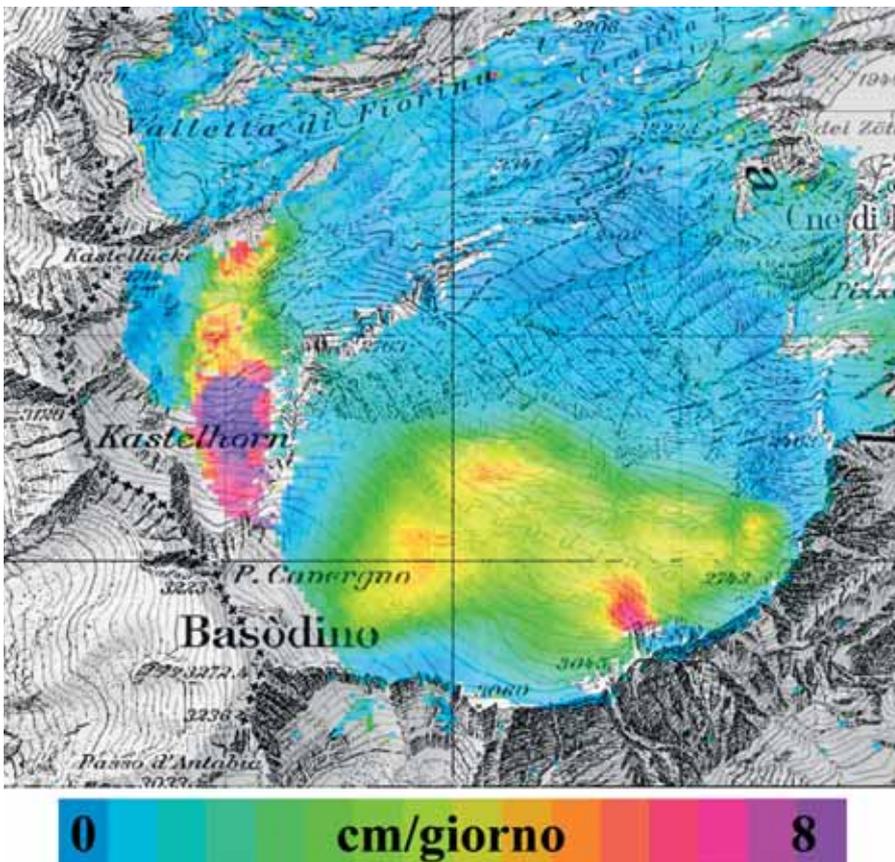
metrica in corrispondenza del Ghiacciaio del Basodino risulta evidente.

## Mappa di movimento superficiale del ghiacciaio

Il calcolo della mappa di spostamento superficiale del ghiaccio a partire dall'interferogramma differenziale richiede la risoluzione delle ambiguità di fase di  $2\pi$ , procedimento detto in inglese *phase unwrapping*. Considerando che per ghiacciai alpini che non sono strettamente confinati all'interno di valli, si può ragionevolmente assumere che il ghiaccio si muova nella direzione di massima pendenza, lo spostamento del ghiaccio misurato nella direzione di osservazione dei satelliti è stato in seguito proiettato lungo la linea di massima pendenza utilizzando il modello di elevazione digitale del terreno. La mappa di spostamento rappresentata nella figura in basso a p. 37 è infine stata trasformata dalla geometria originale radar al sistema svizzero



Interferogramma radar differenziale ERS-1/2 del 13 e 14 marzo 1999.



Mappa di movimento superficiale lungo la linea di massima pendenza.

di coordinate geografiche e sovrapposta a una carta topografica a scala 1:50.000.

Per il Ghiacciaio del Basodino lo spostamento massimo in un giorno nel mese di marzo del 1999 è stato di circa 9 cm per la parte occidentale e di circa 4 cm per la zona orientale. Per entrambe le aree del Basodino risalta molto bene la forma tipica dello spostamento dei ghiacciai alpini, con il massimo della velocità attorno alla zona centrale.

## Conclusioni

Il movimento superficiale del Ghiacciaio del Basodino durante un giorno in inverno è stato determinato con la tecnica dell'interferometria radar da satellite. La mappa presentata permette una visione d'insieme del movimento avvenuto su quasi tutta la superficie del corpo ghiacciato.

## Ringraziamenti

Dati ERS per gentile concessione C1P.2338 (© ESA, analisi GAMMA). DHM25 © 2003 swisstopo.

## Bibliografia

- Bamler R. e Hartl P. (1998), Synthetic aperture radar interferometry. Inverse Problems. 14: R1-R54.
- Rosen P., Hensley S., Joughin I., Li F., Madsen S., Rodriguez E. e Goldstein R. (2000), Synthetic aperture radar interferometry. Proceedings of the IEEE. 88(3): 333-382.
- Strozzi T., Wegmüller U., Tosi L., Bitelli G. e Spreckels V. (2001), Land Subsidence Monitoring with Differential SAR Interferometry. PE&RS (Photogrammetric Engineering & Remote Sensing). 67(11): 1261-1270.

# Forme periglaciali

Fosco Spinedi, MeteoSvizzera  
Locarno-Monti

foto Fosco Spinedi



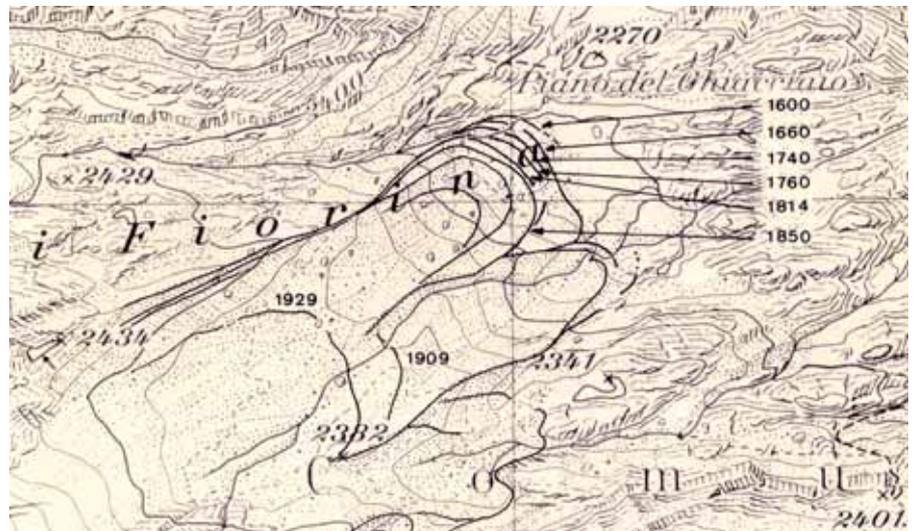
Panoramica delle morene del Ghiacciaio di Caveragno.

Della regione del Basodino, Luigi Lavizzari nelle sue "Escursioni nel Cantone Ticino" scriveva: "... Intorno a questi laghetti alpini si elevano ardite cime del più severo aspetto, tra cui quella del monte Basodino, alto 3276 metri, in grembo alle quali siede il ghiacciaio di Caveragno, che ha 10 chilometri di circonferenza, in contatto con quelli di Antabbia, di Cavagnoli e di Valleggia. Qua e là si stendono depositi di pietre in guisa di muri chiamati dai geologi *morene*, così disposti per opera del movimento del ghiacciaio e che offrono soggetto di studio al naturalista..."

La regione del Basodino è stata fortemente modellata dai ghiacciai che si sono susseguiti durante le ere geologiche. Le testimonianze glaciali sono particolarmente evidenti, non solo attraverso le morene molto ben conservate (le più complete in Ticino), ma anche attraverso un paesaggio a dossi montonati, massi erratici, laghetti e torbiere e un'estesa rete di grotte, in gran parte scavate grazie all'acqua di fusione dei ghiacciai recenti e delle passate ere glaciali.

La parte antistante il ghiacciaio di Caveragno, con le sue testimonianze glaciali e una ricca flora pioniera, è stata dichiarata zona golenale di importanza nazionale.

La presente scheda si basa su un lavoro di ricerca effettuato dall'autore all'inizio degli anni '80.



Posizione e possibile età delle morene del Ghiacciaio di Caveragno.

## Le morene

Le morene laterali del Ghiacciaio del Basodino e di Caveragno appaiono imponenti, con un'altezza in alcuni punti di oltre 40 metri. Le morene terminali del Ghiacciaio di Caveragno presenti in zona sono particolarmente ben conservate, mentre sono state fortemente erose, a causa anche della ripidità del pendio, quelle del Ghiacciaio del Basodino. Nel 2005 esse si trovavano rispettivamente a circa 1.000 m e 1.750 m dal fronte dei rispettivi ghiacciai. Il circo più esterno delle morene terminali del Ghiacciaio di Caveragno, che

occupa la parte più nordoccidentale della vasta torbiera nota come Piano del Ghiacciaio, risale molto probabilmente ai primissimi anni del 1600; seguono alcuni resti attribuibili a stadi intermedi tra il 1600 e il 1800, mentre a ridosso del pendio si trova il doppio arco molto ben delimitato che segna il massimo avanzamento del ghiaccio alla fine della piccola era glaciale. A metà strada circa tra il Piano del Ghiacciaio e la parte terminale del ghiacciaio, altri piccoli valli, databili al XX secolo, attraversano quasi completamente la conca glaciale. Lo stadio del 1850 del Ghiacciaio

del Basodino è identificabile a un centinaio di metri circa sopra il lago del Zött, mentre lo stadio del 1600 potrebbe trovarsi nella conca del Zött, ora occupata dal lago.

La datazione delle morene non è sempre evidente e diventa man mano più difficile risalendo nel tempo. Lo stadio del 1850 è generalmente identificabile in maniera sicura grazie anche alle morene relativamente grandi con un accumulo ordinato di detriti. Le grandi morene laterali dei due ghiacciai, poste a una quota tra 2.300 e 2.500 m sono verosimilmente il risultato degli accumuli di detriti delle diverse fasi di avanzamento succe-

### Il tavolato carsico (*Tischkarren*)

A valle del Piano del Ghiacciaio, il ritiro del ghiacciaio alla fine dell'ultima epoca glaciale ha lasciato alcuni massi erratici di gneiss su una superficie quasi orizzontale di marmo triassico, praticamente priva di vegetazione. Tutta la superficie, eccetto le parti sotto i massi erratici, è stata erosa chimicamente dalle acque meteoriche. I massi erratici si trovano così oggi su uno zoccolo di circa 15-20 cm di altezza. Approssimativamente, l'erosione del marmo è così avvenuta in media a un tasso di circa 1cm ogni 1.000 anni.



foto Fosco Spinedi

Tavolato carsico presente nella zona di Randinascia: il masso erratico ha protetto la roccia sottostante dall'erosione delle acque meteoriche che invece ha agito tutt'attorno lasciando uno zoccolo di una ventina di centimetri di altezza.

dutesi dopo l'Optimum climatico dell'Olocene, che ha raggiunto il suo culmine attorno a 6.000 anni fa, e la piccola era glaciale. I due ghiacciai erano estesi oltre le rispettive morene laterali visibili oggi, probabilmente soltanto fino alla fine del Pleistocene. I resti morenici identificabili a valle degli stadi 1850 e 1600, per esempio tra il Piano del Ghiacciaio e Randinascia, rispettivamente sul fianco sinistro della conca del Zött, risalgono con buona probabilità al periodo tra la fine del Pleistocene e la prima parte dell'Olocene (tra ca. 13.000 e 8.000 anni fa).

### Altre forme glaciali

Accanto alle morene che spiccano sui pendii, altre forme geomorfologiche dovute all'azione del ghiacciaio sul territorio, caratterizzano il paesaggio tra il Basodino e Robiei. In particolare, una vasta fascia tra il lago del Zött e il Riale di Randinascia appare strutturata a dossi allungati, chiamati *rocce montonate*. Queste forme sono state modellate dal ripetuto passaggio del ghiaccio durante le glaciazioni e nei periodi tardo-glaciali. La loro formazione è anche stata favorita dalla presenza di un denso e regolare reticolo di fratture che ha creato delle zone deboli, più facilmente intaccabili dal ghiacciaio e dall'acqua. Su ampie superfici, le rocce montonate appaiono costellate di grossi massi erratici. Materiale glaciale più fine, di ciottoli e sabbia,

è invece stato depositato negli avvallamenti del terreno dal ghiacciaio stesso o dai riali a formare il substrato di torbiere più o meno grandi (per esempio il corte di Randinascia).

Inoltre, l'erosione provocata dalle acque di fusione del ghiacciaio, unite a quelle meteoriche, ha creato numerose grotte nei banchi di roccia calcarea (marmo triassico), più tenere degli gneiss ed erodibili non solo meccani-

camente, ma anche chimicamente. Il reticolo di cunicoli sotterranei esplorati e rilevati si estende per circa 4,5 km e la grotta più importante porta le acque del Fiorina dal Piano del Ghiacciaio alla conca del Zött. L'età delle grotte non è stata stabilita. A. Bögli (1978), profondo conoscitore della speleologia svizzera, fa risalire l'inizio della formazione delle grotte nelle Alpi calcaree nordalpine alla fine del terziario. ■

### Bibliografia

Spinedi F. (1981), Testimonianze glaciali e fenomeni carsici nella Regione del Basodino. Lavoro di diploma ETH Zurigo, non pubblicato.

Hantke R. (1983), *Eiszeitalter 3*. Ott Verlag, Thun.

Bögli A. (1978), *Karsthydrographie und physische Speleologie*. Springer Verlag, Berlin.

foto Fosco Spinedi



Paesaggio a rocce montonate nella zona del Piano del Ghiacciaio.