

I GHIACCIAI della **VAL**

Gian Carlo ROSSI

Membro del Comitato Glaciologico Italiano
alvisero@tin.it

Gianluigi FRANCHI

Membro del Comitato Glaciologico Italiano
gianluigifranchi@virgilio.it

Michela Munari

Ufficio Idrografico
Provincia Autonoma di Bolzano- Alto Adige

Roberto Dinale

Ufficio Idrografico
Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige

Vari studiosi si sono occupati fin dall'Ottocento del glaciologia della Val Ridanna, dimostrando interesse soprattutto per il Ghiacciaio di Malavalle, il più esteso del Sud Tirolo e con caratteristiche morfologiche particolari. Nel presente contributo, attraverso indagini storiche della cartografia e dei documenti, vengono esaminati tali studi, fino alle recenti ricerche sul bilancio di massa che dal 1996 sono effettuate sulla Vedretta Pendente e dal 2001 anche sul Ghiacciaio di Malavalle. Da queste misurazioni risulta che, se si esclude il 2001, quando si è avuta una situazione di sostanziale equilibrio (+48 kg/m²), il bilancio è sempre stato negativo con un massimo nel 2003 (Pendente -2078 kg/m²; Malavalle -1455 kg/m²); ne risulta una perdita di spessore di ghiaccio sulla Vedretta Pendente, in nove anni, di 18 metri e mezzo a circa 2700 m di quota. La linea di equilibrio (ELA) si sta assestando attorno ai 3000 m, e ciò sta rappresentando, oltre alla riduzione di tutti gli apparati glaciali, la progressiva scomparsa di quelli a quote inferiori.



Ricostruzioni storiche e
ricerche glaciologiche

RIDANNA



L'interesse scientifico per il glacialismo della Val Ridanna (Ridnaun Tal) iniziò nella seconda metà dell'Ottocento da parte di vari studiosi, con scopi prevalentemente descrittivi, morfologici e topografici. Indagini meno saltuarie, legate prevalentemente alle variazioni frontali, si ebbero tra gli anni Venti e Trenta del secolo scorso, ma solo dal 1987 queste osservazioni sono avvenute regolarmente ogni anno. Per iniziativa del Comitato Glaciologico Italiano (C.G.I.), nel 1996 sono state avviate misure di bilancio di massa sulla Vedretta Pendente (Hängenderferner) e sono continuate per tre anni. L'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano

– Alto Adige, in considerazione dell'importanza che riveste il glacialismo della Val Ridanna sul regime idrologico dell'Isarco, ha deciso di contribuire al mantenimento della ricerca per gli anni successivi attraverso un apposito incarico annuale al Comitato Glaciologico Italiano.

Le indagini sono state successivamente ampliate: dal 1999 viene determinato anche l'accumulo nevoso primaverile; nel 2000 è stato effettuato un rilievo topografico per determinare l'estensione del ghiacciaio e la velocità di flusso del ghiaccio; dal 2001, inoltre, sono iniziate le misure di bilancio di massa anche sul vicino ghiacciaio di Malavalle (Übeltalferner).

LA VAL RIDANNA E I SUOI GHIACCIAI (Alpi Breonie - Stubaier Alpen; Alto Adige - Südtirol)

Il sistema montuoso delle Alpi Breonie, appartenente alle Alpi Retiche, comprende il gruppo dello Stubai ed il suo spartiacque meridionale costituisce la linea di confine con l'Austria. Le testate delle valli ricadenti in territorio italiano (Passiria, Ridanna e Fleres) presentano ampie conche con ripiani a gradinata, favorevoli alla formazione glaciale. Tra queste, la Val Ridanna è la più glacializzata, comprendendo una decina di ghiacciai, tra i quali solo due presentano dimensioni di rilievo: La Vedretta Pendente (oltre 100 ettari) e il ghiacciaio di Malavalle (oltre 700 ettari) (Fig. 1). Nella figura, che è stata ottenuta dall'elaborazione dell'Ortofoto Digitale del Programma It2000 scala 1:10.000 della Compagnia Generale Ripresearee S.p.a. - Parma, concessa in sub-licenza dalla Provincia Autonoma di Bolzano, sono evidenziati i ghiacciai della Val Ridanna con l'estensione alla data del volo (sett. 1999), i limiti frontali raggiunti in varie date (a partire dalla ricostruzione della massima espansione raggiunta dalla Piccola Età Glaciale) ed i cordoni morenici, le paline utilizzate per la misura del bilancio. I ghiacciai sono identificati con il codice del Catasto Internazionale dei Ghiacciai-World Glacier Inventory (WGI). La **Vedretta Pendente** (WGI4L00121110) occupa il versante meridionale della testata della Val Ridanna, tra la Cresta Rossa (Roter Grat) m 3096 e la Cima di Montarso Occidentale (Westl. Feuerstein) m 3246. Queste due cime sono collegate da una cresta rocciosa che, nella parte centrale, si abbassa fino a poche decine

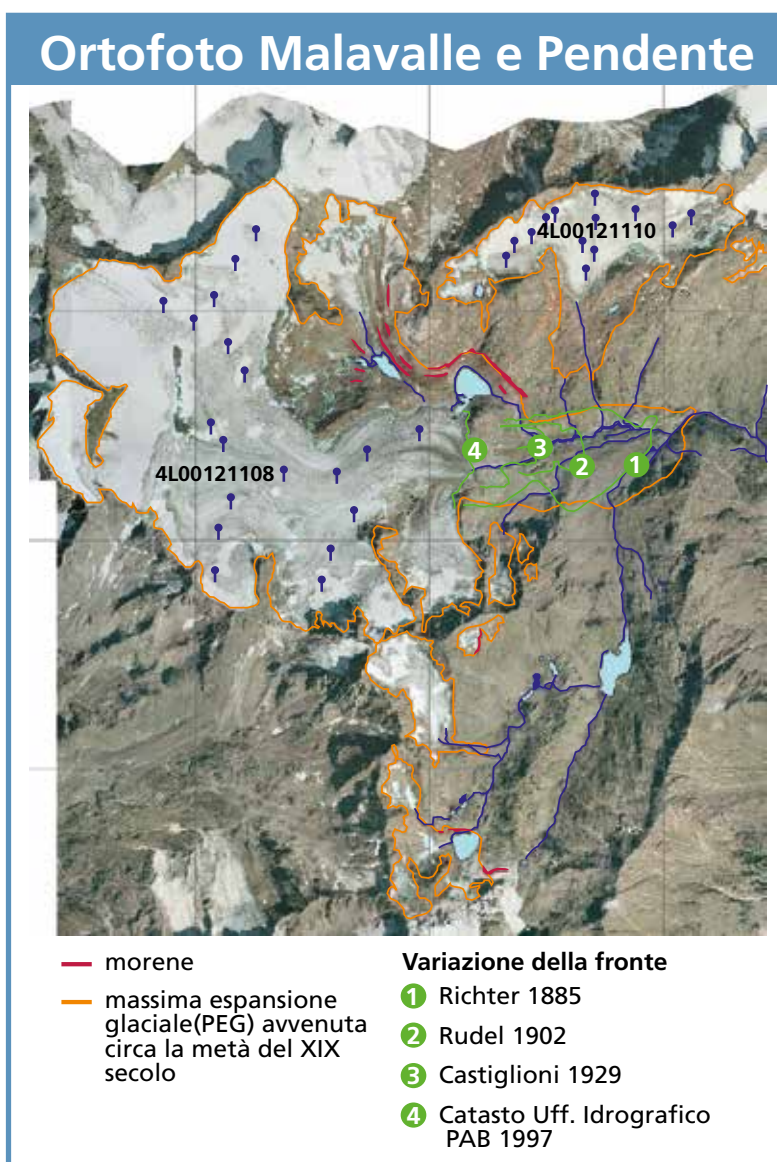


Fig. 1

Fig. 2



di metri sopra la superficie attuale del ghiacciaio. Questo apparato è caratterizzato da due bacini alimentatori distinti: quello occidentale, che proviene dalla Forcella della Cresta Rossa (Rotgratscharte m 3007) e quello orientale che trae origine dalla Forcella di Montarso (Magdeburger Scharte m 3110).

Essi confluiscono in una depressione centrale (m 2730 circa) lievemente declinante verso S, situata in corrispondenza del tratto più basso della cresta. Il bacino alimentatore più esteso è quello orientale, che presenta un'inclinazione inizialmente modesta, poi sempre più accentuata fino alla forcella. Nella fascia altimetrica compresa tra 2900 e 2950 m negli ultimi vent'anni sono affiorate aree rocciose sempre più vaste, che hanno separato quasi del tutto il ripido pendio ghiacciato (che si trova tra quota 2950 e 3100) dal resto del bacino.

Il bacino occidentale è meno

sviluppato, ma più attivo; la sua pendenza più accentuata si trova in corrispondenza della confluenza, tra quota 2750 e 2850. Il flusso glaciale del ramo centrale, a debole pendenza, è orientato verso S; la fronte si trova attualmente a 2625 m di quota. Il **Ghiacciaio di Malavalle** (WGI4L00121108), insediato nella testata della Val Ridanna, deriva il suo nome dalla traduzione del toponimo originale germanico Übelthal per la presenza di scoscese rocce incombenti sul fianco sinistro di una vasta conca valliva (Übel Thäler, le Vallacce). All'apice NO della valle si trova la Cima del Prete (Wilder Pfaff), dalla quale verso E e S si diramano le linee di cresta che formano lo spartiacque lungo cui corre il confine italo-austriaco.

La testata della Val Ridanna è costituita da un'ampia conca, divisa in molti ripiani a gradinata che formano nicchie o circhi a diverso sviluppo, nei quali si realizzano condizioni diverse di

accumulo a seconda delle differenti esposizioni e inclinazioni. Il più possente di questi circhi è quello che viene delimitato dalla cresta che congiunge la Cima del Prete (m 3456) alla Cima di Malavalle (Sonklarspitz m 3471). Gli altri due circhi oltre i 3200 m sono quelli di Cima Libera (Wilder Freiger m 3418) e di Cima di Malavalle-Croda Nera (Schwarzwandspitz m 3354). I flussi glaciali provenienti dai suddetti circhi confluiscono in un'ampia area centrale a circa 2900 m di quota. Qui il ghiacciaio raggiunge probabilmente il suo massimo spessore, anche per il contributo ricevuto da un bacino minore che, esposto a N, fa parte della linea di cresta meridionale (Hoffmann Spitz m 3113, Monte Reale-Königshof Spitz m 3132). Altri due bacini di accumulo vanno ad alimentare il flusso principale del ghiacciaio nella sua parte bassa (attorno ai 2800 m); esposti a N, provengono dalla linea di cresta meridionale che

Tabella 1

VARIAZIONI FRONTALI			
Ghiacciaio Malavalle		Vedretta Pendente	
Anni	Diff. metri	Anni	Diff. metri
1923-24	-24	1922-23	-10
1924-28	-28	23-28	-28
29	-8	29	-12
30	-9	30	+1
31	-10	31	-4
32	-16	32	+1
33	-23	33	-2
34	-11	34	-8
35	-14	35	+1
36	-11	36	-8
37	-20	37	-7
38	-18	38	-11
1938-58	-500	1938-58	-187
1958-78	-30	1958-78	-56
1978-84	-14	1978-84	-25
1984-87	-12	1984-87	-24
88	-8	88	-7
89	-4	89	-5
90	-3	90	-4
91	-8	91	-17
92	-8	92	-9
93	-2	93	-3
94	-3	94	-5
95	-7	95	-15
96	-5	96	-7
97	-7	97	-3
98	-16	98	-11
99	-11	99	-1
2000	-8	2000	-7
01	-10	01	-4
02	-18	02	-9
03	-11	03	-29
04	-17	04	-3
Tot. 1923-2004	-894	Tot. 1922-2004	-518

VARIAZIONI IN METRI PER PERIODI E MEDIE ANNUALI					
Ghiacciaio Malavalle			Vedretta Pendente		
1923-1938	-192	-12,8	1922-1938	-87	-5,4
1938-1958	-500	-25,0	1938-1958	-187	-9,3
1958-1978	-30	-1,5	1958-1978	-56	-2,8
1978-1987	-26	-2,9	1978-1987	-49	-5,4
1987-2004	-146	-8,6	1987-2004	-139	-8,2
Tot. 1923-2004	-894	-11,0	Tot. 1922-2004	-518	-6,3

QUOTE MINIME FRONTI			
Ghiacciaio Malavalle		Vedretta Pendente	
Anno 1923	2170m	Anno 1922	2550 m
Anno 2004	2530 m	Anno 2004	2625 m

congiune il monte Reale, la Forcella del Capro (Botzer Scharte, m 2978), le anticime del Capro (m 3186) e della Parete Alta (m 3132). Un ultimo bacino esposto a N, ai piedi della Parete Alta (Hochgewand, m 3190) fa confluire il ghiaccio in prossimità della fronte principale del Malavalle a circa 2600 m.

Attualmente la zona frontale del ghiacciaio è divisa da una barriera rocciosa centrale in due parti: l'una, accanto all'imponente morena laterale sinistra, formatasi tra il Settecento e l'Ottocento, giunge fino a un laghetto proglaciale a quota 2550 m; l'altra, da cui fuoriesce il torrente principale, termina poco sopra i 2500 m di quota, al limite di un salto roccioso di oltre 300 metri. Fino agli anni Trenta del secolo scorso un'ampia seraccata precipitava sulla conca sottostante, nella quale, durante il periodo di massima espansione della Piccola Età Glaciale (PEG, attorno al 1850), si era formata la Vedretta Piana (Ebene Ferner) con uno spessore del ghiaccio valutato fra i cento e i duecento metri.

RICOSTRUZIONE STORICA

Cartografia

Le carte geografiche redatte fino al XVI secolo non riportano toponimi relativi a ghiacciai nel Tirolo. Nella carta della Contea del Tirolo di Wolfgang Latius, pubblicata ad Anversa nel 1573 in scala approssimativa 1:1.000.000, è rappresentata con un certo dettaglio, e altrettanta imprecisione, l'idrografia, ma non vi sono riferimenti a ghiacciai.

I primi accenni al glacialismo dello Stubai appaiono solo qualche decennio più tardi nella Carta prodotta da Warmund Ygl a Praga nel 1605, nella quale gli apparati glaciali vengono identificati con il toponimo *Der*

Groß Verner e con la precisazione *Glacies continua et perpetua*. Una rappresentazione analoga è contenuta nella carta di Johannes Blaeu del 1662, nella quale lo *Stubai* viene descritto come *Ferner et Lacus Glaciatus*. Questo è un testimonio del fatto che solo allora gli effetti della Piccola Età Glaciale risultavano evidenti ai cartografi dell'epoca. Successivamente, P. Anich e B. Hueber, nell'Atlas Tyroliensis pubblicato nel 1774, rappresentarono più dettagliatamente gli apparati glaciali, anche se non ad un livello tale da consentire valutazioni metriche (Fig.2). Essi sono ancora raggruppati sotto l'unico toponimo Ferner Stubai, ma si possono riconoscere approssimativamente i limiti glaciali, e la fronte del ghiacciaio di Malavalle sembra occupare gran parte della Conca Piana. Questo significa che i ghiacciai erano in fase di espansione, fase conclusasi attorno al 1850, quando il ghiacciaio di Malavalle occupava tutta la Conca Piana e la superava con una piccola lingua nella gola alla base dell'Anticima di Ippeles, raggiungendo la quota minima di 2070 m.

Variazioni frontali

Nel 1871 Pfaundler rilevò che il ghiacciaio di Malavalle già da quindici anni si stava riducendo di spessore, ma occupava ancora quasi tutta la conca della Vedretta Piana. Probabilmente il ghiacciaio aveva già perso l'appendice più bassa ed era quindi arretrato rispetto alla massima espansione di circa 300 metri, quando nel 1889 si staccò dalla barriera rocciosa dell'Ippeles e arretrò in un anno di 60 metri: era iniziato il vero ritiro dell'intero apparato frontale (Czermack, 1890). Dal 1890 al 1895 il ritiro fu di 50 metri all'anno in media; poi nei cinque anni successivi vennero misurati in totale altri 60



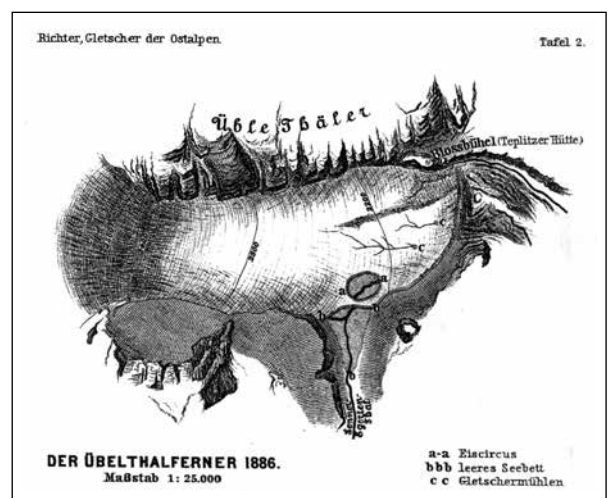
metri (Hess, 1899).

Nel 1903, in occasione del IX Congresso Geologico Internazionale, si osservò che la fronte era stazionaria (quindi il ghiacciaio aveva risentito in ritardo rispetto agli altri ghiacciai delle Alpi del leggero avanzamento di fine Ottocento) e che la lingua occupava ormai meno di metà della Conca (Richter, 1903).

Nel 1912 il prof. M. Lagally di Monaco constatò che il plateau (denominato anche "Vedretta Piana") era praticamente scomparso e l'arretramento complessivo della fronte dal 1902 venne valutato con il metodo fotogrammetrico in 225 m. Nei successivi dieci anni la fronte, dopo un ulteriore debole arretramento, probabilmente ebbe anche una oscillazione positiva. Dal 1889 al 1922, quindi, il ritiro era stato di oltre 600 metri.

Sono poche le segnalazioni riguardanti la Vedretta Pendente, che a metà Ottocento si spingeva fino a circa 2400 m di quota sull'orlo delle "Vallacce" (da qui il nome di "Pendente" o "Pensile").

Negli anni Venti iniziarono, per conto del Comitato Glaciologico Italiano, le osservazioni delle variazioni frontali dei due maggiori ghiacciai della Val Ridanna. Alla fine della stagione estiva



(normalmente in settembre), utilizzando appositi segnali, veniva misurata la distanza dalle fronti, si documentava la situazione con fotografie scattate da opportune stazioni fotografiche e si stendeva una breve relazione sugli argomenti più significativi (quota del limite inferiore dell'innevamento residuo, variazioni della morfologia dell'apparato glaciale e della copertura morenica, ecc.). Il tutto, poi, veniva pubblicato sul Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano (dal 1978 sulla rivista "Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria"). Su entrambi i ghiacciai le osservazioni annuali furono abbastanza regolari fino al 1938; poi si ebbero due lunghe interruzioni: una fino al 1958, quando ci furono i rilievi per il Catasto dei ghiacciai italiani, e l'altra fino al 1978, quando

Fig. 3 Ghiacciaio Malavalle: rappresentazione Richter 1887



Sopra: Ghiacciaio Malavalle in una foto di fine '800.

Sotto: Colata di ghiaccio del 1928.

le osservazioni ripresero prima saltuariamente e poi dal 1987 regolarmente ogni anno.

I dati disponibili per la Vedretta Pendente consentono di analizzare un periodo di 82 anni (dal 1922 al 2004), nel corso dei quali la fronte ha subito un arretramento complessivo di 518 m (valore medio annuo $-6,3$ m); gli anni di riferimento per il ghiacciaio Malavalle sono 81 (dal 1923) e l'arretramento della fronte principale è stato di 894 m (in media $-11,0$ m all'anno). In relazione alle condizioni di regolarità o di

interruzione delle osservazioni, tali periodi sono stati divisi in cinque parti (vedi tabella 1).

Il periodo di più intensa riduzione, addirittura superiore a quello ben noto degli ultimi anni, risulta essere stato quello tra il 1938 e il 1958; in particolare il forte ritiro del Malavalle si può spiegare con la scomparsa della grande seraccata che superava il salto roccioso con un dislivello di trecento metri. Nei trent'anni tra il 1958 e il 1987 la fase di ritiro è continuata, ma nettamente sotto la media. E' significativo, inoltre,

notare come le quote minime delle fronti si siano innalzate di 360 m sul Malavalle e di 75 m sul Pendente.

Variazioni areali

Gli studi e le osservazioni specifiche sui ghiacciai della Val Ridanna iniziarono nella seconda metà dell'Ottocento, con interessi prevalentemente descrittivi e topografici indirizzati soprattutto al più imponente dei ghiacciai del bacino, il Malavalle (Barth, 1865; Pfaundler, 1871; Zöpplitz, 1878). Di notevole interesse il lavoro di Richter, che ne descrisse accuratamente la morfologia e le caratteristiche, con i fenomeni connessi al forte ritiro glaciale di quegli anni (Richter, 1888). In particolare descrisse il lago epiglaciale che, anche se in dimensioni ridotte rispetto agli anni precedenti, ancora si formava nella valle dell'Erpice (Egetental) per effetto dello sbarramento del ghiacciaio di Malavalle. Il Richter riporta, inoltre, una rappresentazione in scala 1:25.000 della lingua, che nel 1887 occupava ancora quasi tutta la conca (Fig. 3).

Una calamità ricorrente colpiva la Val Ridanna: le inondazioni causate dal Malavalle. Sicuramente i valligiani avevano già subito le prime disastrose alluvioni se già nel 1745 la conca dell'Accla, a circa 1700 m di quota, era stata sbarrata da una piccola diga. Ne parla anche lo Gsaller, in una sua trattazione a scopo prevalentemente turistico (Gsaller, 1891), che riporta una interessante descrizione anonima apparsa sul "Bote von Tyrol und Voralberg" (Messaggero del Tirolo e Voralberg) nell'agosto 1825 (Vedi in calce all'articolo)

Per quanto riguarda l'estensione dei ghiacciai Richter nel 1888 riporta per il Malavalle una stima areale di 1069,2 ha, mentre la linea che ripartiva la superficie

glaciale secondo il rapporto 1:3 (cioè il valore del rapporto area-ale che all'epoca era ritenuto sufficiente a mantenere l'equilibrio del ghiacciaio) veniva indicata a 2760 m di quota.

La Vedretta Pendente è descritta dallo stesso autore come un ghiacciaio sospeso fin sull'orlo dei ripiani che sovrastano la conca occupata dal ghiacciaio di Malavalle ("Uebeln Thäler Felsen"), e ne valuta la superficie 235,8 ha. Nel 1912 Lagally pubblica uno schizzo in scala 1:200.000 di tutti i ghiacciai del Gruppo dello Stubai. Da segnalare altre osservazioni fino alla Prima Guerra Mondiale da parte di Finsterwalder (1916).

La prima descrizione dei ghiacciai della valle dopo la Prima Guerra Mondiale si deve a E. Mosna (1924); un fondamentale contributo è di B. Castiglioni, che nel 1930 in una pubblicazione sui "Ghiacciai delle Breonie" riporta le osservazioni e le analisi compiute tra il 1926 e il 1929.

Ulteriori rilievi vengono effettuati nel 1958 per la compilazione del Catasto dei Ghiacciai Italiani (C.N.R. - C.G.I., 1959-1962).

E' del 1982 la redazione del Catasto dei Ghiacciai della Provincia Autonoma di Bolzano, per la quale sono state usate la cartografia di base dell'I.G.M. e le foto aeree

della Provincia Autonoma di Bolzano relative alla copertura della Carta Tecnica (volo settembre 1982): la superficie complessiva risultava di 1131 ha.

La stima più recente dell'estensione delle aree glaciali nel territorio della Provincia di Bolzano proviene dall'elaborazione di un



Sopra: Vedretta Pendente e Ghiacciaio Malavalle nel 1930 circa.

A sinistra: Fronte Malavalle nel 2004.



la leggera discordanza con i valori della Provincia Autonoma di Bolzano è dovuta al fatto che non è stata considerata come appartenente al Ghiacciaio di Malavalle la placca di ghiaccio sottostante la Cima Libera che da molti anni costituisce un'unità glaciale distinta.

IL BILANCIO DI MASSA: DEFINIZIONE E METODI

Il modello concettuale delle misure e delle osservazioni che vengono condotte sui ghiacciai risente del ruolo particolare che questi hanno sull'insieme delle interazioni ghiaccio-clima-idrologia; in particolare, la grandezza che viene comunemente definita **bilancio di massa** corrisponde ad una stima delle variazioni di massa che si verificano in un determinato intervallo temporale sulla superficie libera del ghiacciaio. La quantità unitaria che ne deriva, il "bilancio specifico di massa" (espresso in kg/m^2), rappresenta un importante indicatore climatico perché questo flusso di massa è direttamente convertibile nel bilancio dei flussi energetici che attraversano la superficie glaciale, considerato che la fusione di $1 \text{ kg}/\text{m}^2$ di ghiaccio (equivalente ad una lama d'acqua dello spessore di 1 mm) corrisponde ad un surplus di flusso energetico entrante di circa $334 \text{ kJ}/\text{m}^2$.

La grande importanza di queste misure nel monitoraggio dei cambiamenti climatici e del loro effetto sul ciclo idrologico spiega l'attenzione che viene loro rivolta dagli organismi affiliati all'Organizzazione delle Nazioni Unite che sovrintendono al controllo del Clima e delle risorse idriche quali il WMO, IPCC, ecc., assieme alle iniziative, anche recenti, di normalizzazione delle procedure di queste misure

Serie dei valori di bilancio netto dei ghiacciai Malavalle e Pendente

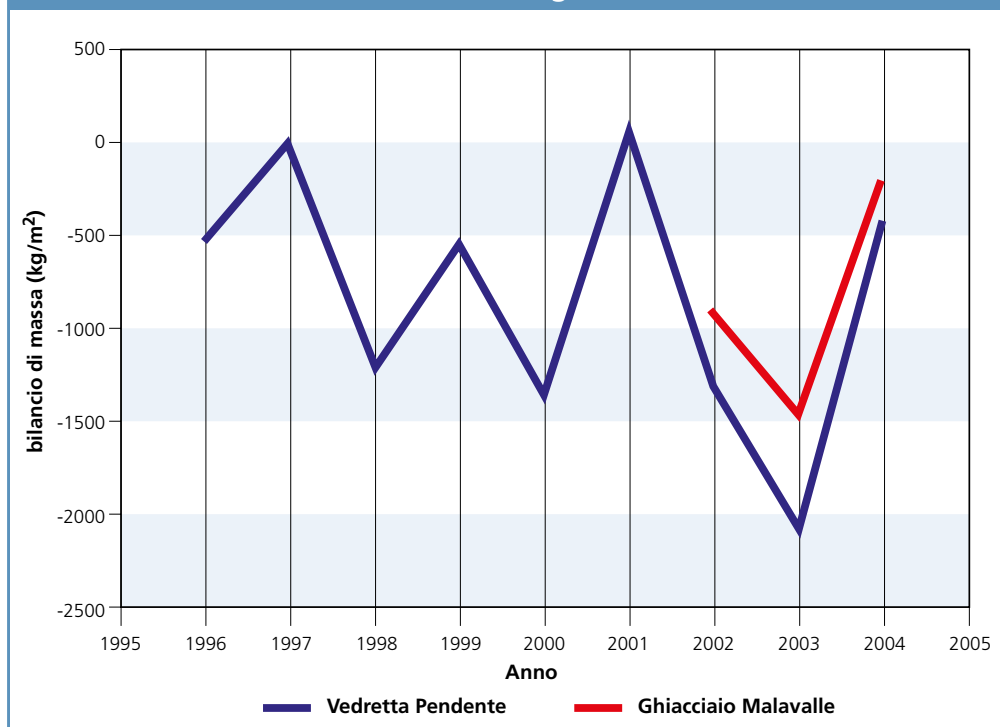


Fig. 4 rilievo aerofotogrammetrico del 1997 dedicato alla stesura di un nuovo Catasto dei Ghiacciai, le cui elaborazioni finali non sono ancora state pubblicate. E' stato però autorizzato l'utilizzo parziale dei dati relativi alla Val Ridanna, in base ai quali si ottiene una stima dell'estensione totale delle aree glaciali di 963 ha , dei quali l'83% circa appartiene al Ghiacciaio di Malavalle, l'11,8% alla Vedretta Pendente, ed il

resto ad unità minori. Sulla base di un rilievo topografico sulla Vedretta Pendente dell'estate 2000 e attraverso l'interpretazione dell'ortofoto del volo CGR It 2000 (volo settembre 1999) gli Autori del presente articolo sono giunti ad una stima delle aree glaciali valida come base per i calcoli relativi al bilancio di massa; tale stima è di 107 ha per la Vedretta Pendente e di 720 ha per il Ghiacciaio di Malavalle;

Foto sopra: Lago proglaciale del Malavalle 2004.

(Kaser & alii, 2003). Il bilancio di massa coinvolge i seguenti fattori (sempre espressi in termini di equivalente d'acqua):

- **accumulo lordo**: quantità massima di accumulo raggiunto dalla neve sulla superficie del ghiacciaio nel corso dell'anno idrologico;

- **accumulo netto**: quantità di eventuale accumulo residuo della neve alla fine dell'anno idrologico;

- **ablazione lorda**: quantità totale di neve e ghiaccio fusi nell'intervallo temporale compreso tra il massimo accumulo e la fine dell'anno idrologico (espressa con segno negativo);

- **ablazione netta**: quantità di ghiaccio fusa nel corso dell'intero anno idrologico (espressa con segno negativo).

- **bilancio netto** (Bn): somma algebrica di accumulo netto e ablazione netta, oppure di accumulo lordo e ablazione lorda.

L'intervallo di riferimento delle misure del bilancio di massa viene convenzionalmente fatto riferire all'anno idrologico, che corrisponde all'intervallo di un anno compreso tra il 1 ottobre ed il 30 settembre dell'anno successivo.

Le misure di accumulo lordo vengono effettuate nella tarda primavera (quando si raggiunge il massimo stagionale dello spessore del manto nevoso) attraverso numerosi sondaggi a varie quote, e i dati vengono successivamente elaborati per l'integrazione sull'intera superficie. Si scava anche una o più trincee per l'analisi della stratificazione dell'intero manto nevoso; quindi si procede alla valutazione della densità della neve, mediante pesata di carote di dimensioni determinate.

La misura del bilancio netto si basa sul metodo diretto, che prevede il calcolo del bilancio su

RISULTATI DELLE MISURE DI BILANCIO DI MASSA						
Vedretta Pendente-Hangenderferner 1996-2000						
Data iniziale		15-07-96	15-09-96	21-09-97	30-09-98	12-09-99
Data finale		15-09-96	21-09-97	30-09-98	12-09-99	16-09-00
Accumulo Lordo	kg/m ² m ³ *1000				1823 2059	1745 1861
Ablazione Lorda	kg/m ² m ³ *1000				-2364 -2636	-3124 -3314
Bilancio Netto	kg/m ² m ³ *1000	-534 -597	-12 -13	-1210 -1291	-541 -577	-1379 -1453
Area Totale	km ²	1.119	1.119	1.067	1.067	1.067
Area Accumulo	km ²	0.112	0.672	0.053	0.107	0.000
Area Ablazione	km ²	1.007	0.447	1.014	0.960	1.067
ELA	m	2940	2780	3050	2912	3110*
Vedretta Pendente-Hangenderferner 2000-2004						
Data iniziale		16-09-00	15-09-01	16-09-02	20-09-03	
Data finale		15-09-01	16-09-02	20-09-03	19-09-04	
Accumulo Lordo	kg/m ² m ³ *1000	2957 3153	1497 2063	2000 2132	1872 1995	
Ablazione Lorda	kg/m ² m ³ *1000	-2908 -3102	-2791 -3444	-4078 -4349	-2299 -2439	
Bilancio Netto	kg/m ² m ³ *1000	48 52	-1294 -1381	-2078 -2217	-427 -444	
Area Totale	km ²	1.067	1.067	1.067	1.067	
Area Accumulo	km ²	0.651	0.000	0.000	0.093	
Area Ablazione	km ²	0.416	1.067	1.067	0.974	
ELA	m	2801	3110*	3110*	2935	
Ghiacciaio Malavalle Übeltalferner 2001-2004						
Data iniziale			13-09-01	14-09-02	20-09-03	
Data finale			14-09-02	20-09-03	18-09-04	
Accumulo Lordo	kg/m ² m ³ *1000		1354 9746	1633 11754	1337 9624	
Ablazione Lorda	kg/m ² m ³ *1000		-2263 -16291	-3145 -22637	-1545 -11124	
Bilancio Netto	kg/m ² m ³ *1000		-909 -6546	-1455 -10476	-208 -1500	
Area Totale	km ²		7.198	7.198	7.198	
Area Accumulo	km ²		2.786	1.882	3.405	
Area Ablazione	km ²		4.412	5.316	3.793	
ELA	m		3042	3120	2990	

* L'altezza della linea d'equilibrio (ELA) è maggiore della quota massima del ghiaccio

alcuni punti rappresentativi del ghiacciaio e la successiva integrazione sull'intera superficie.

Le misure glaciologiche vengono effettuate utilizzando paline ablatometriche (tubi di alluminio lunghi circa 4 m e del diametro esterno di 20 mm) infisse nel ghiaccio circa 2.5 metri; durante

la stagione estiva si calcolano le variazioni di lunghezza della parte sporgente dal ghiaccio delle paline (che, se necessario, vengono approfondite), e si tiene conto contemporaneamente dello spessore dell'eventuale neve residua.

Attualmente sono installate 16

Tabella 2

paline sulla Vedretta Pendente e 19 sul Ghiacciaio di Malavalle. Il numero e la localizzazione delle paline seguono criteri orientati ad assicurare delle proprietà di "rappresentatività" (Kaser &

Fig. 5 alii, 2003), e in particolare sul

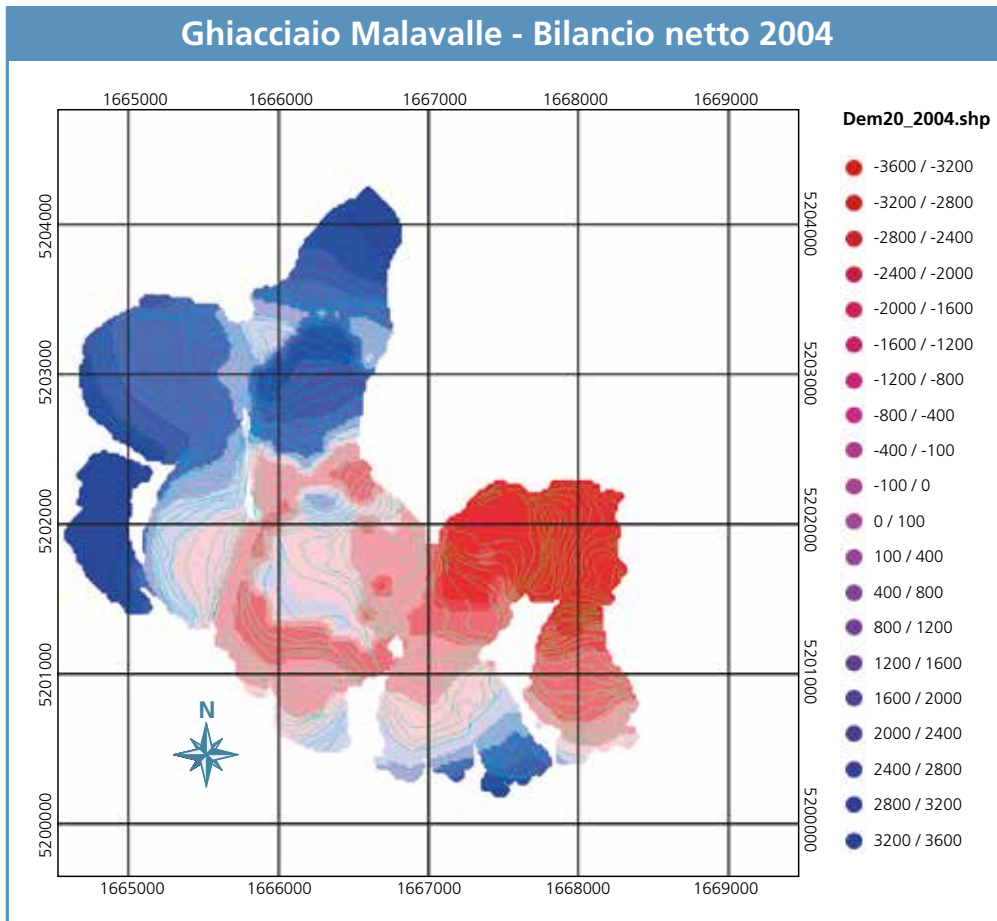
Malavalle sono collocate lungo il flusso principale del ghiacciaio, ad intervalli di circa 50 m di quota, da 3250 m (sotto Cima Libera) fino a 2700 m in prossimità della fronte; inoltre alcune sono installate sui bacini esposti

a N nella zona del Capro e del Monte Reale.

La procedura di integrazione dei valori puntuali distribuiti delle grandezze glaciologiche è la stessa per il calcolo dell'accumulo e per quello del bilancio di massa ed è effettuata in ambiente GIS (Geographic Information System). In questo ambito la struttura fondamentale utilizzata per le analisi presentate è il Modello Digitale del Terreno, o DEM (Digital Elevation Model) costituito da un insieme di punti tridimensionali le cui coordinate planimetriche sono equispaziate. La risoluzione DEM di quest'ultimo è stata scelta in modo da realizzare la copertura dell'area glaciale con un numero adeguato di elementi; nel caso della Vedretta Pendente e del Ghiacciaio di Malavalle si sono scelte rispettivamente celle di 10 e 20 m di lato.

Ad ogni punto del DEM vengono associate, in qualità di attributi, le tre coordinate spaziali dello stesso ed i valori puntuali delle grandezze glaciologiche di interesse. La metodologia di calcolo adottata si sviluppa secondo i seguenti passi successivi:

- calcolo dei valori puntuali di accumulo o bilancio di massa per ciascun punto di sondaggio della neve o palina;
- elaborazione delle relazioni che legano i valori puntuali della grandezza in esame con la quota (rette di regressione) ed identificazione delle aree omogenee all'interno delle quali tali relazioni altimetriche risultano valide;
- computo, in ambiente GIS, dei valori distribuiti di accumulo o bilancio di massa applicando l'equazione di regressione appropriata;
- media dei valori distribuiti su fasce altimetriche equidistanziate (di ampiezza 10 m);
- calcolo dei valori complessivi di bilancio risultanti dalla somma



su tutte le fasce altimetriche dei singoli valori di fascia;

- calcolo dei valori di bilancio specifico come rapporto tra i valori complessivi e l'area ad essi relativa.

La distribuzione altimetrica del bilancio permette di identificare il valore della quota alla quale il bilancio netto si annulla, cioè la Quota della linea di equilibrio (Equilibrium Line Altitude, E.L.A.), parametro caratteristico della dinamica glaciale.

LE MISURE GLACIOLOGICHE SULLA VEDRETTA PENDENTE

I valori di bilancio di massa specifico sulla Vedretta Pendente si riferiscono al periodo di 9 anni di osservazioni che va dal 1996 al 2004 e confermano la tendenza alla riduzione di questo apparato glaciale: il valore medio risulta -825 kg/m^2 , mentre la serie presenta un'alta variabilità (Fig. 4). In questo periodo si è presentato un solo valore positivo ($+48 \text{ kg/m}^2$) nell'anno idrologico 2000-2001, mentre il record negativo si è avuto nel 2002-2003 con -2078 kg/m^2 (Vedi tabella 2).

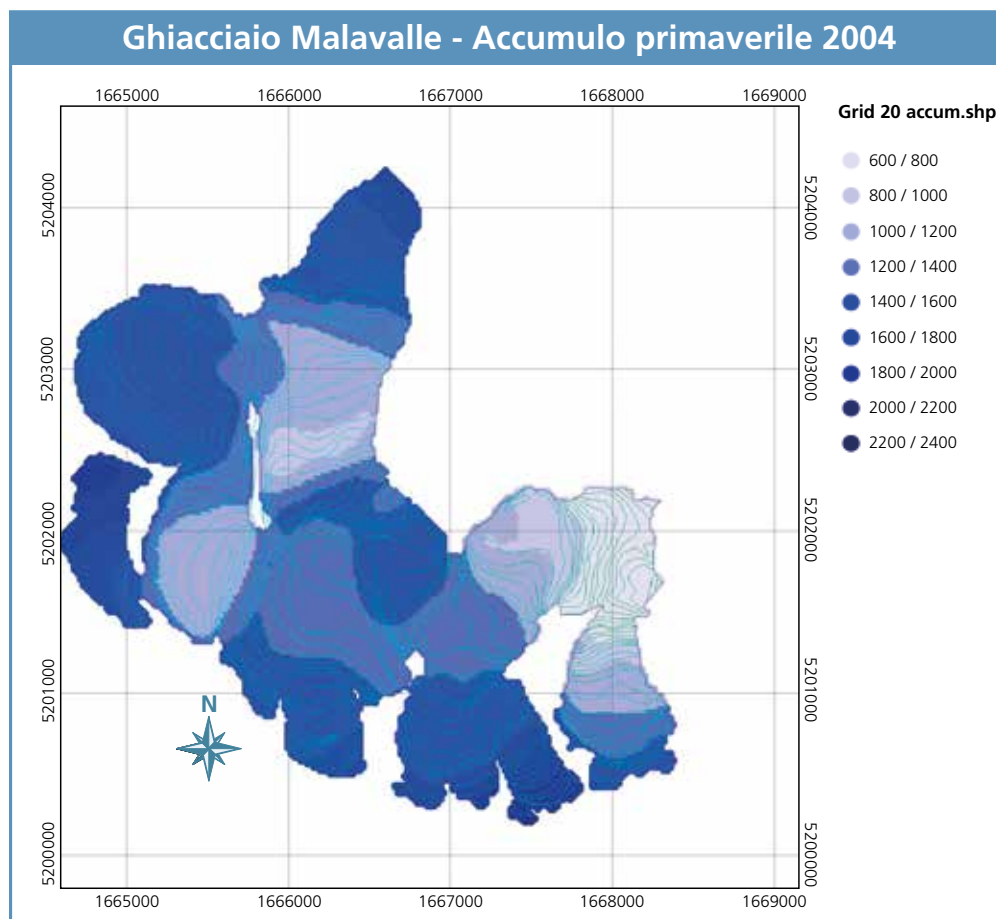
In corrispondenza della palina posta in prossimità della fronte, a quota 2660, è stata rilevata una riduzione di spessore del ghiaccio di 18,50 m (media annua -2 m circa), che, tenendo conto della densità del ghiaccio (0,9), equivalgono a quasi 17 m di acqua. Gli spessori di ghiaccio fuso si riducono rapidamente al salire della quota, con una variazione altimetrica piuttosto regolarizzata sul bacino orientale ($-5,70 \text{ m}$, in 9 anni, alla palina posta a quota 2840), mentre su un vasto settore del bacino occidentale, a parità di quota, dal 1996 si è sempre registrata la presenza di nevato, scomparso solo durante la calda estate del 2003. I valori di bilancio specifico cumulato possono

venire approssimati mediante un tratto di retta con una buona significatività statistica ($R^2 \approx 0.8$). Il valore del gradiente medio annuo risulta circa $6.2 \text{ kg/m}^2/\text{m}$ di elevazione. Si può formulare un'ipotesi sulla specificità di comportamento della Vedretta Pendente, ghiacciaio che, nonostante la sua esposizione a S, è stato in grado di garantire la permanenza a quote relativamente basse di masse glaciali attive:

infatti tale ghiacciaio è delimitato a N da una cresta rocciosa relativamente bassa e quindi di scarso ostacolo per i venti settentrionali che favoriscono abbondanti apporti nevosi. Le misure dell'accumulo invernale (dal 1999) fanno registrare mediamente valori consistenti; ma quando il periodo estivo è caldo e soprattutto lungo, come è successo frequentemente negli ultimi vent'anni, il manto nevoso si scioglie completamente



Fig. 6



te o quasi, fino alle quote più elevate, lasciando il ghiacciaio senza alimentazione. Ciò è confermato dall'andamento dell'ELA, nei nove anni per tre volte superiore alla quota massima del ghiacciaio.

LE MISURE GLACIOLOGICHE SUL GHIACCIAIO DI MALAVALLE

Il Ghiacciaio di Malavalle presenta caratteristiche prossime a quelle "ideali" teorizzate nel già

citato manuale operativo (Kaser & alii, 2003), che tendono a ridurre la complessità delle relazioni tra il bilancio di massa e il clima. Queste condizioni si possono così sintetizzare:

- estensione areale compresa tra 5 e 10 km² (comunque non inferiore a 2 km²);
- estensione altimetrica di 1000 m (comunque non inferiore a 500 m);
- bacino idrologico ben delimitato;

- geometria semplice (bacini accumulatore e dissipatore semplici);
- assenza di fattori di accumulo e ablazione non climatici (quali eccessivo apporto da valanghe o ablazione da calving);
- assenza di significative coperture detritiche;
- superficie uniforme.

Il ghiacciaio di Malavalle risponde a quasi tutti questi requisiti, ad eccezione di quello riguardante la semplicità della geometria, esso presenta infatti bacini di accumulo piuttosto complessi.

Le osservazioni sul bilancio di massa del Ghiacciaio di Malavalle sono limitate agli ultimi 3 anni e quindi la significatività delle considerazioni statistiche che si possono trarre risulta limitata dall'esiguità del campione.

La media sul periodo risulta -858 kg/m². Il valore più negativo è stato registrato nel 2003 (-1455 kg/m²): è un risultato che risente delle eccezionali condizioni estive, ma, pur con un'ELA a 3120 m, a fine stagione l'area d'accumulo rappresentava il 26% dell'intero bacino.

Il valore meno negativo è stato misurato nel 2004 (-208 kg/m²; in Fig. 5 è rappresentata la distribuzione spaziale del bilancio netto: le sfumature di rosso indicano l'ablazione, le sfumature di blu l'accumulo residuo).

I valori di questo campione sono legati da una correlazione molto forte ($R^2 = 0.9656$); se questa proprietà venisse conservata anche per le prossime osservazioni, potrebbero venire ricostruiti con una certa affidabilità i valori del bilancio di massa degli anni scorsi.

In corrispondenza della prima palina posta nella parte bassa del bacino ablatore, a circa 2700 m (esposizione E), in 3 anni l'ablazione del ghiaccio è stata di quasi 9 metri; alla quota di 2900



"BOTE VON TYROL UND VORALBERG"

(Messaggero del Tirolo e Voralberg)

Agosto 1825 (Gsaller, 1891)

"La Val Ridanna, che si estende per tre ore di cammino a nord ovest di Vipiteno, una volta era una valle probabilmente incantevole, ma da tempo è rovinata da continue inondazioni; si trova vicino a un ghiacciaio che qui viene chiamato semplicemente Ferner. Durante l'ultima grande inondazione nell'anno 1821 il torrente lasciò il suo alveo per formarsene uno nuovo tra i migliori prati e campi della valle.

Poco prima del ghiacciaio si estende un alpeggio chiamato Agglas; nella sua parte superiore ormai il ghiacciaio sporge per un quarto d'ora di cammino. Non solo recentemente si sono ristretti i confini dell'alpeggio, ma anche la vegetazione diminuisce e il freddo aumenta. Cinquant'anni fa qui si nutrivano ottanta bovini e duecento pecore; da otto anni possono pascolare solo le pecore. Poco sopra, in una grande piana, c'era più di cent'anni fa un meraviglioso alpeggio che ora è coperto di ghiacci perpetui. Alla sua destra si trova la valle chiamata Egget, dalla quale dipende il destino degli abitanti di Ridanna. Qui ogni anno si forma un lago, lungo mezz'ora di cammino e largo un quarto d'ora, alimentato da neve sciolta e acqua del ghiacciaio; esso è sbarrato da un alto muro di ghiaccio. Sono fortunati i valligiani se questo muro riesce a tenere la pressione dell'acqua, cosicché questa defluisca dall'alto, come è successo negli ultimi tre anni; ma sono sfortunati se questo muro si rompe ai lati o addirittura sotto, liberando le acque con incredibile forza verso Ridanna, e portandosi tra ripidi pendii verso Mareta, per liberarsi lì delle pietre e dei massi."

(esposizione S) la riduzione netta di spessore è stata di 6,50 m ed ancora di 2,90 m a circa 3000 m di quota (stessa esposizione). Ma già alla successiva palina posta a 3035 m si è registrato un accumulo nevoso alla fine di tutti e tre gli anni idrologici (in Fig. 6 la distribuzione spaziale dell'accumulo nevoso primaverile del 2004).

Nei bacini esposti a N, dove sono state installate 6 paline tra il 2002 e il 2004, l'ablazione a parità di quota è minore, e il limite del nevato si trova generalmente a quote di 50/100 m più in basso rispetto a quello del flusso principale del ghiacciaio. Per quanto riguarda il gradiente altimetrico del bilancio di massa, considerata la brevità del periodo di osservazione, si possono fare considerazioni solo approssimate, anche per il fatto che essendo stato incrementato il numero delle paline con il progredire della conoscenza del ghiacciaio e dell'evoluzione delle misure; i valori di bilancio relativi alle paline non ancora installate sono stati ricostruiti con l'equazione di regressione dell'anno precedente. Le relazioni Bilancio netto /ELA sono in Fig. 7.

La prosecuzione degli studi su questi ghiacciai, in un'area particolarmente interessante delle Alpi, potrebbe consentire l'approfondimento delle ricerche sulle relazioni tra il clima e il bilancio di massa, nonché sull'evoluzione della quota limite delle nevi e sulle fluttuazioni dell'E.L.A.. Nel corso delle indagini, inoltre, sono state messe le basi per la fattibilità di una campagna di misure degli spessori glaciali con prospezioni radar (Radio Echo Sounding), per migliorare la conoscenza delle disponibilità idriche degli accumuli glaciali in alta quota.

Relazione bilancio netto/ELA per i valori misurati sulla Vedretta Pendente e sul Ghiacciaio Malavalle

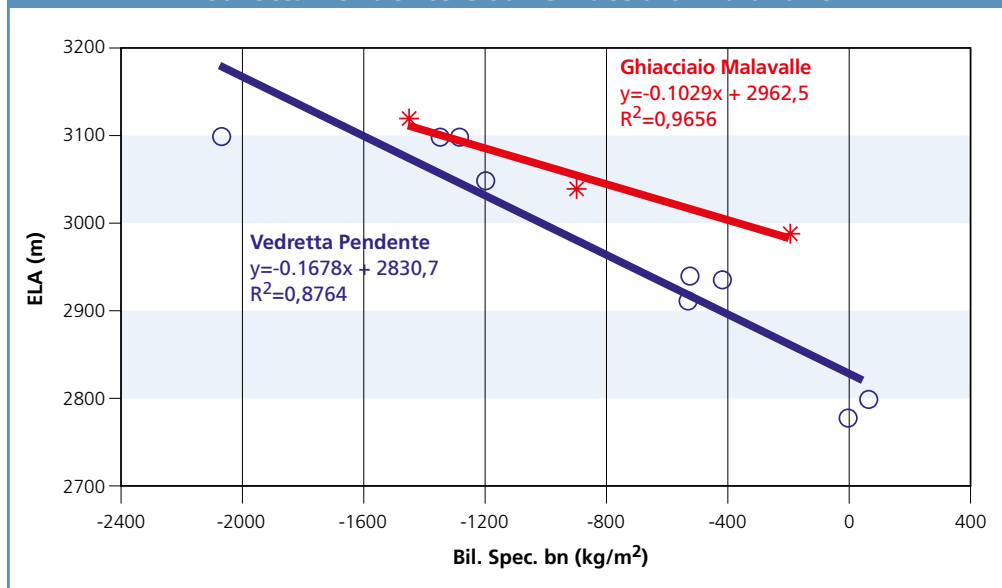


Fig. 7

BIBLIOGRAFIA

- BARTH L. (1865) - Die Stubaier Gebirgsgruppe, Wagner, Innsbruck.
- CASTIGLIONI B. (1930) - Ghiacciai delle Breonie, Boll. Com. Glac. It. I serie, N. 10, pp. 141-191.
- CASTIGLIONI B. (1928/1932) - Relazioni delle campagne glaciologiche, Boll. Com. Glac. Ital.
- C.N.R. - C.G.I. (1959-1962) - Catasto dei ghiacciai italiani, 4 voll. Torino.
- CONCI V. (1933/38) - Relazioni delle campagne glaciologiche, Boll. Com. Glac. Ital.
- CZERMACK R. (1890) - Veranderungen am Uebelthalferner, Mitt. D.Ö.A.V., Band II.
- FINSTERWALDERS. (1916) - Nachmessungen am Gletschern beiderseits der Brenner im Sommer 1915. Zeitschr. für Gletscherk., a Band X, Leipzig.
- FRANCHI G. (1988 e succ.) - Relazioni delle campagne glaciologiche, 1987 e succ., Geogr. Fis. Dinam. Quat.
- FRANCHI G. & ROSSI G.C. (2001) Bilancio di massa della Vedretta Pendente-Hangenderferner (Alpi Breonie, Alto Adige) nel triennio dal 1995/96 al 1997/98, Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat. V, pagg. 69-75.
- GSALLER C. (1891) - Das Stubeithal, Duncker und Humbolt, Leipzig, pp. 234-235.
- HESS H. (1892) - Gletschermarkirungen im Stubai, Mitt., D.Ö.A.V, pag. 100.
- HESS H. (1899) - Beobachtungen an den Gletschern der Stubaier Gruppe 1898, Mitt., D.Ö.A.V.
- KASER G., FOUNTAIN A., JANSSON P. (2003) - A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers, UNESCO Int. Hydrol. Programme - Technical Documents in Hydrology N° 59
- LAGALLY M. (1912) - Gletscherbeobachtungen im Stubai. Zeitschr. f. Gletscherkunde, VII.
- MOSNA E. (1924) - Note sui ghiacciai delle Breonie, (Archivio per l'Alto Adige, vol. XIX).

- PELLEGRINI G.B. (1978) - Relazioni delle campagne glaciologiche, 1977 e succ., Geogr. Fis. Dinam. Quat.
- PFAUNDLER VON HADERMUR L. (1871) - Der Uebelthalferner und seine Umgebung, Zeitsch. D.Ö.A.V. Band II.
- RICHTER E. (1888) - Die Gletscher der Ostalpen, Engelhorn, Stuttgart.
- RICHTER E. (1903) - Führer für die Glazialexkursion in die Ostalpen, (IX Intern. Geologen Kongress), Wien.
- ROSSI G.C., BELLONIS S., DIOLAIUTI G., SMIRAGLIA C. (2001) Bilancio di massa dei ghiacciai e variabili climatiche: Applicazione ai ghiacciai del Gruppo Ortles-Cevedale, Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat. V, pagg. 17-19.
- VALENTINI P. (1985) - Il Catasto dei Ghiacciai della Provincia di Bolzano, Geogr. Fis. Dinam. Quat. 8, pagg. 182-195.
- ZÖPPRITZ A. (1879) - Die Stubaier Gletscher im September 1878, Mitt., D.Ö.A.V.

Cartografia storica (in ordine cronologico)

- LATIUS W. (1573): Carta della Contea del Tirolo Settentrionale e Meridionale, Anthwerpen (Originale alla Biblioteca del Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento).
- IGL VON VOLDERTHURM W. (1605): Tyrolis comitatus amplissim[i] regionumq[ue] finitarum nova tabula, Praha 1605 (Originale al Tiroloer Landesmuseum Ferdinandeum, Innsbruck, copia presso la Biblioteca Museo Tridentino di Scienze Naturali).
- BLEAU J. (1662): Carta della Contea del Tirolo, Amsterdam (Originale alla Biblioteca del Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento).
- ANICH P. - HUEBER B. (1774): Tyrolis / sub / felici regimine / Mariae Theresiae / rom. imper. aug. / chorographice delineata, nel quadro d'unione: Atlas Tyroliensis (Ristampa anastatica su "ANICH P. - Atlas tyroliensis", Athesia Verlag, Bozen, 1981)