

EVOLUZIONE DEI GHIACCIAI DELLE DOLOMITI NEGLI ULTIMI CENTO ANNI e recenti bilanci di massa in tre apparati glaciali

**Andrea Crepaz,
Anselmo Cagnati**
ARPAV - DRST -
Centro Valanghe Arabba

Giovanni De Luca
ARPAV - DRST -
Servizio Idrologico Regionale

Questo lavoro si propone di fornire dati quantitativi sui mutamenti avvenuti nei piccoli ghiacciai dolomitici nell'ultimo secolo e mostrare un bilancio di massa recente su tre apparati, tra i maggiori presenti in Dolomiti. Oggi in Dolomiti ci sono circa 75 apparati glaciali, generalmente molto piccoli, spesso glacionevati, alcuni non rilevati nel passato. Per questo motivo è stato preso un campione di 27 apparati, per i quali sono disponibili dati storici. Inoltre per Marmolada, Antelao Superiore e Fradusta, dove è stato condotto un rilievo GPR e GPS nel 2004 e un rilievo Lidar da elicottero nel 2009, è stato calcolato il bilancio di massa. Se ne è desunta una perdita di superficie di 4.48 km² in cento anni, pari al 49%, di cui circa il 30% negli ultimi 30 anni. Il calcolo del bilancio di massa, nel periodo 2004/2009, ha rivelato una perdita media annua, rispettivamente, di 1.05 m w.e a⁻¹ nell'Antelao Superiore, 1.16 m w.e a⁻¹ nella Fradusta e 1.01 m w.e a⁻¹ nel Ghiacciaio della Marmolada.



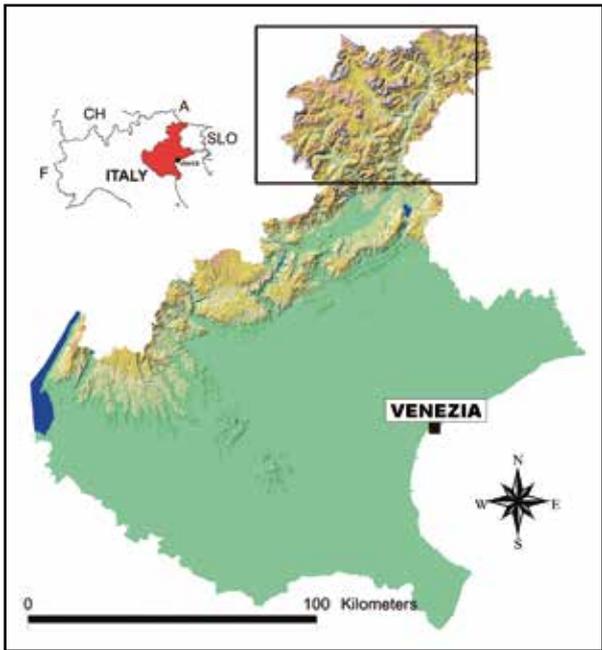
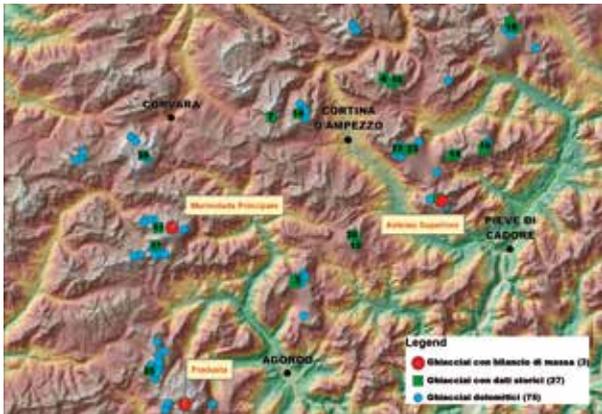


Fig. 1 - Localizzazione degli apparati glaciali delle Dolomiti, con indicazione dei 27 apparati campione e dei 3 oggetti di calcolo del bilancio di massa.

INTRODUZIONE

I bilanci di massa dei ghiacciai sono un importante indicatore dei cambiamenti climatici. La conoscenza della superficie dei ghiacciai e i corrispettivi bilanci di massa nel passato e nel futuro sono cruciali per la comprensione dell'evoluzione del riscaldamento su scala globale. Esistono molti catasti che documentano i cambiamenti areali dei ghiacciai (Lambrecht and Kuhn, 2007; Cogley, 2009; Knoll and Kerschner, 2009) e, nell'ultima decade, numerosi autori hanno rilevato un'importante perdita di volume dei ghiacci in ambito alpino (Diolaiuti, 1999; Lambrecht, 2007; Abermann, 2009) e nel mondo (Rabatel, 2011; Bolch, 2011). Ci sono quattro metodi per la misura del bilancio di massa: glaciologico (diretto), geodetico, idrologico e un altro basato sulla perdita di massa e sui meccanismi di flusso dei ghiacci (Hagg, 2004; Farinotti, 2009). Tutti questi metodi impli-

cano incertezze e assunzioni; diversi lavori comparano differenti metodi (Kaser, 1996; Hagg, 2004; Cox, 2004; Thibert, 2009; Fischer, 2011). Riguardo ai ghiacciai alpini, Fischer (2011) ha trovato un bilancio di massa, calcolato con metodo geodetico, di $-0.5 \text{ m w.e. a}^{-1}$ fra il 1953 e il 2006 su sei ghiacciai austriaci. In Alto Adige il catasto del 2006 ha riscontrato una perdita di area del 32% (Knoll, 2009) a partire dal 1983.

I GHIACCIAI DELLE DOLOMITI

Le Dolomiti, con un'estensione di circa 16000 km^2 , sono posizionate nell'Italia Nord-Orientale, fra il Trentino Alto Adige, il Veneto e il Friuli Venezia Giulia. In quest'area, caratterizzata da diversi gruppi montuosi che raggiungono quote relativamente modeste (intorno a 3000 m), sono attualmente censiti 75 apparati glaciali (ghiacciai e glacionevati) (Fig. 1), generalmente di piccolissime dimensioni, che presentano una reazione molto importante e rapida all'attuale fase di riscaldamento globale (IPCC, 2013). In questo contesto lo studio della loro evoluzione diventa significativa soprattutto in un'ottica di cambiamenti paesaggistici, anche in considerazione del fatto che, a partire dal 2009, le Dolomiti sono entrate a far parte del patrimonio mondiale UNESCO e, in secondo luogo, per verificare i cambiamenti del regime idrologico, visto che, da alcuni di essi (Marmolada), viene prelevata l'acqua derivante dalla fusione del ghiacciaio per la produzione di energia idroelettrica.

Le prime misurazioni dei ghiacciai delle Dolomiti risalgono a fine '800 e inizio '900; alpinisti austriaci collezionavano informazioni sull'estensione dei ghiacciai percorsi (Grohmann, 1877; Richter, 1888; Eckert, 1891; Aegerter, 1905). Il primo lavoro organico, riguardante i Ghiacciai in Veneto, risale al 1910, quando Marinelli, ne "I Ghiacciai delle Alpi Venete", descriveva 39 apparati glaciali, con informazioni relative alla superficie, quota minima, massima e media, cui allegava schizzi e foto (Fig. 2). Negli anni '30 diversi autori (Castiglioni, 1925; Dainelli, 1930; Porro, 1925; 1927) indagavano alcuni ghiacciai dolomitici,

citando l'area, ma solamente fra il 1958 e il 1960 veniva realizzato, a cura del Comitato Glaciologico Italiano, il Catasto dei Ghiacciai Italiani, che comprendeva anche quelli dolomitici. Esso segnalava 56 ghiacciai, di cui 22 erano dichiarati estinti. Negli anni '80 veniva realizzato il World Glacier Inventory (WGI), nel quale erano riportate informazioni riguardo a 60 apparati glaciali. Negli ultimi 15 anni, sui ghiacciai delle Dolomiti, sono state condotte alcune campagne glaciologiche a cura dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV). Nei rilievi del 2001 e del 2004 i dati sono stati ricavati da fotografie prospettiche da aeromobile e ortofoto e, nella campagna del 2004, sono stati effettuati rilievi GPS e GPR su tre apparati particolarmente significativi (Principale della Marmolada, Superiore dell'Antelao e Fradusta). Nel 2009 è stato effettuato, invece, un rilievo completo mediante Lidar da elicottero, con produzione di modelli tridimensionali e ortofoto.

VARIAZIONI AREALI NEGLI ULTIMI 100 ANNI

Allo stato attuale il database di ARPAV contiene informazioni relative alla superficie dei ghiacciai dolomitici dal 1888 al 2009. Esso permette di avere un quadro del trend negli ultimi 100 anni. L'analisi, sui 27 apparati di cui si dispone di dati storici, è stata condotta considerando solamente le 5 campagne che risultano essere più complete: 1910 (Marinelli), 1956/59 (CGI), 1980/82 (Regione Veneto. WGI), 2001 (ARPAV) e 2009 (ARPAV) (tabella di Fig. 3). Vengono inoltre riportati i dati del Richter; essi fornivano informazioni di 13 ghiacciai, alcuni dei quali risultavano uniti fra loro (Marmolada Principale e Occidentale, Cristallo e Popena, Sorapis Centrale e Orientale), subendo poi, nei decenni, processi di fusione e frammentazione molto importanti. La superficie occupata da questi apparati glaciali costituisce il 72% dell'area glacializzata totale, risultando, quindi, un buon indicatore dell'evoluzione del glacialismo in zona dolomitica. In tabella di Fig. 3 i dati storici possono essere confrontati con

le più recenti indagini ARPAV. Lo stato di salute dei ghiacciai delle Dolomiti non è molto dissimile da quello degli altri ghiacciai alpini. A partire dalla Piccola Età Glaciale (PEC), attorno al 1850, vi è stata una fase di continuo declino della superficie dei ghiacciai, interrotta solo parzialmente, negli anni Ottanta, da un periodo caratterizzato da minori tassi di arretramento. Solo in alcuni casi si nota un aumento dell'area rilevata, ma tale comportamento è esclusivamente dovuto al fatto, che, negli ultimi rilievi, grazie all'interpretazione delle ortofoto, sono state, con una certa accuratezza, rilevate masse di ghiaccio sepolte, che nel passato non erano state considerate (Val d'Arcia, Travignolo). Per quanto riguarda il Ghiaccio Pensile del Popera, per il quale si registra un lieve incremento, il Marinelli sottolineava come la sua fosse una stima, anche suscettibile di errore, data l'impossibilità di raggiungerlo direttamente. Si vuole inoltre sottolineare come i valori di superficie del passato fossero calcolati con mezzi notevolmente ridotti rispetto ai giorni nostri; talvolta questi hanno senz'altro portato a degli errori, ma, globalmente, si

è avuto l'impressione che i lavori svolti nel passato siano stati effettuati con una certa accuratezza. In particolare, soprattutto per l'epoca in cui è stata fatta, si vuole sottolineare l'enorme quantità e anche qualità

di dati contenuta nella pubblicazione del Marinelli.

Considerando quindi la somma dei 27 apparati considerati la superficie totale è passata da 9.1 km² del 1910 a 4.7 km² nel

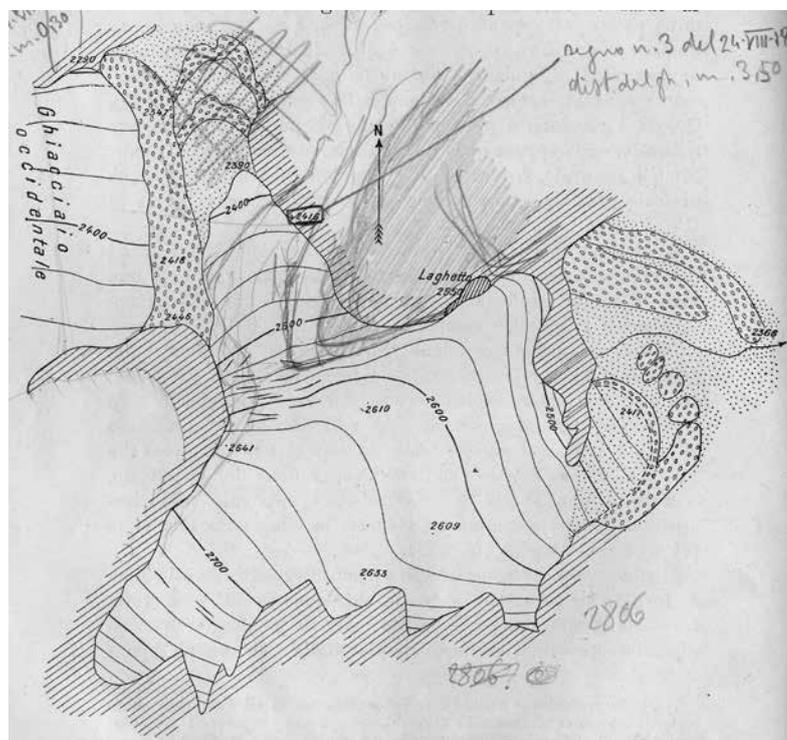


Fig. 26. — Ghiacciaio orientale dell'Antelao. Scala 1:10.000. (Rilievo alla bussola eseguito il 21 agosto 1906).

Fig. 2 - Rappresentazione del Ghiacciaio Superiore dell'Antelao (chiamato anche Orientale), "I Ghiacciai delle Alpi Venete", 1910. I tratti in matita sono stati aggiunti dal Castiglioni negli anni '20 (per gentile concessione della Biblioteca della Fondazione Angelini).

	Ghiacciaio/Campagna	Richter 1888	Marinelli 1910	CGI 1959	WGI 1982	ARPAV 2001	ARPAV 2009	Diff 1910/2009	Diff %
1	Antelao Inferiore		0,31	0,29	0,20	0,22	0,19	-0,12	-39,1
2	Antelao Superiore		0,45	0,41	0,37	0,34	0,27	-0,18	-41,0
3	Cantoni		0,16	0,12	0,08	0,09	0,07	-0,09	-56,2
4	Cresta Bianca		0,15	0,15	0,08	0,09	0,08	-0,07	-48,9
5	Cristallo	0,60	0,33	0,35	0,32	0,32	0,24	-0,09	-26,1
6	Cristallo Civetta		0,04	0,03	0,07	0,02	0,02	-0,02	-55,5
7	Fanes		0,11	0,09	0,06	0,05	0,05	-0,06	-53,3
8	Fradusta	1,62	1,07	0,65	0,43	0,28	0,11	-0,96	-89,4
9	Froppa Dentro		0,06	0,04	0,05	0,08	0,03	-0,03	-49,8
10	Froppa Fuori		0,23	0,20	0,17	0,11	0,13	-0,10	-42,7
11	Marmolada Occidentale		0,57	0,47	0,38	0,38	0,31	-0,26	-45,1
12	Marmolada Principale	4,95	3,35	3,05	2,60	1,99	1,60	-1,75	-52,2
13	Meduce Dentro		0,08	0,03	0,05	0,07	0,07	-0,01	-17,5
14	Meduce Fuori		0,22	0,22	0,10	0,10	0,09	-0,13	-58,8
15	Pelmo		0,13	0,13	0,07	0,02	0,01	-0,12	-93,3
16	Popena		0,19	0,17	0,12	0,12	0,12	-0,07	-37,7
17	Popera Alto		0,13	0,14	0,11	0,10	0,09	-0,04	-34,5
18	Popera Basso		0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	-0,01	-19,7
19	Popera Pensile		0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	0,01	29,1
20	Sella		0,14	0,06	0,08	0,04	0,01	-0,13	-92,8
21	Sorapis Centrale	0,56	0,22	0,22	0,15	0,15	0,14	-0,08	-35,6
22	Sorapis Occidentale	0,25	0,21	0,25	0,22	0,20	0,19	-0,02	-11,2
23	Sorapis Orientale		0,26	0,31	0,22	0,21	0,17	-0,09	-33,7
24	Tofana Occidentale	0,14	0,09	0,07	0,06	0,08	0,06	-0,03	-35,5
25	Travignolo	0,29	0,14	0,14	0,28	0,31	0,23	0,09	64,4
26	Val D'Arcia		0,15	0,15	0,18	0,29	0,27	0,12	78,4
27	Vernale	0,32	0,28	0,12	0,15	0,10	0,05	-0,23	-82,1
	AREA TOTALE		9,18	7,98	6,72	5,91	4,70	-4,48	-48,8

Incluso marmolada Occidentale Includo Popera Includo Sorapis Orientale Dato approssimativo Dato certo

2009 (-4.48 km², pari al 49% in 100 anni) (Fig. 4); dal 1910 al 1982 c'è stata una perdita di 2.46 km² (-28.6%), mentre negli ultimi 30 anni l'area glacializzata si è ridotta di 2.02 km² (-30%). Prendendo in considerazione alcuni singoli esempi, la Fradusta è passata da 1.07 km² del 1910 a 0.11 km², con una riduzione dell'89%, di cui circa il 73% negli ultimi trenta anni; la Marmolada, il più importante ghiacciaio in Dolomiti, ha visto ridursi la superficie coperta da ghiaccio da 3.35 km² a 1.60 km² (-52%); l'Antelao Superiore ha perso 0.185 km² (-41.05%), con una brusca accelerazione negli ultimi 30 anni (-0.105 km², pari al 28.30% dal 1982, -0.08 km² dal 1910 al 1982). Fra i 27 apparati indagati, solamente tre hanno registrato una perdita inferiore al 20% nel corso dell'ultimo secolo

BILANCI DI MASSA RECENTI

La stima dei bilanci di massa recenti su tre apparati glaciali (Principale della Marmolada, inclusa una piccolissima parte, limitrofa, del Ghiacciaio Occidentale Superiore dell'Antelao e Fradusta), è stata effettuata, con metodo geodetico, confrontando i dati dei rilievi GPS-GPR del 2004 con i rilievi Lidar del 2009.

Nei rilievi GPS e GPR del 2004 sono stati

utilizzati PULSEKKO IV (Sensor & Software) e SIR-3000 (GSSI), a frequenze diverse, utili, in alcuni casi, per determinare in maniera migliore la quota della roccia madre. Il contemporaneo rilievo mediante GPS (TOPCON - Legacy E GGD; "Stop and Go" Channels: 20 L1 + 20 L2 GPS/GLONASS - RTK (Real Time Kinematic)) ha permesso la produzione di un Dtm (Modello Digitale del Terreno), sia della roccia madre, sia della superficie del ghiaccio. Le misure GPR e GPS non sono state effettuate in modo uniforme, ma percorrendo la superficie secondo dei transetti, anche in funzione delle zone caratterizzate da crepacciamento, specie sugli apparati della Marmolada e dell'Antelao. Sulla Marmolada sono stati percorsi 18370 m totali, 8300 m sull'Antelao e 4930 m sulla Fradusta. (Sonda, 2005; Pasta, 2005).

Per il rilievo Lidar del 2009 è stato utilizzato il sistema ALTM3100EA (Opthec I.t.d.), con GPS/POS Novatel Millenium DL 2H/AV 510, ad una densità di 2 punti/m² e altitudine di volo attorno ai 1000 m. Al fine della determinazione del confine dei ghiacciai sono state impiegate immagini di intensità Lidar, visto che i corpi freddi hanno una differente risposta all'impulso laser, rispetto alle rocce e detriti, con il concomitante ausilio dell'indagine da ortofoto, utile specie in

caso di ghiaccio sepolto. Dai dati GPR del rilievo 2004 è stato ricostruito il TIN della roccia madre, utilizzando anche i punti del rilievo Lidar del 2009, risultanti esterni alla delimitazione del ghiacciaio 2009 e compresi all'interno della delimitazione del 2004. Questo procedimento ha permesso di individuare, tra i punti del rilievo Lidar, quelli la cui quota è riferibile alla roccia madre e non alla superficie ghiacciata, in quanto appartenenti a quelle zone che nel periodo 2004-2009 sono state scoperte a causa del ritiro del ghiacciaio. Su questi punti è stata effettuata una verifica di validità, confrontando i valori delle quote 2009 con il valore di roccia madre dei punti rilievo più vicini ed escludendo quei punti per cui la differenza delle quote è risultato ≥ 1 m (precisione del rilievo Lidar). Questa analisi ha dimostrato, in linea di massima, la corretta interpretazione fatta nel 2004 del segnale georadar nella determinazione della quota della roccia madre e anche dello spessore del ghiaccio, pur con zone in cui la densità di punti non era particolarmente elevata. Il rilievo Lidar, eseguito nel 2009, ha permesso l'individuazione della sola quota ghiaccio, su tutta la superficie dei ghiacciai, e non solo sulle localizzazioni raggiungibili con la strumentazione utilizzata nel 2004. La valutazione dei volumi è stata eseguita considerando il volume totale e della roccia madre rispetto ad una quota di riferimento per cui idealmente è stato fatto passare un piano di taglio (quota minima del ghiaccio). Il volume di interesse è stato calcolato per differenza. Infine, sono stati realizzati i Grids degli spessori e, conseguentemente, è stata calcolata la perdita di spessore nelle varie zone degli apparati (Fig. 6). Per la realizzazione di questo procedimento sono stati usati i software ArcMap rel. 9, incluse le estensioni Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical analyst e Grass rel. 6.4.2.

Fig. 4 - Variazione totale areale dei 27 ghiacciai campione negli ultimi 100 anni.

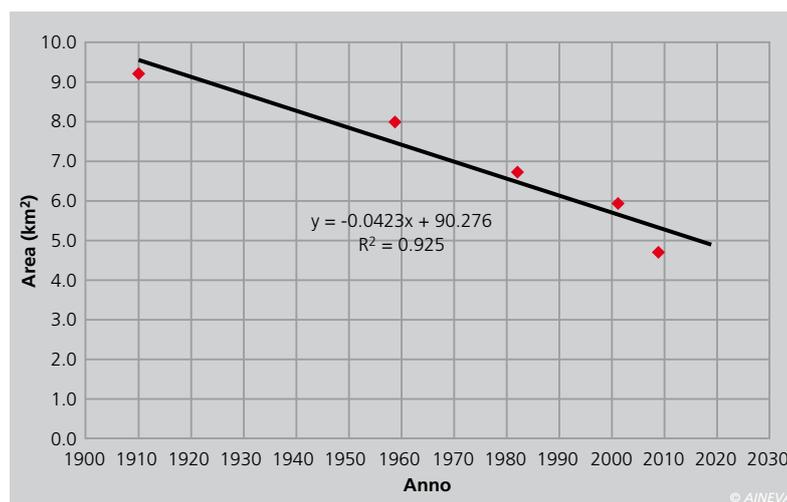


Fig. 5 - Dati volumetrici, di spessore e bilancio di massa per Antelao Superiore, Fradusta e Marmolada relativi al periodo 2004/2009.

APPARATO	SPESSORI (m)						VOLUMI (mc)			Equivalenti in acqua medio annuo mm a ⁻¹ Variazione
	MEDIO			MASSIMO			2004	2009	Δ	
Antelao Superiore	32,44	31,71	-0,73	82	81	-1	7666110	6155824	-1510286	-1047,19
Fradusta	11,86	7,9	-3,96	36,9	33,33	-3,57	1915798	1206603	-709195	-1162,61
Marmolada	16,46	15,01	-1,45	53	52	-1	36617233	27279492	-9337742	-1011,67

Come si evince dalla Tabella di Fig. 5, dal 2004 al 2009 (cinque anni), la Marmolada ha perso circa $9.33 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, passando da $36.62 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ a $27.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, per un equivalente medio annuo di $1.01 \text{ m w.e. a}^{-1}$; sulla Fradusta si sono fusi complessivamente $0.71 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, per un equivalente medio annuo di $1.16 \text{ m w.e. a}^{-1}$, mentre sull'Antelao Superiore il volume perduto è stato di $1.51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, corrispondenti a $1.05 \text{ m w.e. a}^{-1}$. La perdita di spessore medio è stata più significativa sul Ghiacciaio della Fradusta, passando da 11.9 m a 7.9 m. Per il prossimo futuro sono in programma ricerche storico/bibliografiche, tese ad individuare l'estensione degli apparati glaciali durante la Piccola Era Glaciale, e nuove campagne di rilievo, sia mediante GPR, al fine di migliorare la base di dati esistente, in alcuni casi non così completa, sia attraverso Lidar da elicottero, per aggiornare in maniera continua il catasto dei ghiacciai delle Dolomiti, nonché verificare i bilanci di massa su un numero maggiore di apparati glaciali, tentando di individuare potenziali trend futuri, in relazione alle precipitazioni nevose e alle variazioni termiche in corso sull'area alpina.

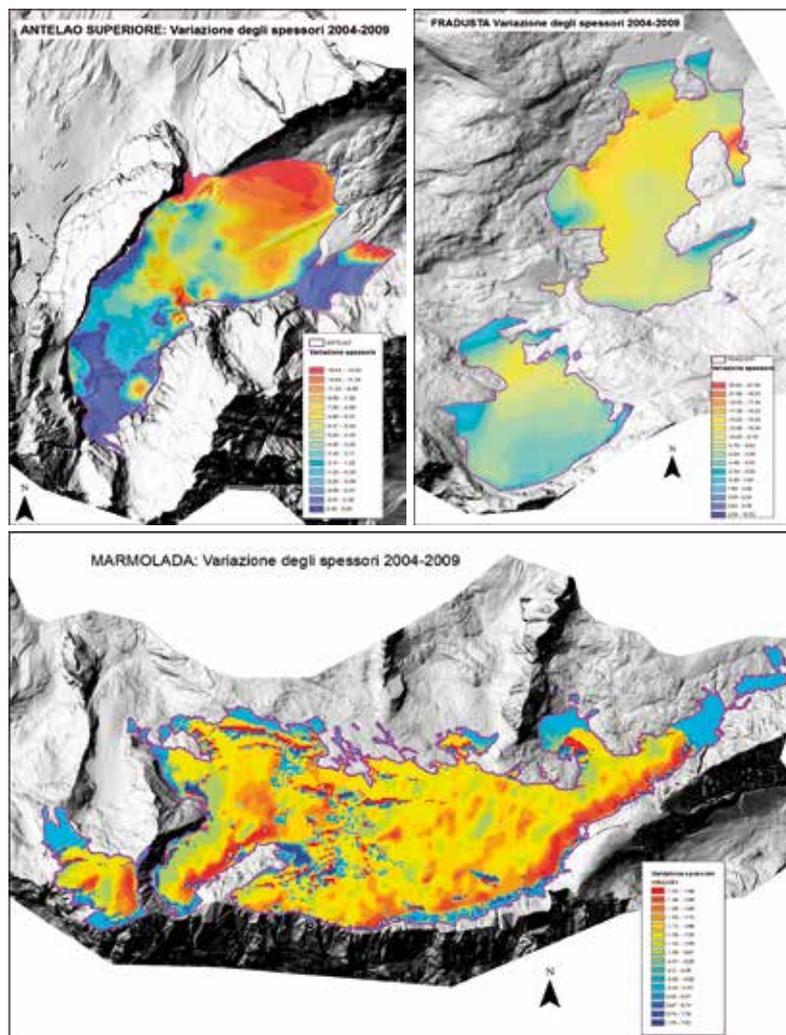


Fig. 6 - Mappe delle variazioni di spessore fra il 2004 e 2009 per Antelao Superiore, Fradusta e Marmolada.

Bibliografia

- Abermann, J., Lambrecht, A., Fischer A., and Kuhn, M.: Quantifying changes and trends in glacier area and volume in the Austrian Ötztal Alps (1969-1997-2006), *The Cryosphere*, 3, 205-215, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/3/205/2009/" www.the-cryosphere.net/3/205/2009/, 2009.
- Binder, D., Brückl, E., Roch, K. H., Behm, M., Schöner, W., and Hynek, B.: Determination of total ice volume and ice-thickness distribution of two glaciers in the Hohe Tauern region, Eastern Alps, from GPR data, *Annals of Glaciology*, 50 (51), 71-79, 2009.
- Bolch, T., Pieczonka, T., and Benn, D. I.: Multi-decadal mass loss of glaciers in the Everest area (Nepal Himalaya) derived from stereo imagery, *The Cryosphere*, 5, 349-358, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/5/349/2011/" www.the-cryosphere.net/5/349/2011/ doi:10.5194/tc-5-349-2011, 2011.
- Carturan, L., and Seppi, R.: Recent mass balance results and morphological evolution of Careser glacier (Central Alps), *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 30, 33-42, 2007.
- Castiglioni, B.: Alcuni ghiacciai nelle Dolomiti e il loro ambiente orografico e climatico, *Boll. Club Alpino Italiano*, v. 42, n. 75, 1925.
- Castiglioni, B.: Risultati di una recente visita ai Ghiacciai Cadorini, estr. da *Memorie Geologiche e Geografiche di Giotto Dainelli*, 1930.
- Cogley, J. G.: A more complete version of the World Glacier Inventory, *Annals of Glaciology*, 50 (53), 32-38, 2009.
- Comitato Glaciologico Italiano - Porro, C., and Labus, P.: *Atlante dei Ghiacciai Italiani*, 1927.
- Comitato Glaciologico Italiano: *Catasto dei Ghiacciai Italiani*, *Ghiacciai delle Tre Venezie e dell'Appennino*, Vol. IV, 1962.
- Cox, L. H., and March, R. S.: Comparison of geodetic and glaciological mass balance techniques, *Gulkana Glacier, Alaska, U.S.A.*, *Journal of Glaciology*, Vol. 50, N° 170, 363-370, 2004.
- Fischer, A.: Comparison of direct and geodetic mass balances on a multi-annual time scale, *The Cryosphere*, 5, 107-124, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/5/107/2011/" www.the-cryosphere.net/5/107/2011/ doi:10.5194/tc-5-107-2011, 2011.
- Fujita, K., Takeuchi, N., Nikitin, S. A., Surazakov, A. B., Okamoto, S., Aizen, V. B., and Kubota, J.: Favorable climatic regime for maintaining the present-day geometry of the Gregoriev Glacier, Inner Tien Shan, *The Cryosphere*, 5, 539-549, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/5/539/2011/" www.the-cryosphere.net/5/539/2011/ doi:10.5194/tc-5-539-2011, 2011.
- Huss, M.: Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: the European Alps 1900-2100, *The Cryosphere*, 6, 713-727, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/6/713/2012/" www.the-cryosphere.net/6/713/2012/ doi:10.5194/tc-6-713-2012, 2012.
- IPCC: Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers, Working Group I Contribution to the IPCC, 2013.
- Knoll, C., and Kerschner, H.: A glacier inventory for South Tyrol, Italy, based on airborne laser-scanner data, *Annals of Glaciology*, 50 (53), 46-52, 2009.
- Lambrecht, A., and Kuhn, M.: Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory, *Annals of Glaciology*, 46, 177-184, 2007.
- Lambrecht, A., Mayer, C., Hagg, W., Popovnin, V., Rejepkin, A., Lomidze N., and Svanadze D.: A comparison of glacier melt on debris-covered glaciers in the northern and southern Caucasus, *The Cryosphere*, 5, 525-538, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/5/525/2011/" www.the-cryosphere.net/5/525/2011/ doi:10.5194/tc-5-525-2011, 2011.
- Marinelli, O.: *I Ghiacciai delle Alpi Venete*, *Memorie Geografiche pubblicate come supplemento alla Rivista Geografica Italiana dal Dott. Giotto Dainelli*, Firenze, 1910.
- Marzeion, B., and Nesje, A.: Spatial patterns of North Atlantic Oscillation influence on mass balance variability of European glaciers, *The Cryosphere*, 6, 661-673, HYPERLINK "http://www.the-cryosphere.net/6/661/2012/" www.the-cryosphere.net/6/661/2012/ doi:10.5194/tc-6-661-2012, 2012.
- Pasta, M., Pavan, M., Sonda, D., Carollo, F., Cagnati, A.: Prospezione di alcuni ghiacciai dolomitici tramite tecniche GPR e GPS, *Neve e Valanghe N.* 56, 2005.
- Pecci, M., D'Agata, C., and Smiraglia, C.: Ghiacciaio del Calderone (Apennines, Italy): the mass balance of a shrinking Mediterranean glacier, *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 31, 55-62, 2008.
- Pelto, M. S.: Glacier annual balance measurement, forecasting and climate correlations, North Cascades, Washington, 1984-2006, *The Cryosphere*, 2, 13-21, www.the-cryosphere.net/2/13/2008/, 2008.