

CHRISTIAN CASAROTTO (*)

GHIACCIAI IN TRENTINO. RICERCA E STATO DI SALUTE

ABSTRACT - CASAROTTO C., 2010 - Glaciers of Trentino. Research and State of health.

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 260, 2010, ser. VIII, vol. X, B: 63-78.

Last census of Italian alpine glaciers (1989) lists around 800 glaciers. Italian glaciers extend for approximately 500 km² (one fifth of the whole Alps glacial cover) and are concentrated principally in the highest massifs of Western and Central Alps. The most extended glacial complex is situated in the Adamello group (17 km²), mostly included in the territory of Trento Province. From the second half of eighteenth century we are observing a remarkable contraction, which conducted to a 40% reduction of Italian glaciers extension. In particular, many small glaciers disappeared, meanwhile the largest sometimes fractioned in smaller individuals, withdrawing their fronts up to 1.2 km. That phase of glacial retreat, observed in nearly all Earth mountain glaciers, is ascribed to ongoing climate changes. Glaciers are susceptible to climatic variations. Looking for the traces left by their activities in the environment, it is possible to register the variations of their dimensions, and from those to go back to past climate changes. Glaciers are a fundamental fresh water resource, that can be used for agricultural, civil and industrial needs. They substantially contribute to the production of hydroelectric energy. Finally they characterized alpine landscape and represent an attraction and a resource for hiking, mountaineering, winter and summer skying.

KEY WORDS - Glaciers of Trentino, Monitoring of glaciers, Climate change, Possibility.

RIASSUNTO - CASAROTTO C., 2010 - Ghiacciai in Trentino. Ricerca e stato di salute.

L'ultimo censimento dei ghiacciai delle Alpi italiane (1989) elenca circa 800 ghiacciai che si estendono approssimativamente per 500 km² (1/5 dell'intera copertura glaciale delle Alpi) concentrati principalmente nei massicci più alti delle Alpi occidentali e centrali. Il complesso glaciale più esteso (17 km²) è situato nel gruppo dell'Adamello, incluso per la maggior parte nel territorio della Provincia di Trento. Dalla seconda metà del XIX secolo si osserva una forte contrazione dei ghiacciai italiani che

(*) Glaciologo, Mediatore culturale del Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento.

ha portato ad una loro riduzione del 40%. In particolare, molti piccoli ghiacciai sono scomparsi e i più grandi, a causa del loro ritiro, si sono frazionati in più unità glaciali di piccole dimensioni con un arretramento delle fronti anche superiore a 1,2 km. Questa fase di contrazione glaciale, osservata in quasi tutti ghiacciai montani della Terra, è attribuibile ai cambiamenti climatici in corso. Infatti i ghiacciai rispondono alle temperature estive e alla quantità di precipitazioni invernali. Ricercando sul terreno le tracce che i ghiacciai hanno lasciato nel paesaggio alpino è possibile ricostruire le variazioni delle loro dimensioni in relazione ai cambiamenti del clima avuti nel passato. I ghiacciai sono fondamentali in quanto rappresentano una importante risorsa d'acqua che può essere utilizzata per finalità agricole, civili ed industriali. Inoltre, contribuiscono alla produzione di energia idroelettrica, caratterizzano il paesaggio alpino e rappresentano un'attrazione per il turismo, l'alpinismo e per lo sci estivo.

PAROLE CHIAVE - Ghiacciai del Trentino, Monitoraggio ghiacciai, Clima, Scenari Futuri

CHE COS'È UN GHIACCIAIO?

Un ghiacciaio è una massa compatta plurimetrica permanente di ghiaccio naturale, derivante dal metamorfismo della neve, che si origina sulla terraferma ed è soggetta a deformazioni gravitazionali (*Servizio Glaciologico Lombardo*, 1998). Perché si formi un ghiacciaio, quindi, sono necessari un apporto nevoso e temperature estive sufficientemente fresche per evitare la completa fusione delle nevicate invernali. Alle nostre latitudini, la neve si trasforma in ghiaccio (metamorfismo della neve) dopo 3-5 anni; tale trasformazione avviene soprattutto a seguito della compattazione della neve e dei ripetuti cicli di gelo-disgelo che si osservano durante i mesi primaverili. In Antartide, invece, perché la neve diventi ghiaccio deve passare quasi un secolo, a causa delle basse temperature e degli scarsi cicli di gelo-disgelo.

Sotto l'effetto della forza di gravità, poi, il ghiaccio di ghiacciaio inizia a muoversi verso valle trasferendo l'incremento di massa che ogni anno si realizza alle più alte quote (bacino di accumulo) verso i settori inferiori (zona di ablazione) dove questa va incontro a fusione e va ad alimentare i torrenti glaciali.

IL GHIACCIAIO È COME UN CONTO IN BANCA

La zona superiore del ghiacciaio, dove le precipitazioni nevose invernali perdurano per tutta l'estate, prende il nome di bacino di accumulo. Corrispondono, con un paragone al bilancio familiare, a tutte le entrate economiche. Più a valle, invece, dove nel corso dell'anno fonde più ghiaccio di quello che si forma, si trova il bacino di ablazione. Ri-

prendendo il paragone di prima, tale zona corrisponde alle spese economiche sostenute.

Affinché il nostro conto corrente non vada in rosso le entrate devono essere maggiori delle uscite; in caso contrario le nostre risorse economiche diminuiscono fino al completo esaurimento. La stessa condizione, per evitarne l'estinzione, deve verificarsi per i ghiacciai. La superficie del bacino di ablazione deve essere maggiore della zona di ablazione e quindi ogni anno devono sussistere 2 importanti condizioni:

- 1 gli inverni devono essere nevosi per garantire una buona quota di entrate;
- 2 le successive temperature estive non devono essere troppo alte per evitare la fusione della neve invernale e quindi per contenere le uscite.

Bacino di accumulo e di ablazione sono separati dalla linea di equilibrio (ELA), punto sul ghiacciaio dove il bilancio annuale è nullo; alle nostre latitudini corrisponde al cosiddetto limite delle nevi.

L'estensione del bacino di accumulo è un parametro fondamentale per la glaciologia, in quanto la sua variazione è un diretto indicatore dello stato di salute del ghiacciaio: se la superficie del bacino di accumulo aumenta, i bilanci annuali sono positivi e il ghiacciaio avanza e si ingrandisce. Al contrario, se la superficie del bacino di ablazione si espande i bilanci sono negativi e il ghiacciaio riduce la sua massa fino a scomparire.

La letteratura internazionale ci consegna un valore compreso tra 0,6 e 0,7 come rapporto tra l'area di ablazione e quella totale affinché il ghiacciaio possa mantenersi in equilibrio (situazione di bilancio annuale nullo).

COME SI CALCOLA IL BILANCIO DI MASSA

Il bilancio di massa è la differenza tra i guadagni, ovvero le nevicate invernali, e le perdite, ovvero la fusione estiva.

Alla fine dell'inverno, generalmente tra maggio e giugno, si misura lo spessore del manto nevoso e la quantità d'acqua in esso contenuto. Lo spessore della neve si misura con l'infissione di sonde perpendicolarmente alla superficie del ghiacciaio. È necessario poi convertire i metri di spessore di neve in contenuto di acqua e, a tal proposito, si parla di millimetri di equivalente in acqua. Dopo aver eseguito una buca nella neve (trincea) fino al ghiaccio di ghiacciaio, si pesa un cilindro di volume noto pieno di neve. Il prelievo di neve avviene in tutti gli strati, da quello superficiale fino a quello a contatto con il ghiaccio di ghiacciaio.

In questo modo si calcola la densità della neve in ogni strato e quindi il contenuto in acqua, come riportato nell'esempio che segue:

<i>da</i> (cm)	<i>a</i> (cm)	<i>b</i>	<i>vol</i> (dm ³)	<i>peso neve</i> (kg)	<i>densità neve</i> (<i>peso neve/volume</i>) kg/dm ³	<i>mm eq.</i> <i>acqua</i>	<i>temp</i> (°C)
0	40	40,0	2,0	1,020	0,508	203,025	+0,5
40	80	40,0	2,0	1,025	0,510	204,021	+0,5
80	120	40,0	2,0	1,015	0,505	202,030	+0,6
120	160	40,0	2,0	1,005	0,500	200,040	+0,6
160	200	40,0	2,0	1,030	0,513	205,016	+0,5
200	240	40,0	2,0	1,010	0,503	201,035	+0,6
240	280	40,0	2,0	1,010	0,503	201,035	+0,6
280	320	40,0	2,0	0,985	0,490	196,059	+0,2
320	360	40,0	2,0	0,975	0,485	194,068	-0,5
360	400	40,0	2,0	0,940	0,468	187,102	-1,7
1993,432							



Fig. 1. Misura della profondità del manto nevoso con l'utilizzo di sonde e calcolo del contenuto in acqua pesando un cilindro di volume noto pieno di neve.

Alla fine dell'estate si misurano poi le perdite, ovvero la quantità di neve e ghiaccio persi per fusione. A tal scopo, alla fine dell'estate dell'anno precedente la misura si piantano nel ghiacciaio alcune paline. La successiva estate, la fusione estiva e la diminuzione del manto nevoso e del



Fig. 2. Palina di ablazione che emerge dal ghiacciaio alla fine dell'estate.

ghiaccio fanno emergere dal ghiacciaio le paline. Anche in questo caso si parla di millimetri di equivalenti in acqua. Per una palina che emerge dal ghiaccio per 1 metro corrisponde alla perdita di 910 mm di equivalenti acqua (si assume che il ghiaccio abbia una densità di $0,91 \text{ kg/dm}^3$).

Calcolati i mm di equivalenti in acqua guadagnati in inverno e persi d'estate, per differenza si ottiene il bilancio.

CLIMA E METEO

Il *Corriere della Sera* in data 9 gennaio 2009 riportava: «I climatologi. 'L'abbassamento delle temperature contraddice i catastrofisti dell'ambiente'. E i ghiacciai non si ritirano più. 'L'effetto serra sembra svanito'. *Il fenomeno anche in Lombardia. 'Tornati ai livelli del '79'*»

Meteo e clima sono termini spesso usati impropriamente. La meteorologia è la scienza che studia l'atmosfera terrestre e i suoi fenomeni. Prende in considerazione la pressione atmosferica, la temperatura, le precipitazioni, l'irradiazione solare, i venti, la nebulosità, l'umidità, la morfologia di un territorio ed altri fattori, valutando le loro variazioni in un breve periodo di tempo. Il meteo lavora sul presente ed ha una capacità previsionale di pochi giorni.

Si parla invece di clima quando si vogliono analizzare le condizioni del tempo di una località in un lungo periodo (trent'anni, per l'Organizzazione Meteorologica Mondiale -OMM-). Il clima di una località è il valore medio delle condizioni meteorologiche rilevate durante diversi decenni.

Quanto detto porta ad alcune importanti considerazioni:

- clima e meteo possono utilizzare gli stessi elementi di studio, come temperatura, precipitazione, venti, ecc, ma il clima lavora su periodi di tempo molto lunghi, mentre il meteo su pochi giorni;
- lo studio del clima, per via della sua media su un lungo periodo, porta a eliminare gli estremi, ovvero mesi o anni particolarmente piovosi, nevosi o siccitosi.

Detto questo, un solo inverno nevoso, come quello vissuto a cavallo tra il 2008 e il 2009, non determina e non fa cambiare le condizioni climatiche del nostro territorio.

NEVE E TEMPERATURE ESTIVE

Nel mondo

L'analisi globale fornita dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), riporta che la temperatura media globale superficiale del 2009 è stata di 0,56°C superiore alla media del XX secolo risultando insieme a quella del 2006 la quinta più calda dal 1880. Il decennio 2000-2009 è stato inoltre il più caldo dal 1880, con una temperatura media globale superficiale di 0,54°C superiore alla media del XX secolo. Si evince inoltre che le temperature globali superficiali sono aumentate nell'ultimo secolo con un rate di circa 0,06°C per decennio, ma questo trend è cresciuto ad una velocità di circa 0,16°C per decennio solo negli ultimi 30 anni. Nella Fig. 3 sono riportate le anomalie della temperatura media globale su terra e oceani rispetto al periodo 1901-2000. Si riconoscono due fasi sostanziali di riscaldamento: la prima ha avuto inizio nel 1910 circa e si è protratta fino al 1945 circa, la seconda e più recente è iniziata a metà degli Anni Settanta.

In Italia

La stagione invernale 2010 è risultata particolarmente umida e leggermente fredda. I primi tre mesi dell'anno 2010, infatti, sono stati piovosi, con 249 mm di pioggia, 68 mm in più rispetto alla media climatica (1971-200). Ciononostante, la pioggia caduta nel 2010 è inferiore a quella registrata nello stesso periodo del 2009, quando si erano raggiunti 270 millimetri. Le maggiori piogge nell'inverno 2010 sono state registrate

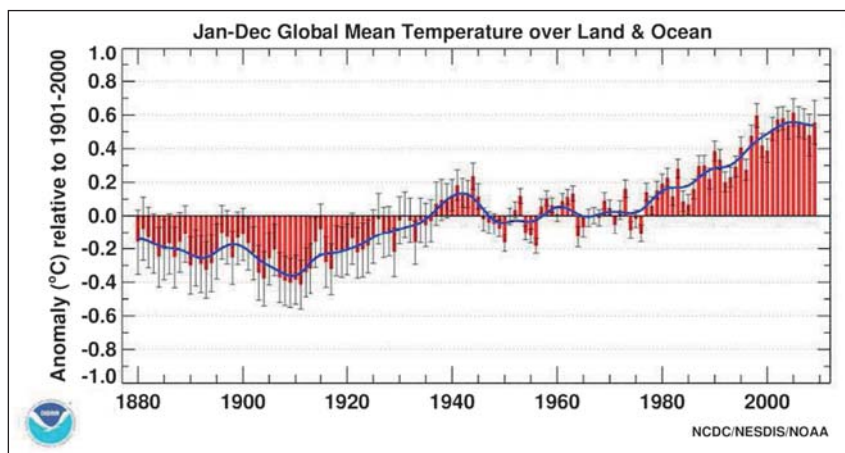


Fig. 3. Anomalie della temperatura media globale su terra e oceani rispetto al periodo 1901-2000

nel Centro Italia e nel Mezzogiorno mentre al Nord gli apporti sono stati pari a 200 millimetri (Fig. 4).

La temperatura media dell'inverno 2010 è risultata pari a $5,3^{\circ}\text{C}$, inferiore di $0,6$ gradi rispetto alle medie osservate nel periodo climatico di riferimento (1971-2000) e leggermente inferiore anche ai $5,5$ gradi osservati nell'inverno 2009. Come sempre, il regime termometrico ha mostrato significative differenze regionali: al Nord la temperatura media, pari a 1°C , è stata inferiore di $1,2^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media climatica; al contrario, nel Mezzogiorno, dove si è registrata una temperatura media di $9,4^{\circ}\text{C}$, si è superato il riferimento climatico di $1,2^{\circ}\text{C}$ (Fig. 5).

L'OSCILLAZIONE NORD ATLANTICA

Ma perché durante l'inverno 2008-2009 ha nevicato così tanto? La risposta la possiamo trovare in quella che viene chiamata Oscillazione Nord Atlantica (NAO), un fenomeno climatico su larga scala che influisce sul clima, soprattutto invernale, dell'Europa.

La NAO si misura in inverno e può essere positiva o negativa. È ben nota la zona di alta pressione presente sopra le Azzorre, il famoso Anticiclone delle Azzorre. Quando questo anticiclone è forte, e l'indice NAO si dice positivo, si rafforza anche una zona di bassa pressione presente sopra l'Islanda, il Ciclone d'Islanda. Viceversa, con indice NAO negativo, entrambe le zone bariche sono deboli. Quindi:

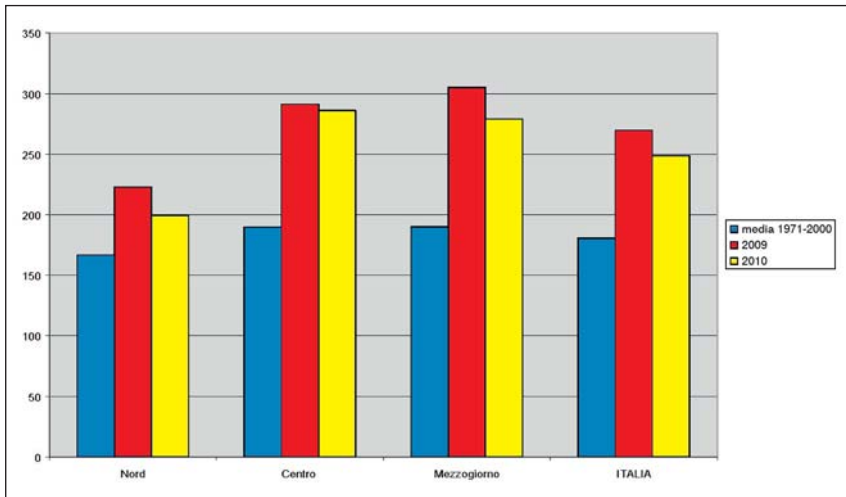


Fig. 4. Millimetri di pioggia registrati al Nord, Centro, Sud e in Italia nel 2009 (in rosso) e nel 2010 (in giallo) confrontati con la media del periodo climatico 1971-2000 (in blu).

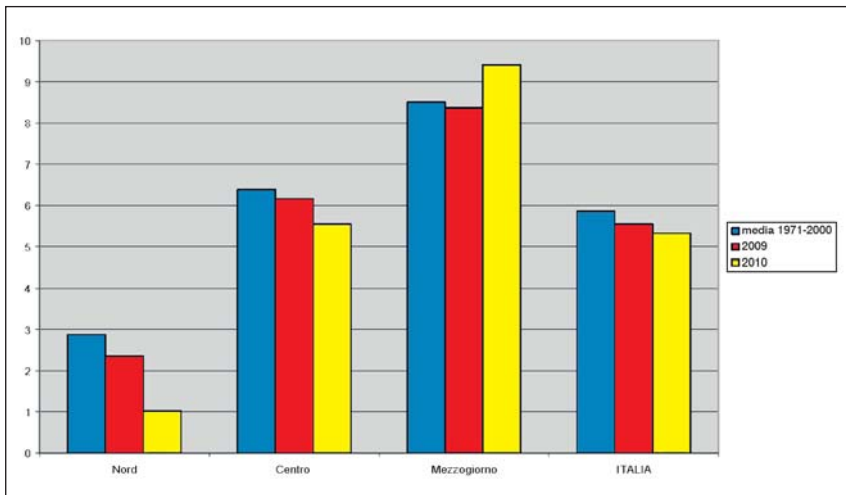


Fig. 5. Temperatura media in °C registrata al Nord, Centro, Sud e in Italia nel 2009 (in rosso) e nel 2010 (in giallo) confrontata con la temperatura media del periodo climatico 1971-2000 (in blu).

- NAO positiva: il nostro territorio è interessato da un'alta pressione che impedisce alle perturbazioni e quindi alla neve di arrivare, che cade copiosa invece nel nord Europa;

- NAO negativa: l'Anticiclone delle Azzorre è debole e quindi il tempo peggiora facendosi invece bello nell'Europa settentrionale.

Ed ecco com'è cambiata la NAO negli inverni dell'ultimo secolo.

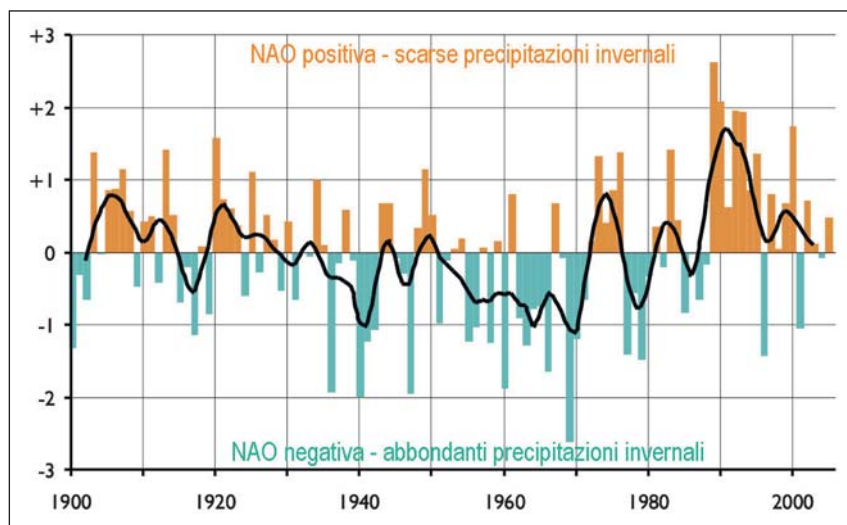


Fig. 6. Andamento della Oscillazione Nord Atlantica (indice NAO) nel XX secolo.

Durante l'inverno 2008-09 (non presente nel grafico) la NAO è stata negativa. Ecco perché da noi è nevicato! Queste precipitazioni, però, si collocano all'interno di una lunga e strana serie che dagli Anni Novanta ad oggi fa registrare una NAO fortemente positiva (le alte barre arancioni a destra del grafico) e quindi con scarse precipitazioni invernali. Sembra sia saltata un'evidente ciclicità del fenomeno; ci sarà forse una causa di natura antropica?

I GHIACCIAI DELLE ALPI E DEL TRENINO

Sulle Alpi ci sono oggi più di 5.000 ghiacciai, per una superficie complessiva che raggiunge quasi i 3000 km² e un volume stimato di circa 130 km³. I ghiacciai si distribuiscono soprattutto in Svizzera (46% della superficie glacializzata di tutte le Alpi), in Italia (21%), in Austria (19%) e in Francia (14%). Proprio nel paese elvetico (Alpi Bernesi) si trova il più grande delle Alpi, il Ghiacciaio di Aletsch, accreditato di una superficie di circa 80 km².

Proseguendo con i numeri, il Ghiacciaio dell'Adamello con la sua superficie di quasi 17 km², è il più vasto delle Alpi italiane; nel punto più profondo (Pian di Neve) questo ghiacciaio supera i 200 m di spessore.

In Trentino ci sono oggi poco più di 100 ghiacciai, per una superficie complessiva di 35 km², superficie che era di circa 50 km² solo 20 anni fa. I ghiacciai si trovano nei principali gruppi montuosi della nostra regione, primo fra tutti il massiccio dell'Adamello – Presanella (setto-re Trentino) che da solo ospita 48 ghiacciai. Nel settore trentino del Gruppo Ortles – Cevedale ci sono attualmente 18 ghiacciai, 16 nel Gruppo di Brenta, 4 in Marmolada e soltanto 2 nel Gruppo delle Pale di San Martino.

LA SITUAZIONE ATTUALE. VARIAZIONI E FLUTTUAZIONI DELLE FRONTI GLACIALI

Il controllo e il regolare monitoraggio dei ghiacciai delle Alpi italiane viene effettuato dal Comitato Glaciologico Italiano (CGI). Gli operatori del CGI raccolgono ogni anno dati su circa 150 ghiacciai, misurandone le variazioni frontali e svolgendo ricerche più approfondite su alcuni apparati significativi. I dati raccolti dimostrano che ogni anno la maggior parte dei ghiacciai italiani è in ritiro. Questa tendenza, che si manifesta dall'inizio del secolo scorso, si è brevemente interrotta fra la metà degli Anni 70 e i primi Anni 80 a partire dal quale la percentuale dei ghiacciai in arretramento ha sempre superato quella dei ghiacciai in avanzata, con punte del 90% nel 1999.

Questi dati confermano quello che è il comportamento generalizzato di quasi tutti i ghiacciai delle principali catene montuose del mondo, i quali hanno visto interrompersi alla meta del XIX secolo l'ultimo episodio di avanzata di una certa entità, episodio denominato Piccola Età Glaciale. Nelle Alpi italiane dalla fine della Piccola Età Glaciale ad oggi è scomparsa più del 40% della superficie glacializzata.

In Trentino, il regolare monitoraggio dei ghiacciai viene effettuato grazie alla collaborazione tra Comitato Glaciologico Trentino della SAT (Società degli Alpinisti Tridentini), Museo Tridentino di Scienze Naturali, Dipartimento Protezione Civile e Infrastrutture della Provincia Autonoma di Trento e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Trento. Alcuni fra i più grandi ghiacciai del Trentino hanno perso, in poco più di quarant'anni, fino al 42% della loro superficie (è il caso del Ghiacciaio della Marmolada). In altri casi le riduzioni di area sono state di minore entità, come per il Ghiacciaio dell'Adamello (<3,2%) e della Lobbia (<10%) (Fig. 7).

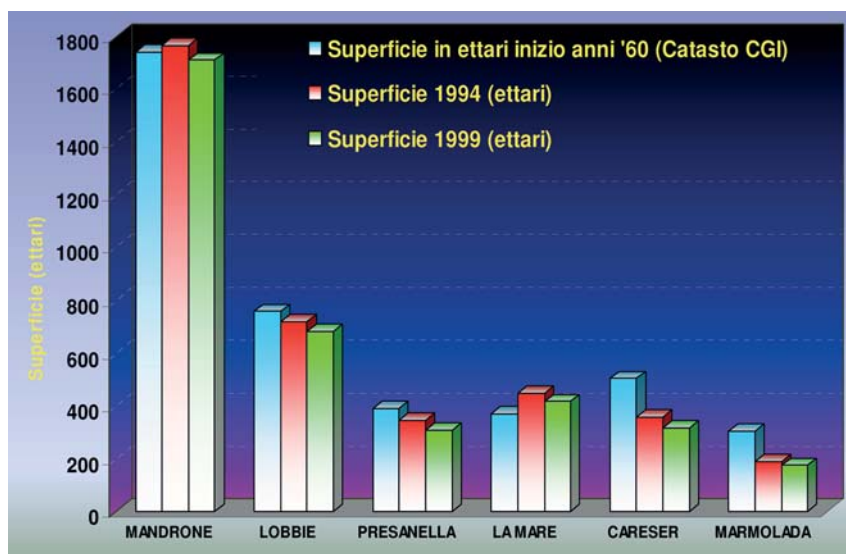


Fig. 7. Le differenze di superficie dei maggiori ghiacciai trentini.

Anche i ghiacciai di minori dimensioni hanno sofferto un'analogia riduzione di superficie, come nel caso di due apparati sottoposti per 10 anni consecutivi ad un controllo topografico di precisione. Si tratta in particolare del Ghiacciaio di Prà Fiori (Gruppo di Brenta) la cui superficie si è ridotta di circa 3 Ha dal 1990 al 1999, passando da 11 a 8 Ha, e del Ghiacciaio del Cop di Breguzzo (Gruppo dell'Adamello) che ha visto una costante e regolare contrazione della superficie, passata da quasi 9 Ha nel 1991 a poco più di 5 nel 2000.

Negli ultimi 25 anni circa, la quantità di neve accumulata con le precipitazioni invernali non è quasi mai riuscita a bilanciare la massa di ghiaccio persa d'estate per fusione. I bilanci sono quindi negativi e i ghiacciai, di conseguenza, si stanno rimpicciolendo.

L'inverno 2008-2009 ha portato sui ghiacciai fino a 9 metri di neve che solo in pochi casi (ad es. Ghiacciaio d'Agola, il più grande delle Dolomiti di Brenta) si sono in parte conservati fino al termine della successiva estate. Alla fine dello scorso inverno 2009-10, invece, si è misurato un accumulo di neve compreso tra i 3 e i 5 metri. Le temperature primaverili di quest'anno, decisamente fresche, ne hanno conservato buona parte, anche se la superficie di ablazione è quasi sempre ben maggiore dell'area di accumulo e quindi per i nostri ghiacciai il bilancio sarà ancora negativo.

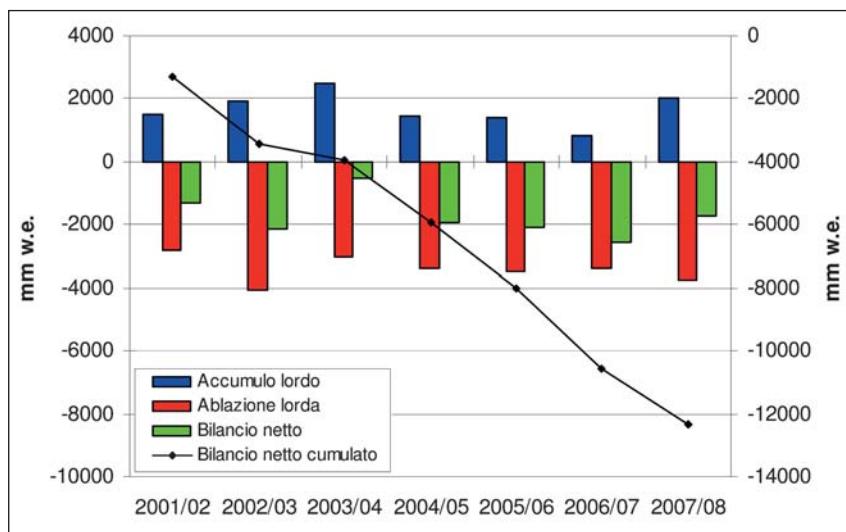


Fig. 8. Bilancio di massa del Ghiacciaio d'Agola (Dolomiti di Brenta).

Il Ghiacciaio d'Agola negli ultimi 20 anni ha subito una perdita di spessore di 13 metri di ghiaccio e la fronte si è ritirata di 80 metri. Nel corso del 2005 è stata eseguita un'indagine con georadar per misurare lo spessore che è risultato essere mediamente di 23 metri. Con l'attuale condizione climatica, che vede la perdita di 2 metri di ghiaccio ogni anno, il Ghiacciaio d'Agola potrebbe estinguersi fra solo 15 anni (Fig. 8).

Sul Ghiacciaio del Careser, nel Gruppo del Cevedale, si effettuano misure di bilancio di massa in maniera sistematica dal 1967; è l'unico ghiacciaio italiano ad avere una serie continua di misure di bilancio di massa così lunga. A parte alcuni e pochi anni con bilancio positivo, tutti collocati nella decade 1970-1980, il Ghiacciaio del Careser ha sempre registrato bilanci negativi e dal 1967 ad oggi ha perso circa 48 metri di spessore di ghiaccio (Fig. 9).

GLI SCENARI FUTURI

I dati a disposizione sono molti e tutti confermano che è in atto una riduzione di superficie e di volume di tutti i ghiacciai delle Alpi. Molto più difficile è capire quali siano le cause e il "peso" che hanno i cambiamenti del clima che si osservano oggi.

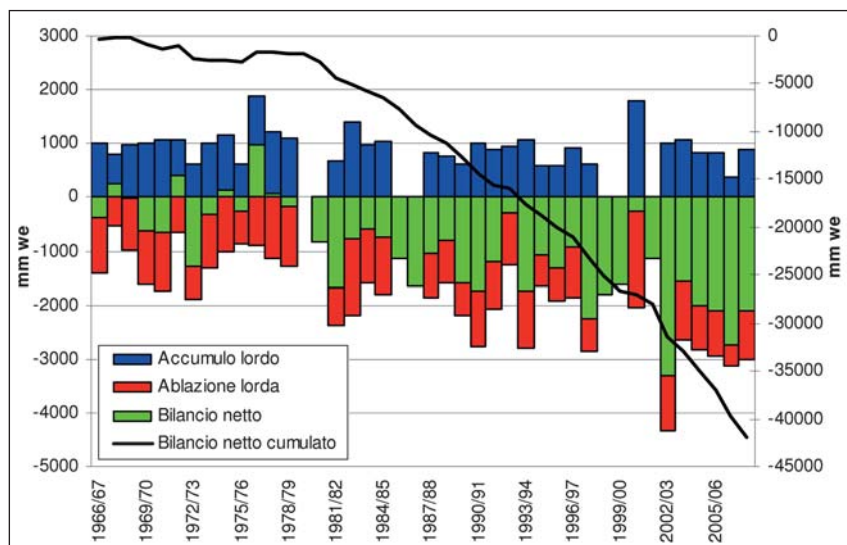


Fig. 9. Bilancio di massa del Ghiacciaio del Careser (Gruppo del Cevedale).

Nel passato della Terra ci sono stati periodi nei quali i ghiacciai erano molto più ridotti di come sono oggi, alternati a periodi caratterizzati da un considerevole sviluppo delle masse glaciali.

La temperatura media dell'atmosfera è in aumento. In particolare, l'aumento è stato di quasi un grado dalla metà dell'Ottocento ad oggi, ma in un passato più remoto si sono avute fluttuazioni più accentuate. I cambiamenti di temperatura dell'atmosfera sono un fenomeno del tutto naturale e si sono sempre verificati nel corso della storia geologica. Non è ancora chiaro quali siano le cause di queste variazioni e soprattutto quale sia il ruolo dei cosiddetti "gas serra" nel provocare (o accentuare) l'innalzamento della temperatura. Il contenuto di anidride carbonica e di metano nella nostra atmosfera sta anch'esso aumentando; dalla metà dell'800, con l'inizio dell'attività industriale e quindi del consumo di combustibili fossili, la concentrazione di anidride carbonica è passata da meno di 300 a più di 380 parti per milioni, raggiungendo livelli mai riscontrati nel passato. In modo analogo si stanno comportando i valori di concentrazione atmosferica del metano.

Autorevoli studi dimostrano che, parallelamente all'immissione di gas serra in atmosfera, ci si dovrà aspettare un continuo innalzamento della temperatura. Quale futuro quindi per i nostri ghiacciai? Molto difficile fare previsioni. Se l'attuale tendenza verrà confermata si assisterà alla progressiva riduzione dei ghiacciai fino all'inevitabile scompar-



Fig. 10. Confronto fotografico dei ghiacciai della Lobbia e dell'Adamello-Mandrone, ripresi nel 1903 (in alto) e nel 2008 (in basso).

sa. Alcuni studiosi italiani e svizzeri hanno ipotizzato scenari con le Alpi prive di ghiacciai entro i prossimi 50 anni.

Le conseguenze di una riduzione o scomparsa dei ghiacciai possono essere rilevanti per l'uomo. Si pensi innanzitutto che nei ghiacciai è contenuto il 70% dell'acqua dolce presente sulla Terra. Con la scomparsa dei ghiacciai, quindi, si ridurrà drasticamente uno dei principali serbatoi di acqua dolce per le popolazioni che vivono al cospetto delle catene montuose, e non solo per loro.



Fig. 11. Il Ghiacciaio dell'Adamello Mandrone ormai, a fine estate, privo di neve invernale e con il ghiaccio (la parte grigia nella foto) in continua fusione.

In Trentino il 95% circa dell'energia prodotta è di natura idroelettrica e viene prodotta con l'acqua contenuta in bacini artificiali alimentati in buona parte dalla fusione glaciale.

Non si dimentichi, inoltre, che i ghiacciai sono una risorsa turistica, sia per quanto riguarda lo sci estivo, sia semplicemente per l'attrazione e il fascino che essi rappresentano per escursionisti e alpinisti. Infine, la drastica riduzione di superficie e la scomparsa dei ghiacciai aumenta i rischi naturali in alta montagna, provocando dissesti idrogeologici e disequilibri nel ciclo delle acque che potranno avere conseguenze anche sul fondovalle.

BIBLIOGRAFIA

- BOMBARDA R., 1996 - Il cuore bianco: guida ai ghiacciai del Trentino, *Arca*, Trento
- CARTON A., PELFINI M., 1988 - Forme del paesaggio d'alta montagna, *Zanichelli*, Bologna.
- CARTON A. & ZURLI M., 2001 - Bilanci di massa dei ghiacciai italiani. Esperienze e confronti, Torino. Pagine 101, con 46 ill.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO - Geografia fisica e dinamica quaternaria.
- CGI, CNR, 1959 - Catasto dei Ghiacciai Italiani. Volume I. Elenco generale e bibliografia dei ghiacciai italiani Pagine 172, con 3 carte.
- CGI, CNR, 1961 - Catasto dei Ghiacciai Italiani. Volume III. Ghiacciai della Lombardia e dell'Ortles-Cevedale Pagine XVIII-389, con 318 cartine e 269 ill.
- CGI, CNR, 1962 - Catasto dei Ghiacciai Italiani. Volume IV. Ghiacciai delle Tre Venezie (escluso Ortles-Cevedale) e dell'Appennino Pagine XXVII-309, con 306 cartine e 207 ill.
- MAISCH M. *et al.*, 2000 - Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung Gletscherschwund - Szenarien.
- MORTARA G., MERCALLI L., DUTTO F. & CASAGRANDE A., 1995 - Aggiornamento della «Bibliografia analitica dei ghiacciai italiani nelle pubblicazioni del C.G.I.» di Michele Pantaleo, Torino, pp. 100.
- MOTTA L., 1996 - L'archivio fotografico del Comitato Glaciologico Italiano. Parte I: Ghiacciai delle Alpi Occidentali, Torino, pp. 108.
- NAVARRA A., PINCHERA A., 2000 - Il clima, *Laterza Editore*.
- PELFINI M., 1999 - Dendrogeomorphological study of glacier fluctuations in the Italian Alps during the Little Ice Age. *Annals of Glaciology*, 28, pp. 123-128.
- PINNA M., 1996 - Le variazioni del clima. Dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI secolo, *Franco Angeli*, Milano
- PORRO C., 1925 - Elenco dei ghiacciai italiani, *Pubblicazioni dell'Ufficio Idrografico del Po*, Parma.
- ROSSI G., 1995 - I ghiacciai italiani e il loro potenziale idroelettrico. *Quaternaria*, Comitato Glaciologico Italiano, vol. 18 (2).
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO - Terra Glacialis. *Annali di cultura glaciologica*, Milano.
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO 1992 - Ghiacciai in Lombardia Bolis, a cura di A. Galluccio e G. Catasta, Bergamo.
- SMIRAGLIA C., 1992 - Guida ai ghiacciai e alla glaciologia, *Zanichelli*, Bologna.
- VILLENEUVE C., RICHARD F., 2008 - Vivere i cambiamenti climatici... e reagire per il futuro, *Gruppo Editoriale Muzzio*.
- WORLD GLACIERS INVENTORY, 1981-82 - IAHS-UNEP-UNESCO, in: <http://nsidc.org/data/g01130.html> (luglio 2003).

Indirizzo dell'autore:

Christian Casarotto - Museo Tridentino di Scienze Naturali - Via Calepina, 14 -
I-38122 Trento, Italia - casarotto@mtsn.tn.it
