

Tavola 3.10 Grandezze caratteristiche dei ghiacciai e i loro mutamenti 1850–2000

Introduzione

Gli inventari esistenti sui ghiacciai delle Alpi svizzeri, risalenti agli anni attorno al 1850, al 1973 e attorno al 2000, rappresentano una documentazione completa e unica al mondo [5,6,7,8]. Partendo da essi, sul presente foglio dell'Atlante vengono mostrate le caratteristiche della copertura di ghiaccio in Svizzera, come pure i loro mutamenti durante il periodo di ritiro iniziato dopo lo stadio di massima espansione del 1850.

Il materiale di partenza, come pure i dati caratteristici dei ghiacciai, esistono sia in forma analogica (carte, fogli di dati, tabelle, fotografie aeree) sia in forma digitale (ad es. banche dati, foto satellitari). Le caratteristiche dei ghiacciai possono essere elaborate statisticamente secondo criteri spaziali (ad es. per regioni montuose), come pure in base a criteri glaciologici (ad es. secondo il tipo di ghiacciaio o l'esposizione) e analizzati in modo mirato per rispondere a domande specifiche [6].

Gli inventari dei ghiacciai citati prima presentano aspetti e possibilità di applicazione interessanti per la ricerca e la pratica, quali ad esempio:

- stima delle dimensioni e della dinamica del ritiro dei ghiacciai a partire dal 1850;
- applicazione del procedimento di stima per la modellizzazione del comportamento dei ghiacciai (ad es. derivazione dei bilanci di massa a partire dalle variazioni di lunghezza) [1,2];
- base per la modellizzazione di scenari riguardanti il ritiro dei ghiacciai nel XXI° secolo [5,6];
- criteri per la scelta di ghiacciai idonei per singoli studi mirati (ad es. ghiacciai «freddi» per carotaggi di ghiaccio come archivi per il clima e l'ambiente);
- rilevamento e quantificazione delle riserve di ghiaccio, rispettivamente di acqua;
- localizzazione dei ghiacciai soggetti a rischio di crollo come pure dei laghi potenzialmente pericolosi e di conseguenza il riconoscimento precoce di rischi di inondazioni e di lava torrentizia [3].

Copertura di ghiaccio e tipi di ghiacciai

Secondo i dati degli inventari, al momento attuale nelle Alpi svizzere esistono ancora circa 2000 ghiacciai (vedi carta 1:1 100 000) [6]. La copertura di ghiaccio si concentra nella parte centrale delle Alpi vallesane (ad es. regioni del Monte Rosa, Dent Blanche), nelle Alpi bernesi (Finsteraarhorn, Jungfrau, Aletschhorn) e nelle Alpi della Svizzera centrale (Damma) come pure in modo secondario nelle Alpi dei Grigioni meridionali (Bernina, Bregaglia). Questa distribuzione asimmetrica nello spazio riflette la grande variabilità, anche alla microscala, delle precondizioni necessarie all'esistenza di un ghiacciaio, quali il clima e la topografia.

Le proporzioni dei ghiacciai e di conseguenza la frequenza dei quattro tipi di ghiacciai è molto disomogenea (fig. 1). In tutti le regioni montuose il quadro è dominato quantitativamente dai glacionevati e dai nevai perenni, composti da firn (tipi C e D) (fig. 2). Dal punto di vista dell'estensione, però, il loro contributo alla copertura glaciale totale riveste un ruolo minore (fig. 3). I ghiacciai vallivi (tipo A) come pure i ghiacciai montani (tipo B) sono molto meno frequenti. Il grande ghiacciaio dell'Aletsch, il più grande ghiacciaio alpino in assoluto, occupa una posizione preminente in quasi tutti i confronti quantitativi (cfr. tab. 1).

La maggior parte dei ghiacciai si trova prevalentemente nei settori verso NW, N e NE, in quanto più protetti dalla radiazione solare. Nei settori orientati verso SE, S e SW, più esposti alla radiazione, quindi meno idonei per i ghiacciai, essi sono generalmente molto più rari e, in condizioni simili della conformazione della montagna, anche chiaramente più piccoli che sul lato nord (fig. 4,5).

Il ritiro dei ghiacciai

Nel 1850 i ghiacciai in Svizzera ricoprivano ancora una superficie totale di 1800 km² (fig. 6). Fino all'anno di riferimento 1973 la superficie totale era di 1300 km²: erano dunque scomparsi 500 km² – in seguito a un innalzamento di circa 1 °C della temperatura – pari al 27 % del totale [6]. Dal 1973 all'anno di riferimento 2000 sono scomparsi ulteriori 250 km² [8]. Nel 2000 i ghiacciai ricoprivano ancora una superficie totale di 1050 km². La copertura glaciale della Svizzera si è perciò ridotta a causa del «ritiro del secolo» al 58 % dell'estensione del 1850. Oggi è coperto dal ghiaccio il 2.5 % della superficie nazionale.

Dal 1850 fino all'anno d'inventario 1973, il volume del ghiaccio è diminuito complessivamente di 35 km³, dagli originali 110 km³ a 75 km³, cioè di ben un terzo. Negli ultimi tre decenni sono scomparsi, con un'accelerazione della tendenza al ritiro, ulteriori 20 a 30 punti percentuali del volume. Nella maggior parte delle regioni le perdite in volume registrate dal 1850 rappresentano chiaramente più della metà del volume di partenza. Il volume di ghiaccio presente nelle Alpi svizzere intorno al 2000 può di conseguenza essere stimato tra 50 e 60 km³, e la corrispondente quantità di acqua immagazzinata nel ghiaccio dei ghiacciai tra 45 e 55 km³ (fig. 7).

Le percentuali di perdita di superficie e di volume sono correlate in modo inversamente proporzionali sia con le dimensioni di partenza, sia con l'estensione regionale della copertura di ghiaccio. Ghiacciai o regioni con ghiacciai con dimensioni di partenza ridotte (ad es. Bassa Engadina, Basòdino, Grand Muveran) hanno dovuto subire dei cali percentuali sostanzialmente maggiori rispetto ai ghiacciai più grandi o alle regioni con una copertura glaciale maggiore (ad es. Aletschhorn, Monte Rosa, Dent Blanche).

Posizione e innalzamento della linea di equilibrio

La posizione media della linea di equilibrio risulta da un presunto rapporto di superficie di 2:1 tra la zona di accumulazione e quella di ablazione, e perciò viene anche indicata come linea di equilibrio-2:1. Le quote delle linee di equilibrio variano in una fascia altitudinale molto estesa che va dai 2300 m fino a 3100 m s.m. e che, di conseguenza, comprende anche ampi intervalli di temperatura. Questa grande variazione può essere spiegata principalmente attraverso la posizione nello spazio e le precondizioni climatiche. Inoltre giocano un ruolo anche le diverse esposizioni, che determinano, tra il versante nord e quello sud, differenze di più di 300 m della quota della linea di equilibrio.

Un'analisi di tendenza areale, eseguita sulla base di valori medi regionali, mostra uno spostamento altitudinale verso l'alto delle aree glaciali, risp. della quota della linea di equilibrio, partendo dalle regioni al margine settentrionale delle Alpi, ricche di precipitazioni, verso le regioni al centro delle Alpi, più aride. Si rivelano così «punto culminante della linea di equilibrio» le regioni del Monte Rosa, dell'Aletschhorn e del Bernina, mentre le regioni sensibilmente più umide della Tour Sallière, del Grand Muveran, del Gottardo, di Flims–Pizol, della valle del Reno e della Bregaglia sono «conche della linea di equilibrio». A questa tendenza principale, sovraregionale, dovuta soprattutto alla disponibilità di precipitazioni, si sovrappongono, secondariamente, le differenze di esposizione, cioè le condizioni di irradiazione e, in aggiunta, altri effetti locali come accumuli di neve dovuti all'azione del vento. Le quote della linea di equilibrio nell'anno di riferimento 1973 rappresentano in questo caso il periodo 1960–1990 (fig. 8,9).

Il valore dell'innalzamento della linea di equilibrio nell'intervallo di tempo 1850–1973, in una visione generale, è dell'ordine di grandezza di circa 100 metri (fig. 10). Questo valore fornisce un'indicazione generale della reazione dei ghiacciai alla mutazione climatica iniziata a metà del XIX° secolo. La variazione nello spazio dei valori di innalzamento della linea d'equilibrio indica una tendenza all'inaridimento a partire dal 1850 nelle regioni delle Alpi centrali e lungo il margine meridionale delle Alpi (ad es. Monte Rosa, Aletschhorn, Bernina), cioè in regioni con ghiacciai situati in altitudine. Con la disponibilità dei nuovi contorni digitali dei ghiacciai e di un modello altitudinale digitale sono state calcolate le percentuali di superficie dei ghiacciai nelle singole fasce altitudinali e sono stati confrontati i periodi 1850–1973 e 1973–2000 (fig. 11). Dalle due figure parziali si evidenzia che le maggiori perdite assolute di superficie si riscontrano nelle fasce altitudinali con la maggiore copertura di ghiaccio, mentre le variazioni maggiori in senso relativo ricadono nelle fasce altitudinali più basse.

Variazioni delle superfici dei ghiacciai

L'elevata specificità del comportamento dei singoli ghiacciai risulta evidente dalle figure 12, 13 e 14. Nonostante la dispersione particolarmente ampia nel caso dei glacionevati e dei nevai perenni, si riconosce chiaramente che in entrambi i periodi di riferimento 1850–1973 e 1973–2000 le proporzioni del ritiro risultano inversamente correlate alle dimensioni dei ghiacciai. Così i ghiacciai vallivi registrano in media le perdite percentuali minori (10–20 %), i nevai perenni quelle maggiori (20–100 %). Diverse centinaia di glacionevati e nevai perenni sono spariti completamente dal 1850.

Metodica

La determinazione dell'estensione dei ghiacciai, come pure il rilevamento delle più importanti grandezze caratteristiche (fig. 15,16), sono stati eseguiti secondo metodologie diverse per gli anni 1850, 1973 e 2000. Per delimitare lo stadio di espansione massima del ghiacciaio del 1850 sono stati analizzati i fogli originali della tavola pretoriana, completando le informazioni, per le singole regioni, tramite osservazioni sul campo e cartografando la posizione delle morene (fig. 17) [5,6]. L'inventario del 1973 si basa su speciali foto aeree, in base alle quali i ghiacciai sono stati delimitati otticamente. I loro contorni sono stati poi riportati manualmente su delle carte topografiche 1:25 000 (fig. 17) [7]. Il nuovo inventario svizzero dei ghiacciai (SGI 2000) si basa su dati satellitari (Landsat Thematic Mapper) e la realizzazione automatizzata della carta delle superfici dei ghiacciai (fig. 18) [8]. I parametri più importanti dei ghiacciai (ad es. pendenza, esposizione, altitudine della linea di equilibrio, ecc.) sono stati derivati grazie a un sistema d'informazione geografica e un modello geografico altitudinale. Questo inventario apre nuove prospettive grazie alla sua metodica moderna e le conseguenti possibilità di analisi e di rappresentazione [4,8,9]. Dato che non è ancora terminato, per la presente tavola non erano disponibili tutti i dati desiderati. Per questo motivo, tra l'altro, nelle figure 2 e 3 è stato rappresentato lo stato del 1973 che in ogni caso, per questi temi, è rappresentativo anche per il periodo attorno al 2000.

Conclusioni

Gli elementi glaciologici rappresentati in questa tavola sottolineano l'importanza dei ghiacciai quali sensibili indicatori climatici. I ghiacciai delle Alpi svizzere rappresentano, infatti, un elemento chiave per lo studio dell'attuale mutamento climatico e di quello previsto per il XXI° secolo [2] per la loro idoneità ad essere utilizzati all'interno di modelli per il riconoscimento precoce di sviluppi accelerati, come le modifiche del bilancio idrico, del potenziale per i pericoli naturali come pure per i mutamenti del paesaggio alpino.

Bibliografia

- [1] **Haeberli, W., Hoelzle, M. (1995):** Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. In: *Annals of Glaciology* 21:206–212, Cambridge.
 - [2] **Haeberli, W., Maisch, M., Paul, F. (2002):** Mountain glaciers in global climate-related observation networks. In: *Bulletin WMO*, Vol. 51, No. 1:18–25, Genève.
 - [3] **Huggel, C. (2004):** Assessment of Glacial Hazards based on Remote Sensing and GIS modeling. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, *Physische Geographie* Vol. 44, Zürich.
 - [4] **Kääb, A. et al. (2002):** The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: II. Results. In: *Annals of Glaciology* 34:362–366, Cambridge.
 - [5] **Maisch, M. (1992):** Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 in Gebiet der östlichen Schweizer Alpen. Teile A und B, *Physische Geographie* Vol. 33, Zürich.
 - [6] **Maisch, M. et al. (2000):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31, Zürich.
 - [7] **Müller, F., Caflisch, T., Müller, G. (1976):** Firn und Eis der Schweizer Alpen – Gletscherinventar. ETH-Zürich, Publ. Nrn. 57 und 57a, Zürich.
 - [8] **Paul, F. (2004):** The new Swiss glacier inventory 2000 – Application of Remote Sensing and GIS. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, Zürich.
 - [9] **Paul, F. et al. (2002):** The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: I. Methods. In: *Annals of Glaciology* 34:355–361, Cambridge.
 - [10] **Wipf, A. (1999):** Die Gletscher der Berner, Waadtländer und nördlichen Walliser Alpen. Eine regionale Studie über die Vergletscherung im Zeitraum «Vergangenheit» (Hochstand von 1850), «Gegenwart» (Ausdehnung im Jahr 1973) und «Zukunft» (Gletscherschwund-Szenarien 21. Jhdt.). Dissertation Geographisches Institut der Universität Zürich, *Physische Geographie* Vol. 40, Zürich.
-
- [11] **Quellen Fig. 17:** Original-Messtischblatt Nr. 495 Zermatt (Ausschnitt) © Bundesamt für Landestopographie; Luftbild vom 7. September 1973, Gletscherinventar 1973, ETH Zürich; Photo: M. Maisch.