Eisfreie Gebiete
Territoires libres de glaces

Einstiger See
Ancien lac

Atlante della Svizzera, 1970, Tav. 6
La Svizzera durante l'ultima glaciazione

CAMBIAMENTI CLIMATICI: CONSEGUENZE SUL RITIRO DEI GHIACCIAI MONDIALI E TICINESI

Fosco Spinedi e Giovanni Kappenberger
Collaboratore e già collaboratore MeteoSvizzera
Mattia Soldati e Gabriele Corti
Collaboratore e già collaboratore Sezione forestale

Nel Pleistocene (1,8 milioni - 14.000 anni fa) i grandi ghiacciai alpini si spingevano fino al nord della Pianura Padana. Durante l'ultima epoca glaciale, conclusasi circa 11.000 anni or sono, il Ghiacciaio del Ticino arrivava fino sul Varesotto. La storia recente dei ghiacciai ticinesi è invece ben diversa e si ipotizza che già entro la fine di questo secolo la maggior parte dei ghiacciai alpini sarà quasi interamente scomparsa. Nella prima parte di questo contributo Fosco Spinedi e Giovanni Kappenberger di MeteoSvizzera illustrano i principali elementi che caratterizzano l'evoluzione passata, presente e futura dei ghiacciai, a scala regionale e mondiale. Nella seconda parte, Mattia Soldati e Gabriele Corti della Sezione forestale commentano i risultati di oltre 100 anni di misurazioni dei ghiacciai ticinesi, con uno zoom sugli ultimi 10 anni.

I ghiacciai e le tracce da essi lasciate sul territorio sono preziosi indicatori paleoclimatici, in quanto permettono una ricostruzione indiretta delle condizioni climatiche globali per centinaia di migliaia di anni addietro (ad esempio con le analisi chimiche delle calotte glaciali della Groenlandia) e delle condizioni locali durante diversi secoli (ad esempio nelle Alpi, determinando l'età delle morene). Oggigiorno, grazie allo sviluppo di tecniche di misurazione sempre più sofisticate, è possibile documentare quanto sta accadendo a livello climatico, a scala regionale e mondiale.

Nella prima parte di questo contributo, redatta da Fosco Spinedi e Giovanni Kappenberger, passeremo in rassegna i principali elementi che caratterizzano l'evoluzione passata, presente e futura dei ghiacciai, importanti elementi del paesaggio e del clima mondiale e locale. Nella seconda parte dell'articolo, Mattia Soldati e Gabriele Corti presenteranno i risultati di oltre 100 anni di misurazioni dei ghiacciai ticinesi, con l'accento posto sull'evoluzione riscontrata negli ultimi 10 anni.

Breve cronistoria dei ghiacciai e influsso dei cambiamenti climatici

Ieri

Nel Pleistocene (tra circa 1,8 milioni e 14.000 anni or sono), a più riprese le lingue dei grandi ghiacciai alpini si spinsero fino ai margini settentrionali della Pianura Padana. Lo testimoniano morene molto erose e blocchi erratici depositati un po' ovunque. In base al tipo di roccia, è stato possibile identificare la zona d'origine del materiale e di conseguenza stabilire le linee di flusso delle vaste colate di ghiaccio.

Grazie alle analisi delle carote di ghiaccio prelevate dalle calotte della Groenlandia e dell'Antartide, fino a una profondità di oltre 3 chilometri e dell'età di più di 800.000 anni, sono state identificate otto glaciazioni (Stocker, 2005), di cui soltanto i resti delle ultime due sono identificabili sul terreno. Le grandi glaciazioni, ognuna intercalata da un periodo interglaciale più caldo, sono essenzialmente attribuibili alle variazioni cicliche dei parametri astronomici, che determinano la quantità di radiazione solare ricevuta dalla terra.

Durante la massima estensione dei ghiacciai dell'ultima epoca glaciale, il Ghiacciaio del Basodino, rispettivamente quello della Vallemaggia, erano affluenti del Ghiacciaio del Ticino, la cui lingua arrivava fino sul Varesotto. È stato calcolato che sopra Robiei vi fosse una coltre di circa 600 metri di ghiaccio, nella Vallemaggia di 1.500 metri, senza considerare lo spessore dei detriti ora presenti sul fondovalle (Atlante Svizzero). La storia recente dei ghiacciai ticinesi inizia dopo quest'ultima epoca glaciale, con la liberazione dal ghiaccio delle grandi vallate alpine, circa 11.000 anni or sono.

Hotel Glacier du Rhône, ca. 1870, di Konrad Corradi
Fonte: De Fonte Rhodani, Eine Schrift der Hotels Seiler, Gletsch, 1980

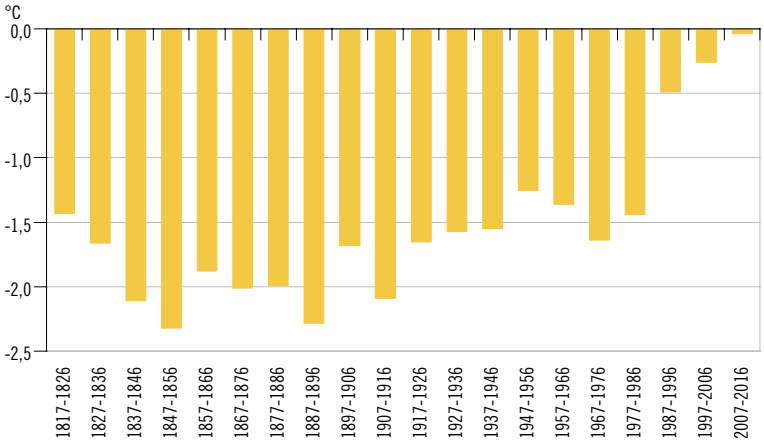
Oggi

Il rialzo globale della temperatura, iniziato dopo la metà del XVIII secolo, alla fine della Piccola Età Glaciale, ha subito un'impennata a partire dalla metà degli anni Ottanta ed è responsabile del recente ritiro e della vistosa diminuzione del volume dei ghiacciai, sia a livello mondiale sia alpino [F. 1]. In certe regioni del globo, nonostante il clima più caldo che in precedenza, vi sono state delle avanzate temporanee delle lingue glaciali (come per esempio in Norvegia negli anni Novanta), dovute a un aumento delle precipitazioni nevose. In altri casi invece, come in Groenlandia, l'avanzata è stata causata da una maggiore presenza di acqua di fusione sul letto del ghiacciaio, ciò che comporta una maggiore lubrificazione della superficie di contatto tra il ghiaccio e la roccia sottostante, con il conseguente aumento della velocità di scorrimento e l'allungamento del ghiacciaio, ma una diminuzione del suo spessore (Ringot, 2006).

L'andamento dei ghiacciai ticinesi nell'ultimo secolo sarà illustrato nella seconda parte del contributo. Prendendo come riferimento il grafico della posizione del fronte del Ghiacciaio del Basodino dalla fine del XIX secolo [F. 4], appaiono due fasi di stagnazione o addirittura di avanzata che hanno brevemente interrotto il ritiro postglaciale del ghiacciaio. Infatti, negli anni 1910-20 e 1970-80 si sono registrate estati relativamente avare di sole e di caldo, affiancate da innevamenti invernali consistenti. Si sono così avute due fasi climatiche durante le quali il ritiro di quasi metà dei ghiacciai svizzeri, tra cui tutti quelli piccoli con tempi di reazione di pochi anni (come quelli ticinesi), è stato interrotto.

Ci si potrebbe chiedere se dopo la fine dell'ultima glaciazione i ghiacciai abbiano già avuto un'estensione più ridotta di quella odierna. Presumibilmente fu il caso nel Neolitico, circa 4-8.000 anni or sono, come anche sostenuto da Weiss[1]. Eventuali tracce possono ancora essere nasco-

F. 1
Temperatura annuale media, per decennio dal 1817, alla stazione del Gran San Bernardo (2.472 m s.l.m)



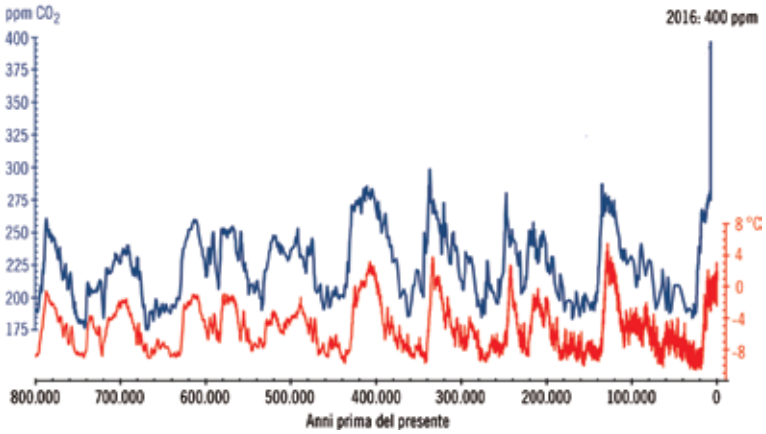
Il riscaldamento si manifesta chiaramente dopo la metà degli anni Ottanta e si è ulteriormente accentuato nell'ultimo decennio.

Fonte: Meteo Svizzera, dati controllati e omogeneizzati

[1] Si rimanda all'articolo di Weiss S. "I ghiacciai e i cristalli", pubblicato nella rivista "Dati statistiche e società" del giugno 2006.

F. 2

Temperatura (scarto dalla media degli ultimi 1.000 anni, in °C) e tasso di CO_2 nell'atmosfera (in ppm), da 800.000 anni fa ad oggi



Le fasi con marcati scarti negativi della temperatura, rispettivamente bassi tassi di CO_2, identificano le principali glaciazioni, gli scarti positivi e i tassi di CO_2 elevati i periodi interglaciali.

Fonte: NOAA, NASA, Progetto Epica; elaborazione B. Magi

ste sotto il ghiaccio, almeno al momento, come era nascosto anche "Oetzi", l'Uomo dei ghiacci. Bisogna considerare che i ghiacciai ticinesi e svizzeri, come pure la maggior parte di quelli mondiali, non hanno ancora raggiunto lo stato di equilibrio con le condizioni atmosferiche, anche perché la temperatura è in continuo aumento. La linea di equilibrio (ELA) illustra bene la tendenza in atto. Prendendo come esempio il Ghiacciaio del Basodino, negli anni Novanta la linea di equilibrio era situata attorno a 2.825 m s.l.m., mentre è salita a circa 3.000 dopo il 2000 e potrebbe aver raggiunto 3.050-3.100, cioè circa il limite superiore del ghiacciaio stesso.

È comunque difficile determinare la temperatura raggiunta nelle Alpi durante il periodo più caldo dell'Olocene (ovvero dall'ultima epoca glaciale ad oggi), necessaria per stabilire se la copertura di ghiaccio odierna sia la più ridotta o meno dalla fine dell'ultima glaciazione. Il riscaldamento di allora toccò solo l'emisfero settentrionale (e non tutto il globo come l'odierno cambiamento climatico) e sembra essersi concentrato sulle stagioni estive.

La comunità scientifica concorda che il riscaldamento globale in atto sia imputabile agli effetti delle attività umane e direttamente correlabile all'aumento della concentrazione di biossido di carbonio e di altri gas a effetto serra nell'atmosfera. Il tasso di CO_2, che nel 1850 si situava attorno a 270 ppm, dal 2016 è costantemente sopra la soglia di 400 ppm, e in base alle ricostruzioni disponibili oggigiorno è da almeno 3 milioni di anni che non si è più verificata una simile concentrazione. Il tasso di crescita odierno è di 2-3 ppm all'anno, ciò che implicherebbe il superamento di 500 ppm già poco oltre la metà del secolo, con conseguenze facilmente prevedibili per i ghiacciai e sicuramente sconvolgenti per l'ambiente alpino in generale [F. 2]. A titolo di paragone, si ipotizza che all'epoca dei dinosauri, 60-70 milioni di anni or sono, il tasso di CO_2 sia stato di circa 2.000 ppm.

Dalla prima stesura del dossier[2] sui ghiacciai ticinesi nel 2006, il riscaldamento non ha dato tregua: la tendenza iniziatasi all'inizio degli anni Ottanta si è ulteriormente rafforzata. In questi ultimi 12 anni si sono registrati i 2 anni più caldi della statistica, e ogni stagione, a parte l'inverno, è sempre risultata più calda della norma. Inoltre, si sono registrati la seconda estate più calda (dopo il 2003), i tre autunni più caldi, l'inverno più caldo e le quattro primavere più calde, sempre a partire dalle misurazioni del 1864 (riferimento: Gran San Bernardo, 2.472 m s.l.m., stazione MeteoSvizzera. Dati controllati e omogeneizzati; [F. 1]).

Domani

Una stima dell'evoluzione dei ghiacciai ticinesi nei prossimi decenni può essere basata su valori estrapolati dalle osservazioni e misurazioni a disposizione, su valori calcolati da modelli climatologici come per esempio quelli riportati nel rapporto IPCC (2014), oppure su scenari futuri proposti da diversi autori, come per esempio Maisch (2000). In base alle informazioni a disposizione, e considerando anche solo il riscaldamento minimo che le diversi fonti propongono, i ghiacciai ticinesi sono destinati a sparire entro tempi ridottissimi.

Prendendo il Ghiacciaio del Basodino come riferimento, il riscaldamento degli ultimi 15 anni circa ha portato a una perdita media annua di 70-80 centimetri di ghiaccio. Lo spessore medio del ghiacciaio, pari a circa 27 metri nel 2005, si è così ridotto oggi (2016) a circa 18 metri. Applicando un'interpolazione lineare, e senza tener conto di retroazioni positive (minor volume di ghiaccio e minori superfici ghiacciate e innevate comportano un maggior accumulo di calore nell'ambiente circostante e di conseguenza una fusione ancora più rapida), si avrebbe la sparizione totale del ghiacciaio al di sotto dei 3.000 m s.l.m. in 20 anni, mentre la fusione completa della parte posta al di sopra di questa quota, di uno spessore maggiore, avverrebbe in meno di mezzo secolo.

[2] Si rimanda al dossier sul tema "ghiacciai" pubblicato nella rivista "Dati statistiche e società" del giugno 2006.

F. 3
Ghiacciai misurati annualmente dalla Sezione forestale cantonale

Fonte: Sezione forestale

Confronti con il resto della Svizzera

Secondo lavori più recenti (Farinotti et al. 2009) lo spessore medio dei ghiacciai svizzeri si aggirava nel 1999 sui 70 metri o poco di meno. Nei 10 anni seguenti, ossia fino al 2009, i ghiacciai svizzeri avevano perso il 12% del loro volume, di cui più di ¼ nella sola estate rovente del 2003. Attualmente si assume che il volume dei ghiacciai svizzeri sia di circa 56 km^3 (Huss and Farinotti 2013). Il volume del ghiacciaio del Basodino (stimato a 25-30 milioni di m^3 nel 2013, sulla base dei rilievi fotogrammetrici) risulta essere la 2.000esima parte del volume di ghiaccio totale delle Alpi svizzere.

Confronti a livello globale

Oggi si assume che il volume dei ghiacciai a livello globale, senza considerare la Groenlandia e l'Antartico, sia di 170.000 km^3. Questi sono poco più del 3% del totale del ghiaccio globale, ma la loro completa fusione porterebbe a un rialzo del livello del mare di quasi mezzo metro. Il contributo dei ghiacciai svizzeri sarebbe all'incirca del 0,3 ‰. Considerando tutti i ghiacci, per cui anche quelli della Groenlandia e soprattutto dell'Antartico (che da solo comporta circa il 90% del ghiaccio globale), il contributo del ghiaccio svizzero risulterebbe essere pressappoco 1/100.000 (un centomillesimo) e quello del solo ghiacciaio del Basodino all'incirca 1/1.000.000.000 (un miliardesimo).

La misurazione delle variazioni frontali dei ghiacciai in Ticino dal 2005 al 2016

In Ticino la misurazione sistematica delle variazioni frontali dei ghiacciai è iniziata nel 1892, con il ghiacciaio del Basodino. Un primo bilancio dei rilievi effettuati fino al 2005 è stato pubblicato nel numero 2 della rivista "Dati statistiche e società" del giugno 2006, in un ampio dossier sui ghiacciai, che parlava anche della situazione Svizzera, di glaciologia in generale, di bilancio di massa, di clima, di permafrost, di ghiacciai e energia ecc. La relazione che segue presenta e commenta le misure realizzate dal 2006 al 2016, con un contributo speciale per i 25 anni di bilancio di massa del Ghiacciaio del Basodino.

L'evoluzione delle tecniche di misurazione

Le prime misure dei ghiacciai ticinesi (e svizzeri) sono iniziate verso la fine del XIX secolo. A quel tempo i rilievi venivano eseguiti con delle bindelle metriche. Partendo sempre dagli stessi punti fissi, si misurava la distanza di questi punti dal fronte del ghiacciaio e si poteva così determinarne le variazioni. Successivamente sono state utilizzate tecnologie più sofisticate e precise. Per più di 30 anni i ghiacciai ticinesi sono stati misurati con il teodolite (uno strumento ottico di misura): durante questi rilievi un operatore si posizionava su una stazione fissa, mentre un'altra persona rilevava il fronte del ghiacciaio con un riflettore. Da un paio d'anni le misure del fronte sono eseguite con un GPS ad alta precisione (nel migliore dei casi fino a 2-3 centimetri di precisione). I vantaggi che offre questo strumento sono molteplici: è molto leggero e compatto e indipendente da eventuali ostacoli visivi. Un accurato e preciso rilievo con il GPS necessita però una buona configurazione dei satelliti.

Con lo sviluppo sempre più rapido di droni e di software che permettono di elaborare i rilievi fotogrammetrici è ora possibile l'utilizzo di questa tecnica, grazie alla quale è possibile avere dei dati non solo sulle variazioni del fronte, ma su tutta la superficie del ghiacciaio, in particolare per determinarne i cambiamenti di spessore (v. più sotto).

Infine, soprattutto per il monitoraggio di par-

Da sinistra: Mattia Soldati, Stefano Daverio, Gabriele Corti, Fausto Riva, Giorgio Valenti, Claudio Valeggia

ti instabili, come per esempio dei grossi seracchi frontali instabili, in alcune parti della Svizzera è impiegata una tecnologia radar che permette di riconoscere in tempo reale eventuali movimenti di grosse masse e garantire così un'efficace sistema di preallarme.

I ghiacciai monitorati

I ghiacciai presi in considerazione per le misure sono il Ghiacciaio del Basodino (dal 1892), il Ghiacciaio del Corno (1892), il Ghiacciaio del Cavagnöö (1893), il Ghiacciaio di Bresciana (1896), il Ghiacciaio di Val Torta (1970), il Ghiacciaio di Valleggia (1971), il Ghiacciaio Grande di Croslina (1989) e il Ghiacciaio di Camadra (misurato saltuariamente dal 2005) [F. 3]. In aggiunta al rilievo frontale, per alcuni ghiacciai sono eseguiti dei profili longitudinali che forniscono puntualmente delle indicazioni sulle variazioni di spessore. Inoltre sul ghiacciaio del Basodino dal 1991 si misura il bilancio di massa.

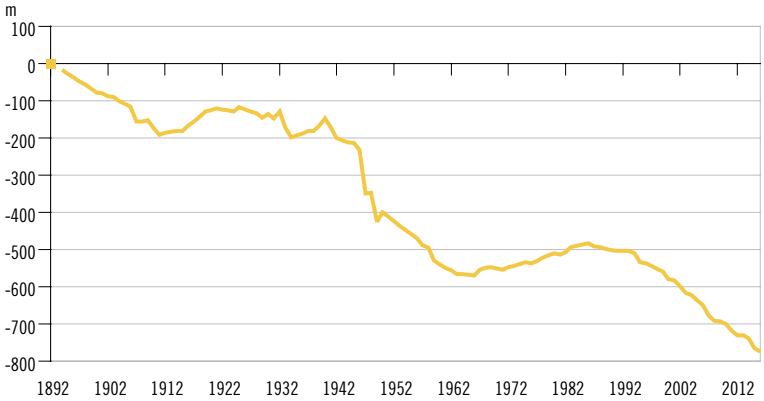
I rilievi sono da sempre eseguiti dalla Sezione forestale cantonale, su incarico dell'Istituto di glaciologia del Politecnico federale (ETH) di Zurigo. Nel 2013, dopo 33 anni di misurazioni, Claudio Valleggia, tecnico della Sezione forestale cantonale, è stato sostituito dall'ing. forestale Mattia Soldati.

Le schede che seguono mostrano, con tabelle, grafici e fotografie, la situazione dei ghiacciai misurati, con maggiori dettagli per i due ghiacciai più estesi, quello del Basodino (per il quale si presentano i risultati di varie tecniche di misurazione) e quello di Bresciana.

Resoconto statistico dei ghiacciai misurati

Come visto nella prima parte di questo contributo, il ritiro dei ghiacciai e delle calotte polari è un fenomeno di carattere globale. In particolare i ghiacciai di piccole dimensioni, come quelli ticinesi, sono quelli che maggiormente ne soffrono e che subiscono i cambiamenti più importanti e veloci. Il destino dei ghiacciai ticinesi è segnato: sulla base dei dati raccolti annualmente durante le campagne di monitoraggio, e senza degli improvvisi cambiamenti climatici, si ipotizza che fra 20 anni anche i ghiacciai ticinesi più estesi saranno completamente scomparsi. Probabilmente rimarranno unicamente delle piccole superfici ghiacciate, prive però di una vera dinamica glaciale.

F. 4
Variazioni cumulate del fronte del ghiacciaio del Basodino (in m), dal 1892



Fonte: Sezione forestale

In generale si può affermare che dal 2006 (anno della precedente pubblicazione dei dati statistici sui ghiacciai) l'arretramento medio del fronte dei ghiacciai ticinesi è stato compreso tra 5 e 10 metri/anno, mentre la perdita di spessore tra 100 e 150 centimetri.

Di seguito è presentato un breve resoconto statistico dei ghiacciai misurati annualmente dalla Sezione forestale.

Il Ghiacciaio del Basodino

Il ghiacciaio del Basodino, il più esteso del Canton Ticino, è misurato dal 1892. Dal 1892 al 2016 l'arretramento totale equivale a 774 metri, che corrisponde a una media annua poco superiore ai 6 metri. Durante il periodo 2006-2016 l'arretramento complessivo è stato di circa 130 metri.

Il grafico [F. 4] mostra chiaramente come dal 1892 sono stati pochi i periodi durante i quali il ghiacciaio è avanzato, mentre molto più numerosi sono gli anni in cui è retrocesso. Particolarmente significativo è il trend negativo in vigore negli ultimi 25 anni. In 90 anni (dal 1925 al 2016) la quota più bassa del ghiacciaio è passata dai 2.285 m s.l.m. agli oltre 2.600 m s.l.m.

Fronte del ghiacciaio del Basodino nel 1970 (foto: archivio Sezione forestale) e nel 2014 (foto: G. Corti).

Curiosità

La costruzione della teleferica di Robiei fece nascere, all'inizio degli anni Settanta, l'idea dello sci estivo al Basodino, come riportano i giornali dell'epoca:

- Dal GdP del 9.7.1971: "... sarà un turismo che interesserà unicamente i mesi da marzo in avanti: si salirà verso il Basodino, ci si sposterà da una cima all'altra su una rete di funivie e si ritornerà a Robiei in lunghe e piacevoli discese sciistiche".
- Dal CdT del 23.12.1971: "... Più concrete sono le speranze di sciare sul Ghiacciaio del Cavagnoli e già sono stati affacciati progetti per lanciare Locarno come località turistica polivalente: sci al mattino nel gruppo del Basodino, nuoto nel pomeriggio nelle acque del Verbano, inquinamento permettendo."

Il Bilancio di massa del Ghiacciaio del Basodino dal 1991 al 2016

G. Kappenberger, MeteoSvizzera

Per il ghiacciaio del Basodino, dal 1991 oltre al rilievo del fronte viene eseguito anche il bilancio di massa. La scelta del ghiacciaio del Basodino per le ricerche sul bilancio di massa è avvenuta per diversi motivi, sia di tipo logistico (teleferica San Carlo-Robiei, vicinanza di una stazione della rete di rilevamento automatico di MeteoSvizzera, a Robiei), come pure per l'interesse generale (Officine idroelettriche e altri Enti) e non da ultimo per l'attrattività della zona e del ghiacciaio stesso, il più esteso del cantone.

Il bilancio di massa è la differenza tra l'accumulazione (di regola neve) e l'ablazione (perdita di massa, dovuta in particolare a fusione, evaporazione e caduta di seracchi) che avviene di regola sull'arco dell'anno idrologico (ottobre-settembre). La conseguenza visiva di un bilancio positivo di diversi anni è l'avanzata del fronte del ghiacciaio. D'inverno il ghiacciaio accumula neve. Se è tanta, la fusione estiva inizia solo lentamente, grazie alla forte riflessione dei raggi del sole al momento della sua massima efficienza, quando è alto nel cielo. Una volta sciolta la neve, il ghiaccio si trova esposto, ed essendo più scuro della neve assorbe maggior calore e fonde fino a 10 centimetri al giorno (ciò che corrisponde a circa 1 metro di neve polverosa invernale).

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

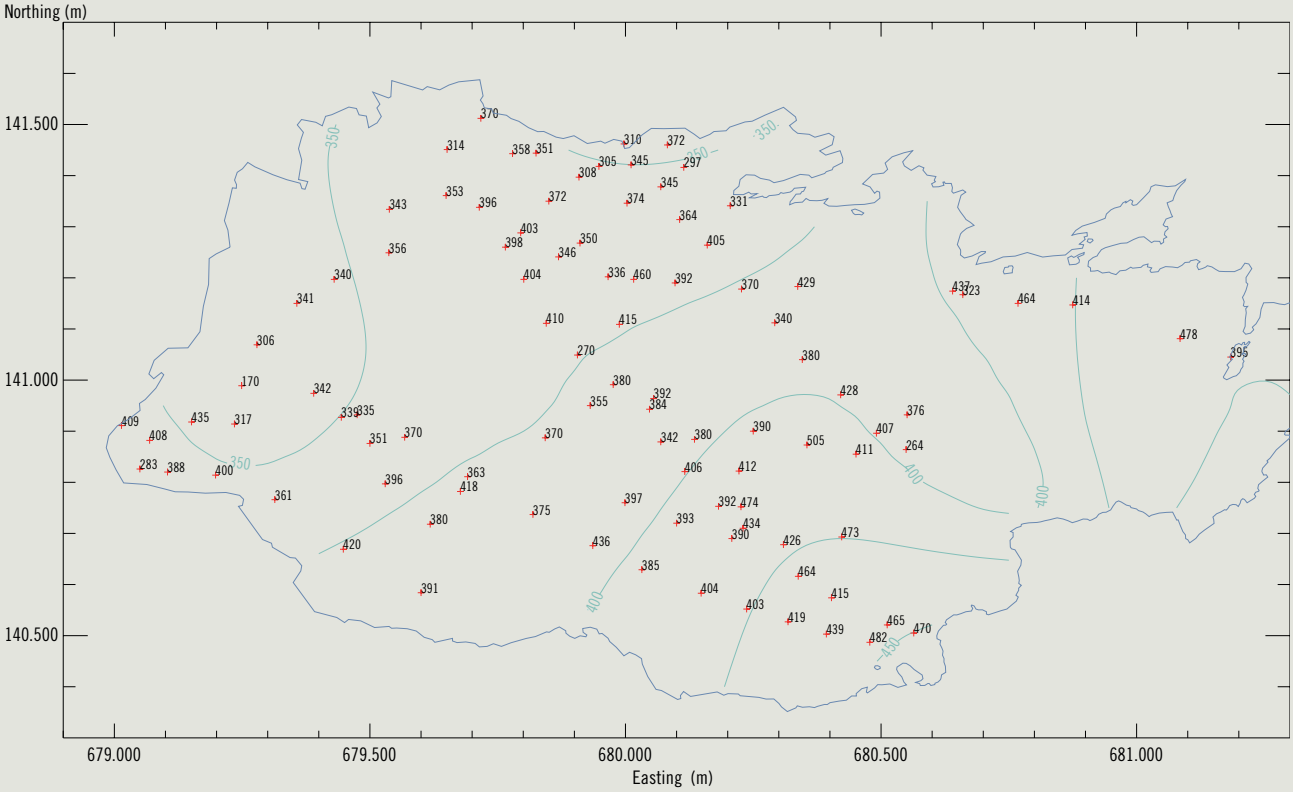
Il metodo glaciologico diretto

Il bilancio di massa secondo il metodo glaciologico diretto consiste nel rilevare l'accumulo (essenzialmente invernale) e determinare l'ablazione (essenzialmente estiva) [F. 5].

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

Il *bilancio estivo* (ablazione) è invece determinato con l'aiuto di paline infilate in un foro, scavato per alcuni metri nella neve e nel ghiaccio con una trivella. La fusione della neve e del ghiaccio in superficie mettono a nudo parte della palina. Applicando un peso

F. 5
Distribuzione di tutti i sondaggi effettuati sul ghiacciaio del Basodino, a inizio maggio 2017

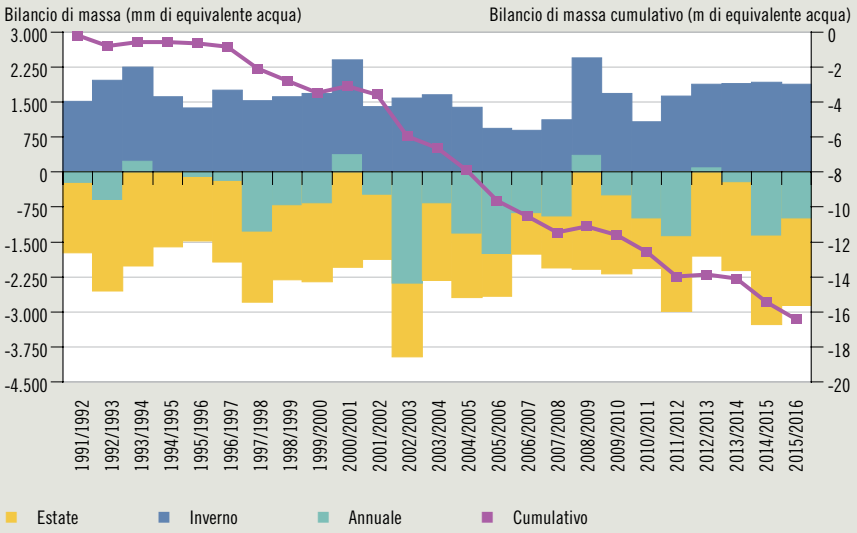


Questi carotaggi servono per misurare l'accumulazione media di neve avvenuta durante l'inverno. Nel 2017 l'altezza media della neve corrisponde a 382 cm.
Durante la misura tardo estiva si riprende una parte di questi punti per determinare la perdita di ghiaccio (ablazione).

Fonte: A. Bauder, ETH Zurigo

specifico stimato allo strato fuso, è possibile calcolare il volume dell'acqua persa. La variazione della massa è calcolata per differenti fasce d'altezza e per ogni fascia è determinato il valore netto annuale in equivalente in acqua. Il riassunto di tutte le misurazioni effettuate sul Ghiacciaio del Basodino a partire dal 1992 è riportato nella [F. 6]. In generale si sottolinea che a quote elevate risulta un aumento della massa, mentre a quote più basse constatiamo una perdita.

F. 6
Bilancio di massa del ghiacciaio del Basodino, dal 1992



Fonte: G. Kappenberger, MeteoSvizzera

Il metodo geodetico

Questo metodo si basa sull'acquisizione e l'analisi di immagini sia aeree sia terrestri.

Le superfici del ghiacciaio e le sue variazioni

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

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

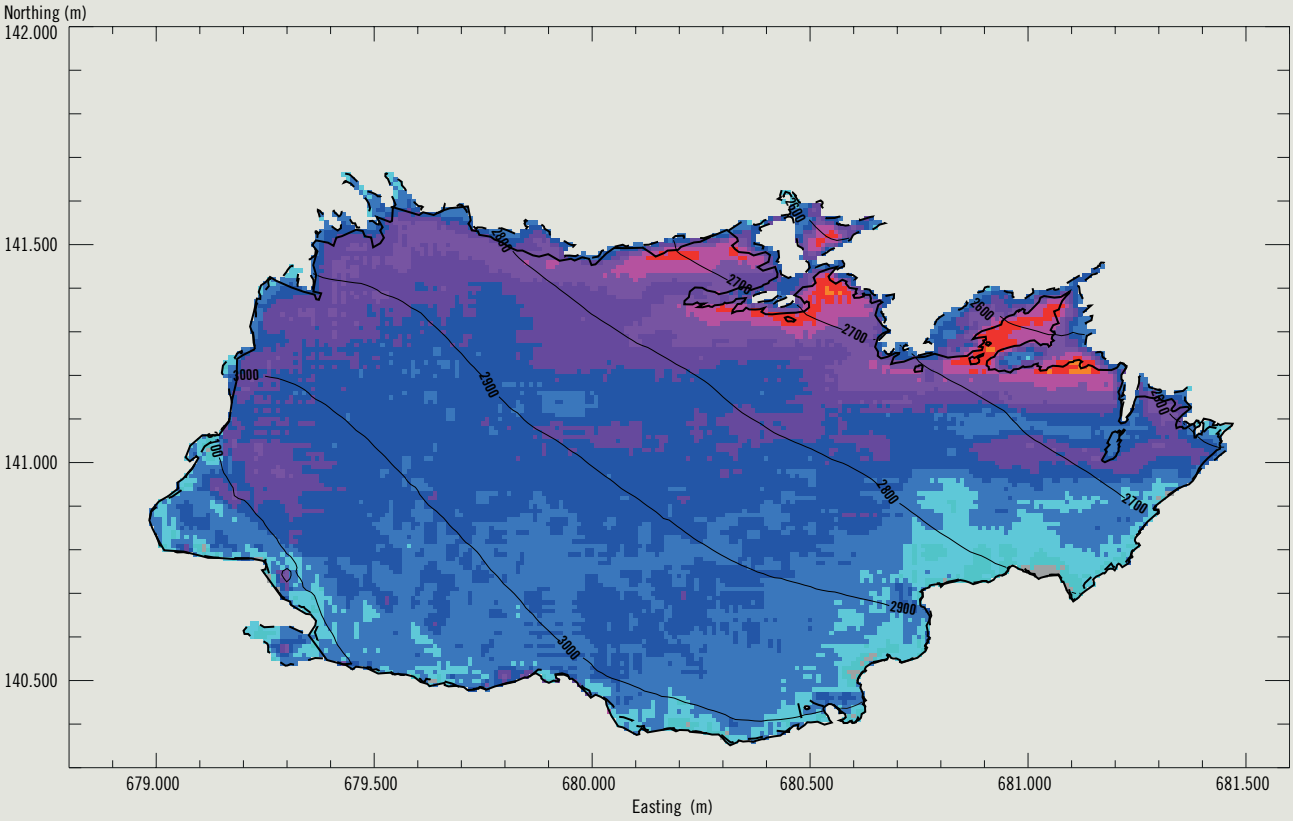
I rilievi fotogrammetrici

Il primo bilancio di massa del Ghiacciaio del Basodino effettuato grazie a rilievi fotogrammetrici, una tecnica che permette di acquisire dei dati metrici di un oggetto tramite l'acquisizione e l'analisi di immagini [F. 7], risale a una serie di foto terrestri del 1929. Le variazioni di spessore e del volume hanno potuto essere stimate anche in seguito, con l'aiuto di rilievi effettuati negli anni 1949, 1971, 1991, 2002, 2008 e 2013 ed elaborati al Laboratorio di Ricerche Idrauliche e Glaciologiche - VAW del Politecnico Federale di Zurigo. Dal 2003 al 2005 la perdita totale in equivalente in acqua è stata di 3,5 metri, per cui la media annua per il periodo considerato risulta di oltre un metro.

E il futuro? I rilievi con la tecnologia Radar, eseguiti nel 2005, hanno permesso di determinare la profondità media del ghiacciaio, che era compresa tra 20 e 35 metri, con un valore medio di 27 metri. Sulla base di queste osservazioni, e considerando delle perdite di ghiaccio di oltre 1 metro all'anno, si può facilmente ipotizzare il destino del ghiacciaio: se anche gli anni futuri dovessero mantenere la stessa tendenza, entro una dozzina di anni il ghiacciaio sarà frammentato e tra una ventina di anni non potrebbero restare che pochi residui di ghiaccio sotto le creste.

F. 7

Differenze di spessore del Ghiacciaio del Basodino (in metri per anno), fra i rilievi fotogrammetrici di settembre 2008 e settembre 2013

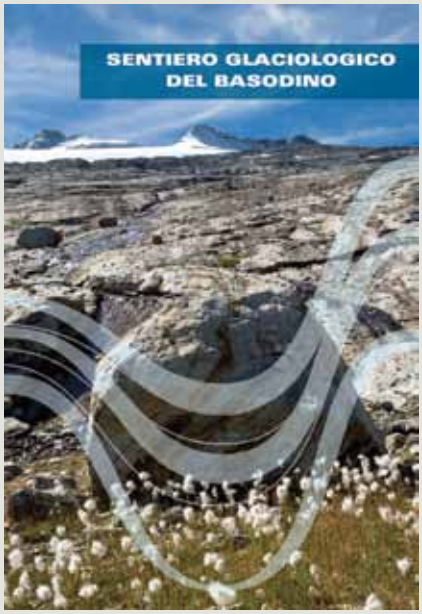


Da notare come la parte est del ghiacciaio – dove sono eseguite le misure di lunghezza – presenta molte meno perdite che il resto della superficie. Infatti molto spesso il vento trasporta la neve da ovest a est, dove i depositi sono maggiori.

■ -3,75 ■ -3,75 ■ -3,25 ■ -2,75 ■ -2,25 ■ -1,75 ■ -1,25 ■ -0,75 ■ -0,25 ■ 0,25 ■ 0,75 ■ 1,25

Il sentiero glaciologico del Basodino

Il Ghiacciaio del Basodino è il più esteso, il più studiato e il più facilmente accessibile dei ghiacciai del Ticino e rappresenta una testimonianza preziosa dell'evoluzione di un ghiacciaio e dell'ambiente che lo circonda, al sud delle Alpi. Per meglio farlo conoscere, nel 2011 la Sezione forestale ha realizzato un sentiero glaciologico con partenza e arrivo a Robiei, alla stazione della teleferica, a quota 1.890 m s.l.m. Il sentiero, che si sviluppa su una lunghezza di circa 10 chilometri e un dislivello di circa 800 metri, tocca 8 postazioni numerate che rimandano alle descrizioni dettagliate presenti nella guida "Sentiero glaciologico del Basodino" del 2011. In un video promozionale dell'Organizzazione turistica del Locarnese, questo percorso è stato scelto come uno tra i più belli della regione anche per gli appassionati di corsa in montagna: un sentiero didattico ma anche un'offerta sportiva molto valida in un contesto di particolare bellezza e con paesaggi mozzafiato.



Prima pagina dell'opuscolo che presenta e documenta le varie postazioni del sentiero glaciologico del Basodino.

Panoramica della regione del Basodino con il tracciato del sentiero (in rosso) e la posizione degli stadi glaciali del 1850, 1920 e 1960.

Il ghiacciaio di Bresciana nel 1925 (Foto Guido ferrazzini) e nel 2015 (foto: G. Corti).

Vadrecc di Bresciana (Adula)

Il Vadrecc di Bresciana, il secondo più esteso del Ticino, è misurato dal 1896. Nell'intervallo di misura 1896-2016 la variazione totale di lunghezza (planimetrica) corrisponde a 960 metri; di cui quasi 100 solo nel periodo 2006-2016, pari a un ritiro medio di 8 metri/anno [F. 8]. Nello stesso periodo la quota minima del ghiacciaio è passata da 2.470 m s.l.m. a 2.945 m s.l.m.

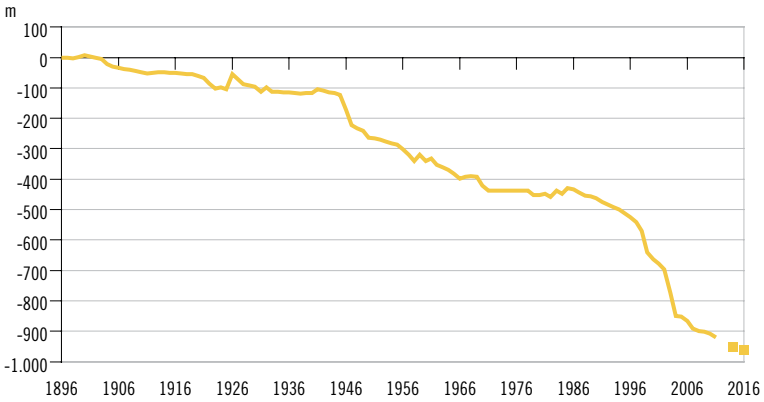
Tra la cima dell'Adula e quella del Grauhorn il ghiacciaio è attualmente molto stretto. È ipotizzabile che nei prossimi anni si divida in due parti.

Curiosità

– Dal CdT del 23.12.1971 ... "È sfumato, dopo parecchi tentativi della Pro Blenio, il progetto di sfruttare il ghiacciaio dell'Adula, approfittando di una teleferica (per la verità di capienza limitata) costruita per eseguire lavori a quota duemila metri."

F. 8

Variazioni cumulate del fronte del ghiacciaio del Bresciana (in m), dal 1896



Fonte: Sezione forestale

Ghiacciaio del Corno nel 1927, con il ghiacciaio del Basodino sullo sfondo (foto: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz / fotografo: Mittelholzer, Walter) e nel settembre 2016 (foto: M. Soldati). Particolarmente impressionante è la differenza nello spessore del ghiaccio.

Gli altri ghiacciai

Ghiacciaio del Corno

Le prime misure del ghiacciaio del Corno risalgono al 1893 e si sono protratte con frequenza biennale fino al 1909. Le osservazioni sono poi riprese nel 1974 e si sono susseguite a intervalli annuali.

Negli ultimi 10 anni, il ritiro cumulato del fronte del ghiacciaio corrisponde a 85 metri, mentre la perdita di spessore annuo si situa attorno ai 100 centimetri.

Ghiacciaio del Cavagnöo (Cavagnoli)

Questo ghiacciaio ha subito un forte arretramento negli ultimi 4-5 anni: nel 2012 era infatti ancora misurato dalla vecchia base, mentre a partire dal 2014 si è dovuto cambiare il punto di misurazione, arretrato di ben 900 metri. La superficie di ghiaccio tra i due punti di misura è quasi completamente scomparsa; quel poco che rimane è ormai da considerarsi ghiaccio "morto", in quanto non più collegato con la zona di accumulo a monte (v. fotografia).

In totale l'arretramento cumulato dal 1893 corrisponde a 1828 metri, che equivalgono a circa 15 metri/anno. Negli ultimi 2 anni si sono registrate delle perdite di spessore pari a 1-2 metri/anno. Attualmente è presente solamente una piccola zona di accumulo nella parte superiore del ghiacciaio.

Ghiacciaio del Cavagnoli. L'immagine, scattata nell'autunno del 2012, mostra chiaramente la superficie di ghiaccio morto presente tra la vecchia base e la nuova base di misura.

Il Ghiacciaio di Croslina Grande nel 1919 (foto: G. Ferrazzini Lugano) e nel 2016. (foto: M. Soldati).

Ghiacciaio Grande di Croslina

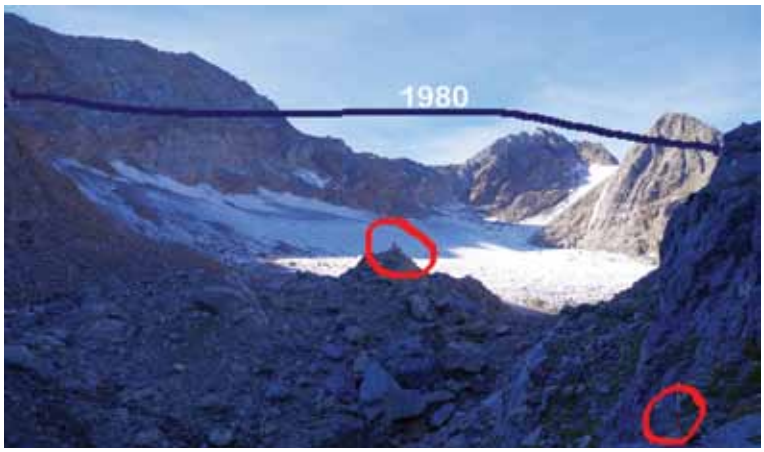
Questo piccolo ghiacciaio è stato misurato per la prima volta nel 1989. Da allora ha subito un ritiro di 80 metri, di cui 18 negli ultimi 10 anni. Attualmente tra i ghiacciai misurati è quello che registra l'arretramento annuale medio inferiore. Alla fine dell'estate questo ghiacciaio si presenta quasi completamente libero da neve; la zona di accumulo è quindi assente.

Ghiacciaio di Valleggia

Questo piccolo ghiacciaio rivolto a nord-est è stato misurato per la prima volta nel 1971. Da allora ha subito un arretramento complessivo di 139 metri, corrispondente a circa 3,5 metri/anno. Particolarmente importante è stata la perdita di spessore negli ultimi anni (2014 e 2015), durante i quali sono stati misurati delle perdite di spessore pari a 3-4 metri/anno!

Ghiacciaio di Val Torta

La misurazione del Ghiacciaio di Val Torta, che alla fine del 1800 scendeva fino all'altezza della vecchia Capanna Cristallina, è iniziata nel 1970. Il ghiacciaio, di piccole dimensioni, sempre più ricoperto da detriti e privo di una zona di accumulazione, è stato dichiarato estinto nel 2012. Le due immagini che seguono mostrano in maniera significativa la rapida scomparsa di questo ghiacciaio.



Ghiacciaio di Valeggia nel 1985 e nel 2012 (foto: G. Corti). Si noti la differenza nello spessore del ghiaccio.

Ghiacciaio di Val Torta nel 1985 (foto: C. Valeggia) e nel 2012 (foto: G. Corti). Il ghiacciaio è ormai estinto.

Conclusione

Anche se la comunità mondiale prendesse immediatamente tutte le misure possibili per ridurre le emissioni di anidride carbonica, il ciclo naturale del carbonio impiegherebbe millenni per riportare il tasso globale di CO_2 ai valori del secolo scorso, quando cioè la temperatura era di circa 1 °C inferiore a quella odierna. Sembra quindi altamente improbabile che il processo di fusione dei ghiacciai alpini possa venir interrotto prima della sparizione della maggior parte di essi. Addirittura già entro la fine di questo secolo si ipotizza che la maggior parte dei ghiacciai alpini saranno già quasi interamente scomparsi e che sopravviveranno solo sporadicamente alle quote più elevate.

foto Ti-Press / Francesca Agosta

Bibliografia

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

Averette E. (2014), The climate change debate: human impact is undeniable. NinerTimer online, Charlotte.

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

Corti G., Kappenberger G.,Bauder A.,Valeggia C., Eisen O., Casartelli G., Strozzi T., Valenti G., Spinedi F., Weiss S., Martini O. (2006), La misurazione dei ghiacciai in Ticino. In: Dati- statistiche e società 2006-2. Ufficio di statistica del cantone Ticino, Bellinzona.

Farinotti, D., Hussm M., Bauder, A. and Funk, M. (2009). An estimate of the glacier ice volume in the swiss Alps. Global and Planetary Change, 68 (3), 225-231.

Hansen J. et al. (2013), Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. The Royal Society Publishing.

Huss, M., and Farinotti, D. (2012), Distributed ice thickness and volume of all glaciers around the globe, J. Geophys. Res., 117, F04010, doi:10.1029/2012JF002523.

ICCP (2014), Climate Change, ICCP Fifth Assessment Report.

Jäckli H. (1966), La Svizzera durante l'ultima glaciazione. Atlante della Svizzera, edito dell'Ufficio federale di topografia, Berna.

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

Ringot E. e Kanagaratnam P. (2006), Changes in the Velocity Structure on the Greenland Ice Sheet. Science, vol. 311.

Ringot E. e Kanagaratnam P. (2006), Changes in the Velocity Structure on the Greenland Ice Sheet. Science, vol. 311.

Smiraglia C. (1996), Guida ai ghiacciai ed alla glaciologia. Zanichelli, Bologna.

Spinedi F. (1981),Testimonianze glaciali e fenomeni carsici nella regione del Basodino. Lavoro di diploma, Politecnico federale di Zurigo.

Stocker T. (2005), 800.000 Jahre Klimageschichte der Antarktis: eine Herausforderung für die Klimamodellierung. VAW Mitteilungen 190.

Zryd A. (2001), Les Glaciers. Editions Pillet.

Internet

www.ti.ch/ghiacciai

www.nimbus.it

http://glaciology.ethz.ch/messnetz/