

# STRATEGIE DI PROTEZIONE "ATTIVA" DEI GHIACCIAI

**Prime applicazioni italiane e risultati**

**Guglielmina Diolaiuti  
e Claudio Smiraglia**  
Università degli Studi di Milano  
Comitato Glaciologico Italiano

**Eraldo Meraldi**  
Guida Alpina,  
Collegio Regione Lombardia

Sul Ghiacciaio del Dosdè Orientale in Alta Valtellina (Italia) nel Maggio 2008 è stato sperimentato un sistema di protezione attiva basato sulla copertura con geotessile di una parcella di 150 m<sup>2</sup> di superficie glaciale a circa 2800 m di quota. L'area sottoposta a protezione con geotessile era caratterizzata da un manto nevoso spesso 2,50 m (pari a 1,29 m water equivalent o w.e.). La sperimentazione è avvenuta nel periodo compreso tra il 15-05-2008 (giorno di stendimento del geotessile) ed il 04-10-2008 (giorno di rimozione dello stesso). La sperimentazione, che aveva esclusivamente lo scopo di testare l'efficacia di questo metodo, ha avuto risultati nettamente positivi, confermando quanto già verificato in Austria su ghiacciai utilizzati per lo sci estivo. Alla stessa quota del geotessile, nella zona non coperta, si è infatti avuto la fusione di 2,34 m w.e., (1,29 m w.e. di neve e di 1,05 m w.e. di ghiaccio); nella zona protetta, invece, l'ablazione è stata di 0,73 m w.e. derivanti esclusivamente dalla fusione della neve. Il guadagno complessivo è stato quindi di 1,61 m w.e. Il geotessile ha quindi evitato completamente l'ablazione del ghiaccio localizzato al di sotto della neve invernale e primaverile ed ha anche ridotto l'ablazione di quest'ultima preservandone oltre il 43%.



## INTRODUZIONE: IL PRIMO TEST SCIENTIFICO ITALIANO

La riduzione dei ghiacciai alpini è un fenomeno che si sta accentuando negli ultimi anni a seguito del riscaldamento climatico in atto; per mitigarne l'entità sono possibili pochi interventi diretti, tra questi il più efficace è sicuramente l'utilizzo di una copertura protettiva superficiale. Si tratta di applicare strategie di mitigazione dell'ablazione note come "protezione glaciale attiva".

A livello internazionale sono stati svolti, soprattutto in Europa ed in America, numerosi studi in questo campo per definire le diverse strategie di mitigazione

dell'ablazione. Tra le soluzioni maggiormente applicate vi sono le coperture artificiali con materiali naturali (paglia o *wood pellets*, frammenti lignei) (Grove et alii, 1963; Herrmann & Stehle 1966; Skogsberg & Lundberg, 2005) o con sintetici (*geotessili*, termine con il quale si indicano tessuti di sintesi per applicazioni edili, ingegneristiche o ambientali) per ridurre intensità e velocità della fusione nivo-glaciale su ghiacciai adibiti ad utilizzo turistico quale lo sci estivo. Su questi ghiacciai la persistenza della coltre nevosa è un fattore critico per permettere la pratica dello sci e per garantire la stabilità delle infrastrutture sopraglaciali. Consistenti esigenze economiche hanno quindi portato le ricerche a concentrarsi

su apparati glaciali adibiti ad usi turistico-ricreativi per limitarne le perdite stagionali e ridurre l'intensità e quindi gli effetti dell'ablazione nivo-glaciale.

Nondimeno la stragrande maggioranza dei ghiacciai alpini (oltre l'80%) sta manifestando chiari impatti del cambiamento climatico in atto (Haeberli, 1990; Zemp et alii, 2006) e quindi anche per questi ghiacciai interventi volti a limitare intensità ed effetti della deglaciazione sarebbero di indubbia utilità.

Studi pilota condotti in Austria (Olefs & Obleitner, 2007; Olefs & Fisher, 2008; Fischer, 2008) sempre su ghiacciai utilizzati per lo sci estivo suggeriscono l'applicazione dei metodi di mitigazione dell'ablazione (in particolare le strategie di copertura artificiale) su quei ghiacciai affetti da intensa riduzione. Le azioni di mitigazione dell'ablazione andrebbero qui concentrate nelle aree dove questi effetti stanno evidenziando drammatiche conseguenze (e.g.: apertura di finestre rocciose che successivamente portano alla separazione o frammentazione del ghiacciaio, allargamento di crepacci e formazione di depressioni, etc.). Fino al 2008, in ambito alpino italiano la *protezione attiva* dei ghiacciai non era mai stata testata sebbene gli oltre 800 ghiacciai italiani nell'ultimo secolo abbiamo manifestato ingenti perdite sia areali che volumetriche (Biancotti & Motta, 2000; Citterio et alii, 2007). Per quanto riguarda ad esempio i ghiacciai lombardi, si è passati dai 117,4 km<sup>2</sup> del 1991 ai 92,4 km<sup>2</sup> del 2003 con una riduzione del 21%. Su qualche apparato utilizzato per la pratica dello sci (estivo e/o invernale) (ad esempio quello del Presena, in Trentino) sono in realtà state realizzate alcune strategie protettive, ma l'attenzione si è focalizzata sulle aree glaciali dove erano collocati piloni ed infrastrutture di risalita e non è mai stato condotto alcuno studio scientifico quantitativo per valutare gli effetti delle strategie applicate. Per verificare l'applicabilità e l'efficacia delle strategie di mitigazione dell'ablazione si è scelto di condurre una sperimentazione di protezione attiva su un apparato campione

Fig. 1  
La Val Viola Bormina  
in un'immagine tratta  
da Google Earth:  
nel riquadro rosso  
il Ghiacciaio Dosdè  
Orientale, dove  
nell'estate 2008 si sono  
svolti gli esperimenti  
di protezione glaciale  
attiva.

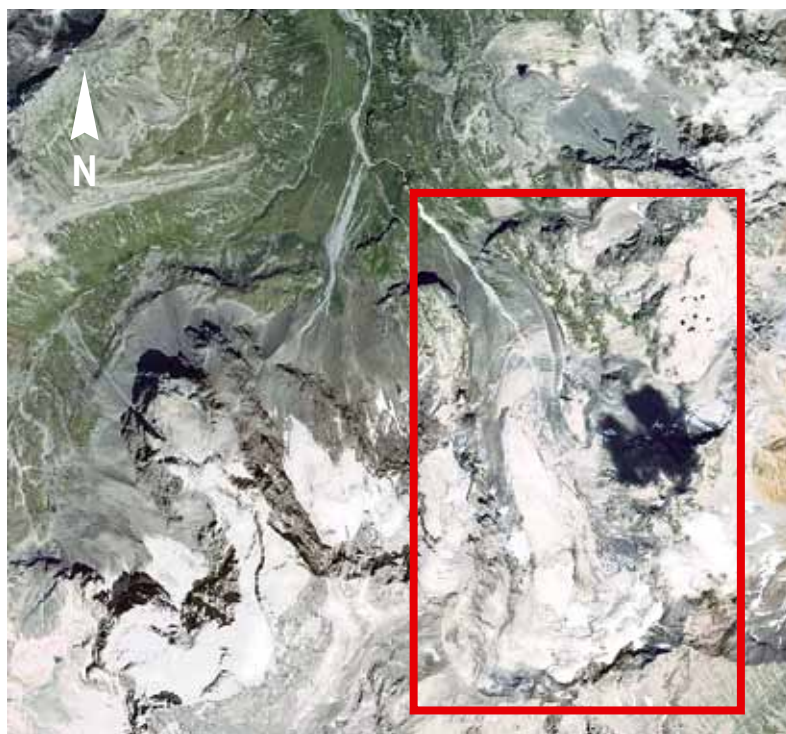


Fig. 2  
Il Ghiacciaio Dosdè  
Orientale,  
in Val Bormina.



rappresentativo del glacialismo italiano, del quale fossero note le variazioni storiche ed annuali di massa e per il quale si disponesse di dati di spessore e di mappe annuali di ablazione utili a suggerire le aree dove intervenire (ovvero le aree dove l'esiguità dello spessore glaciale o l'intensità delle perdite stagionali suggerissero una prossima rapida evoluzione e la possibilità di emersione di aree rocciose, apertura di depressioni, etc). In accordo a questi criteri si è scelto, nell'ambito di un progetto di ricerca dell'Università degli Studi di Milano sostenuto da Sanpellegrino Spa - Levissima, il Ghiacciaio di Dosedè Orientale, un apparato montano dotato di una modesta lingua che fluisce nella Valle di Dosedè (Figg. 1-2), localizzata alla testata della Val Viola Bormina (Valdidentro, Alta Valtellina, Lombardia). In quest'area si concentrano gli apparati glaciali del gruppo Piazzi (ad esclusione del ghiacciaio Cima de Piazzi) che rappresentano un'importante risorsa idrica dell'area. I ghiacciai della Val Viola Bormina, tutti di tipo montano (sebbene il Dosedè Orientale, il più grande, sia dotato di una discreta lingua) sono attualmente in fase di intenso regresso a seguito del riscaldamento climatico in atto. Nel Gruppo Piazzi-Dosedè sono presenti poco meno di trenta apparati glaciali che si estendono complessivamente per poco meno di 4 km<sup>2</sup> (dato aggiornato al 2003). Per analizzarne le variazioni negli ultimi 20 anni sono state analizzate le fotografie aeree del 1983 e del 2003 (dalle quali si sono desunte le aree degli apparati glaciali del gruppo) e il Catasto regionale del Servizio Glaciologico Lombardo (SGL, 1992). I ghiacciai analizzati sia tramite i fotogrammi aerei che con i dati catastali sono 21. Confrontando i dati di questi 21 apparati emerge che nel 1983 i ghiacciai del Gruppo Piazzi-Dosedè ricoprivano un'area di 6,33 km<sup>2</sup>, nel 1992 quest'area si era ridotta a 5,49 km<sup>2</sup> e nel 2003 l'estensione superficiale risultava pari a 3,81 km<sup>2</sup>. In sintesi i ghiacciai del Gruppo si sono ridotti complessivamente di 1,67 km<sup>2</sup> in poco più di un ventennio pari ad una riduzione media di -76.000 m<sup>2</sup> /anno.

## **IL GHIACCIAIO DOSDÈ ORIENTALE: UN LABORATORIO SCIENTIFICO A CIELO APERTO**

Il Ghiacciaio Dosedè Orientale si estende per circa un chilometro quadrato di superficie, è lungo poco più di un chilometro e largo in media 300 m. Le variazioni geometriche di questo apparato sono note da lungo tempo. Le variazioni di lunghezza vengono misurate con continuità dagli anni '50 del XX secolo ad opera del Comitato Glaciologico Italiano e più recentemente anche dal Servizio Glaciologico Lombardo ed hanno permesso di quantificare l'arretramento dell'apparato in poco più di 50 anni pari a c. 400 m. Le variazioni areali e volumetriche sono state calcolate tramite l'elaborazione e l'analisi di foto aeree e di catasti glaciali regionali risalenti al 1954, 1983, 1992 e 2003, permettendo così di quantificare le variazioni cinquantennali dell'apparato e di produrre cartografia tematica relativa alla distribuzione areale di queste variazioni. Dal 1995, inoltre, questo ghiacciaio è monitorato a cura del Comitato Glaciologico Italiano per la quantificazione del bilancio di massa glaciale.

I dati raccolti hanno evidenziato che in 12 anni (1995-2007) il ghiacciaio ha perso uno spessore medio di acqua di c. 14 m, pari ad un rilascio idrico medio annuo di oltre un milione di m<sup>3</sup> di acqua. Nel 2007 è stata inoltre condotta una campagna di prospezioni geofisiche (*Ground Penetrating Radar* o GPR e sismiche) che ha permesso di conoscere con dettaglio gli spessori del ghiaccio (risultati variabili da pochi metri alla fronte ad oltre 50 m nel settore centrale) e di ricostruire la mappa del fondo glaciale.

Questi dati hanno rappresentato elementi di estrema utilità per identificare un'area sensibile del ghiacciaio (ovvero un'area caratterizzata da ridotti spessori e/o intensa ablazione stagionale) dove intervenire applicando strategie di mitigazione dell'ablazione. L'area scelta per attuare la sperimentazione di una protezione attiva è una porzione di superficie glaciale

ubicata sul settore centrale del ghiacciaio, un'area lievemente pianeggiante a circa 2800 m. Qui le mappe di ablazione allestite con i dati di bilancio di massa degli ultimi 12 anni avevano rilevato perdite particolarmente intense e l'apertura e l'allargamento di estesi crepacci. In quest'area, che costituisce circa un quarto della superficie totale del ghiacciaio, è stata anche installata nell'estate 2007, nell'ambito del progetto sostenuto da Sanpellegrino-Levissima, una stazione meteorologica automatica (*Automatic Weather Station* o AWS) per rilevare e registrare ogni 10' la temperatura dell'aria ed i flussi energetici in entrata ed in uscita alla superficie del ghiacciaio.

## **LA PROTEZIONE GLACIALE ATTIVA SU UN GHIACCIAIO NON UTILIZZATO A SCOPO SCIISTICO: LE OPERAZIONI**

Le operazioni di protezione glaciale attiva sul Ghiacciaio Dosedè orientale sono iniziate a Maggio 2008 e si sono concretizzate nello stendimento di circa 150 m<sup>2</sup> di geotessile (termine con il quale si indicano tessuti di sintesi per applicazioni edili, ingegneristiche o ambientali) in poliestere, polipropilene, bianco puro. Il materiale (prodotto dalla ditta Landolt e denominato ICE PROTECTOR 500 ©) è caratterizzato da un peso (asciutto) di 500gr al metro quadro, da uno spessore di 3,8 mm e da una forza massima alla trazione sia longitudinale che trasversale superiore ai 25 kN/m; è un *geotessuto* composito a 2 strati, agugliato meccanicamente. E' caratterizzato dal fatto di agire come stabilizzante termico ed ai raggi UV, nonché di assorbire i raggi UV non permettendo a questi ultimi di raggiungere la neve sottostante. La sua azione si esplica riducendo il processo di fusione della neve tramite la formazione di barriere termiche tra l'atmosfera e gli strati sottostanti. Il materiale in oggetto è stato scelto anche per la sua caratteristica di essere esente da sostanze nocive e smaltibile termicamente.

Fig. 3  
Valori di spessore equivalenti in acqua (asse x) rilevati presso ciascuno strato del profilo nivologico (asse y, con 0 è indicata la base della trincea ove è stato rinvenuto il ghiaccio glaciale).

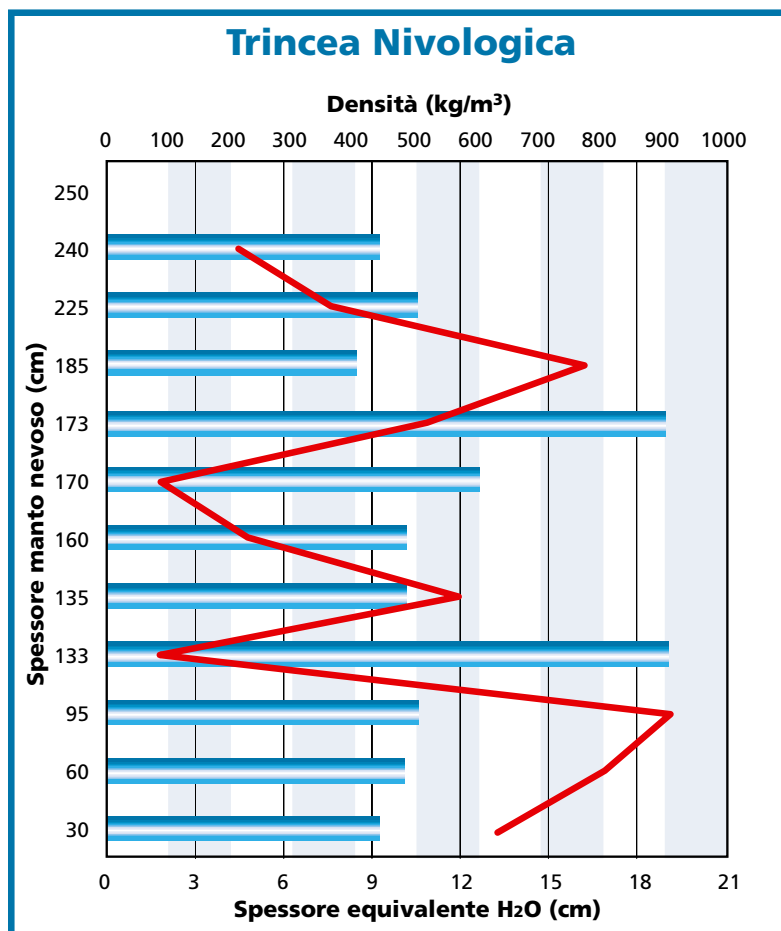


Fig. 4  
Lo stendimento del geotessile sul Ghiacciaio di Dosdè Orientale.



La scelta di applicare sul Dosdè Orientale questa tipologia di intervento di protezione attiva è sostenuta dai brillanti risultati conseguiti in Austria con questa tipologia di approccio (c. 60% della neve preservata dalla fusione) e dalla semplicità di applicazione di questa strategia, che richiede solo lo stendimento a fine stagione di accumulo e non richiede utilizzo di mezzi meccanici (come gatti delle nevi per compattare la neve per ritardarne la fusione) o iniettori d'acqua (sempre per

aumentare la densità della neve e quindi rallentarne la fusione), il cui trasporto su un ghiacciaio non utilizzato a scopi sciistici è impensabile a livello di costi, di logistica e di impatto ambientale. Visto l'ingombro del materiale (fornito dal produttore in rotoli alti 4,85 m che raccolgono 55 m di lunghezza di geotessile) ed il peso complessivo dei 150 m<sup>2</sup> si è optato per il trasporto dello stesso sul ghiacciaio tramite elicottero. Il 14 Maggio 2008 dopo aver raggiunto con l'elicottero

la superficie glaciale sono iniziati i lavori di monitoraggio, verificando gli spessori nivoli sull'intera superficie del ghiacciaio tramite sondaggio diretto con sonde nivologiche manuali. Lo spessore nivale è risultato in media pari a 2,20 m; nell'area identificata per le operazioni di stendimento esso è risultato 2,50 m.

Nell'area adiacente alla porzione glaciale scelta per lo stendimento della copertura geotessile, nel settore centrale del ghiacciaio (dove l'apporto derivante da contributi valanghivi è trascurabile) ad una quota di circa 2800 m, si è poi eseguita una trincea nivologica per determinare tramite l'analisi di un profilo lo spessore in equivalenti in acqua. La densità del manto nevoso è risultata variabile tra 600 e 400 kg/m<sup>3</sup>. Lo spessore totale equivalente in acqua ottenuto sommando i valori di ciascuno strato è pari a 1,29 m (Fig. 3).

Concluse le operazioni di analisi nivologica si è poi proceduto allo stendimento del geotessile (Fig. 4). Il geotessile, una volta steso, aderisce naturalmente alla superficie innevata data la sua permeabilità che fa sì che esso assorba l'acqua presente a livello pellicolare sui cristalli di neve. Per mantenerne stabile la posizione sulla superficie del ghiacciaio (che è spazzata da venti *catabatici*, che spirano dal bacino superiore verso la fronte del ghiacciaio raggiungendo e superando spesso i 140 km/h di velocità) si sono dislocati regolarmente lungo il perimetro del telo stesso 36 massi rocciosi. I massi (di dimensioni pluridecimetriche) sono stati ricoperti con porzioni di telo geotessile per evitare che la loro presenza sulla superficie del telo potesse modificare l'albedo complessiva dell'intera superficie ricoperta; ciascuno masso una volta ricoperto con geotessile è stato quindi ancorato al telo tramite una fettuccia statica. Il telo è stato quindi perforato ed occhiellato ad intervalli regolari per permettere l'ancoraggio dei massi tramite le porzioni di fettuccia statica.

Al termine delle operazioni di ancoraggio l'intera superficie sottoposta alla sperimentazione della protezione glaciale attiva appariva perfettamente bianca ed omogenea minimizzando così difformità

di albedo e di assorbimento-riflessione energetica e evitando impatti visivi e paesaggistici alla superficie del ghiacciaio. Va infatti ricordato che l'area esaminata è inserita in un delicato contesto ambientale (si tratta di un SIC o Sito di Importanza Comunitaria) e pertanto si è deciso di agire su una superficie ridotta limitando al massimo ogni possibile impatto ambientale e paesaggistico (Fig. 5).

In sintesi la superficie sottoposta a protezione glaciale attiva si estendeva per 150 m<sup>2</sup> di area, lo spessore equivalente in acqua della neve ricoperta dal telo era pari a 1,29 m, questo porta a stimare il volume equivalente in acqua della neve sottoposta a protezione pari a 193,8 m<sup>3</sup>.

## LA PROTEZIONE GLACIALE ATTIVA SU UN GHIACCIAIO NON UTILIZZATO A SCOPO SCIISTICO: I RISULTATI

L'area glaciale ove è stata stesa la copertura in geotessile è stata visitata a cadenza regolare durante l'intera stagione estiva 2008 per rilevare sia gli spessori e le densità del manto nevoso sottoposto a protezione attiva sia le variazioni di spessore del manto nevoso prima e del ghiaccio poi, delle circostanti aree glaciali lasciate in condizioni naturali.

Il 14 Giugno 2008, ad un mese esatto dallo stendimento, si è osservato un apparente innalzamento del telo di 30 cm rispetto alla superficie glaciale circostante (ovviamente questo innalzamento è conseguente all'ablazione differenziale, ovvero alla più intensa fusione del manto nevoso non sottoposto a protezione glaciale attiva). A fine Giugno 2008 l'efficacia della protezione si notava più chiaramente e lo spessore di neve protetto dalla copertura geotessile raggiungeva (il 28-06-2008) i 60 cm a monte ed i 40 cm a valle (Fig. 6). Il 23 Luglio si è svolto un nuovo sopralluogo non solo per le operazioni di controllo e manutenzione del geotessile ma anche per procedere alle prime misure della rete di segnali glaciologici (*paline ablatometriche*). La

manutenzione del geotessile si è resa indispensabile da fine Luglio per tutta la durata del periodo estivo ed è consistita nell'allungamento delle fettucce statiche utilizzate per fissare i massi di ancoraggio. L'allungamento si rendeva necessario man mano che aumentava il dislivello tra

la superficie del telo e la superficie glaciale circostante a seguito dei processi di fusione che procedevano molto lentamente sotto la copertura di geotessile e assai più rapidamente nelle circostanti aree scoperte. Il vento catabatico, inoltre, che spira intensamente durante il periodo



Fig. 5  
La superficie della porzione di ghiacciaio ricoperta con geotessile al termine delle operazioni di ancoraggio del telo.



Fig. 6  
Vista frontale (foto M. Pola) del geotessile che ne evidenzia l'apparente innalzamento (valore medio 50 cm il 28-06-2008) conseguente a tassi di fusione nivale minori sotto il telo rispetto alle aree circostanti esposte.



Fig. 7  
Immagini della copertura nevosa sottoposta a protezione con il geotessile durante le operazioni di manutenzione eseguite il 23 Luglio 2008 (valore medio spessore neve protetta 120 cm). I ricercatori sollevano il telo per verificare le condizioni della neve e provvedono a riposizionarlo allungando le fettucce statiche (foto D. Maragno).

**Fig. 8**  
 La superficie ricoperta con geotessile in un'immagine del 19 Agosto 2008. In primo piano la stazione meteorologica automatica AWS Dosdè-Levissima (foto G. Diolaiuti).



**Fig. 9**  
 I ricercatori vicino al geotessile il 19 Agosto 2008. Si può osservare la superficie del ghiacciaio non sottoposta a protezione ormai priva di coltre nevosa; questa si è in parte conservata solo al di sotto del geotessile che ha impedito la penetrazione dei raggi U, altamente energetici ed ha agito come efficace barriera termica (foto G. Diolaiuti).



estivo sulla superficie del ghiacciaio, tendeva a modificare lievemente la posizione del telo e rendeva necessarie le periodiche visite per il ripristino delle condizioni ottimali di protezione. Il 23 Luglio 2008 l'altezza del manto nevoso protetto dal geotessuto è risultata pari a c. 140 cm a monte e c. 80 cm a valle (Fig. 7). Nel sopralluogo del 19 agosto 2008 si è osservato che la superficie glaciale si trovava quasi totalmente libera dalla copertura nevosa sino ad una quota di 2950 m. In questo caso il geotessile manifestava ancor più chiaramente la sua efficacia nel proteggere neve e ghiaccio sottostanti: la porzione sottoposta a copertura emergeva ormai circa 190 cm a monte e circa 120 cm a valle (Figg. 8-9). Il materiale localizzato al di sotto del geotessile era rappresentato sia da neve compatta e densa

che da ghiaccio di ghiacciaio. L'efficace azione del geotessile nel ridurre le perdite per fusione di neve e ghiaccio sottostanti è da attribuire non solo alle sue caratteristiche di composizione e tessitura che lo rendono un'ottima barriera fisica alla penetrazione della radiazione UV (altamente energetica) e dei flussi termici atmosferici ma anche alla sua colorazione (bianco puro) che ne garantisce una elevata e stabile *albedo* o riflettività. L'*albedo* del geotessile è rimasta costante e pari a quella della neve a inizio giugno (circa 0.62); diversamente sul resto della superficie glaciale l'*albedo* è diminuita, raggiungendo valori a fine stagione di circa 0,31 (corrispondenti ad un assorbimento di energia solare del 69%) e questo ha comportato una maggior fusione nivo-glaciale. I rilievi ablatometrici svolti

dal 23 Luglio a fine estate 2008 hanno evidenziato un tasso di ablazione variabile tra 1,7 cm al giorno (a 2850 m di quota, poco a monte del geotessile) ed 4 cm al giorno (a 2650 m di quota, in prossimità della fronte del ghiacciaio).

Il 4 ottobre 2008 si è svolto l'ultimo rilievo che ha permesso di quantificare spessore e densità di neve e ghiaccio al di sotto del geotessile. Lo spessore complessivo è risultato pari ad un valor medio di 190 cm; di questi i 115 cm di base erano costituiti da ghiaccio di ghiacciaio (densità c. 917 kg/m<sup>3</sup>). Gli altri 75 cm di materiale preservato alla fusione erano costituiti da neve densa e compatta (densità di circa 750 kg/m<sup>3</sup>). In sintesi, a fine stagione invernale sulla superficie glaciale sottoposta a protezione con geotessile lo spessore iniziale di equivalente in acqua (w.e.) della neve era 1,29 m, mentre a fine stagione estiva era 0,56 m, pari al 43,4% dello spessore iniziale. Inoltre, mentre nella zona non protetta si è avuta l'ablazione di uno spessore di ghiaccio di 1,15 m (pari a 1,05 m w.e.), nella zona protetta l'ablazione del ghiaccio stata nulla. Nel complesso a fronte di un'ablazione totale nella zona non protetta di 2,34 m w.e., (1,29 m w.e. di neve e di 1,05 m w.e. di ghiaccio), nella zona protetta l'ablazione è stata di 0,73 m w.e. derivanti totalmente dalla neve. Il guadagno complessivo è stato quindi di 1,61 m w.e., pari al 68,8% dello spessore perso nell'area non sottoposta a protezione glaciale attiva. Il geotessile ha quindi evitato completamente l'ablazione del ghiaccio localizzato al di sotto della neve invernale e primaverile ed ha anche ridotto l'ablazione di quest'ultima preservandone oltre il 43%. Per quanto concerne il volume di acqua complessivamente salvato dall'ablazione, questo è inferiore al valore atteso considerando uno spessore di 1,61 m di acqua preservata per unità di superficie (che porterebbe ad un valore di c. 241 m<sup>3</sup>); ciò a causa della progressiva riduzione della superficie protetta dal geotessile nel corso della stagione estiva. Il geotessile, infatti, al progredire del suo apparente sollevamento rispetto alle aree circostanti, ha visto una riduzione

della superficie glaciale effettivamente protetta conseguente alla parziale discesa dello stesso a copertura dei lati del parallelepipedo che si è andato via via formando. Il volume totale di materiale preservato non è pertanto pari al volume di un parallelepipedo con faccia superiore estesa per 150 m<sup>2</sup>, ma si è ridotto al volume ottenuto da due parallelepipedi: uno inferiore, rappresentato dallo zoccolo basale di ghiaccio di ghiacciaio, con faccia maggiore di circa 90 m<sup>2</sup> di area e con volume pari a 94,5 m<sup>3</sup> di acqua, e uno superiore, costituito dalla neve preservata alla fusione, con faccia maggiore di 37 m<sup>2</sup> di area e con volume pari a 20,7 m<sup>3</sup> di acqua (Fig. 10). La somma dei due volumi di acqua equivalente salvati fornisce il volume di acqua preservata in totale dal geotessile come ghiaccio non fuso e neve accumulata, pari a 115,2 m<sup>3</sup> equivalenti a 115.200 litri d'acqua e corrispondenti al 47,8% del volume iniziale.

## CONCLUSIONI

In conclusione si può affermare che sulla superficie glaciale sottoposta a protezione, il guadagno netto rispetto allo spessore nivale iniziale (1,29 m w.e.) è stato pari a 0,56 m w.e. e il guadagno complessivo considerando lo spessore di ghiaccio salvato (1,05 m w.e.) è pari a 1,61 m di acqua (68,8% dello spessore altrimenti perso dal ghiacciaio nelle zone non sottoposte a protezione a parità di quota).

I minori volumi ottenuti estendendo il bilancio per m<sup>2</sup> all'intera superficie protetta sono da attribuire alla riduzione dell'area sottoposta a protezione per progressiva riduzione laterale a seguito dei processi di ablazione differenziale.

I risultati sono dunque più che soddisfacenti. L'acqua preservata all'ablazione è certamente una quantità molto ridotta, se confrontata con il volume rilasciato in media annualmente dal Ghiacciaio Dosdè Orientale (poco meno di 1 milione di m<sup>3</sup> di acqua); lo scopo dell'esperimento non era però di modificare il bilancio di massa del ghiacciaio in esame, ma di valutare quantitativamente su una parcella sperimentale la reale efficacia di questa

strategia di mitigazione dell'ablazione. A questo proposito l'efficacia del telo si è dimostrata altissima, visto che tutto il ghiaccio posto sotto la neve protetta dal telo è stato conservato e che una buona parte (44% in spessore per unità di superficie) della neve invernale ha superato indenne la stagione estiva. È chiaro che questo tipo di strategia di protezione attiva non è estendibile alla superficie totale dei ghiacciai italiani e che, se applicata su aree così ridotte, non influisce, come scrive anche Fischer (2008), sul bilancio di massa o sul sistema idrologico dell'apparato glaciale. Questo approccio potrebbe tuttavia venire applicato laddove lo spessore di ghiaccio si stia riducendo rapidamente oppure quando emergano dalla superficie glaciale finestre rocciose o *nunatak*, fenomeni che portano rapidamente alla disgregazione di interi apparati. In questi casi arealmente limitati una copertura come il geotessile potrebbe non solo ridurre efficacemente l'ablazione, ma anche favorire, nel caso di abbondanti precipitazioni nevose, l'accumulo di nevato portando ad un guadagno netto positivo alla superficie del ghiacciaio (rappresentato dalla neve invernale che "sopravvive" alla stagione estiva) e in ultima analisi rallentare l'estinzione del ghiacciaio.

## Ringraziamenti

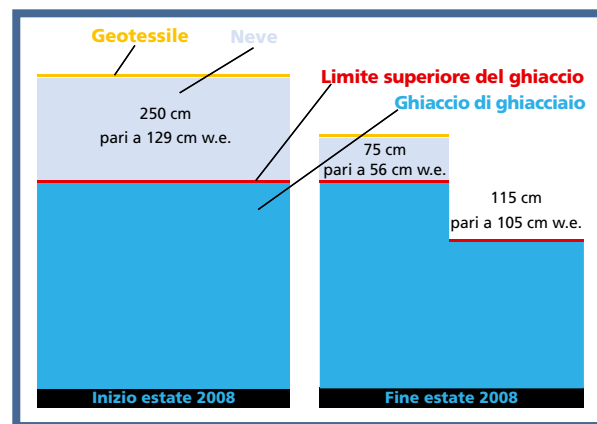
Il Progetto denominato "Acqua e Ghiacciai: Conoscenza e Conservazione" è condotto da ricercatori dell'Università degli Studi di Milano, coordinati dal prof. Claudio Smiraglia e dalla dr. Guglielmina Diolaiuti ed è sostenuto da Levissima, Gruppo Sanpellegrino, anche con borse di studio, nel quadro delle sue strategie di sostenibilità e salvaguardia della risorsa "acqua".

Gli autori ringraziano la Provincia di Sondrio per la fattiva collaborazione.

I Partner scientifici del progetto sono: Comitato EV-K2-CNR Bergamo, CAI-Club Alpino Italiano (sez. Bormio), Comune di Valdidentro (SO). La stazione del Dosdè, come le altre del network di UNIMI, è stata prodotta dalla ditta Lsi-LASTEM di Settala (MI).

I collaboratori tecnici e scientifici del progetto sono: Gian Pietro Verza, Roberto Chillemi, Adriano Greco, Angelo Lunghi, Emanuela Bianchi, Davide Bavera, Gabriele Ruggiero, Matteo Fiorelli, Carlo Guarneri, Davide Maragno.

Fig. 10  
Schema semplificato delle variazioni di neve e ghiaccio in condizioni naturali (senza copertura) e sotto l'azione del geotessile sul Ghiacciaio Dosdè Orientale durante la stagione estiva 2008.



## Bibliografia

- Biancotti A. & Motta M. (2000) - L'evoluzione recente ed attuale dei ghiacciai italiani. Bollettino Geofisico, 3-4, 27-36.
- Citterio M., Diolaiuti G., Smiraglia C., D'Agata C., Carnielli T., Stella G. & Siletto G. B. (2007) - The fluctuations of Italian glaciers during the last century: a contribution to knowledge about Alpine glacier changes. Geografiska Annaler, 89, A3, 164-182.
- Fischer A. (2008) - Ritiro dei ghiacciai ed effetti degli interventi di copertura. Neve e Valanghe, 64, 44-49.
- Grove C.S., Grove S.T. & Aidun A.R. (1963) - The theory and use of aqueous foams for protection of ice surfaces. In: W.D. Kingery (editor), Ice and snow, properties, processes, and applications. M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 666-684.
- Haeberli W. (1990) - Glacier and permafrost signals of 20th century warming. Annals of Glaciology, 14, 99-101.
- Herrmann M.R. & Stehle N.S. (1966) - Protective Coverings for ice and snow. In: H. Oura (editor), Physics of snow and ice, Proceedings of the international conference on low temperature science, vol.1, part 2, Institute of low temperature science, Hokkaido University, Japan, 797-806.
- IUGG-UNEP-UNESCO (2005) - Fluctuations of Glaciers 1995-2000, Paris, IUGG-UNEP-UNESCO, 288 pp.
- Olefs M. & Obleitner F. (2007) - Numerical simulations on artificial reduction of snow and ice ablation. Water Resources Research, 43, W06405, doi:10.1029/2006WR005065.
- Olefs M. & Fischer A. (2008) - Comparative study of technical measures to reduce snow and ice ablation in Alpine glacier ski resorts. Cold Regions Science and Technology, 52, 371-384.
- Skogsberg K. & Lundberg A. (2005) - Wood chips as thermal insulation of snow. Cold Regions Science and Technology, 43, 207-218.
- Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M. & Paul F. (2006) - Alpine glaciers to disappear within decades? Geophysical Research Letters, 33, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.