

SPERIMENTAZIONE DI NUOVI GEOTESSILI PER LA RIDUZIONE DELLA FUSIONE NIVOGLACIALE risultati dal ghiacciaio del Presena nell'estate 2012

**Antonella Senese¹,
Roberto Azzoni¹,
Boris Mosconi¹,
Davide Maragno¹,
Claudio Smiraglia^{1,2},
Guglielmina Diolaiuti^{1,2}**

¹ Università degli Studi di Milano
² Comitato Glaciologico Italiano

Alberto Trenti
Provincia Autonoma di Trento (PAT)

A partire dall'estate 2008 sul Ghiacciaio Presena (Gruppo dell'Adamello, Trentino), dove si svolgono attività sciistiche in inverno, primavera ed inizio estate, si è sviluppato un progetto di ricerca per la riduzione della fusione di neve e ghiaccio. Durante le estati 2008, 2009 e 2010 sulla superficie del ghiacciaio sono stati collocati da Giugno a Settembre alcuni teli artificiali che hanno effettivamente ridotto la fusione. Nell'estate 2012 è stata realizzata una nuova sperimentazione per verificare l'efficacia di nuovi materiali. Si sono utilizzati cinque diversi tipi di teli artificiali (COVERTESS ICE), caratterizzati da differente composizione chimica (ad esempio polipropilene, poliestere e acido polilattico), diversa massa areale (da 340 a 500 g/m²) e diverso spessore (da 3.00 a 4.40 mm a 2kPa). Il telo polipropilene 500 (con 3.70 mm di spessore) ha mostrato la maggiore efficacia, riducendo la fusione della neve del 73%), evidenziando anche i valori più elevati di albedo e le temperature più basse, probabilmente a causa della maggiore massa areale che rende più stabile la riflettività della superficie. E' stata anche valutata l'efficacia dei teli più vecchi, cioè utilizzati due volte in due diverse estati (2011 e 2012). Questi hanno evidenziato albedo inferiore e più elevati tassi di fusione, quindi dovrebbero essere usati solo alle quote più elevate dove la fusione a livello naturale è solitamente meno intensa.



INTRODUZIONE

Il Ghiacciaio del Presena Occidentale (46°13'30"N, 10°34'50"E) è molto noto in quanto su di esso si è praticato per molti anni lo sci estivo, grazie agli impianti di risalita che partono dal Passo del Tonale e raggiungono dapprima Capanna Presena a quota 2730 m e poi la sommità del ghiacciaio a quota 3000 m. L'utilizzo sciistico di quest'area inizia negli anni '60 del secolo scorso, dopo lo sviluppo della zona del Passo Tonale a partire dagli anni '30. Situato nelle Alpi Retiche nel gruppo Adamello-Presanella alla testa della Val Presena, il ghiacciaio è compreso nel bacino idrografico Vermigliana-Noce-Adige. Negli ultimi dieci anni il controllo delle fluttuazioni della fronte (a cura della Società Alpinisti Tridentini, SAT) ha messo in evidenza un costante ritiro e intere porzioni del ghiacciaio sono scomparse; in alcuni settori la fronte si è ritirata di più di 50 m dal 1990 al 1999. Nel Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR-CGI, 1961), si riportava una superficie pari a 82 ha con lunghezza massima di 1200 m e larghezza di 1100 m. La superficie glaciale si è ridotta a circa 68 ha nel 1987 (dati Provincia Autonoma di Trento, PAT) (75 ha secondo il Catasto SAT all'inizio degli anni '90, in Bombarda, 1996), mentre dai rilievi più recenti 2003 (DEM PAT) risulta un'estensione areale di circa 33 ha. Questo valore si riferisce al solo Presena Occidentale, ormai nettamente staccato dalla più ridotta porzione (8 ha) denominata "del Corno di Lago Scuro". Secondo le ultime stime PAT, il Presena Occidentale nel 2011 è caratterizzato da una superficie

di 26 ha, mentre il Corno di Lago Scuro si è ulteriormente ridotto a 6 ha. Nonostante l'imponente sviluppo urbanistico del Tonale negli anni '80 conseguente anche al crescente afflusso turistico, nell'ultimo decennio la Provincia Autonoma di Trento (PAT) e la Società Impianti (SI), tenuto anche conto che il Ghiacciaio del Presena è un SIC (Sito di Importanza Comunitaria), hanno ritenuto utile adottare delle *best practices* di gestione del ghiacciaio che prevedono una sospensione delle attività sciistiche da giugno a settembre, generalmente i più caldi e che comportano un'intensa fusione nivoglaciale. Nonostante questo periodo di riposo stagionale il ghiacciaio ha evidenziato una riduzione molto marcata negli ultimi anni che ha richiesto l'impiego di strategie straordinarie per tentare di preservare questa risorsa paesaggistica e turistica. Dal 2008 è pertanto stato avviato un progetto di ricerca in glaciologia applicata per la mitigazione della fusione nivoglaciale sul Ghiacciaio Presena attraverso l'applicazione di strategie di protezione glaciale attiva. Questo tipo di strategie in precedenza era stato applicato sulle Alpi Austriache, Svizzere e anche in Germania (per gli aspetti teorici e pratici sull'utilizzo e sul funzionamento di queste tecniche si rimanda a Olefs e Obleitner, 2007; Olefs e Fisher, 2008; Fischer, 2008; Olefs e Lehning, 2010). Sulle Alpi Italiane le sperimentazioni erano state limitate a piccole parcelle su apparati glaciali non utilizzati per lo sci (Diolaiuti et al., 2009). Il progetto avviato sul Presena, oltre all'apporto invernale di neve programmata, ha visto la protezione di un'ampia superficie del ghiacciaio con coperture geotessili e la valutazione della loro efficacia anche attraverso la quantificazione del bilancio energetico superficiale sia in condizioni naturali che con copertura artificiale (Diolaiuti et al., 2011). I risultati ottenuti hanno suggerito a PAT e a Società Impianti di proseguire con il progetto che quindi è attivo ogni estate dal 2008 ad oggi.

Nell'estate 2012 il progetto ha visto un'ulteriore implementazione ed è stato

focalizzato non solo a ridurre la fusione sul ghiacciaio, ma anche a testare l'efficacia di geotessili con diverse caratteristiche (i.e. composizione, massa areica, spessore). Per lo svolgimento di questa fase progettuale è stata fondamentale la collaborazione di una azienda italiana (Edilfloor Spa) che ha fornito gratuitamente geotessili tradizionali di vario spessore (in poliestere/polipropilene, analoghi per composizione a quelli già utilizzati sul Presena dalla Società Impianti nel 2009, 2010 e 2011, questi ultimi con spessore di 3.8 mm e peso 400 g/m², che da qui in poi chiameremo SI 400) e geotessili di nuova generazione (con composizione diversa da quelli attualmente già in commercio). Lo scopo è stato quindi verificare quanto la composizione e il peso per unità di superficie (massa areica) influenzino l'efficacia protettiva del telo e modulino i tassi ablativi della neve e del ghiaccio sottoposti a protezione. Pertanto durante l'estate 2012 sono stati stesi diversi geotessili presso i quali sono state condotte più volte misure di spessore e densità della neve e delle sue variazioni (mediante trincee nivologiche) ed è stata monitorata la temperatura superficiale dei teli. Inoltre sono state effettuate periodiche misure di radiazione solare e albedo (o riflettività) mediante un radiometro netto Kipp&Zonen (modello CNR4). Alla fine della stagione di ablazione è stato misurato il gradino di neve residua e di ghiaccio presenti al contatto fra zona glaciale coperta con i geotessili e quella non protetta. Parallelamente per poter effettuare una stima della applicabilità dei geotessili, è stata quantificata l'ablazione glaciale in zona naturale (ovvero non protetta con teli).

COLLOCAZIONE DEI GEOTESSILI

Le coperture geotessili sono state posizionate, in accordo con PAT e Società Impianti, a circa 2765 m di quota nella parte bassa del Ghiacciaio Presena Occidentale, a inizio luglio 2012 nel punto di coordinate medie 46.224523°N 10.580597°E e con esposizione Nord (figg. 1 e 2; tab. 1).

Fig. 1 - Collocazione dei geotessili al termine dell'attività sciistica.





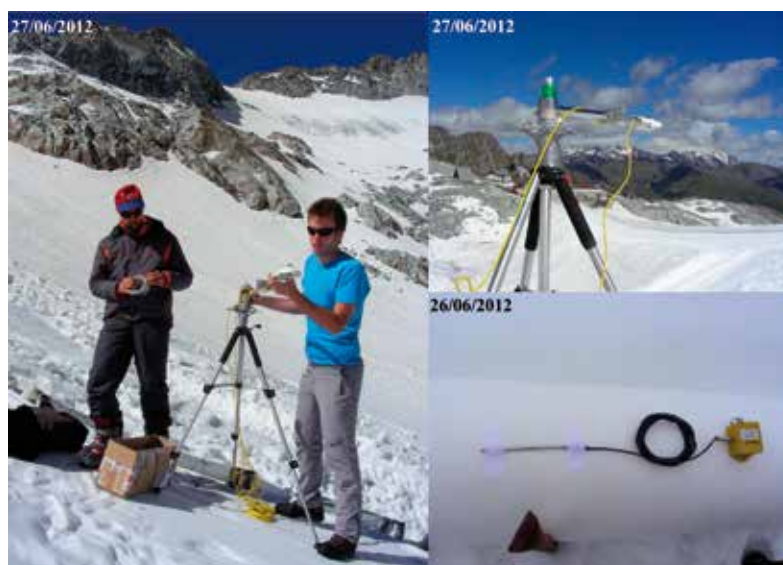
Fig. 2 - Confronto fra due momenti diversi della stagione di ablazione. In entrambe le immagini è stata evidenziata in blu la posizione delle cinque coperture geotessili testate. Nella prima immagine (sinistra) si nota come i teli SI 400 di proprietà della Società Impianti siano caratterizzati da diversi valori di albedo: quelli più scuri erano già stati impiegati nel 2011, mentre quelli più chiari erano nuovi.

Le diverse coperture geotessili testate sono state collocate sulla copertura nevosa del Ghiacciaio Presena al termine dell'attività sciistica, quando per tutta la stagione estiva gran parte della superficie glaciale viene coperta con geotessili a cura della Società Impianti e della Provincia Autonoma di Trento.

Nello stendimento dei cinque teli sperimentali della famiglia COVERTESS ICE si è proceduto dalla sinistra alla destra idrografica (ovvero da ovest a est) secondo l'elenco indicato nella tabella 1 (ogni campione era costituito da due parcelle di 60 m² che sono state unite in sito mediante giunzione con nastro VELCRO® Brand VELLOC®, che ha creato una superficie limitata a 1-2 cm di sovrapposizione dei teli e ridotto il tempo di posa, contro i 30 cm di sovrapposizione del metodo tradizionale di posa e giunzione con saldatura a caldo). I geotessili sono composti da polipropilene (PP), poliestere (PET) e acido polilattico (PLA). Quest'ultimo è ottenuto dalla polimerizzazione dell'acido lattico derivato dal destrosio (uno zucchero) prelevato dal mais, per questo è stato aggiunto nel codice il suffisso BIO.

CODICE GEOTESSILE TESTATO	COMPOSIZIONE	MASSA AREICA	SPESSORE
340 BIO	Acido polilattico (PLA)	340 g/m ²	3.00 mm a 2kPa
340	Polipropilene (PP)	340 g/m ²	3.20 mm a 2kPa
340 PET	Poliestere (PET)	340 g/m ²	3.00 mm a 2kPa
500 D	Doppio strato Polipropilene (PP)	500 g/m ²	4.40 mm a 2kPa
500	Polipropilene (PP)	500 g/m ²	3.70 mm a 2kPa
SI 400	Polipropilene (PP)	400 g/m ²	3.80 mm a 2kPa

© AINEVA



Tab. 1 - Caratteristiche dei cinque tipi di campione usati nell'esperimento. Nell'ultima riga sono riportate le proprietà dei teli tradizionali di proprietà della Società Impianti.

Fig. 3 - Installazione del radiometro per le misure di albedo e dei termistori (in basso a destra) per la misura della temperatura superficiale dei geotessili.

MISURA DEGLI SPESSORI NIVALI

Per la quantificazione della coltre nevosa presente sulla superficie del ghiacciaio e sottoposta a protezione con geotessile e delle sue variazioni stagionali è stato utilizzato come parametro l'Equivalent Idrico Nivale (o *Snow Water Equivalent*, da qui in poi definito SWE). I primi dati sono stati raccolti ad inizio estate il 26 e

il 27 giugno 2012 mediante alcune trincee nivologiche. In questa occasione si è scavato sino a raggiungere il ghiaccio di ghiacciaio alla base della coltre nevosa e si è misurato lo spessore e la densità di ogni strato nevoso in accordo al protocollo AINEVA (si veda www.aineva.it) per ricostruire lo spessore equivalente in acqua (SWE) dell'intera colonna nevosa:

$$SWE = \sum_0^H (h_{strato} \times \rho_{strato})$$

dove h_{strato} corrisponde allo spessore dello strato, ρ_{strato} alla densità di quello strato e H alla profondità totale della trincea. Successivamente il 29 agosto e il 20 settembre 2012 sono state effettuate nuovamente alcune trincee nivologiche sotto le coperture geotessili e, quindi, misurate densità e spessore degli strati nevosi nei profili di neve residua.

Inoltre periodicamente (nelle date 12 e 18 luglio, 1, 13 e 29 agosto, e 20 settembre)

sono stati effettuati sondaggi nivologici per rilevare l'altezza della neve sotto tutte le coperture geotessili e per misurare la differenza di emersione tra questi e la superficie glaciale.

In sintesi a inizio stagione la superficie glaciale era ammantata da una coltre nevosa che alla quota dell'esperimento variava tra 1.97 m w.e. e 1.72 m w.e. A fine stagione la coltre nevosa sul ghiacciaio non sottoposto a protezione era pari a zero alla quota dell'esperimento (ghiaccio vivo), mentre sotto i teli è risultata variabile tra 1.09 e 0.61 m w.e.

I dati di spessore residuo non trasformati in SWE e di variazione di spessore nevoso non in SWE tra giugno e settembre 2012 sono stati raccolti e confrontati con i valori rilevati dal personale della Provincia Autonoma di Trento tramite ripetuti rilievi

topografici GPS che hanno evidenziato le variazioni di quota e quindi di spessore nevoso presso i teli tradizionali posti sul ghiacciaio a fianco dei teli utilizzati per la sperimentazione qui illustrata.

Per quanto riguarda i nuovi teli sperimentali si sono evidenziati variazioni di spessore della neve compresi tra -2.8 m e -1.2 m. I valori di maggiore perdita di spessore nevoso (non SWE) sono stati registrati nel settore inferiore del telo 340 BIO, mentre i valori più contenuti di perdita sono stati registrati dal telo 500 e dal telo 500 D. I teli tradizionali (SI 400) utilizzati da Società Impianti hanno evidenziato riduzioni della coltre nevosa (non SWE) compresi tra -1.6 m e -2.4 m. Questa ampia variabilità per i teli SI 400 con le stesse caratteristiche composizionali, di spessore e di massa areica è da

attribuire al fatto che la Società Impianti e la Provincia Autonoma di Trento hanno utilizzato sia teli nuovi che teli vecchi (impiegati sul Ghiacciaio Presena lo scorso anno o i precedenti) che hanno mostrato efficacia diversa.

TEMPERATURA SUPERFICIALE

Il flusso di calore conduttivo all'interno di un corpo (nel caso specifico i teli oggetto dell'esperimento), da cui dipende l'energia effettivamente disponibile per la fusione al di sotto dello stesso, viene stimato attraverso la temperatura superficiale. Per questo motivo sono state misurate le temperature superficiali dei teli presso i cinque diversi geotessili Edilfloor. Sono stati quindi installati 5 termistori PT100 (ognuno collegato ad un *data logger* TinyTag Plus 2) sotto le coperture e ad esse paralleli con lo scopo di rilevare l'effettiva temperatura a contatto con la neve senza l'influenza della radiazione solare diretta (fig. 3). In figura 4 è mostrato l'andamento medio giornaliero della temperatura superficiale. Questi valori dipendono dalla temperatura dell'aria e dalla radiazione solare, ma anche dalle proprietà termiche del geotessile. Si evidenzia, pur con sensibili oscillazioni, una temperatura quasi costantemente più alta per il 340 BIO e una temperatura quasi sempre meno elevata per il telo 500.

Fig. 4 - Andamento della temperatura superficiale sotto i differenti geotessili.

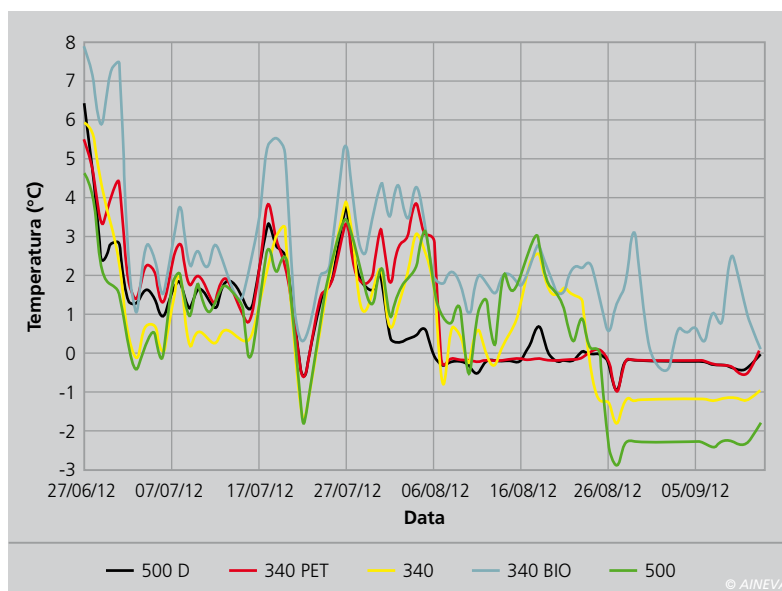
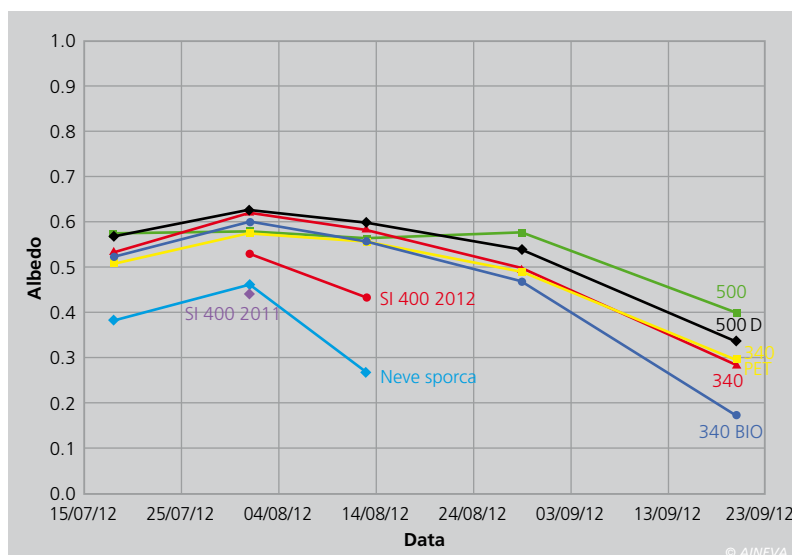


Fig. 5 - Albedo media presso ogni geotessile nei giorni indicati.



RADIAZIONE E ALBEDO

La radiazione solare è una delle componenti del bilancio energetico per la stima dell'energia disponibile per la fusione di ghiaccio e/o neve. Quindi mediante un radiometro netto Kipp e Zonen (modello CNR4), collegato ad un *data logger* E-LOG di Lsi-Lastem alimentato da una batteria 5Ah in tampone con un pannello solare da 10W, sono stati misurati i flussi radiativi ad onda corta e lunga entranti ed uscenti dalla superficie del Ghiacciaio Presena (fig. 3). Il radiometro netto è uno strumento costituito da quattro sensori per la radiazione e una sonda termica PT100 per la misura della temperatura dello stru-

ALBEDO MEDIA MISURATA							
CODICE GEOTESSILE TESTATO	18/07/2012	01/08/2012	13/08/2012	29/08/2012	20/09/2012	MEDIA SULL'INTERO PERIODO DI OSSERVAZIONE	
500	0.57	0.58	0.56	0.58	0.40	0.54	0.57*
340	0.53	0.62	0.59	0.50	0.29	0.51	0.60*
500 D	0.57	0.63	0.60	0.54	0.34	0.53	0.61*
340 PET	0.51	0.58	0.56	0.49	0.30	0.49	0.57*
340 BIO	0.52	0.60	0.56	0.47	0.17	0.46	0.58*
SI 400 2012		0.53	0.43				0.48*
neve "sporca"	0.38	0.46	0.27			0.37	0.36*
SI 400 2011		0.44				0.44	

© AINEVA

Tab. 2 - Valori di albedo media misurata in condizioni non protette e sopra i geotessili. Con il simbolo * sono stati riportati i valori medi calcolati su una serie ridotta e comune a tutti i campioni. Per la neve "sporca" vi sono solo misure fino al 13/08/13 a causa della completa fusione in condizioni non protette.

mento e la calibrazione dei dati radiativi ad onda lunga. I sensori radiometrici sono due pyranometri e due pyrgeometri, ovvero strumenti che rilevano rispettivamente radiazione ad onda corta, cioè solare entrante (SW_{IN}) e riflessa (SW_{OUT}), e radiazione ad onda lunga, cioè termica, emessa dalla superficie e dall'atmosfera. Il radiometro netto è stato utilizzato per effettuare misure periodiche della radiazione entrante ed uscente e quindi i flussi netti sulla superficie dei geotessili (18 luglio, 1, 13 e 29 agosto e 20 settembre). Il sensore è stato configurato per misurare ogni secondo, e ad ogni minuto memorizza il valore minimo, medio e massimo e la deviazione standard. Le misure sono state effettuate per almeno mezz'ora su ogni geotessile, successivamente si è calcolato il valore di albedo (α) rappresentativo di quel campione secondo Oerlemans (2010):

$$\alpha = \frac{\sum SW_{OUT}}{\sum SW_{IN}}$$

I dati raccolti sono stati elaborati ed analizzati per calcolare la radiazione netta e l'albedo di ciascuna superficie di geotessile analizzata.

Nel grafico della fig. 5 viene mostrato l'andamento dell'albedo. Si nota una graduale diminuzione della riflettività dovuta all'incremento di particelle fini (e.g. polveri) che depositandosi sulla superficie la rendono più scura e quindi meno riflettente. I valori minori, infatti, si

sono rilevati il 20 settembre, alla fine della sperimentazione sui teli ormai rimossi dal ghiacciaio. Questi risultati sono in accordo con quanto osservato in altri studi i quali mostrano un progressivo incremento sulla superficie dei ghiacciai della presenza di particelle assorbenti durante la stagione di ablazione (Azzoni et al., sottomesso; Aoki et al., 2006; Wiscombe e Warren, 1980; 1985).

Fino alla metà di Agosto il campione con il maggior valore di albedo è risultato il 500 D, successivamente il geotessile 500 ha mostrato una maggiore riflettività anche se non molto diversa rispetto al 500 D. Utilizzando i valori medi dell'albedo, i geotessili con valore maggiore (e quindi con maggiore capacità riflettente) sono risultati nell'ordine il 500, il 500D, il 340, il 340 PET, il 340 BIO. Utilizzando il solo dato del 20 settembre è stato possibile individuare quale campione ha subito minori variazioni: in questo caso i geotessili con valore di albedo maggiore sono risultati nell'ordine il 500, il 500D, il 340 PET, il 340, il 340 BIO.

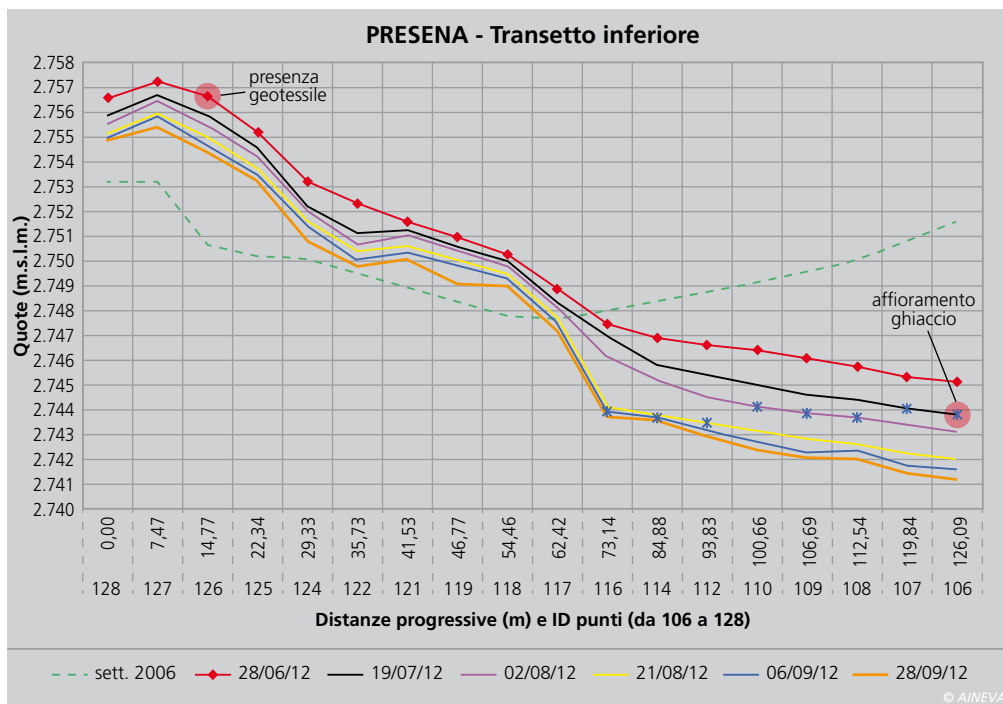
Nella misura del 29 agosto il campione 500 è risultato quello con l'albedo maggiore (cioè il più riflettente), probabilmente a causa di una minore copertura di polveri. Anche il 340 PET negli ultimi rilievi è risultato più riflettente del 340 BIO; quest'ultimo infatti sino al primo Agosto ha registrato sempre un'albedo maggiore del 340 PET, successivamente è risultata minore.



Fig. 6 - I transesti trasversali lungo i quali sono stati effettuati da PAT i rilievi GPS. Il transetto inferiore (A) è stato realizzato vicino ai teli sperimentali.

Nella tab. 2 sono presentati i valori dell'albedo media misurata sia sulla superficie dei teli sperimentali sia sulla neve non protetta (tre misure), sia infine sui teli tradizionali (due misure per i teli 400 della SI collocati nel 2012 e una per quelli sempre 400 della SI alla seconda stagione di impiego).

Sono stati infatti effettuati confronti con i materiali utilizzati gli anni precedenti per la copertura del ghiacciaio e con coperture nevose "vecchie" (a fine stagione o comunque lontano dalle precipitazioni) e quindi "sporche" (ovvero con presenza di detrito fine superficiale e polveri). Ne è risultato che: l'1 Agosto la neve naturalmente esposta ha evidenziato un'albedo



	SWE cm NEVE 26-27/06/12	SWE cm NEVE 20/09/12	% SALVATA	DIFFERENZA	% FUSA
CONDIZIONI NON PROTETTE	197	0.0	0.0	-197.0	-100.0
340 BIO	197	83.0	42.1	-114.0	-57.9
340	197	85.0	43.1	-112.0	-56.9
340 PET	172	108.0	62.8	-64.0	-37.2
500 D	184.5	128.0	69.4	-56.5	-30.6
500	194	141.0	72.7	-53.0	-27.3
SI 400 2012	197	130	66.0	-67.0	-34.0

Fig. 7 - Variazione di quota della superficie topografica dal settembre 2006 a fine settembre 2012 lungo il transetto inferiore (A).

Tab. 3 - Dati relativi alla variazione dello SWE in condizioni non protette e sotto protezioni di teli sperimentali (340 di vario tipo e 500) e teli della Società Impianti definiti SI 400 2012.

Tab. 4 - Fusione totale di neve e di ghiaccio in condizioni non protette e sotto i geotessili.

PERIODO ANALIZZATO 27/06/2012 - 20/09/2012	FUSIONE NEVE	FUSIONE GHIACCIO	FUSIONE TOTALE
	ΔSWE	ΔIWE	
(cm ACQUA EQUIVALENTE TOTALE)			
CONDIZIONI NON PROTETTE	-197.00	-190.00	-387.00
340 BIO	-114.00	-7.00	-121.00
340	-112.00	-7.00	-119.00
340 PET	-64.00	-5.00	-69.00
500 D	-56.50	-5.00	-61.50
500	-53.00	-5.00	-58.00
SI 400 2012	-67.00	-5.00	-72.00

lievemente maggiore rispetto al telo SI 400 utilizzato sia nel 2011 che nel 2012 (vedi anche fig. 1), ma sensibilmente inferiore a tutti i teli sperimentali Edilfloor e al telo SI 400 collocato nel 2012; il 13 agosto la neve, a causa dell'incremento delle particelle fini superficiali, ha evidenziato un'albedo minore rispetto al telo 400 SI

collocato nel 2012 e molto minore rispetto ai teli sperimentali Edilfloor.

ABLAZIONE GLACIALE

Per il monitoraggio delle variazioni di quota e quindi di spessore del ghiacciaio la Provincia di Trento ha effettuato sei rilievi topografici GPS lungo tre transetti trasversali durante la stagione di ablazione (fig. 6).

Grazie a queste misure è stato possibile quantificare la fusione estiva nivale e glaciale superficiale del ghiacciaio anche in condizioni non protette (ovvero in assenza di copertura geotessile) alla quota dell'esperimento (circa 2765 m) (fig. 7).

La perdita di spessore è risultata pari a poco più di 1.9 m w.e. nel periodo compreso tra giugno (quando ancora la superficie era ammantata da neve) e settembre 2012 (quando tutta la superficie non protetta era a ghiaccio scoperto da oltre un mese).

Per quanto riguarda la densità, per il ghiaccio si è considerata quella standard pari a 917 kg/m³ e per il manto nevoso quella ottenuta tramite le trincee più vicine all'area investigata da PAT.

EFFICACIA DEI DIFFERENTI TIPI DI GEOTESSILI

Per evidenziare l'efficacia dei diversi tipi di geotessile, vengono presentati nella tab. 3 i valori della neve "salvata" (SWE) e di quella fusa e nella tab. 4 i valori di fusione totale di ghiaccio e neve.

La fusione totale di neve e ghiaccio è presentata nella tab. 4 e nella fig. 8.

La fusione del ghiaccio nell'intero periodo è stata fornita dalla Provincia Autonoma di Trento che ha condotto rilievi GPS ripetuti lungo un transetto in prossimità dell'esperimento da Giugno a Settembre 2012 (fig. 7).

Per il ghiaccio è stata considerata una densità pari a 917 kg m⁻³.

Considerando l'intero periodo di sperimentazione pari a 85 giorni, è stato calco-

lato anche il tasso di fusione giornaliero di ghiaccio e neve sotto i differenti geotessili (tab. 5 e fig. 9).

Dai dati raccolti è possibile evidenziare una significativa correlazione tra l'entità della fusione di ghiaccio e neve media giornaliera e l'albedo media giornaliera (fig. 10A) e una correlazione lievemente meno significativa fra la fusione e la temperatura media superficiale giornaliera dei geotessili nell'intero periodo considerato (27/6 - 20/9) (fig. 10B). La fusione quindi aumenta al diminuire dell'albedo e all'aumentare della temperatura superficiale del telo.

CONCLUSIONI

In conclusione durante l'estate (fine giugno - fine settembre 2012) la protezione esercitata dai teli sperimentali Edilfloor è stata notevolmente efficace, anche se in misura diversa. Va sottolineata la difficoltà di effettuare le misure specialmente sui teli collocati più all'interno (500 e 500 D). Le difficoltà e la precisione delle misure sono state condizionate dalla morfologia della superficie glaciale, sensibilmente inclinata da est verso ovest, e dalla morfologia della superficie del telo.

In questo caso infatti la superficie risultante presentava irregolarità e gradini non solo in corrispondenza dei singoli teli che avevano caratteristiche tecniche diverse, ma anche lungo le giunzioni fra le due parcelle costituite dallo stesso tipo di telo. Un altro fattore che ha reso difficoltose le misure è stata l'impossibilità di collocare ogni singolo telo in posizione separata rispetto agli altri in un sito piano, sia per la naturale conformazione del ghiacciaio che per esigenze logistiche legate alle coperture complessivamente svolte.

I teli sperimentali sono quindi stati tra loro giuntati rendendo più difficoltose le misure nei settori interni.

Lungo i bordi delle parcelle rivolte verso l'esterno (e quindi non a contatto con un'altra parcella) la fusione è chiaramente sempre più intensa rispetto alle aree interne a causa dell'esposizione diretta all'aria che in estate è ben al di sopra del

punto di fusione e promuove maggiormente l'ablazione; ciò riduce quindi l'efficacia protettiva dei geotessili più esterni. La fusione nivale sotto le coperture geotessili è risultata variabile tra il 57% dello SWE iniziale nel caso del telo 340 e il 27%

del telo 500. I teli SI 400 utilizzati dalla Società Impianti hanno mostrato fusioni variabili in funzione del fatto di essere nuovi o riciclati dopo un primo utilizzo nel 2011, con un valore medio di neve fusa dei teli nuovi del 34%. La percentuale di

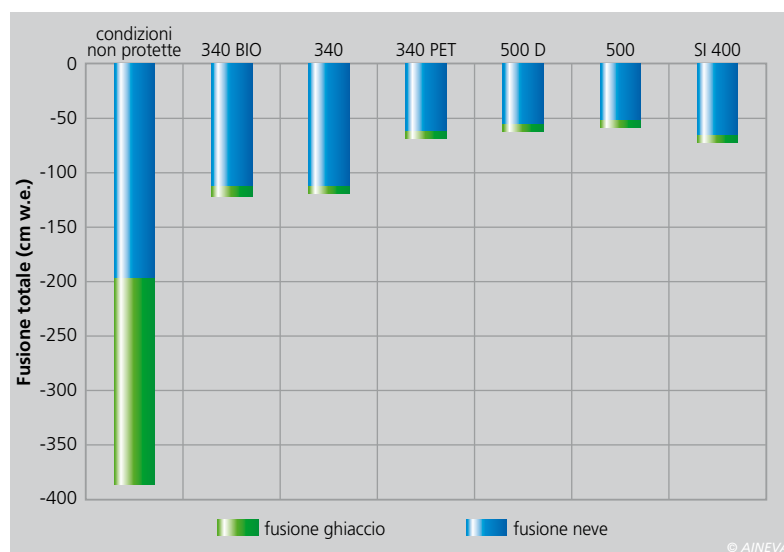


Fig. 8 - Fusione totale in condizioni non protette e sotto i geotessili.

PERIODO ANALIZZATO 27/06/2012 - 20/09/2012	FUSIONE NEVE	FUSIONE GHIACCIO	FUSIONE TOTALE
	Δ SWE	Δ IWE	
	(cm/GIORNO ACQUA EQUIVALENTE TOTALE)		
CONDIZIONI NON PROTETTE	-2.32	-2.24	-4.55
340 BIO	-1.34	-0.08	-1.42
340	-1.32	-0.08	-1.40
340 PET	-0.75	-0.06	-0.81
500 D	-0.66	-0.06	-0.72
500	-0.62	-0.06	-0.68
SI 400 2012	-0.79	-0.06	-0.85

Tab. 5 - Fusione giornaliera in condizioni non protette e sotto i geotessili.

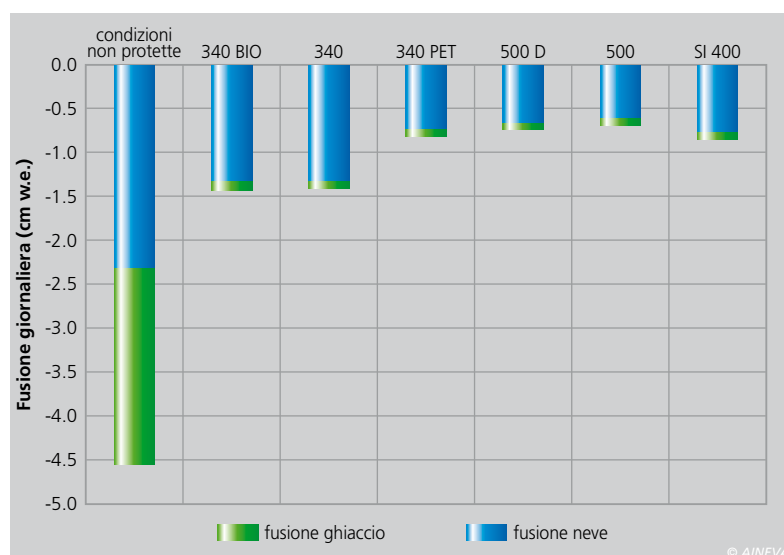
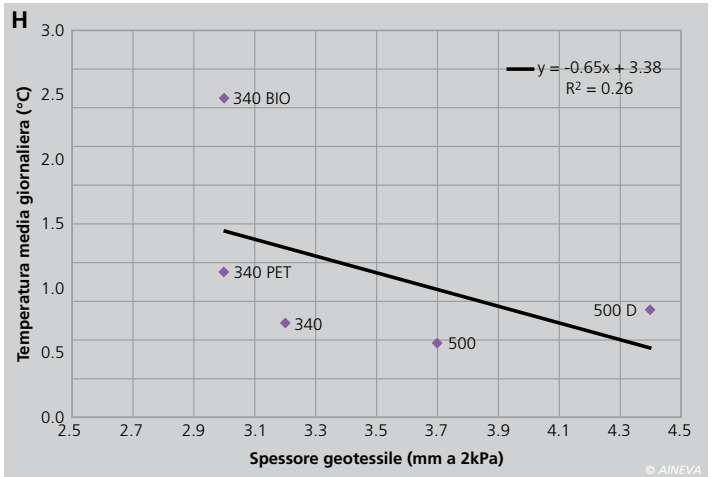
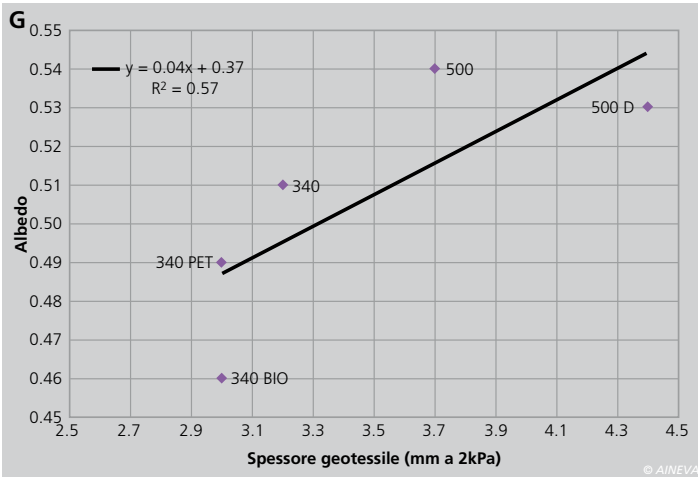
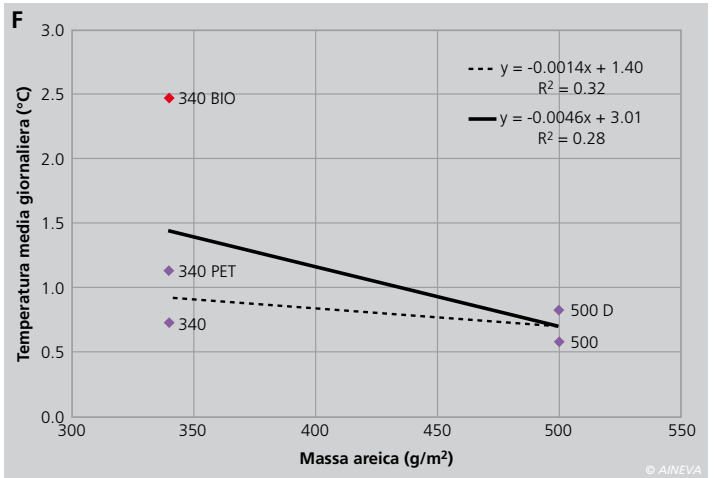
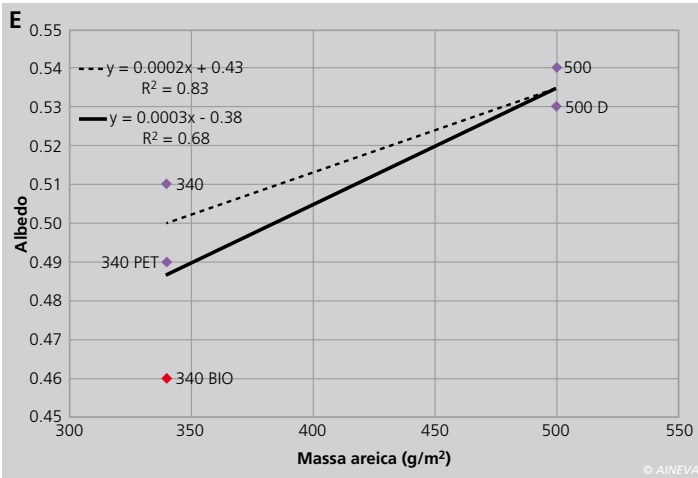
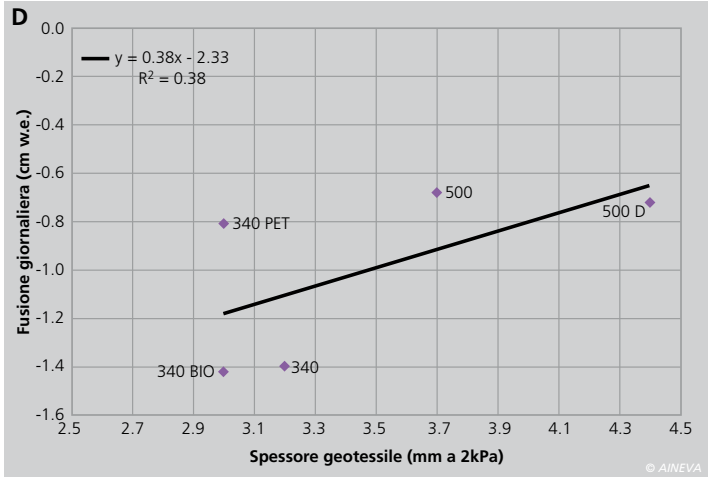
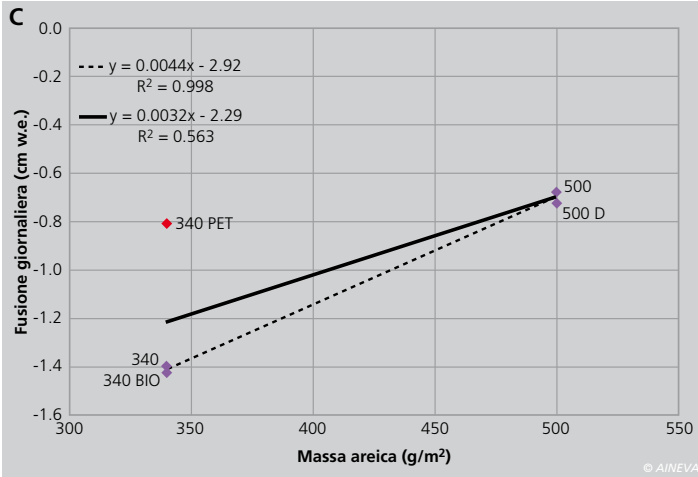
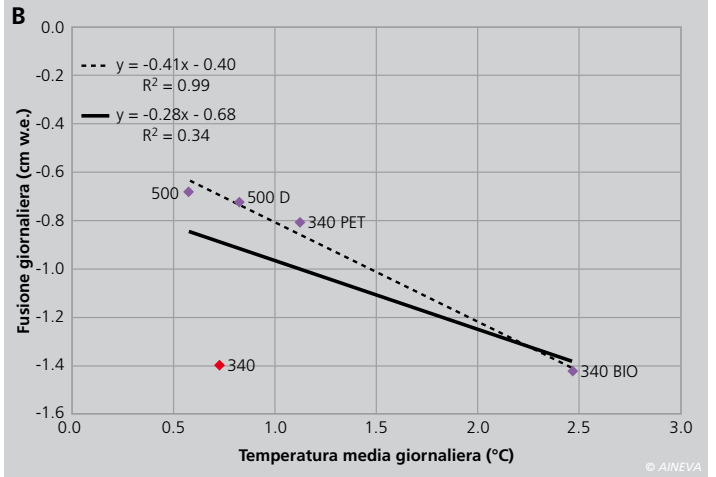
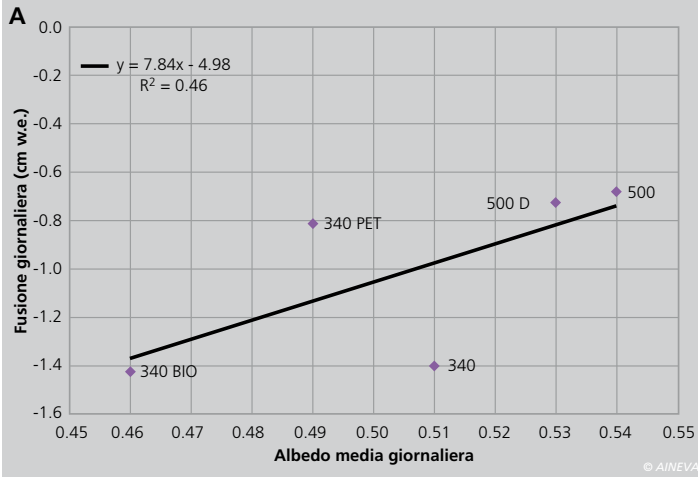


Fig. 9 - Fusione giornaliera in condizioni non protette e sotto i geotessili.



neve salvata (e quindi l'efficacia dei teli) è risultata variabile tra il 73% del telo 500 e il 42% del telo 340 BIO.

Analizzando i dati di efficacia rispetto ai dati di albedo e di temperatura superficiale dei teli si evince che i teli COVERTESS ICE 500 sono stati caratterizzati da un'albedo in media sempre elevata ed abbastanza stabile e da temperature superficiali più fresche che si sono concretizzate in una minore fusione della neve da loro protetta.

Diversamente i teli 340 sono risultati con albedo mediamente inferiore e soprattutto meno stabile e con temperature superficiali lievemente più elevate.

Questo sembra connesso non tanto alla composizione, ma piuttosto alla massa areica che, quando maggiore, sembra portare a temperature inferiori (e quindi ad un minore flusso di calore per condu-

zione alla neve sottoposta a protezione) e ad albedo maggiori e più stabili.

I teli SI 400 sono risultati di efficacia inferiore a quella dei teli 500 e lievemente superiore ai 340, ad ulteriore supporto dell'ipotesi che teli con peso maggiore siano più efficaci indipendentemente dalla composizione.

I teli riciclati (al secondo anno di utilizzo) inoltre hanno mostrato albedo minore e sotto la loro copertura si sono verificate maggiori perdite e quindi si può affermare che risultano meno efficaci e andrebbero riservati ad aree glaciali ad alta quota dove la fusione è già naturalmente inferiore e andrebbe evitato il loro utilizzo a bassa quota dove i tassi ablativi sono più intensi.

Per completare la conoscenza sull'efficacia dei teli sarebbe opportuno ripetere in una prossima estate la sperimentazione

con teli a diversa composizione, ma tutti caratterizzati da stessa massa areica. Questo evidenzierà definitivamente il ruolo giocato dalla composizione nell'isolare termicamente la neve sottostante (attraverso la valutazione comparativa delle temperature superficiali) e, attraverso il confronto dei dati di riflettività, nel catturare detrito fine e polvere che "sporcano" i geotessili (attraverso il confronto dei dati di riflettività).

Un'altra interessante valutazione da effettuare con la prossima sperimentazione è quella dei costi connessi al trasporto di teli di massa areica maggiore e delle emissioni di CO₂ conseguenti al loro abbattimento termico.

Questi dati, in caso rivelassero differenze significative, potrebbero far decidere di utilizzare teli 340 PET (lievemente meno efficaci rispetto ai 500), se effettivamente

Nella pagina a fianco, fig. 10 - Correlazione tra (A) la fusione giornaliera e l'albedo superficiale media, (B) la fusione giornaliera e la temperatura superficiale media giornaliera, (C) la fusione giornaliera e la massa areica dei geotessili, (D) la fusione giornaliera e lo spessore dei geotessili, (E) l'albedo superficiale media e la massa areica, (F) la temperatura superficiale media giornaliera e la massa areica, (G) l'albedo superficiale media e lo spessore, (H) la temperatura superficiale media giornaliera e lo spessore per ognuno dei cinque diversi geotessili. Nel caso di evidenti outlier questi sono stati esclusi dal calcolo della retta di regressione che viene riportata come linea tratteggiata; a titolo di confronto si riporta anche la retta calcolata includendo gli outlier che è stata indicata con linea continua.





te ad una minor efficacia si associassero costi di trasporto più contenuti (e anche di acquisto) e minori emissioni di CO₂ a vantaggio dell'ambiente. Inoltre sarebbe importante anche testare dei materiali che filtrino i raggi UV (in quanto nel range dello spettro solare sono le lunghezze d'onda che influiscono maggiormente sulla fusione) e misurare con apposito sensore al di sotto di teli tradizionali e innovativi la quantità di raggi UV che effettivamente li attraversa.

Inoltre la disponibilità di un sensore in grado di rilevare la distribuzione della radiazione nelle varie lunghezze d'onda permetterebbe una più approfondita analisi dell'albedo. Infatti, i valori di albedo variano non solo in base al tipo di superficie (come è emerso anche da questo esperimento) ma anche in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente: per una stessa superficie valori minori di albedo sono associati a lunghezze d'onda maggiori, anche se questo trend è poco evidente su superfici caratterizzate

da ghiaccio "sporco" (Oerlemans, 2010). Per quanto concerne il riutilizzo dei teli in anni successivi questo, seppure economicamente vantaggioso, appare da gestire con oculatezza per localizzare i teli di "seconda mano" in aree a quote superiori, normalmente a minore tasso ablativo, e riservare alle zone vallive i teli nuovi e più efficaci. Sarebbero anche auspicabili innovazioni nelle tecniche di conservazione e stendimento dei teli che permettano, nel caso di riutilizzo, di esporre il lato che il primo anno era stato posto a contatto con la neve e che quindi ha mantenuto un maggior candore e quindi una maggiore albedo e non il lato già coperto di polvere e detrito fine esposto l'anno prima.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata svolta nell'ambito di una convenzione tra l'Università degli Studi di Milano e la ditta Edilfloor Spa e grazie alla preziosa collaborazione con la Provincia Autonoma di Trento e la Società Impianti Carosello Tonale.

Fig. 11 - Il gradino di neve e ghiaccio testimonia l'efficacia della copertura geotessile a fine agosto.



Fig. 12 - Efficacia della protezione nel settore inferiore lungo la linea degli skillift.

BOX DI APPROFONDIMENTO

Proprietà termiche delle superfici analizzate e interazioni con la copertura geotessile. Aspetti teorici

La fusione di una massa di neve o ghiaccio dipende dalla somma dei vari contributi dei flussi di calore ΣQ che raggiungono la superficie come sintetizzato nella seguente equazione:

$$(1) \quad \Sigma Q = SW_{IN} - SW_{OUT} + LW_{IN} - LW_{OUT} + LH + SH + Q_C$$

in cui SW_{IN} è la radiazione solare incidente, SW_{OUT} è la radiazione solare riflessa dalla superficie analizzata, LW_{IN} e LW_{OUT} sono rispettivamente la radiazione ad onda lunga emessa dall'atmosfera e dalla superficie analizzata, LH è il flusso turbolento di calore latente, SH il flusso turbolento di calore sensibile e Q_C il flusso di calore conduttivo, espressi in W/m^2 .

Senza protezioni geotessili di solito alle nostre latitudini l'80% della fusione è dovuta alla radiazione solare netta e quindi assorbita (i.e. $SW_{IN} - SW_{OUT}$). La copertura geotessile esplica la sua azione protettiva sia riducendo la SW assorbita sia modificando Q_C .

Pertanto gli aspetti teorici più interessanti sono la parametrizzazione del flusso di calore conduttivo da quantificare attraverso la temperatura superficiale (T_S) e l'analisi della variabilità dell'albedo o riflettività (α) della superficie, che corrisponde al rapporto tra radiazione solare riflessa ed incidente, ovvero:

$$(2) \quad \alpha = \frac{SW_{OUT}}{SW_{IN}}$$

pertanto la radiazione netta SW_{NET} è

$$(3) \quad SW_{NET} = SW_{IN} - SW_{OUT} = SW_{IN} \times (1 - \alpha)$$

Dove $(1-\alpha)$ è pari alla co-albedo ovvero alla percentuale di radiazione assorbita dalla superficie analizzata.

In accordo alla legge di conduzione del calore di Fourier, il flusso di calore conduttivo Q_C è pari a:

$$(4) \quad Q_C = \frac{K \times (T_S - T_{ICE})}{\Delta h}$$

in cui K è la conducibilità termica tipica del materiale e dipende dalle sue caratteristiche, T_S è la temperatura superficiale, T_{ICE} è la temperatura del ghiaccio al punto di fusione (quindi $0^\circ C$ se al livello del mare), Δh è lo spessore del materiale.

La fusione M (con segno negativo poiché per il ghiacciaio corrisponde ad una perdita) è data dal rapporto tra il flusso di calore che porta alla fusione Q_M (che in questo caso è pari al flusso di calore conduttivo Q_C), il calore latente di fusione λ e la densità del materiale in fusione ρ come nella seguente formula:

$$(5) \quad M = \frac{Q_M / \lambda}{\rho}$$

Bibliografia

- Azzoni R. S., Senese A., Zerboni A., Maugeri M., Smiraglia C. & Diolaiuti G. (sottomesso) - A pilot study to evaluate sparse supraglacial debris coverage and its influence on ice albedo at the Forni Glacier tongue (Italy).
- Aoki Te., Motoyoshi H., Kodama Y., Yasunari T.J., Sugiura K. & Kobayashi H. (2006) - Atmospheric aerosol deposition on snow surfaces and its effect on albedo. *Sola*, 2, 13-16.
- CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) - CGI (Comitato Glaciologico Italiano) (1961) - Catasto dei Ghiacciai Italiani-Ghiacciai della Lombardia e dell'Ortles-Cevedale. Torino, CGI, III, 390 pp.
- Diolaiuti G., Smiraglia C. & Meraldi E. (2009) - Strategie di protezione "attiva" dei ghiacciai. Prime applicazioni italiane e risultati. *Neve e Valanghe*, 65, 58-64.
- Diolaiuti G., Senese A., Mosconi B., D'Agata C., Mihalcea C., Smiraglia C. & Trenti A. (2011) - Effetti delle misure di protezione glaciale attiva sul bilancio energetico puntuale del Ghiacciaio Presena in provincia di Trento. *Neve e Valanghe*, 74, 54-63.
- Fischer A. (2008) - Ritiro dei ghiacciai ed effetti degli interventi di copertura. *Neve e Valanghe*, 64, 44-59.
- Oerlemans J. (2010) - The microclimate of Valley Glaciers. Igitur, Utrecht Publishing & Archiving Services, Universiteitsbibliotheek Utrecht, 138 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.
- Olefs M. & Lehning M. (2010) - Textile protection of snow and ice: measured and simulated effects on the energy and mass balance. *Cold Regions Science and Technology*, 62, 126-141.
- SAT (Società Alpinisti Tridentini) - http://www.sat.tn.it/ghiacciai/684_0.htm
- Wiscombe W.J. & Warren S.G. (1980) - A model for spectral albedo of snow. I. Snow Containing Atmospheric Aerosols. *Journal of Atmospheric Science*, 37, 2734-2745.
- Wiscombe W.J. & Warren S.G. (1985) - Dirty snow after nuclear war. *Nature*, 313, 469-470.