

# RITIRO DEI GHIACCIAI

## ed effetti degli interventi di copertura

**Andrea Fischer**

Istituto per Meteorologia e Geofisica  
dell'Università di Innsbruck  
Innrain 52, 6020 Innsbruck



Negli ultimi decenni, ed in particolare in questi ultimi dieci anni, i ghiacciai austriaci hanno perso in massa, con conseguente riduzione dell'estensione superficiale da un lato e di spessore dall'altro. Tutto ciò può avere un notevole impatto sulle infrastrutture presenti sui ghiacciai o nei loro pressi, come ad esempio impianti di risalita o piste da sci. Gli interventi di copertura dei ghiacciai in cosiddette 'zone nevralgiche', ovvero aree di comprensori sciistici su ghiacciai particolarmente interessate dal ritiro degli stessi, riduce significativamente lo scioglimento del ghiaccio. Le superfici coperte da appositi teli hanno in genere un'estensione che va da pochi metri quadrati fino al corrispondente di un campo da calcio. In media, al di sotto del rivestimento si sciogliono 2/3 di ghiaccio in meno che in assenza di copertura, ragion per cui se la neve invernale è sufficiente risulta possibile mantenere lo stesso spessore di ghiaccio, se non addirittura incrementarlo.

### INTRODUZIONE

L'estensione dei ghiacciai dipende sia dal clima che dalla storia climatica. Al modificarsi del clima si modifica infatti anche l'estensione dei ghiacciai. Attualmente, come la maggior parte delle regioni glacializzate montane del mondo, anche i ghiacciai alpini si riducono di anno in anno a causa del fatto che nel corso dell'estate ogni anno resiste sul ghiacciaio meno neve rispetto al ghiaccio che fonde in corrispondenza della fronte dello stesso, generando nel complesso una perdita di massa. I ghiacciai non hanno iniziato a ritirarsi solamente in questi ultimi due decenni: eccezion fatta per due brevi fasi di avanzamento verso il 1920 e il 1980, dopo l'ultimo livello massimo di espansione del 1850 hanno infatti continuato a ridursi. Come attesta lo studio degli anelli di accrescimento del legno in area alpina (Nicolussi e Patzelt, 1996; Joerin et.

al. 2008), il livello massimo di espansione del 1850 dovrebbe essere stato il più elevato nel corso dell'Olocene. Si ritiene infatti che per circa i due terzi degli ultimi 10 000 anni i ghiacciai fossero addirittura meno estesi di oggi.

L'attuale stato dei ghiacciai e le loro modifiche vengono rilevati con l'ausilio di svariati programmi di monitoraggio, tra cui gli inventari dei ghiacciai e le misurazioni dei bilanci di massa. Le misurazioni servono a indagare il collegamento tra apparato glaciale e clima e a redigere programmi e modelli in merito. L'obiettivo è da un lato ricavare dalle dimensioni del ghiacciaio indicazioni circa precedenti condizioni climatiche e, dall'altro, riuscire a valutare i possibili effetti del ritiro dei ghiacciai su ambiente e situazione antropica nell'area alpina. Elementi importanti in tale contesto sono ad esempio la reazione del bilancio idrico, le modifiche del manto nevoso

temporaneo e il quesito di quanto a lungo i ghiacciai si manterranno, a quali condizioni climatiche e con quale estensione.

All'interno dello spazio economico alpino, tra le misure di adeguamento al cambiamento climatico si ricorre soprattutto alla produzione di neve artificiale per prolungare la durata del manto nevoso temporaneo nelle aree sciistiche, e alla copertura dei ghiacciai per ritardarne la fusione.

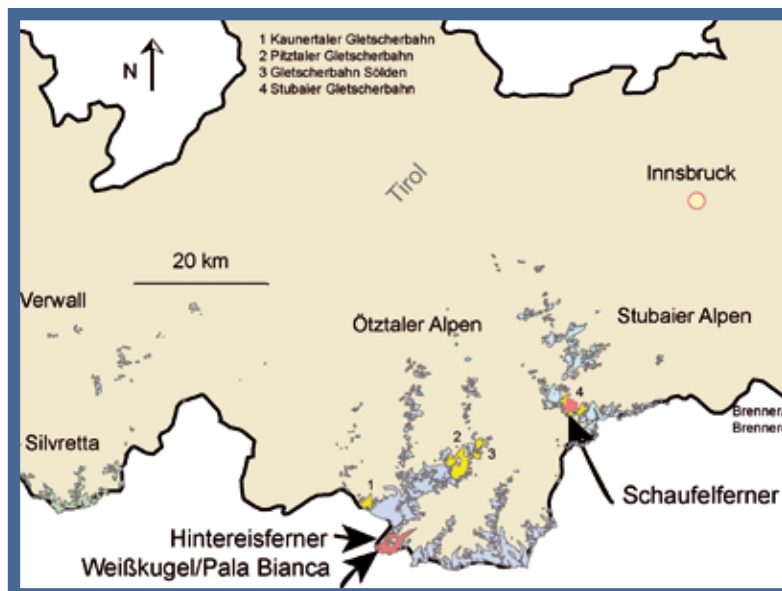
### IL RITIRO DEI GHIACCIAI NELLE ALPI AUSTRIACHE NELL'ARCO DEGLI ULTIMI DECENNI

Per lo studio dello stato dei ghiacciai e delle loro modifiche sono disponibili diversi programmi:

- Il Programma di misurazione della lunghezza dei ghiacciai del Österreichischer Alpenverein, che dal 1891 rileva annual-



Fig. 1 - Cartina d'insieme delle aree d'indagine: sul Hintereisferner il bilancio di massa viene misurato dal 1953. Ciò consente di inquadrare gli studi compiuti a partire dal 2004 in merito agli effetti delle coperture nei comprensori sciistici sui ghiacciai di Kaunertal, Pitztal, Sölden e Stubai in un contesto di nessi causali più sul lungo periodo.



mente le oscillazioni della fronte di oltre 100 ghiacciai austriaci.

- Le misurazioni dirette del bilancio di massa, effettuate su meno di 10 ghiacciai e avviate nella seconda metà del 19° secolo. Una delle più lunghe serie di rilevamenti del bilancio di massa riguarda il Hintereisferner nelle Ötztaler Alpen (Markl 1975, 1979, 1982, Kuhn et. al 1999). La posizione del Hintereisferner è riportata alla Figura 1.

- Inventari dei ghiacciai che per più decenni rilevano regolarmente estensione superficiale e volumetria di tutti gli apparati glaciali. Per gli inventari dei ghiacciai austriaci del 1969 (Patzelt, 1980) e del 1998 (Lambrecht e Kuhn, 2007) ci si è avvalsi della procedura fotogrammetrica, mentre per il catasto 2006 attualmente in fase di elaborazione le valutazioni si basano su rilievi laser scan.

Tutti i dati vengono integrati da osservazioni climatiche estese a un elevato numero di anni.

Gli inventari dei ghiacciai hanno rivelato che tra il 1969 e il 1998 l'estensione superficiale degli apparati glaciali austriaci si è ridotta di circa il 17%. Come indicano alcune prime interpretazioni dell'inventario 2006, la perdita di estensione superficiale registrata tra il 1998 e il 2006 registra la stessa portata. Nel 1998 i ghiacciai presentavano solamente il 46% dell'estensione riferita alla massima espansione del 1850 (Groß, 1987; Lambrecht e Kuhn, 2007). L'oscillazione

media annua in spessore della superficie dei ghiacciai è di circa 0,5 m. La progressione più rapida del fenomeno del ritiro dei ghiacciai in quest'ultimo decennio si riflette anche nell'evoluzione temporale del bilancio specifico di massa del Hintereisferner, come indica la Figura 2. Anche sul Hintereisferner la perdita media di massa di più anni è infatti di circa 0,5 m/anno, e in questi ultimi anni tale valore è stato in genere superato, tanto che la perdita di massa è stata dal triplo al quadruplo rispetto alla media di più anni. Causa ne sono state le condizioni meteorologiche sfavorevoli al ghiacciaio di questi anni, cioè scarse precipitazioni nevose invernali e temperature estive elevate. Come mostra la Figura 2, complessivamente le precipitazioni non sono variate in maniera sostanziale, mentre sia la temperatura su base annua che la temperatura atmosferica durante i mesi estivi, importante per i ghiacciai, hanno mostrato un netto aumento. Inoltre, la conformazione superficiale del ghiacciaio è andata modificandosi. Le aree di firn si sono infatti sensibilmente ridotte, mentre la percentuale di superficie complessiva di ghiaccio è aumentata. Il firn presenta un albedo più elevato rispetto al ghiaccio, il che significa che assorbe una minore percentuale di energia proveniente dalla radiazione solare diretta, riflettendone una quota maggiore. Di conseguenza, in presenza di eguali condizioni meteorologiche il ghiaccio presenta maggiore

energia utile alla fusione rispetto al firn, e quanto più a lungo il ghiacciaio rimane coperto dal manto nevoso, tanto più il ghiaccio risulta protetto dalla fusione. Se invece la superficie del ghiaccio è esposta, il materiale più scuro assorbe più energia incrementando fortemente la fusione. Quanto più lungo risulta il periodo di ablazione superficiale, tanto più a lungo il ghiaccio è esposto e tanto maggiore è la fusione.

Le precipitazioni nevose estive consentono invece al ghiacciaio di riparare la propria vulnerabilità.

Si verificano quindi notevoli perdite sia volumetriche che in estensione superficiale. Tra il 1953 e il 2007, in un punto del Hintereisferner la lingua ha subito una perdita di ghiaccio di 162 m. Queste perdite si ripercuotono anche sulle infrastrutture presenti sul ghiacciaio o nelle sue prossimità, come ad esempio impianti di risalita o piste da sci.

Dai valori climatici della Stazione Vent dal 1900 al 2006 a confronto con i bilanci di massa specifici ( $b_{HEF}$ ) rilevati in corrispondenza del Hintereisferner, a circa 10 km di distanza risulta che sia la temperatura atmosferica media su tutto l'anno ( $T$ ) che quella dei mesi estivi di giugno, luglio e agosto ( $T_{JJA}$ ) indicano una tendenza in aumento, con un'oscillazione di anno in anno più marcata durante l'estate.

La somma annuale delle precipitazioni ( $N$ ) diminuisce.

## PUNTI CRITICI DI UN GHIACCIAIO IN AREA SCIISTICA

L'effetto più conosciuto del ritiro del ghiacciaio è il ridursi della sua estensione, o meglio l'arretrare della fronte di ghiaccio. La fusione induce tuttavia anche una perdita in spessore della superficie del ghiacciaio, che comporta spesso anche modificazioni nella topografia dell'apparato stesso (Fischer, 2005). Questi due fattori, riduzione di volume e di superficie, sono suscettibili di rendere più difficili le attività di manutenzione ai fini della gestione delle aree sciistiche. Se ad esempio la fronte di ghiaccio è lontana

dalla stazione a valle di un impianto di risalita, in autunno l'avvio della stagione sarà più difficile. La temperatura più bassa del ghiaccio rispetto alla roccia o ai detriti permetterebbe invece alla prima neve di mantenersi più a lungo sul ghiacciaio. Il minore spessore del ghiaccio provoca spesso avvallamenti concavi della superficie, per cui una pista inizialmente con pendenza regolare può alla fine risultare molto ripida nella zona superiore e molto pianeggiante invece in quella inferiore. Così, nell'arco di alcune stagioni, in corrispondenza di attraversamenti o della zona di accesso alle stazioni a valle possono venire a crearsi vere e proprie contropendenze. Nelle aree sciistiche possono insorgere situazioni problematiche anche nelle zone di firn, e non solamente nei punti di accentuata fusione del ghiacciaio. La Figura 3 presenta alcune di queste situazioni classiche. Se il manto nevoso accumulato durante la stagione invernale, conservatosi nel corso dell'estate, e che potrebbe contribuire a produrre nuovo ghiaccio è troppo scarso per compensare l'ablazione del ghiaccio riconducibile allo scorrere del ghiacciaio a valle, nonostante l'aumento di massa in questo punto lo spessore si ridurrà. Se i punti di salita o discesa dagli impianti sono ancorati alla roccia, rimarranno sempre alla stessa altezza, mentre la superficie del ghiacciaio si abbasserà, e all'inizio della stagione in autunno potrà risultare difficile ovviare a questa differenza di quota venutasi a creare. In punti con uno scarso spessore del ghiaccio la roccia sottostante può venire allo scoperto, e nell'arco di pochi anni creare una barriera naturale all'interno della pista. In presenza di forti modifiche alla conformazione superficiale, notevoli

costi possono poi insorgere a seguito della necessità di sistemare ripetutamente i piloni di sostegno degli impianti a fune all'interno del ghiaccio in movimento.

Nelle aree sopra descritte, ovvero le cosiddette 'zone nevralgiche' dei comprensori sciistici su ghiacciaio, è possibile mantenere lo spessore ricoprendo la superficie con telo geotessile e riducendo così notevolmente l'impegno manutentivo.

## COME FUNZIONANO LE COPERTURE

L'idea di coprire il ghiacciaio e quindi di "conservarlo" proviene dall'osservazione di un fenomeno naturale: se la superficie di un ghiacciaio è ricoperta da detriti o polvere vulcanica di un certo spessore minimo, la fusione è infatti significativamente più lenta rispetto ad altre aree analoghe scoperte. I detriti riducono la penetrazione di energia sotto forma di luce solare diretta e calore sensibile, in modo che nel corpo glaciale vi è meno energia disponibile per la fusione. L'esatta funzione del telo geotessile è stata studiata dal 2004 al 2006 in un campo prova sul ghiacciaio

dello Stubai nell'ambito del Progetto AlpS "Aktiver Gletscherschutz" (Fischer et al., 2005). I partner scientifici coinvolti sono stati l'Istituto di Meteorologia e Geofisica per la misurazione del bilancio di massa ed energetico e l'Istituto di Ecologia dell'Università di Innsbruck per lo studio dell'impatto della copertura sugli organismi viventi. Le aree di test erano collocate all'interno dei comprensori sciistici dei partner degli impianti di risalita Stubai Gletscherbahn, Gletscherbahn Sölden, Pitztaler Gletscherbahn e Kautertaler Gletscherbahn.

Le prove sul campo hanno preso in esame 30 diversi materiali. Le aree d'indagine avevano una dimensione di 2 m x 2 m. Criteri come la resistenza agli agenti atmosferici e ai raggi UV, la resistenza allo strappo e altri aspetti pratici sono stati considerati importanti quanto la riduzione della fusione ottenuta. Si sono testati alcuni materiali biodegradabili, come ad esempio la canapa, che non si sono tuttavia rivelati adatti, dal momento che il materiale da un lato perdeva rapidamente consistenza e non si riusciva poi ad

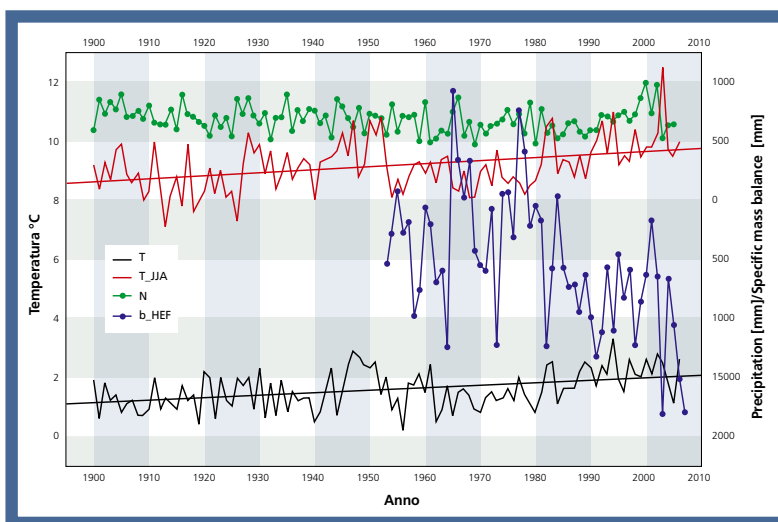


Fig. 2 - Valori climatici della Stazione Vent dal 1900 al 2006 a confronto con i bilanci di massa specifici (b\_HEF) rilevati in corrispondenza del Hintereisferner, a circa 10 km di distanza. Sia la temperatura atmosferica media su tutto l'anno (T) che quella dei mesi estivi di giugno, luglio e agosto (T\_JJA) indicano una tendenza in aumento, con un'oscillazione di anno in anno più marcata durante l'estate. La somma annuale delle precipitazioni (N) diminuisce.

Figura 3: Esempi di punti nevralgici all'interno di un comprensorio sciistico su ghiacciaio.





*Fig. 4 - Evoluzione della fusione al di sotto del rivestimento di copertura e accanto ad esso in corrispondenza del campo test sul Schaufelferner (Stubai Alpen) nell'estate 2005.*

*Fig. 5 - Il bordo dell'area di firn formatasi in tre anni sul Schaufelferner (ghiacciaio Stubai) come si presentava nell'autunno 2006.*

asportarlo e, dall'altro, la degradazione completa sul ghiacciaio avrebbe richiesto tempi troppo lunghi. Il materiale più adatto è risultato essere un telo geotessile bianco dello spessore di pochi mm, molto resistente allo strappo e con caratteristiche di elevata stabilità meccanica. Si tratta di un materiale permeabile, per cui l'acqua del manto nevoso può evaporare e l'acqua piovana non si accumula negli avvallamenti. Come si è potuto constatare, la neve resta ben ancorata alla superficie, e neppure nelle zone di maggiore pendenza il telo geotessile costituisce una buona superficie di scorrimento per la formazione di valanghe a seguito di nuove nevicate. Il telo viene disteso sul manto nevoso invernale in primavera, le varie fasce

vengono saldate tra loro e fissate lungo i bordi con dei pesi. In autunno, quando il ritmo di fusione è molto ridotto rispetto alla piena estate, le fasce vengono asportate e riposte per venire riutilizzate l'anno successivo. Nell'ambito del progetto si sono seguite due stazioni di rilevamento del bilancio energetico, una sul sito ricoperto di telo geotessile e una sulla pista normale. I dati ricavati hanno consentito di esaminare più nel dettaglio i meccanismi di funzionamento del telo (Olefs, 2005; Olefs e Fischer, 2007). Attualmente, i dati vengono impiegati per sviluppare un modello di bilancio energetico per le coperture dei ghiacciai.

Come il bilancio di massa del ghiacciaio, anche il guadagno di massa, ovvero l'effetto di protezione della superficie tramite telo, oltre che dalle caratteristiche del materiale stesso dipende naturalmente da tutta una serie di altri fattori diversi. Da un lato, le condizioni meteorologiche, come la somma delle precipitazioni nevose invernali, le temperature estive e il verificarsi di nevicate estive. Dall'altro, anche aspetti topografici come altitudine, esposizione e pendenza influiscono in maniera importante sul bilancio energetico e di massa. In media, la copertura con telo geotessile comporta una riduzione della fusione di circa 2/3, il che significa che rispetto ad aree prive di rivestimento fonde solamente un terzo. La differenza tra aree munite di copertura e aree prive è tanto più marcata quanto più elevato risulta il tasso di fusione nel punto considerato. In altre parole, la copertura fa sentire maggiormente il suo effetto nelle aree del ghiacciaio a bassa quota e soleggiate rispetto a punti più in quota e in ombra.

Negli anni meno favorevoli al ghiacciaio il guadagno a seguito dell'impiego del rivestimento è infine più marcato rispetto agli anni più favorevoli.

Gli studi condotti dall'Istituto di Ecologia non hanno rilevato effetti negativi del rivestimento in telo geotessile sugli organismi viventi.

La Figura 4 mostra l'effetto del rivestimento nell'estate del 2005 in corrispondenza del campo test del Schaufelferner (Stubai). La prima foto è stata scattata una settimana dopo la posa della copertura, e si nota come al di sotto del telo il manto nevoso risulti essere già da 10 a 20 cm più alto rispetto alla zona circostante priva di rivestimento. Alla fine del periodo di fusione nel settembre 2005, si era formato uno zoccolo di neve e ghiaccio alto 1,60 m. Mentre attorno al campo test non vi era più neve residua, al di sotto del rivestimento si era addirittura mantenuta della neve invernale, il che significa che in questo punto non solo non vi era stata perdita di ghiaccio, ma si era addirittura ottenuto un guadagno di massa. In questo modo, con un utilizzo su più anni si possono plausibilmente accumulare alcuni metri di massa. La Figura 5 mostra il campo di firn sul ghiacciaio di Stubai, ricostituito grazie a più anni di rivestimento combinato con interventi di spostamento di masse di neve.

La Figura 6 mostra un modello altimetrico a colori del Schaufelferner (Stubai Alpen) con i margini del ghiacciaio nel 1969, nel 1997 e nel 2006 e le modifiche altimetriche tra il 1997 e il 2006.

Il modello altimetrico a colori consente di individuare bene le aree rivestite, il che significa che dopo tre anni di copertura

del ghiacciaio (dal 2003), cioè solamente un terzo del periodo complessivo durante il quale è venuta a crearsi la differenza altimetrica, si presentavano già differenze di diversi metri tra aree coperte e non. Tra il 1997 e il 2006, l'oscillazione media dello spessore del ghiaccio dell'intero corpo era di -7,6 m, mentre nelle zone rivestite la perdita di spessore corrispondeva alla metà rispetto a quelle prive di copertura.

Come evidenzia la figura 6, le aree coperte sono molto piccole in rapporto alla superficie complessiva. Attualmente, all'interno dei comprensori sciistici tirolesi su ghiacciaio risulta rivestito circa il 3% della superficie, pari a meno di un promille dell'intera estensione degli apparati glaciali del Tirolo. I costi elevati fanno sì che tali coperture non possano venire impiegate in maniera generalizzata, e rimangano comunque limitate ai comprensori sciistici dei ghiacciai che dispongono delle infrastrutture e del personale necessario alla manutenzione dei teli. L'utilizzo delle coperture interesserà poi comunque sempre zone "neuralgiche", cioè aree in cui la fusione e la perdita di spessore sono particolarmente marcate e rischiano di avere un impatto negativo sulle infrastrutture esistenti. La contenuta estensione superficiale degli interventi fa comunque sì che essi non influiscano né sul bilancio di massa complessivo né sul flusso del ghiacciaio. Riuscire a ottenere un guadagno di massa rivestendo il ghiacciaio dipende sostanzialmente dalla

quantità di neve invernale. Se è sufficientemente elevata si può infatti mantenere nel corso dell'estate consentendo così un guadagno di massa, mentre se all'inizio della stagione di ablazione la neve invernale è praticamente assente risulta possibile solamente ridurre la perdita di massa indotta dalla fusione del ghiaccio, senza tuttavia ottenere alcun guadagno di massa.

## RIASSUNTO E CONCLUSIONI

Il rivestimento con teli delle zone neuralgiche all'interno dei comprensori sciistici su ghiacciaio è in grado di ridurre in media la fusione di 2/3. Se nel corso dell'inverno si hanno abbondanti precipitazioni nevose e si attua l'intervento, è possibile anche ottenere un guadagno di massa, mantenendo così non solo costante il livello della superficie, ma anzi innalzandolo. Tale metodo può quindi consentire una notevole riduzione dell'impegno manutentivo per le infrastrutture dei comprensori sciistici su ghiacciaio, contribuendo al tempo stesso a una gestione sostenibile, dal momento che gli interventi di sistemazione possono venire effettuati in tempi più lunghi o addirittura evitati.

Le coperture dei ghiacciai saranno sempre limitate a piccoli settori parziali e non influiscono né sul bilancio di massa né sul sistema idrologico dell'apparato glaciale. Le conseguenze del cambiamento climatico non possono venire fermate ma solamente rallentate.

## Bibliografia

- Fischer, A., 2005, Wenn die Ferner in die Ferne rücken. In: Sicherheit im Bergland 2005, Jahrbuch des Österr. Kuratoriums für alpine Sicherheit.
- Fischer, A., M. Olefs und J. Lang, 2005, Ein Sonnenhut für Alpengletscher, Berliner Naturschutzblätter, IV., 60-61.
- Groß, G. 1987: Der Flächenverlust der Gletscher in Österreich 1850-1920-1969. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 23(2), 131-141.
- Joerin, U. E., K. Nicolussi, A. Fischer, T. F. Stocker und C. Schlüchter, "Holocene optimum events inferred from subglacial sediments at Tschierwa Glacier, Eastern Swiss Alps", Quaternary Science Reviews, in press, 2008
- Kuhn, M., E. Dreiseitl, S. Hofinger, G. Markl, N. Span, and G. Kaser, 1999,
- Measurements and Models of the Mass Balance of Hintereisferner.
- Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography 81 (4), 659-670.
- Olefs, M., 2005, Simulation of artificial control of snow and ice ablation, Diplomarbeit an der Universität Innsbruck.
- Lambrecht, A. und M. Kuhn, 2007, Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory. Annals of Glaciology, 46, 177-184.
- Markl, G., 1975, Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1968/1969 - 1974/75. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 11(2), 271 - 272.
- Markl, G., 1979, Neue Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1975/76 - 1977/78, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 15(1), 95 - 99.
- Markl, G., 1982, Hintereisferner - Kesselwandferner: Neue Haushaltswerte von den Jahren 1977/78 - 1980/81, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 18, 161-167.
- Nicolussi K. und G. Patzelt, 1996, Reconstructing glacier history in Tyrol by means of tree-ring investigations. - Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 32, 207 - 215.
- Olefs, M. and A. Fischer, 2007, Comparative study of technical measures to reduce snow and ice ablation in Alpine glacier ski resorts, Cold regions science and technology
- Patzelt, G, 1980, The Austrian Glacier inventory: Status and first results. IAHS Publ. 126, 181-183.

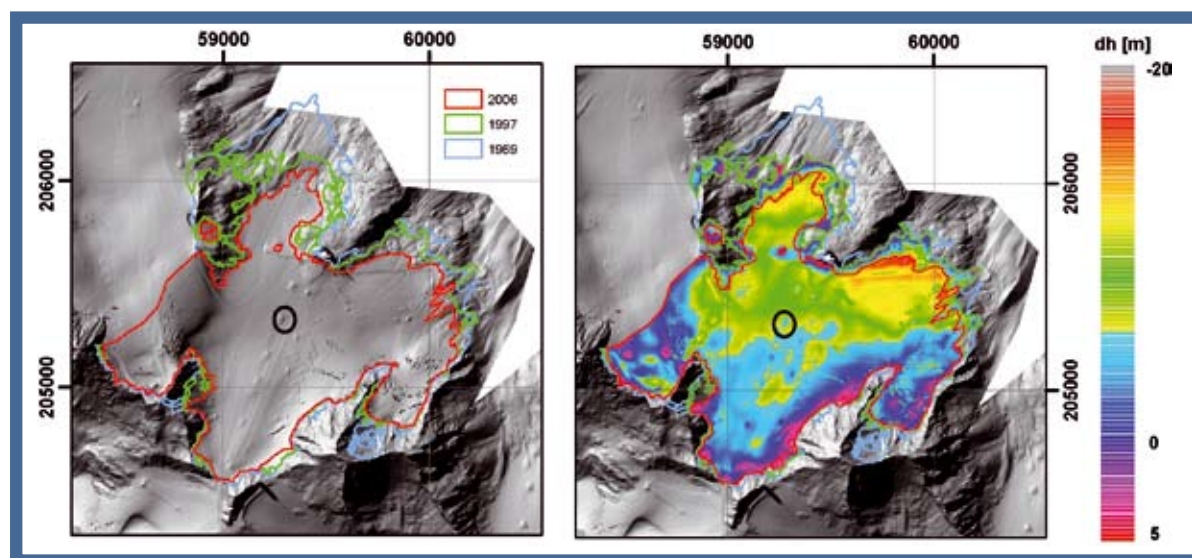


Fig. 6 - Modello altimetrico a colori del Schaufelferner (Ghiacciaio di Stubai) dell'autunno 2006 con i margini del ghiacciaio nel 1969, nel 1997 e nel 2006; a destra con la sovrapposizione delle modifiche altimetriche tra il 1997 e il 2006. Il cerchietto nero indica il rivestimento di copertura attorno a un pilone dell'impianto di risalita.