



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI AGRARIA

Corso di laurea in
*Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio
Montano*

INTERVENTI DI MITIGAZIONE DELLA FUSIONE GLACIALE: IL CASO DEL GHIACCIAIO PRESENA

Elaborato finale di:

DONATI MARZIA

matricola 689442

Relatore:

prof. Giuseppe Carlo Lozzia

Correlatori:

prof. Claudio Smiraglia

dott.ssa Antonella Senese

dott. Alberto Trenti

Anno accademico 2010-2011

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1. I ghiacciai alpini.....	3
1.1.1 Le Alpi.....	3
1.1.2 L'ambiente montano ieri e oggi.....	4
1.1.3 I ghiacciai.....	9
1.1.4 I ghiacciai alpini italiani.....	16
1.1.5 I ghiacciai alpini trentini.....	18
1.2 Ghiacciai utilizzati per lo sci estivo sulle Alpi.....	20
2. IL GHIACCIAIO PRESENA	29
2.1 Inquadramento geografico.....	29
2.2 Evoluzione recente del ghiacciaio e sue trasformazioni.....	36
2.3 Storia dell'utilizzo sciistico e turistico.....	40
3. IL PROBLEMA DELLA MITIGAZIONE DELLA FUSIONE	44
3.1 Tecniche usate in Austria.....	44
3.2 Tecniche usate in Italia.....	50
4. TECNICHE UTILIZZATE SUL PRESENA E LORO RISULTATI ...	55
4.1 Utilizzo della copertura geotessile.....	55
4.2 Risultati.....	67
5. INTERVISTE CON I RESPONSABILI DEL PROGETTO	68
6. CONCLUSIONI	71
BIBLIOGRAFIA	73

1. INTRODUZIONE

1.1 I GHIACCIAI ALPINI

1.1.1 Le Alpi

I romani denominavano le Alpi *Alpes Montes*, anche se l'origine di questo termine è sicuramente pre-romana. Molto probabilmente esso è derivato da una radice mediterranea, *alp*, con significato di pietra, roccia. Altre più recenti interpretazioni propendono per un'origine centro-asiatica del termine, con riferimento a un luogo elevato, mentre non appare più sostenibile l'altra ipotesi che voleva far derivare il nome di Alpi dall'aggettivo latino *albus* cioè bianco, in relazione alla prevalente copertura nevosa delle zone sommitali (Laureti, 2002).

Le Alpi sono da considerare, più che una linea di confine o spartizione, un territorio vasto, infatti la sua superficie complessiva è di oltre 200'000 km², al punto da ospitare intere popolazioni, poiché oggi in tutta l'area alpina vivono oltre 16 milioni di persone, e anche interi stati che proprio in questo caratteristico ambiente montano hanno trovato le ragioni della propria esistenza (Tab. 1.1).

Dimensioni	200'000 km ² circa
Lunghezza	1'200 km circa
Larghezza	da 150 km circa a 250 km circa
Massima culminazione	4'807 m s.l.m. (Monte Bianco)
Limiti	NORD: il Giura franco-svizzero e l'altopiano bavarese SUD: la Pianura Padano-Veneta e il Mar Ligure OVEST: la Valle del Rodano EST: i bacini danubiani
Popolazione	16'500'000 di abitanti
Densità	80 ab./km ² circa

Tabella 1.1: Carta d'identità delle Alpi (Laureti, 2002).

Nella prima metà del Novecento il Comitato Geografico Nazionale aveva proposto su incarico del IX Congresso Geografico Italiano (Genova 1924), una delimitazione dei vari gruppi montuosi del sistema alpino, ben calibrata in rapporto alle condizioni geopolitiche del tempo e in accordo con il concetto delle Alpi intese come confine naturale del territorio italiano.

È evidente, comunque, che la questione di partizione di un sistema montuoso come quello alpino, così largamente umanizzato, può essere affrontata sotto diversi punti di vista, non solo fisiche (geologiche, morfologiche, biologiche), ma anche umane, nonché storiche e culturali (Laureti, 2002).

1.1.2 L'ambiente montano ieri e oggi

Il paesaggio morfologico di una regione (l'insieme cioè delle forme del rilievo in quanto elementi del paesaggio) è il risultato momentaneo dell'interazione di numerosi fattori che si possono suddividere in tre gruppi:

- i fattori geologici, che comprendono essenzialmente il tipo di rocce da cui è costituito il rilievo e i loro fattori tettonici;
- i fattori geomorfologici, che raggruppano tutti gli agenti morfodinamici in grado, cioè, di modellare e scolpire il rilievo, come le acque correnti e incanalate, i ghiacciai, il vento, la gravità;
- i fattori climatici, in quanto responsabili della genesi e delle caratteristiche degli agenti atmosferici, che sono fra i maggiori protagonisti nel modellamento del rilievo.

Riguardo quest'ultimi fattori, pur con i limiti dovuti all'ampia variabilità locale, si possono delineare i principali elementi che distinguono i climi montani, attraverso:

- altitudine: la temperatura dell'aria diminuisce linearmente in media di circa $-0,65^{\circ}\text{C}$ ogni 100 metri di quota (*moist adiabatic lapse rate* o MALR), la pressione atmosferica diminuisce con la quota in maniera esponenziale, la velocità del vento in genere aumenta poiché è sempre meno influenzato dall'attrito con l'orografia, così come la

trasparenza dell'aria che lascia passare una più intensa radiazione solare;

- esposizione: i molteplici orientamenti dei versanti creano nette differenze nella quantità di radiazione solare, e quindi di energia, ricevuta per unità di superficie (i.e. versanti a solatio o a bacio);
- latitudine: questo parametro influenza l'inclinazione del sole sull'orizzonte e di conseguenza il ciclo stagionale;
- quantità di precipitazioni che cade su una catena montuosa: dipende dalla distanza rispetto al mare e dalla posizione dello spartiacque nei confronti dei venti umidi prevalenti;
- collocazione di un massiccio: (Fig. 1.1) una montagna isolata, a parità di condizioni geografiche, ha un clima assai diverso rispetto a un'imponente catena montuosa o un altipiano interno. Ciò è dovuto all'effetto di sbarramento sulle perturbazioni atmosferiche apportatrici di umidità.



Fig 1.1: esempio di collocazione di un massiccio: Cima Salimmo 3130 m e sulla destra Bocchetta di Valbione 2813 sovrastano Pontedilegno nascondendo dietro di sé La Calotta 3225 m e la vedretta del Pisgana e del Venerocolo (foto M. Donati, 2010).

L'ambiente d'alta montagna è profondamente influenzato dalla presenza attuale o passata delle masse glaciali, nell'alternarsi di glaciazioni e periodi interglaciali, figurando quindi tra gli indicatori più sensibili del cambiamento del clima.

Ghiacciai e clima formano un binomio strettamente connesso, infatti tra il sistema climatico e la criosfera intercorrono rapporti attivi nei due sensi: il sistema climatico determina le dimensioni ed i caratteri della criosfera, e la criosfera è una delle componenti che concorrono a determinare il clima terrestre e le sue variazioni. Vi è tuttavia un'altra connessione: nei ghiacciai montani non soggetti a fenomeni di fusione, la neve che si deposita anno dopo anno, conserva molti degli originali segnali chimici e fisici acquisiti dalle condizioni e dai caratteri della massa d'aria in cui si è cristallizzata e dell'ambiente in cui si è deposta e trasformata in nevato. La trasformazione della neve in nevato e in ghiaccio avviene molto lentamente, senza fusione, con riduzione dei pori e aumento delle dimensioni dei cristalli, e costituisce un meccanismo naturale di sequestro di campioni d'aria sotto forma di bolle gassose occluse. In altre parole i ghiacciai polari conservano diretta memoria delle condizioni atmosferiche, climatiche e ambientali del passato. Nei ghiacciai di montagna invece, per l'elevato accumulo annuo e i ridotti spessori, si possono analizzare soltanto gli ultimi decenni o secoli (Orombelli, 2007).

Gli studi finora compiuti permettono di tracciare un quadro abbastanza completo dell'evoluzione climatica a partire dalla fine dell'ultimo massimo glaciale fino ai giorni nostri (l'attuale interglaciale definito Olocene).

Con la perforazione dei ghiacciai dell'Antartide e della Groenlandia infatti è stata ricostruita la storia del clima negli ultimi 800 mila anni. In questo intervallo di tempo la temperatura della Terra è ciclicamente variata (ogni ciclo della durata media di 100 mila anni circa), per cause iniziali astronomiche, oscillando tra condizioni di lunghi periodi più freddi (periodi glaciali) e in più brevi periodi caldi (periodi interglaciali). Intorno a 420 mila anni fa si è prodotto un improvviso aumento dell'ampiezza dei cicli: gli ultimi 5 interglaciali sono stati più caldi dei precedenti. Ad ogni variazione della

temperatura si è accompagnata una variazione, nello stesso senso, della concentrazione dei gas che producono l'effetto serra, che hanno quindi svolto un ruolo di amplificazione nei cambiamenti climatici (Orombelli, 2007). Quello che più interessa è l'ultima Era glaciale verificatasi nel Quaternario, con probabile inizio circa un milione di anni fa. Infatti l'effetto del glacialismo sulla conformazione dei paesaggi attuali è legato in particolar modo agli ultimi due milioni d'anni di storia della Terra. Per gli ultimi 600'000 anni del Quaternario, classicamente si distinguono quattro periodi glaciali, denominati dal più antico al più recente Günz, Mindel, Riss e Würm con tre interglaciali presenti tra i quattro glaciali.

La fine dell'ultima Era glaciale (denominata Würm, iniziata 75'000 anni fa) è stata caratterizzata da intervalli più o meno irregolari con un incremento della temperatura di circa 6°C. Le grandi lingue dei ghiacciai alpini, di conseguenza, abbandonarono gli sbocchi delle valli di pianura.

Circa 11'000 anni BP sulle Alpi vi fu un temporaneo ritorno a condizioni fredde durato poco più di un millennio. I cambiamenti tra la fase calda e quella fredda furono rapidissimi ed il riscaldamento della Terra riprese e verso 7'000-5'000 anni BP i ghiacciai erano più ridotti di oggi. È l'*optimum* climatico del medio Olocene, detto Atlantico.

Circa 5 millenni fa terminò la fase calda e il clima tornò a essere simile a quello attuale. Nei millenni successivi il clima continuò a oscillare tra fasi calde e fredde entro valori dell'ordine di un paio di gradi.

Verso il 1300 d.C. compaiono i primi segni di raffreddamento e di avanzata glaciale che dopo il 1500 d.C. porteranno all'instaurarsi della Piccola Età Glaciale, il cambiamento climatico in epoca storica meglio conosciuto e documentato. La temperatura diminuì di circa 1,5°C, gli inverni si fecero lunghi e rigidi, le estati fresche e piovose, i ghiacciai avanzarono fino a invadere i pascoli e a lambire i villaggi.

Attorno al 1850 d.C. la Piccola Età Glaciale termina bruscamente e il clima va riscaldandosi sempre più, i ghiacciai si ritirano ovunque. La tendenza al ritorno a condizioni miti dell'ultimo secolo ha dunque una componente di origine naturale fino al 1950, mentre riguardo all'aumento termico dei

decenni più recenti è responsabile con ogni probabilità anche l'uomo (Mercalli, 2002).

L'importanza dei ghiacciai fu compresa nella seconda metà dell'Ottocento, quando si svilupparono in Svizzera e in Francia i primi studi glaciologici e le prime campagne di misura delle variazioni frontali dei ghiacciai. La glaciologia è una scienza relativamente giovane; ancora all'inizio del XVIII secolo praticamente nessun naturalista si dedicava allo studio dei ghiacciai ed era del tutto sconosciuta la loro capacità di modellamento del paesaggio. Furono gli svizzeri Venetz, De Charpentier e soprattutto Agassiz a gettare le basi dell'interesse scientifico per le masse glaciali e ad iniziare le misure sistematiche sulle loro variazioni. In Italia, mentre questo tipo di tematiche si diffondeva anche ad opera di studiosi e abili divulgatori (basti citare Antonio Stoppani), venne fondata nel 1895 su proposta di F. Porro e G. Marinelli la Commissione Glaciologica nell'ambito del Club Alpino Italiano. Iniziarono in quell'anno i rilievi sistematici alle fronti di numerosi ghiacciai del Monte Bianco, del Bernina, del Disgrazia. Nel 1913 la commissione si trasformò per iniziativa del Club Alpino Italiano e della Società Italiana per il Progresso delle Scienze nell'attuale Comitato Glaciologico Italiano, i cui compiti, come scriveva il suo primo presidente il prof. C. Somigliana, dovevano essere:

"rilevare topograficamente le zone glaciali, misurare le precipitazioni atmosferiche, valutare le portate degli emissari, coordinare questi dati di fatto fra loro e col maggior numero di elementi climatologici conoscibili, senza trascurare d'altra parte quegli elementi descrittivi che possono completare i risultati delle misure ed anche giovare alla loro interpretazione" (<http://users.unimi/glaciol>).

Da allora si occupa di coordinare e promuovere le annuali campagne di monitoraggio alle fronti dei principali ghiacciai alpini, importanti per cogliere le diverse fasi che hanno caratterizzato la storia glaciale (e conseguentemente climatica) dell'ultimo secolo. È una prova dello stretto legame esistente tra modificazioni del clima e variazioni glaciali e di come lo studio di queste ultime possa rivelarsi importante per la comprensione della dinamica climatica passata e attuale (Diolaiuti, 2002).

I ghiacciai coprono oggi circa un decimo delle terre emerse. Il volume delle acque presenti sul pianeta è stimato pari circa 1'386 milioni di km³. La distribuzione dell'acqua sulla Terra interessa sei "serbatoi" principali costituiti dagli oceani, dai bacini superficiali e sotterranei, dal suolo, dai ghiacciai e dall'atmosfera. L'acqua continentale allo stato solido (ghiacciai e permafrost) non è immediatamente disponibile e ha tempi di residenza assai lunghi.

1.1.3 I ghiacciai

I ghiacciai sono estese masse di ghiaccio, il quale si deve essere accumulato naturalmente e formatosi sulla terraferma per metamorfismo della neve precipitata, sono dotati di movimento (per azione della gravità) e sono in equilibrio dinamico con il clima locale e globale (rispondono alle variazioni del clima espandendosi e ritirandosi, e a loro volta condizionano il clima perché riflettono la maggior parte della radiazione in arrivo). La formazione dei ghiacciai avviene a una quota superiore al cosiddetto "limite delle nevi perenni", cioè a una quota al di sopra della quale non tutta la neve caduta nel periodo invernale fonde e quella che rimane può così accumularsi in luoghi topograficamente favorevoli e iniziare la serie di processi di trasformazioni (genericamente detti metamorfismo) che provocano nei cristalli una variazione della loro forma (all'inizio i cristalli della neve sono tipicamente raggianti ed esagonali), un aumento delle loro dimensioni e la riduzione dei vuoti esistenti fra i cristalli stessi con l'espulsione dell'aria interstiziale; si produce in tal modo un materiale (il ghiaccio) che presenta caratteristiche cristallografiche e fisiche molto diverse rispetto al materiale iniziale (la neve) (Fig. 1.2). I processi del metamorfismo e i loro tempi dipendono essenzialmente dalla temperatura dell'aria. Con temperature al di sopra di 0°C si attuano processi di fusione sui singoli cristalli di neve, che pertanto vengono avvolti da una sottile pellicola di acqua e arrotondati (la fusione è infatti più intensa sulle loro estremità). Si formano così dei grani con diametri millimetrici che, anche a causa della pressione della neve sovrastante, tendono a compattarsi. Il successivo rigelo ricristallizza l'acqua di fusione,

provocando un'ulteriore riduzione dell'aria presente nei pori e un aumento della dimensione dei grani. Quando la temperatura dell'aria è inferiore a 0°C, il metamorfismo della neve si attua essenzialmente attraverso sublimazione. Nei cristalli si verifica la sublimazione degli apici delle tipiche strutture a stella, con trasferimento di vapore e sua condensazione nelle zone concave dei singoli cristalli. Il rigelo determina la formazione dei piccoli grani sferici, la cui forma contribuisce anche in questo caso alla compattazione. Il risultato di queste trasformazioni è il nevato o firn, una massa abbastanza compatta di cristalli arrotondati. Il firn è distinguibile per le sue caratteristiche fisiche; in particolare la forma e le dimensioni dei granuli (globulari e millimetrici), la porosità (inferiore al 40%) e, soprattutto, la densità (compresa fra 400 e 800 kg m⁻³).

La trasformazione del firn in ghiaccio vero e proprio si verifica quando i vuoti fra i singoli grani vengono sigillati e l'aria è presente solo in forma di bolle all'interno dei cristalli.

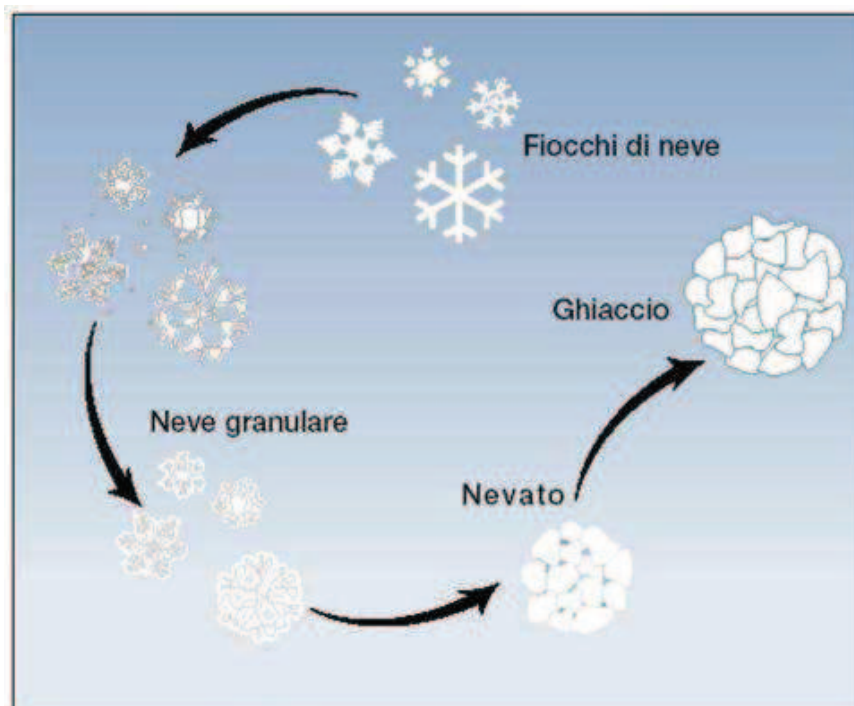


Fig. 1.2: La neve diventa ghiaccio per compressione ed aggregazione, seguendo un percorso che si evolve dal fiocco di neve (densità = 100 kg m⁻³), alla neve granulare, al nevato ed al ghiaccio (densità = 917 kg m⁻³) (Mc Knight).

La quota alla quale è ubicato il limite delle nevi varia sulla superficie terrestre in funzione della radiazione solare e delle precipitazioni. Sulle Alpi tale limite oscilla tra i 2500 e i 3200 metri (Fig. 1.3).

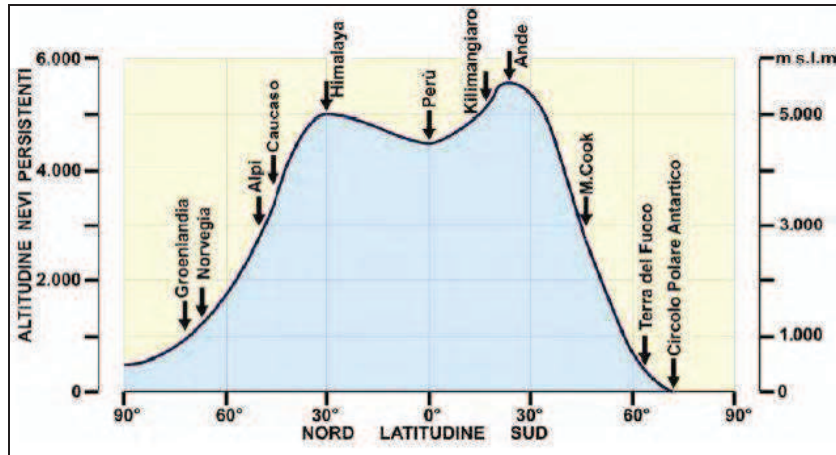


Fig. 1.3: Limiti climatici delle nevi persistenti alle diverse latitudini (Perosino, 2007).

Nei ghiacciai alpini il limite delle nevi permanenti coincide con la linea di equilibrio (*Equilibrium Line Altitude o ELA*), la linea teorica che separa la zona superiore del ghiacciaio (bacino di accumulo) dalla zona inferiore (lingua di ablazione), quest'ultima dove la neve e il ghiaccio fondono e quindi si ha prevalenza di perdite di massa del ghiacciaio (Fig. 1.4).

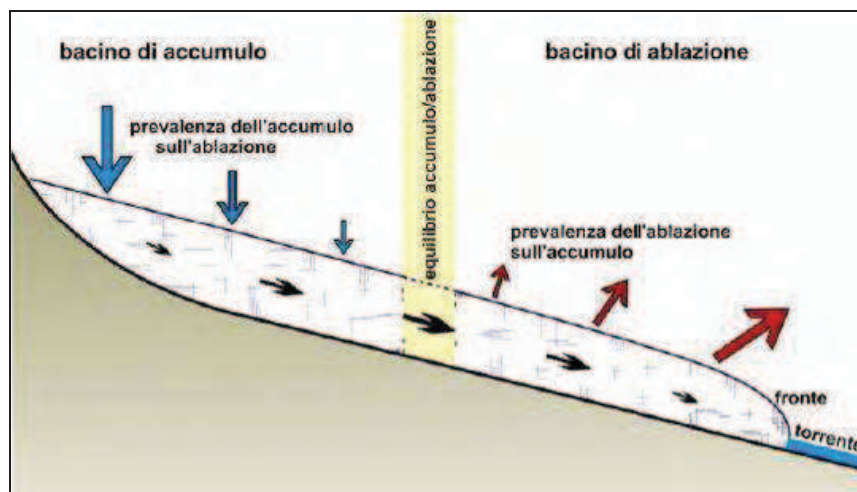


Fig. 1.4: Rappresentazione schematica delle due zone di un ghiacciaio montano: bacino di accumulo e di ablazione separati dalla linea di equilibrio (Perosino, 2007).

Il cambiamento di massa complessivo di un ghiacciaio, detto “bilancio di massa”, è dato annualmente dalla somma algebrica di perdite e di guadagni alla fine di ogni anno idrologico (esteso temporalmente da ottobre a settembre dell’anno successivo).

I ghiacciai sono dotati di movimento e quindi la quota della fronte può anche essere molto al di sotto del limite delle nevi: per esempio il Ghiacciaio dei Forni ha la fronte che termina a 2600 metri di quota, ma la quota della linea di equilibrio si pone a più di 3000 metri.

Un particolare tipo di ghiacciaio è rappresentato dai *debris covered glaciers* o ghiacciai neri, che sono ricoperti per buona parte della loro estensione (escluso il bacino di accumulo) da detriti provenienti dai versanti limitrofi, un esempio è il Ghiacciaio del Miage, Valle d’Aosta (Fig. 1.5). Questa coltre di ricoprimento protegge il ghiaccio di ghiacciaio dalla fusione, preservandolo e permettendogli di resistere e persistere anche ad altitudini limitate dove altrimenti scomparirebbe. Essendo un cattivo conduttore di calore, la radiazione solare assorbita dalla superficie scura del detrito (nel caso lo spessore sia maggiore del limite critico, circa 6 cm) non viene trasmessa agli strati sottostanti che quindi vengono isolati. Il detrito che ricopre un ghiacciaio nero è caratterizzato dal fatto di essere in continuo movimento, rimescolato dai movimenti del ghiacciaio, in posizione ed equilibrio precari. Pertanto la fronte di tali apparati è caratterizzata da movimento del detrito, crolli, cadute di blocchi rocciosi che ne rendono pericoloso l’avvicinamento. La causa principale della copertura detritica superficiale è da attribuirsi al “crioclastismo”, la fratturazione della roccia a causa del gelo e disgelo. Questo fenomeno si verifica quando l’acqua penetra nelle fessure di una roccia allo stato liquido e gelando le allarga (poiché il ghiaccio ha volume maggiore dell’acqua); la ripetizione di più cicli di questo genere porta alla rottura delle rocce e alla conseguente caduta dei frammenti sulla superficie glaciale.

Bisogna però precisare che il fenomeno si è accentuato negli ultimi anni di fase climatica di riscaldamento e contrazione glaciale che ha lasciato i

versanti rocciosi, un tempo ricoperti dalla neve o dal ghiaccio, abbondantemente esposti e quindi sottoposti all'azione del crioclastismo.



Fig. 1.5: Fronte del Ghiacciaio del Miage, un esempio italiano di *debris covered glacier* (foto di G. Diolaiuti).

I ghiacciai con il loro movimento influenzano profondamente il paesaggio. Si possono osservare sia forme di accumulo dei materiali trasportati dal ghiacciaio quali le morene, sia forme di erosione a tutte le scale, dalle strie glaciali sulle superfici rocciose un tempo ricoperte dal ghiacciaio (indicano in quale direzione questo si muovesse), ai solchi vallivi modellati secondo la tipica sezione a "U" (Fig. 1.6) (<http://users.unimi/glaciol>).



Fig 1.6: il Passo Tonale con la sua caratteristica conformazione valliva a U
(foto M. Donati, 2010).

La glaciologia classica e in senso stretto si può definire come "lo studio di tutte le forme che assume il ghiaccio in natura, della sua origine e della sua azione sul rilievo; comprende dunque anche lo studio della neve e delle altre precipitazioni solide, del ghiaccio marino e di lago, del ghiaccio di fiume e del suolo, e naturalmente del ghiaccio presente sugli altri pianeti (come Marte, ad esempio!)" (Smiraglia, 1992).

Oltre alla glaciologia applicata, oggi questo settore scientifico presenta tre grandi diversi ambiti metodologici e contenutistici: la raccolta dei dati sperimentali con rilievi e osservazioni dirette sui ghiacciai; lo studio in laboratorio dei caratteri fisici e chimici del ghiaccio; l'elaborazione e lo sviluppo di modelli sugli aspetti dinamici delle colate glaciali e sulle loro tendenze.

La glaciologia contemporanea si inserisce quindi nell'ambito dei grandi settori di ricerca di tipo ambientale e si colloca in un contesto tipicamente

interdisciplinare: integra infatti i propri metodi e risultati con quelli di numerose altre discipline quali la geomorfologia, la geologia glaciale, la geofisica, l'oceanografia, la climatologia, la meteorologia, l'archeologia, la biologia, la botanica, l'economia, senza contare le scienze più applicative. I ghiacciai nel mondo coprono attualmente circa 15 milioni di km² delle terre emerse. La valutazione più attendibile è quella del Catasto Internazionale dei Ghiacciai, pubblicato nel 1989 dal *World Glacier Monitoring Service* di Zurigo. Una sintesi è presentata nella tabella seguente (Tab. 1.2) (Smiraglia, 1992):

	km ²
Europa	53967
Alpi	2909
Scandinavia (con Jan Mayen)	3174
Svalbard	36612
Islanda	11260
Pirenei e montagne mediterranee	12
Asia	185211
ex-URSS	77223
Turchia - Iran - Afghanistan	4000
Pakistan - India	40000
Nepal - Bhutan	7500
Cina	56481
Indonesia	7
Groenlandia	1726400
America Settentrionale	276100
USA (compresa Alaska)	75283
Canada	200000
Messico	11

Tab 1.2: Catasto Internazionale dei Ghiacciai, pubblicato nel 1989.

Nonostante la loro superficie complessiva sia molto ridotta (0,018% della superficie del ghiaccio totale), sono tuttavia le Alpi ad ospitare i ghiacciai per i quali si dispone delle informazioni più attendibili e di più lunga durata.

1.1.4 I ghiacciai alpini italiani

Sulle Alpi l'insieme di osservazioni e rilievi disponibili ha permesso la compilazione e pubblicazione tra 1959 e 1962 del Catasto dei Ghiacciai Italiani curato dal prof. Giuseppe Nangeroni e nel 1967 alla monumentale monografia del prof. Ardito Desio sui ghiacciai dell'Ortles-Cevedale, partecipando anche alla stesura del Catasto Internazionale dei Ghiacciai pubblicato nel 1989 (<http://users.unimi/glaciol>).

Sul versante italiano delle Alpi si distribuisce circa un quinto delle aree glaciali della catena, con una superficie di 600 km² e una concentrazione maggiore nel gruppo dell'Ortles-Cevedale (quasi 100 km²), seguito dall'Adamello-Presanella e dal Monte Bianco (<http://users.unimi/glaciol>).

Si tratta per la maggior parte di ghiacciai di piccole dimensioni, privi di vera e propria lingua, raccolti nel fondo di circhi, nicchie, canaloni, alimentati soprattutto da valanghe. Di numero ridotto, ma molto più vasti sono i ghiacciai dotati di una lingua alimentata da uno o più circhi di accumulo. Il più vasto di questo tipo (ghiacciaio vallivo) è quello dei Forni nel gruppo dell'Ortles-Cevedale, che si estende per 12 km² ed è formato da tre bacini collettori da cui scendono altrettante colate che si uniscono in un'unica lingua (<http://users.unimi/glaciol>). Un'altra tipologia insolita è quella del complesso glaciale dell'Adamello, la cui struttura ricorda i più vasti ghiacciai scandinavi di altopiano; da una zona centrale quasi pianeggiante (il Pian di Neve) si dipartono a raggiera numerose lingue glaciali, come quella del Mandrone, formando una superficie complessiva di 18 km² e costituendo il più vasto ghiacciaio italiano.

Se si fa riferimento al catasto dei ghiacciai italiani compilato negli anni 1959-1961, gli apparati censiti sono 838 dei quali 745 inventariati come ghiacciai veri e propri e 93 come glacionevati; la superficie glacializzata complessiva era pari a 525 km². Nel catasto dei ghiacciai italiani del 1989 le unità glaciali rilevate sono 807, cioè 29 in meno rispetto al precedente catasto, di queste 706 identificate come ghiacciai e 101 come glacionevati; la superficie

glacializzata complessiva è pari a 482 km² con una diminuzione di 43 km² (8,1%) in poco più di trent'anni (Diolaiuti, 2002).

Non vi è disponibilità di dati complessivi sui ghiacciai italiani più recenti del 1989. Per questo ci si può riferire a catasti regionali, come quello della Lombardia, un'importante area glacializzata che può essere considerata ben rappresentativa dell'intero glacialismo italiano. Per questa zona sono disponibili due serie di dati delle superfici glaciali risalenti al 1992 del Servizio Glaciologico Lombardo e al 1999.

Nel 1999 i ghiacciai lombardi coprivano una superficie di 104 km² ± 0,3 %; la perdita areale totale rispetto al 1992 assomma a 13 km² ± 3,3%.

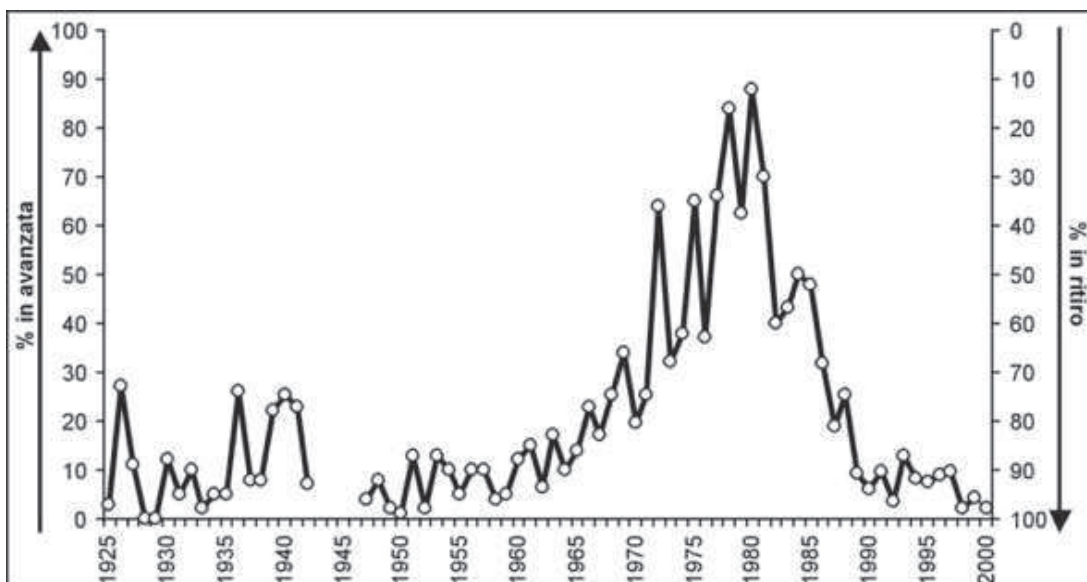
La maggior parte dei ghiacciai lombardi (e italiani) appartiene alle classi dimensionali più piccole. In Lombardia nel 1992, 227 ghiacciai (circa il 90% del totale) erano più piccoli di 1 km² coprendo complessivamente una superficie di 34,6 km² (meno del 30% del totale). Inoltre nel 1999 si è verificato un incremento degli apparati appartenenti alle classi dimensionali più piccole (154 rispetto ai 132 del 1992), sottolineando ulteriormente la forte tendenza alla degradazione.

Tutti i risultati delle analisi glaciologiche (come le variazioni frontali e le variazioni di superficie) concordano nel segnalare una forte riduzione glaciale che può essere interpretata come un reale impatto del cambiamento climatico (<http://users.unimi/glaciol>).

Si può concludere quindi dicendo che dalla seconda metà del XIX secolo è in atto una fase di accentuata contrazione, che ha portato i ghiacciai italiani a perdere oltre il 40% della loro superficie. Il limite delle nevi si è innalzato di oltre 100 m. Molti piccoli ghiacciai sono scomparsi, mentre tantissimi si sono frazionati in individui minori, arretrando le loro fronti anche di oltre 2 km. Molti ghiacciai residui sono arrivati sotto il limite delle nevi.

Il ritiro dei ghiacciai non è stato però lineare nel tempo (Tab. 1.3). Dopo una fase di arretramento generalizzato negli anni '50 e '60 del secolo scorso, durante i successivi anni '70 si è osservato un recupero dell'estensione dei ghiacciai alpini altrettanto generalizzata. Poi con gli anni '80 è iniziata una

nuova fase di ritiro che, nel volgere di dieci anni, ha interessato e interessa oltre il 90% dei ghiacciai italiani.



Tab 1.3: Grafico che indica la tendenza all'arretramento dei ghiacciai italiani parallelo all'aumento della temperatura (Comitato Glaciologico Italiano, Maurizio Santilli).

1.1.5 I ghiacciai alpini trentini

Le attività glaciologiche in Trentino sono svolte in collaborazione tra l'Ufficio Previsioni e Organizzazione della Provincia Autonoma di Trento, il Comitato Glaciologico Trentino della SAT (Società Alpinisti Tridentini – Sezione del Club Alpino Italiano), il Museo Tridentino di Scienze Naturali e l'Università degli Studi di Trento, grazie ad un'apposita convenzione stipulata nel giugno del 2006.

Il Comitato Glaciologico della SAT, membro del Comitato Glaciologico Italiano, è nato ufficialmente nel 1990 con lo scopo di studiare e raccogliere dati sui ghiacciai che interessano il territorio trentino e confinante. Ha subito istituito un proprio catasto regionale assegnando ad ogni ghiacciaio trentino un proprio codice SAT (ad esempio al ghiacciaio di Presena è stato assegnato il numero 684.0) per poter meglio monitorare gli oltre 150 ghiacciai e glacionevati del Trentino.

Nel territorio della Provincia Autonoma di Trento sono presenti numerosi ghiacciai, raggruppati in Gruppi montuosi (Fig. 1.7) denominati e classificati dal Comitato Glaciologico Trentino della SAT come:

- ✓ Gruppo dell'Adamello (settore trentino), con superficie complessiva di 2'773,88 ha e 24 ghiacciai classificati;
- ✓ Gruppo della Presanella, superficie complessiva 1'050,96 ha e 25 ghiacciai classificati
- ✓ Gruppo dell'Ortles-Cevedale (settore trentino), superficie complessiva 1'767 ha e 18 ghiacciai;
- ✓ Gruppo di Brenta, superficie complessiva 204,47 ha e 16 ghiacciai classificati;
- ✓ Gruppo della Marmolada, superficie complessiva 259,36 ha e solo 4 ghiacciai;
- ✓ Gruppo delle Pale di S.Martino con una superficie complessiva di 71,84 ha e solamente 2 ghiacciai classificati al suo interno.

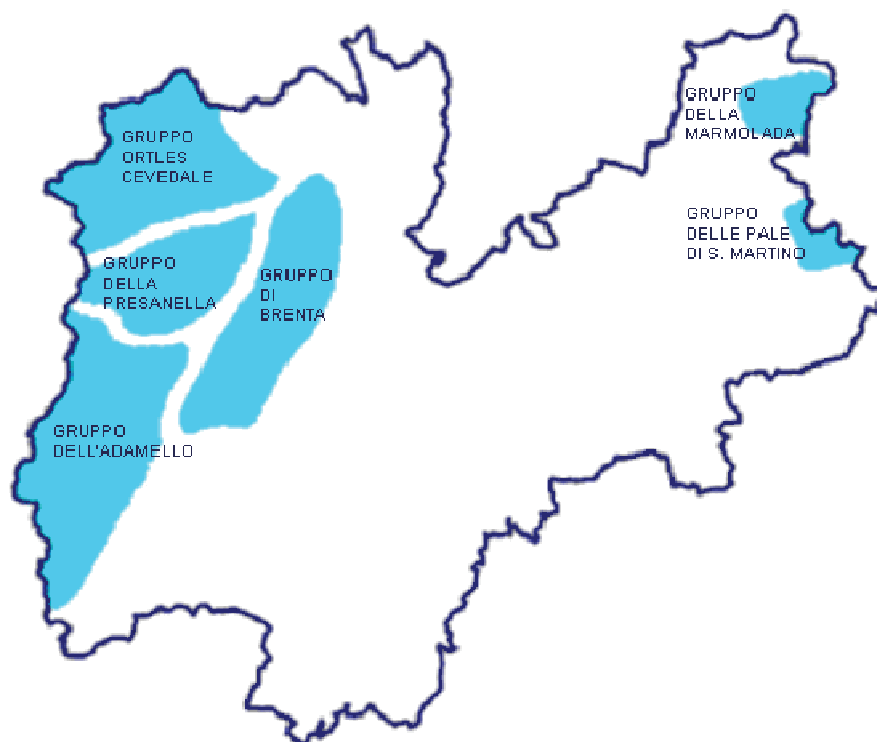


Fig. 1.7: Mappa dei principali ghiacciai del Trentino
(Comitato Glaciologico Trentino).

1.2 GHIACCIAI UTILIZZATI PER LO SCI ESTIVO SULLE ALPI

Nelle Alpi lo sviluppo turistico risale alla seconda metà dell'Ottocento, anche se le prime manifestazioni si hanno già alla fine del Settecento. I primi turisti sono attratti dal termalismo e dall'alpinismo, che eserciterà un'influenza determinante sullo sviluppo turistico. Le gesta degli scalatori, infatti, richiamano numerosi viaggiatori che restano affascinati dagli scenari di montagna e apprezzano la frescura che si gode d'estate in questi luoghi insoliti, ove la popolazione mantiene antiche usanze.

Tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento, alcune località alpine cominciano ad essere frequentate d'inverno per la pratica dello sci (Fig.1.2), allora per lo più di fondo, ma è solo a partire dagli anni Venti e Trenta che si costituiscono i primi impianti di risalita con funivie e sciovie che rendono le discese accessibili a un maggior numero di appassionati.

Dalla metà degli anni Sessanta, lo sci diventa uno sport relativamente popolare e contribuisce in maniera sempre più consistente a consolidare la riuscita turistica delle stazioni montane. Cominciano a sorgere nuove stazioni ad alta quota per la pratica dello sci e le presenze invernali acquistano una crescente importanza soprattutto dal punto di vista economico. Il turista-sciatore diventa sempre più esigente nella scelta della meta di una vacanza o di una semplice escursione giornaliera: cerca comprensori sempre più estesi, piste più ampie, impianti comodi e veloci per ridurre al minimo le code e l'opportunità di raggiungere sci-ai-piedi i diversi paesi (Bartaletti, 2002).



Fig 1.2 : Pista di sci a Pontedilegno, località Corno d’Aola 2000 m, sorvegliata da una chiesetta degli alpini (foto M.Donati, 2009)

Lo sci, quindi, è un’attività sportiva apparsa nelle Alpi solo alla fine dell’Ottocento e successivamente diffusasi tra le due guerre mondiali, fino a diventare nel secondo dopoguerra un fenomeno di massa. Infine negli ultimi due decenni del XX secolo il turismo si sviluppa parallelamente al progresso industriale e alla modernizzazione e si assiste, quindi, a un fiorire di pratiche sportive che sono il frutto di un rinnovato interesse e di un diverso approccio nei confronti della montagna (Lombardo,2002).

La diffusione dello sci come sport coincise con l’arrivo sul Continente dall’Inghilterra, di altre discipline sportive e di tutti quei comportamenti e stili di vita che furono definiti “sportivi”. L’uso degli sci, importati dalla Scandinavia, permise una nuova scoperta delle medie e anche delle alte vette. È tutta inglese invece l’invenzione dello sport invernale oggi di gran lunga più praticato: lo sci di discesa.

Negli anni Trenta lo sci nordico cedette definitivamente il passo allo sci alpino di impronta inglese come sport invernale più importante e praticato. Sotto la spinta del turismo furono introdotti nel tempo quei miglioramenti tecnici e organizzativi che richiamavano altri visitatori. A poco a poco il turismo invernale s'identificò con lo sci di discesa (Fig. 1.3).

Prima che diventasse uno sport, sciare significava esplorare, sfidare la natura, misurare le proprie capacità. L'uso degli sci ai fini della perlustrazione in pieno inverno diede un impulso notevole al turismo di montagna. Le stazioni turistiche avevano ora la speranza di animare per quasi tutto l'anno i propri centri e di dare più continuità agli affari.

Gli sci, anche se di forme e strutture diverse rispetto ai sofisticati attrezzi utilizzati oggi, appartenevano alla tradizione nordica, infatti le prime gare sportive moderne si svolsero in Norvegia intorno al 1880.

A fine secolo venne fondato il primo Sci Club Svizzero e comparvero i primi manuali di sci. La Svizzera, grazie alla sua configurazione orografica, fu un luogo privilegiato per la diffusione di questa nuova attività sulla neve. Negli anni successivi si diffuse anche in Austria, Germania e Francia.

In Italia nel 1901 nacque il primo sci club Italiano, lo Ski Club Torino, il cui atto di nascita fu pubblicato nella rivista del CAI, sostituito pochi anni più tardi dalla Federazione Italiana dello Sci (FIS), diventata in seguito nel 1924 la *Federazione Italiana Sport Invernali* (FISI), che attualmente gestisce la stragrande maggioranza delle discipline sciistiche.

Nel 1911 anche a Pontedilegno nasce il primo sci club, che riesce a sopravvivere perfino alle due guerre mondiali così da poter festeggiare nel 2011 il proprio centenario di nascita e storia.



Fig. 1.3: uno dei punti di sosta e ristoro sulle piste di sci a Pontedilegno (rifugio Corno d'Aola 2000 m) (foto M. Donati, 2009).

I comprensori sciistici estivi sono decisamente ridotti rispetto a quelli invernali, infatti la qualità della neve estiva può cambiare ogni ora, imponendo allo sciatore di adattarsi velocemente alla qualità del manto sulle piste e quindi ad ogni condizione e soprattutto la persistenza del manto nevoso può ridursi velocemente.

Questi centri sono sorti inizialmente prevalentemente per soddisfare le esigenze delle varie squadre nazionali che necessitano di poter sciare in tutti i mesi dell'anno, successivamente anche per la fruizione turistica. Lo sci estivo è anche uno dei sistemi migliori e più consigliati per allenarsi e per migliorare tecnicamente, infatti è da tenere presente il fattore quota, molto importante ai fini della preparazione.

Sulle Alpi le possibilità per praticare lo sci estivo non sono molte, anche perché su molti ghiacciai (austriaci e svizzeri) è stato scelto di allungare la stagione primaverile e riaprire in anticipo (settembre-ottobre) la stagione invernale.

I siti su cui è possibile sciare sono:

- ✓ Ghiacciaio di Presena, Passo del Tonale (2585-3000 m), piste 5 km.
- ✓ Passo dello Stelvio (2760-3450 m), piste 30 km, fondo 12 km.
- ✓ Ghiacciaio Matterhorn, Cervinia (2800-3480 m), piste 23 km.
- ✓ Ghiacciaio Grawand, Val Senales (2000-3200 m), piste 8 km, fondo 5 km.
- ✓ La Grande Motte, Tignes (2700-3456), piste 20 km, fondo 10 km.
- ✓ Les Deux Alpes (2900-3600 m), piste 38 km.
- ✓ Stubai Gletscher (2600-3330 m.), piste 14 km.

GHIACCIAIO DI PRESENA



Il Ghiacciaio Presena, importante meta invernale, è uno dei pochi ghiacciai del Trentino dove l'apertura è garantita fino a circa metà giugno, per poi anticipare la stagione invernale riuscendo ad aprire gli impianti già a inizio ottobre. Una cabinovia porta lo sciatore ai 2585 m di quota del passo

Paradiso, alle porte del ghiacciaio, che si dispiega dinanzi agli occhi fino ai 3069 m di Cima Presena. Nella parte più alta del ghiacciaio si trova un'ampia pista servita da skilift (chiamati "ancora" per la loro particolare forma) che permette di sciare anche durante la stagione primaverile più avanzata ed in grado di ospitare già in autunno le più importanti nazionali di sci per gli allenamenti di preparazione alla stagione invernale.

PASSO DELLO STELVIO

E' il più vasto comprensorio sciistico estivo delle Alpi italiane con un dislivello tra 2760 e 3450 m di altitudine. Il Passo dello Stelvio mette in comunicazione l'Alta Valtellina con l'Alto Adige. Qui si scia solo in estate, da fine maggio a novembre, mentre il passo rimane chiuso nella stagione invernale, a causa delle condizioni avverse del tempo e della strada impraticabile. Nel comprensorio sciistico dello Stelvio ci sono 30 km di piste, con una nuova funivia che dal Passo Stelvio sale al Trincerone, all'interno del Parco Nazionale dello Stelvio.

CERVINIA



Sui versanti italiano e svizzero del Ghiacciaio di Plateau Rosà, il comprensorio a 3480 metri di quota permette di praticare lo sci estivo con 23 km di piste. Gli impianti rimangono aperti da giugno fino a settembre. A Plateau Rosà vi è una funivia da 140 posti, tra le più grandi al mondo, e alla stazione di arrivo è anche allestito il "museo di montagna" più alto d'Europa. Anche sul ghiacciaio che scende verso Zermatt, sono aperti da luglio a fine agosto gli impianti per servire 30 km di piste circondati dalla catena montuosa del Cervino.

🇨🇭 VAL SENALES

Comprensorio sciistico nel cuore delle Alpi altoatesine a poca distanza da Merano e lontano dalle zone sciistiche più frequentate delle Dolomiti. La funivia Gletscherbahn collega la stazione di valle di Maso Corto ai 3200 m del Grawand da dove parte una pista di 8 km e 1200 metri di dislivello. Date le caratteristiche dei ghiacciai, è possibile sciare comodamente sui nevai perenni quando in paese è già estate.

🇫🇷 TIGNES (Francia)



Tignes è una località sciistica francese divisa in tre frazioni, Tignes Les Brévières a 1550 m, Tignes Les Boisses a 1850 m e Tignes 2100. Tutte e tre hanno accesso al comprensorio sciistico dell'Espace Killy che si estende su due massicci e tre valli, ad altitudini comprese tra 1550 e 3456 metri sulle alpi Savoiarde che con Val d'Isère, può contare su ben 300 km di piste collegate sci ai piedi. Il centro del comprensorio è la parte posta a quota più elevata, ovvero Tignes 2100.

Sul Ghiacciaio La Grande Motte, 3656 m, si scia anche d'estate. In alternanza con la tirolese Sölden, il Ghiacciaio della Grande Motte accoglie l'apertura della Coppa del Mondo di sci alpino a ottobre e per tutta l'estate (da giugno ad agosto) accoglie anche le squadre in allenamento. Quota massima cui si arriva: 3500 m, dislivello di 750 metri

🚩 **LES DEUX ALPES (Francia)**

Meglio conosciute come Les 2 Alpes si adagiano nell'Oisan, angolo francese a solo un'ora da Grenoble, creando una stazione turistica situata a 1600 metri di altitudine, con gli impianti di risalita che arrivano fino a 3600 m. Tra quota 2900 e 3600 m si trova il più grande ghiacciaio sciabile d'Europa, punto di riferimento per lo sci estivo, il massiccio della Meije ai confini del parco degli Écrins. L'apertura è garantita da giugno a settembre e si possono raggiungere le nevi eterne fino alla vetta del Ghiacciaio di Mantel (3200 m).

🚩 **GHIACCIAIO STUBAI (Austria)**



Il Ghiacciaio dello Stubai è il più esteso di tutta l'Austria e si trova a 50 chilometri dal passo del Brennero e a 38 chilometri da Innsbruck. In funivia si raggiunge il punto più alto del ghiacciaio, il "Top of Tyrol", posto a 3165 m di altitudine dove è possibile sciare sotto il sole estivo. Il Ghiacciaio Stubai, offre 110 km di piste tra un'altitudine di 1750 e 3210 m. Fino al 2002 le piste restavano aperte per tutto l'anno, mentre oggi rimangono aperte da ottobre a giugno.

Anche il Ghiacciaio dello Stubai fa parte del WildeWasserWeg, che offre un'ampia vista sui ghiacciai circostanti.

2. IL GHIACCIAIO PRESENA

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Ghiacciaio di Presena (o Presena Occidentale) fa parte delle Alpi Retiche, nel gruppo Adamello-Presanella ed è compreso nel bacino idrografico Vermigliana-Noce-Adige (Fig. 2.1). Il ghiacciaio, si trova alla testata della Val Presena, in un ampio circo delimitato da Cima Presena (3068 m) al centro, da Monticelli (2591 m) a sinistra e dal Castellaccio (3028 m) sulla destra. Il Presena occupa la parte centrale del regolare versante che da Capanna Presena sale verso il Passo del Maroccaro, dopo che la porzione più orientale del ghiacciaio si è estinta e la parte più occidentale, situata sotto il Corno di Lago Scuro, si è completamente staccata dal corpo principale.

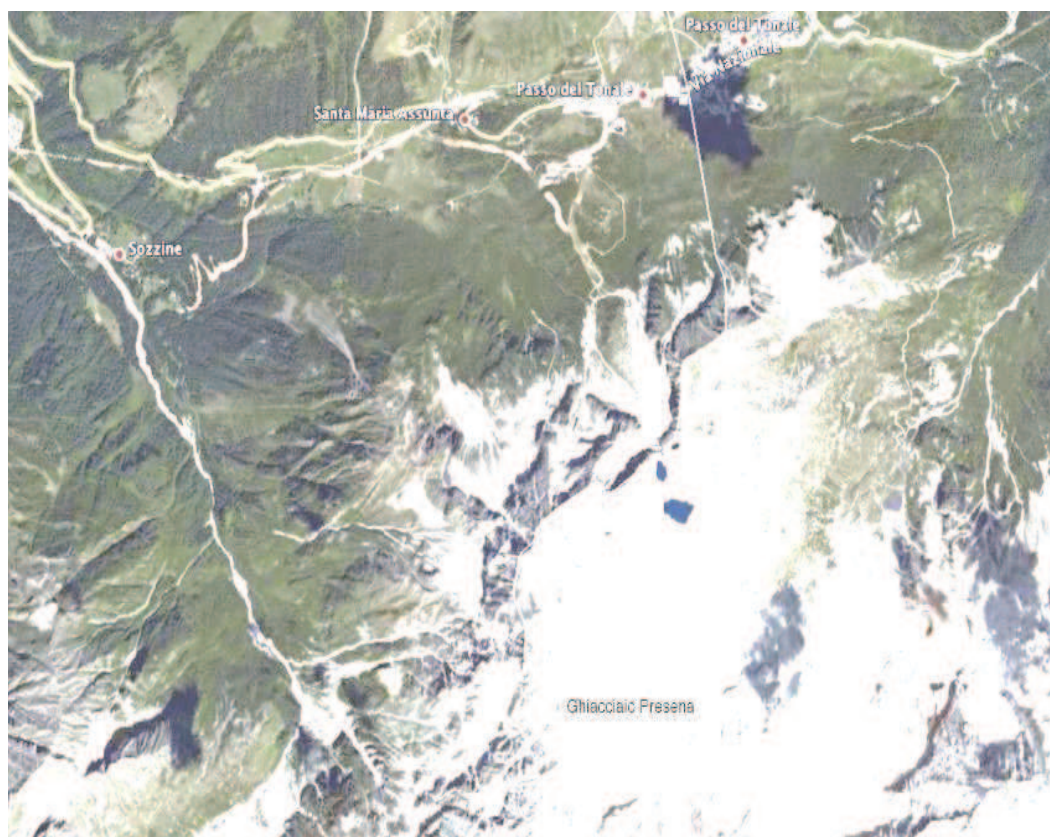


Fig. 2.1: Visione tridimensionale estratta da Google-Earth del Ghiacciaio di Presena (in primo piano) vista da Sud; nel settore superiore dell'immagine il Passo Tonale.

All'uscita dell'impianto funiviario a quota 2585 m, che collega il Passo Tonale al Passo Paradiso e quindi al ghiacciaio, si apre un panorama maestoso, l'ampia conca Presena con le piste per lo sci estivo nella parte alta e una serie di laghetti che appaiono tra gli sfasciamenti di roccia.

Più precisamente, da destra, si trovano la Punta del Castellaccio (3028 metri), il gendarme del Casamadre e l'omonima costiera (3015 metri), la Punta o Corno di Lago Scuro (3160 metri) con il suo spigolo che chiude il lato ovest del bacino glaciale. Lungo questo crinale si snoda la linea di demarcazione dell'antico confine tra Italia e Austria durante la Grande Guerra ed attualmente fra la provincia di Trento e quella di Brescia.

Nella parte più alta del ghiacciaio si prosegue, sempre da destra, con il Passo del Maroccaro (2975 m), l'anticima, il passo (2999 m) e la Cima Presena (3070 m), per terminare poi, chiudendo così il cerchio di cime che circondano il Ghiacciaio Presena, la Sgualdrina (2996 m) e il Cornicciolo di Presena (2917 m).

Il Ghiacciaio di Presena Occidentale è classificato con il numero 684 nel catasto redatto dal Comitato Glaciologico Italiano nel 1962 (relativo alle annate idrologiche 1957-1958) e lo stesso codice gli viene attribuito nel più recente Catasto Glaciologico SAT (Società Alpinisti Tridentini, redatto nel 1990), (Fig. 2.2); nel Catasto Internazionale WGI (*World Glacier Inventory* del 1981-1984) gli è invece attribuito il codice I-4L00102418.

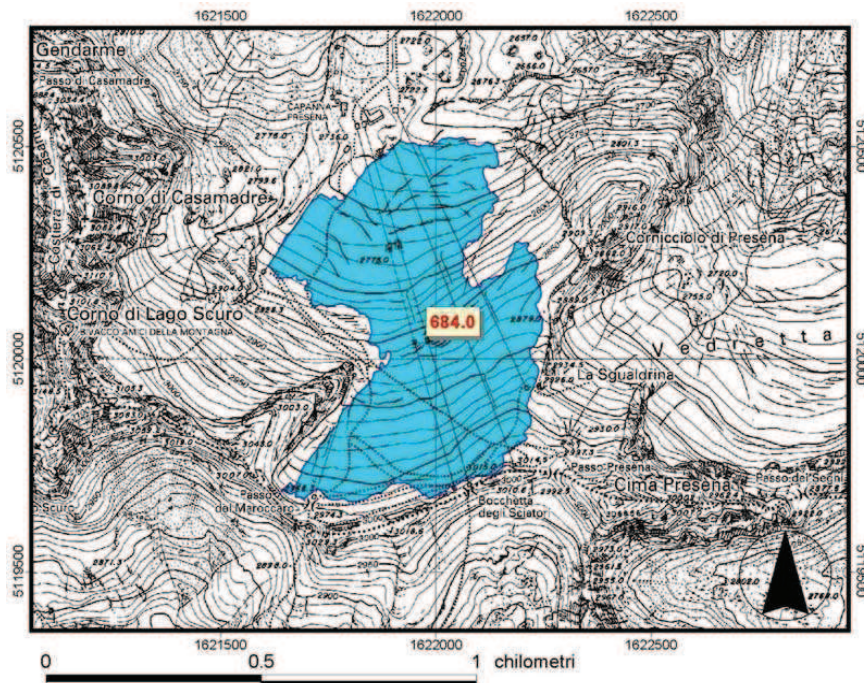


Foto 2.2: Ghiacciaio di Presena nel catasto regionale a cura della SAT.

La superficie del ghiacciaio è regolare e priva di crepacci. È alimentato soprattutto dalle precipitazioni nevose dirette, data l'assenza di grandi pareti rocciose a monte. Negli anni meno favorevoli, in effetti, il ghiacciaio si è trovato alla fine dell'estate completamente privo di innevamento residuo, nonostante la sua esposizione verso Nord.

Questo ghiacciaio è molto conosciuto in quanto su di esso si pratica lo sci con impianti di risalita che partono dal Passo del Tonale e raggiungono i 2736 m di Capanna Presena. Negli ultimi anni, caratterizzati da scarso innevamento invernale ed elevate temperature estive, lo sci è stato interrotto entro la fine del mese di giugno. Gli impianti di risalita permettono a chiunque di raggiungere e osservare questo ghiacciaio e le interessanti morfologie presenti nei dintorni, anche se l'ambiente è stato in parte modificato dall'intervento dell'uomo (Provincia autonoma di Trento, 2008).

L'apparato glaciale di conca Presena fino al 1850 occupava una superficie complessiva di oltre 4000 ettari. Attualmente quello che un tempo formava un unico corpo nevoso non esiste più, ma è diviso in due parti ben distinte. I due complessi sono divisi dai rilievi rocciosi della Sgualdrina (2926 m) e del Cornicciolo (2916 m).

Per la sua posizione facilmente raggiungibile, il Ghiacciaio di Presena Occidentale (Fig. 2.3) è uno dei più frequentati dell'arco alpino. Dalla sua sommità si raggiunge facilmente Cima Presena (3069 m) dove lo sguardo spazia a 360 gradi su un immenso panorama: dalle Alpi svizzere e austriache verso il gruppo Ortles-Cevedale, alle immense distese nevose dell'Adamello (Giovannini, 2001).



Fig. 2.3: Ghiacciaio di Presena (foto Adamelloski).

Il massiccio della Presanella è prevalentemente formato da rocce compatte di granito, il cui termine deriva dal latino *granum*, che significa chicco e si riferisce alla propria struttura granulare. Il granito è la più comune roccia plutonica e deriva da processi di differenziazione a più stadi di un magma all'interno della crosta terrestre. I graniti sono composti da feldspati, quarzi e miche. Si presentano sempre come rocce chiare indifferentemente dal tono di colore che dipende principalmente dal feldspato potassico. Le dimensioni dei singoli componenti sono piuttosto variabili, tuttavia i singoli granuli si mostrano riconoscibili ad occhio nudo, con dimensioni di almeno un millimetro.

La tonalite è una varietà della grande famiglia dei granodioriti ed è tipica della zona Tonale-Preseña. È una roccia magmatica alocristallina a grana media, con struttura granulare. La composizione più frequente è data dal 20-30% di quarzo, dal 40-55% di plagioclasti, dallo 0-5 % di feldspati alcalini e dal 15-30% di minerali mafici. Il quarzo è perciò presente in quantità circa uguale rispetto alle granodioriti, mentre notevolmente diversa è la quantità di feldspato alcalino, che scende pressoché a zero. Granodioriti e tonaliti costituiscono stock e batoliti, a volte in associazione con graniti e con rocce più mafiche (dioriti e gabbri).

Nelle Alpi le maggiori intrusioni granodioritiche e/o tonalitiche sono il plutone dell'Adamello, quasi per intero tonalitico, tanto che in passato le tonaliti erano denominate adamelliti e tuttora sono molto usate in edilizia per rivestimenti con il nome di "granito dell'Adamello".



Fig. 2.4: a sinistra il granito della Presanella e a destra la tonalite dell'Alveo Preseña

La geologia del bacino di Presena (Fig. 2.5) è dominata dalla Tonalite della Presanella (Oligocene) alla quale, nella parte centrale del bacino a quote comprese fra circa 2600 e 2700 m, si sovrappongono depositi morenici della piccola età glaciale, quando il ghiacciaio ricopriva completamente la zona centrale del bacino. Dal punto di vista strutturale la zona è delimitata dalle linee del Tonale e delle Giudicarie che si incontrano a Dimaro in Val di Sole. Nella roccia esposta non sono invece visibili fratturazioni locali di qualche interesse dal punto di vista idrologico.

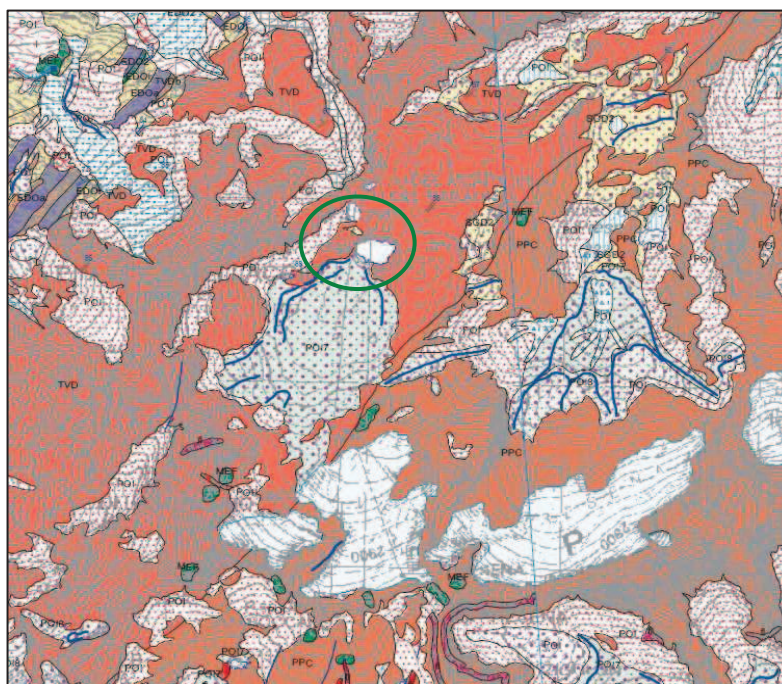


Fig. 2.5: Estratto del Foglio 041 – Ponte di Legno della carta geologica provinciale.

Le oscillazioni glaciali nei gruppi Adamello-Presanella e Cevedale negli ultimi decenni sono state rilevate stagionalmente, ed annualmente vengono effettuati rilievi dal Comitato Glaciologico italiano, da quello trentino della SAT e dalle università di Trento e Milano. Attraverso rilievi aerofotogrammetrici si è stabilito che i ghiacciai dell'Adamello-Presanella superano di poco i 50 Km², mentre J. Payer osservò nel 1868 che l'area coperta da ghiacciaio era almeno il doppio. Il ghiacciaio dell'Adamello-Mandrone risulta il più esteso d'Italia con i suoi 18 km².

Alla base dell'ampia conca Presena, all'uscita della stazione a monte della funivia Tonale-Paradiso, si presentano i due laghetti del Monticello, ubicati rispettivamente a quota 2588 e 2599 metri. Il primo ha una superficie di 18.700 m², il secondo di 37.500 m². Entrambi hanno evidente origine da circo, scaricano nel rio del Pisso e nell'Ogliolo, le rive sono in gran parte formate da granito e detrito morenico e sui fondali si trovano ancora numerosi residuati bellici. Un terzo laghetto si trova poco più in basso a quota 2544 metri a sinistra giungendo in funivia a passo Paradiso.

Il più vasto è il Lago Presena, ubicato al fondo del grande circo "Alveo Presena" parzialmente occupato dalla vedretta Presena orientale; presenta una lunghezza di 260 metri, una larghezza di 120 metri ed una superficie di 26.500 m² con una singolare scarsa profondità di appena un metro. Il livello è però molto variabile in relazione all'intenso tasso di ablazione estiva della sovrastante vedretta, poiché raccoglie a quota 2184 m le acque di fusione del ghiacciaio.



Fig 2.5 i due laghetti di Monticello nei pressi di Passo Paradiso a 2573 m (foto M. Donati, 2010).

2.2 EVOLUZIONE RECENTE DEL GHIACCIAIO E SUE TRASFORMAZIONI

L'aumento della pericolosità legato alle trasformazioni fisiche dell'ambiente dell'alta montagna si inserisce nell'articolato e complesso sistema dei rapporti uomo-montagna e si ricollega a due fenomeni ben evidenti: da una parte le variazioni climatiche in atto con le conseguenti modificazioni dei processi morfodinamici che rimodellano i versanti, dall'altra l'incremento della frequentazione dell'alta montagna per motivazioni turistico-sportive.

L'effetto più evidente sull'ambiente dell'alta montagna provocato dall'incremento termico è sicuramente la riduzione di superficie e di volume delle masse glaciali. È una riduzione stimata per la catena alpina del 40-50% di superfici e volumi fra il 1850 e il 1970. Un'ulteriore perdita del 20% della superficie si è verificata a partire dal 1970, infatti dopo un breve rallentamento del regresso sociale e un lieve progresso nel periodo 1965-1985, il fenomeno di riduzione delle masse glaciali si accentua. Nella seconda metà degli anni Novanta i bilanci di massa glaciale (metodo che permette di misurare in un anno idrologico la differenza fra gli accumuli e le perdite di ghiaccio) diventano ampiamente negativi, con una diminuzione media annua di spessore che in alcuni settori delle Alpi Italiane supera i 1'000 millimetri in equivalenti d'acqua (Diolaiuti e Smiraglia, 2002).

Negli ultimi due decenni le trasformazioni in atto nell'ambiente fisico dell'alta montagna sono divenute evidenti anche a livello di paesaggio. Si sta verificando una traslazione verso l'alto delle aree interessate dai vari sistemi morfogenetici, particolarmente evidente per il sistema periglaciale (dove dominano i processi legati alla presenza della neve e del ghiaccio interstiziale o permafrost) e quello glaciale (dove predominano i processi legati alla presenza di ghiacciai).

Il ritiro del settore terminale dei ghiacciai che si muovono su un fondo roccioso poco ripido lascia allo scoperto depositi morenici instabili, dove accumuli detritici a granulometria prevalentemente fine o molto fine (sabbie e

limi) si alternano ad accumuli più grossolani (ciottoli e massi) caratterizzati da limitata compattezza. L'abbondanza di acque di fusione provoca l'imbibizione dei depositi, che con pendenze anche lievi danno origine a colate di fango e di detrito.

La riduzione di spessore delle colate glaciali lascia allo scoperto vaste zone di rocce frammentate e alterate, circondate da ghiaccio e sottoposte ai cicli di gelo-disgelo (fenomeno detto crioclastismo). L'aumento della temperatura globale comporta infatti un innalzamento di queste fasce montane con la sostituzione quindi del sistema morfogenetico glaciale da parte di quello periglaciale. Si verifica in questo modo una specie di fossilizzazione delle lenti di ghiaccio (ghiaccio morto), la cui lenta fusione aumenta l'instabilità della superficie.

Molti dei ghiacciai di piccole dimensioni e di elevata inclinazione posti a quote elevate sono caratterizzati da una base di "ghiaccio freddo" che li mantiene gelati al fondo roccioso. Con l'innalzamento delle isoterme, l'acqua di fusione può penetrare nei crepacci e raggiungere lo strato basale del ghiaccio, determinando il passaggio da ghiaccio freddo a ghiaccio caldo e creando un velo d'acqua lubrificante al contatto ghiaccio-roccia. Si produce così un incremento della velocità di flusso del ghiacciaio, mentre l'inclinazione del substrato roccioso favorisce il crollo di grandi frammenti di ghiaccio (seracchi) e il distacco di intere porzioni della massa glaciale.

Le elevate temperature estive, specialmente se associate a ridotte precipitazioni nevose invernali, provocano un rapido innalzamento del limite altimetrico delle nevi residue e della linea di equilibrio dei ghiacciai. La totale fusione della neve residua riduce massicciamente l'accumulo e quindi l'alimentazione di un ghiacciaio, espone il ghiaccio mediante la riduzione dell'albedo (o riflettività) a una fusione più intensa e favorisce quindi un bilancio negativo (Diolaiuti e Smiraglia, 2002).

Fino a qualche decennio fa, la Vedretta di Presena Occidentale costituiva un corpo unico con quella orientale, formando un'unica superficie che dopo il 1850 (termine della Piccola Età Glaciale) era di oltre 400 ettari. La fronte appiattita del ghiacciaio terminava nel 1962 in una piccola conca a quota

2673 m (Fig. 2.1) e veniva classificato di tipologia pirenaica. Secondo la classificazione più moderna invece, viene definito di tipo “Montano” (forma a “circo-pendio”). Nel Catasto dei Ghiacciai Italiani (CGI, 1962), 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 poco più di 65 ha all’inizio degli anni '90 del XX secolo, e dalle ultime rilevazioni della Provincia Autonoma di Trento risulta un'estensione areale di circa 41 ha.



Fig 2.1: la Conca Presena in una foto storica scattata da Passo Paradiso in primavera nei primi anni '60 durante uno studio per la programmazione turistica commissionata dalla Provincia di Brescia.

Attualmente costituisce un apparato glaciale profondamente antropizzato, non solo per la pratica dello sci, ma anche per l'escursionismo e lo sci alpinismo, poiché consente un rapido transito verso la conca del Mandrone e la Val Genova. Per questi motivi il ghiacciaio di Presena occidentale, non evolve più secondo le naturali condizioni ambientali. Dalla seggiovia che conduce alla capanna Presena, o dai pressi della Capanna stessa (Fig. 2.2), è possibile osservare il limite della massima espansione glaciale Olocenica

della Vedretta di Presena. Il confine è evidenziato dal netto passaggio tra gli accumuli di detriti di origine glaciale, a luoghi forgiati in argini non sempre ben espressi, con la roccia priva di qualsiasi copertura detritica. Risalendo verso il passo del Maroccaro è possibile osservare in lontananza verso est le Vedrette di Presena orientale e della Busazza, alle cui fronti si elevano argini morenici frontali ben evidenti corrispondenti alla massima espansione della Piccola età Glaciale, che ha avuto il suo apice intorno al 1850.



Fig. 2.1: massima espansione attuale della lingua del ghiacciaio, a sinistra nella parte alta della figura Capanna Presena (Foto M. Donati 2010)

2.3 STORIA DELL'UTILIZZO SCIISTICO E TURISTICO

Il Passo del Tonale, situato a 1883 m, s'identifica in un valico alpino nelle Alpi Retiche meridionali che divide le Alpi dell'Ortles a Nord e le Alpi dell'Adamello e della Presanella a Sud. Mette in comunicazione la Val di Sole nel comune di Vermiglio, con l'Alta Valle Camonica nel comune di Ponte di Legno, fungendo da spartiacque tra l'Oglio (bacino del Po) ed il Noce (bacino dell'Adige). La forma dell'insellatura, larga 1-2 km, abbastanza pianeggiante su una lunghezza di circa 4 km, deve la sua esistenza alla presenza della linea delle Giudicarie (che in questo punto è definita anche linea del Tonale), motivo strutturale di importanza alpina, lungo il quale gli agenti di degradazione hanno nel tempo inciso questa insellatura. Durante l'ultimo periodo di massima espansione glaciale infatti la zona del Tonale era coperta di ghiaccio fino a 2400 m di quota. In seguito i ghiacciai tardiglaciali rimasero confinati all'interno del massiccio della Presanella e dell'Ortles-Cevedale lasciando la principale asta valliva e lo stesso passo, completamente libero dai ghiacci.

I primi passaggi e insediamenti umani al Passo del Tonale si possono attribuire ai romani, che costruirono una strada che sarebbe poi servita per il passaggio delle legioni di Carlo Magno (742-814). Pochi anni dopo nel 1158 d.C. sul passo transitò anche gran parte dell'esercito di Federico Barbarossa. Nel 1303 la Serenissima di Venezia stipulò con Brescia una convenzione per la manutenzione della strada; nel 1327 Lodovico il Bavaro attraversò con le sue truppe la piana del Tonale e nel 1487 seimila soldati dell'arciduca Sigismondo d'Austria Conte del Tirolo tentarono inutilmente l'invasione della Vallecamonica dal Tonale e lo stesso fatto riaccadrà nel 1516 da 15 mila soldati dell'esercito di Massimiliano I.

Verso la metà del 1500 si tiene a Trento il sacro Concilio (1545-1563) che per qualche tempo rallenta la cadenza dei passaggi di soldati al Tonale registrando invece le soste dei prelati lombardi durante i loro frequenti viaggi per le sedute conciliari. Da quest'epoca in poi passeranno due secoli prima di ritrovare il passaggio dal Passo del Tonale di forti contingenti militari.

È intorno al 1930 che si assiste al primo sviluppo turistico del Passo del Tonale. Nel giro di due anni sorsero diversi alberghi e una dozzina di famiglie di Vermiglio si trasferì in maniera stabile al Passo. La strada di collegamento tra Vermiglio e Pontedilegno rimaneva aperta anche l'inverno nonostante serie difficoltà dovute alle abbondanti nevicate.

Cominciano così a presentarsi i primi turisti, soprattutto lombardi, al Passo del Tonale, che praticano lo sci anche senza gli impianti. Occorrerà attendere ancora qualche anno però per dotare il Tonale di una sciovvia (Fig. 2.1).

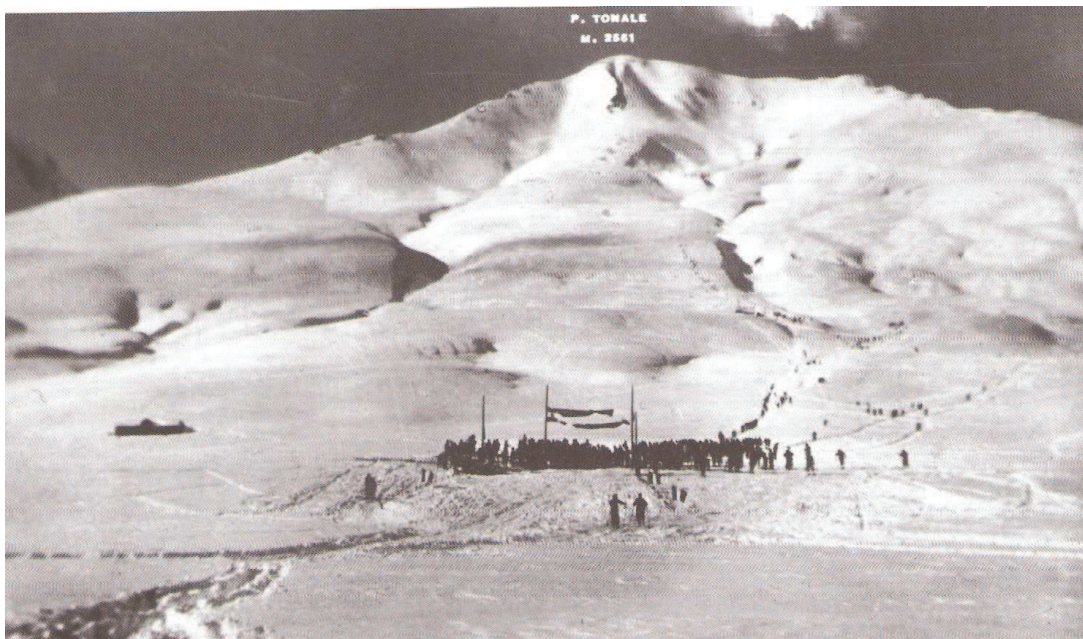


Fig. 2.1: uno dei primi raduni di sciatori al Passo del Tonale in una cartolina d'epoca negli anni '60.

Negli anni '60 la zona del valico del Passo Tonale aveva ormai acquistato rinomanza nazionale come centro particolarmente vocato per gli sport invernali. Ingenti capitali furono investiti da un gruppo di industriali lombardi per la costruzione della funivia Paradiso, inaugurata l'8 settembre 1963 (Fig. 2.2) fortemente voluta dal sindaco di Pontedilegno Torri insieme all'hotel Pirovano al Passo Tonale (ora Grand Hotel Paradiso) e alla struttura Excelsior (attualmente sede del CFP provinciale) a Pontedilegno.

Il turismo quindi, invernale ed estivo, era visto come unica possibilità di sviluppo economico per le Comunità di Vermiglio e di Pontedilegno interessate direttamente sui rispettivi versanti, al potenziamento delle strutture del territorio.

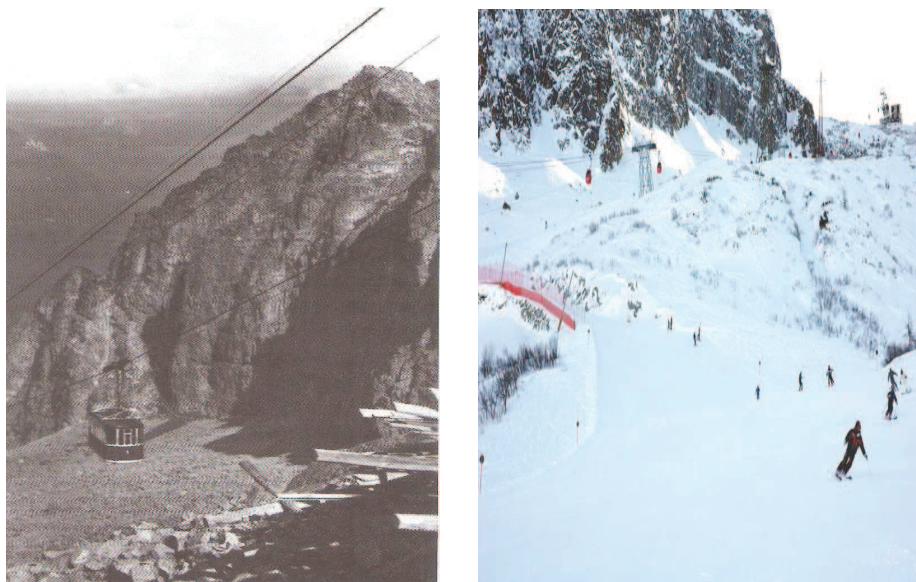


Fig. 2.2: la funivia che collega il Passo Tonale al Passo Paradiso, a destra negli anni '60 in una cartolina d'epoca e a sinistra nei giorni nostri.

Con l'intervento del comune e della provincia di Trento, il Passo del Tonale si trasforma in un grande cantiere: nel 1967 si completa la rete di canalizzazione delle acque e iniziano i lavori di costruzione di alcuni impianti di risalita al passo. Nel 1977 la struttura urbanistica del Passo Tonale presentava uno sviluppo decisamente importante e poteva contare su un già valido sistema di servizi civili (scuola elementare, presidio medico, ufficio postale, sportello della Cassa Rurale, numerosi negozi, panificio, scuole sci, palestra, piscina, discoteca). Nel 1987 il comune di Vermiglio acquista gli impianti del Tonale dando origine alla Società Carosello, attualmente Carosello-Tonale Spa (Giovannini, 2001).

Maggiore fra le stazioni di sport invernali del Trentino e della Lombardia, il Passo del Tonale dispone di un comprensorio sciistico di oltre 100 km di piste, che dall'inverno 2006, grazie ad una nuova cabinovia, è stato integrato definitivamente con le stazioni di Ponte di Legno e di Temù e grazie alle piste

del Ghiacciaio di Presena al passo Paradiso è possibile sciare da inizio ottobre fino a fine giugno.

Nel 2013 la seggiovia biposto e le due sciovie parallele collocate sul Ghiacciaio di Presena raggiungeranno la scadenza di trent'anni di esercizio per cui, come prevede la normativa, andranno sostituite. La Società Carosello-Tonale si sta già attivando per quanto riguarda il progetto esecutivo ed è prevista la sostituzione dei vecchi impianti con una cabinovia otto posti monofune con intermedia. La partenza della futura cabinovia è prevista dove parte ora l'attuale seggiovia a Passo Paradiso, l'intermedia alla partenza delle sciovie al ghiacciaio e l'arrivo al Passo Presena a 3000 m in modo da portare anche in estate i turisti in quota, per ammirare il panorama sul Ghiacciaio dell'Adamello, sulle Lobbie e il Rifugio Mandrone.

Saranno necessari ben 14 milioni di Euro per realizzare il nuovo impianto di risalita. Parte della somma sarà messa a disposizione dalla Società Carosello-Tonale spa, ma una piccola parte dell'investimento ricadrà anche sulla Provincia Autonoma di Trento.

Il lavoro è previsto su due anni (durante due stagioni estive): nel 2012 si comincerà a realizzare le opere edili, quindi i sostegni in cemento dei piloni e le stazioni a valle e a monte, nel 2013 invece si monterà l'impianto realizzando anche la stazione intermedia.

3. IL PROBLEMA DELLA MITIGAZIONE DELLA FUSIONE

3.1 TECNICHE USATE IN AUSTRIA

La sperimentazione di metodi per la mitigazione dell'ablazione glaciale ha una storia antica nell'ambito della glaciologia applicata.

I primi approcci al problema di ridurre la fusione di neve e ghiaccio vedevano l'impiego di tecniche di compattazione del manto nevoso (per aumentarne la persistenza) e l'utilizzo di coperture superficiali con materiali isolanti per limitare l'assorbimento dell'energia solare e proteggere termicamente la neve ed il ghiaccio sottostanti. A questo scopo vennero impiegati segatura e trucioli di legno o schiuma di poliuretano che risultarono in grado di ridurre l'ablazione in misura variabile dal 60 al 96% .

Lo studio volto alla mitigazione artificiale dell'ablazione più conosciuto è quello condotto da Olefs & Fischer (2008) che hanno sperimentato su ghiacciaio diverse strategie di protezione attiva, quantificando i diversi effetti. Sulla superficie dei ghiacciai austriaci presi in esame sono state localizzate, in prossimità delle parcelle sperimentali (Fig. 3.1), stazioni meteorologiche automatiche (*Automatic Weather Station* o AWS) per rilevare con continuità durante le stagioni estive dati termici ed energetici (flussi entranti ed uscenti, ad onda corta ed ad onda lunga).



Fig. 3.1: stazione AWS posizionata in una parcella sperimentale sul ghiacciaio austriaco.

Le parcelle sperimentali attrezzate sono state tre per testare le tre principali modalità di protezione attiva dei ghiacciai:

- 1) attraverso l'iniezione di acqua;
- 2) attraverso la compattazione meccanica della neve;
- 3) attraverso la copertura della neve con vari materiali.

La prima parcella ha richiesto l'iniezione di acqua durante tutta la primavera, poiché l'acqua agisce aumentando la massa glaciale solo attraverso il suo congelamento. Questo avviene con neve a bassa temperatura, ovvero nelle ore notturne e nel periodo di fine inverno-inizio primavera. L'aggiunta di acqua, che inizialmente si era concretizzata in un aumento di massa glaciale, non è però in grado di contrastare l'ablazione estiva, che avviene comunque e mostra solo un lieve ritardo (qualche giorno) rispetto alle altre aree glaciali non sottoposte a questo tipo di trattamento.

La seconda parcella ha visto l'azione di diversi gatti delle nevi per compattare la neve qui accumulata. La compattazione, infatti si traduce in un minore tasso di fusione di neve e ghiaccio sottostanti nonostante le temperature positive dell'aria. Le operazioni di compattazione hanno però solo prolungato di qualche giorno (in media 4 in più rispetto alla neve non trattata) la persistenza del manto nevoso che comunque è poi andato soggetto a fusione completa nel corso dell'estate.

La terza parcella ha visto la copertura della neve con diversi materiali, oltre 40 tipi diversi per caratteristiche fisiche. Oltre a questi micro-test, è stata stesa una copertura di geotessile per verificarne l'effetto sul bilancio di massa glaciale di una vasta area. Le coperture sono state allestite quando l'accumulo era giunto al massimo (alla fine della primavera, prima dell'inizio della stagione di ablazione) e sono state mantenute per tutta l'estate sino al termine dei processi ablativi.

I risultati ottenuti dai ricercatori austriaci hanno evidenziato che la strategia di maggior successo è senza dubbio quella volta a mitigare l'ablazione con una copertura artificiale. Le strategie di copertura della neve con geotessile hanno permesso di conservare sino alla fine della stagione di ablazione il

60% circa della neve sottoposta a protezione attiva. In questo modo è stato possibile salvare circa 0,5 m di neve precipitata durante l'inverno precedente e grazie alla persistenza di questa, evitare completamente dalla fusione il ghiaccio localizzato al di sotto della neve protetta con il telo. Il confronto di oltre 40 diversi tipi di materiale ha inoltre evidenziato che un geotessile bianco di pochi millimetri, rappresenta la miglior soluzione (per spessore, permeabilità, rugosità superficiale, resistenza alla tensione e caratteristiche termiche e radiative) come materiale di copertura glaciale per ottenere un bilancio di massa localmente positivo.

Negli ultimi decenni ed in particolare in questi ultimi dieci anni, i ghiacciai austriaci sono stati caratterizzati da bilanci di massa negativi, con conseguente riduzione dell'estensione superficiale e di spessore. 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"(Fig. 3.1), ovvero aree di comprensori sciistici su ghiacciai particolarmente interessate dal ritiro degli stessi, riduce significativamente lo fusione del ghiaccio (Fischer, 2008).



Fig. 3.2: teli geotessili alla base di una "zona nevralgica" sugli impianti di risalita austriaci.

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.

Dai valori climatici della Stazione Vent (nelle Ötztaler Alpen) dal 1900 al 2006 a confronto con i bilanci di massa specifici rilevati in corrispondenza del Ghiacciaio Hintereisferner, a circa 10 km di distanza, risulta che la temperatura atmosferica media su tutto l'anno, che quella dei mesi estivi di giugno, luglio e agosto, indicano una tendenza in aumento con un'oscillazione di anno in anno più marcata durante l'estate. La somma annuale delle precipitazioni diminuisce.

Tra il 1953 e il 2007 la lingua del Ghiacciaio Hintereisferner ha subito una perdita di ghiaccio di 162 m (Fischer, 2008).

La riduzione di volume e di superficie del ghiaccio di ghiacciaio, rendono senza dubbio più difficoltose le attività di manutenzione ai fini della gestione delle aree sciistiche:

- se 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 minore temperatura del ghiaccio rispetto, per esempio, a quella della roccia o dei detriti permette una maggiore persistenza della neve sulla superficie del 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 in quella inferiore;
- nell'arco di alcune stagioni, in corrispondenza di attraversamenti o della zona di accesso alle stazioni, possono crearsi vere e proprie contropendenze.

Nelle aree sciistiche possono insorgere situazioni spesso problematiche. Ad esempio se i punti di salita o discesa degli impianti sono ancorati alla roccia, con la fusione dei vicini strati di neve invernale, questi rimarranno sempre alla stessa altezza mentre la superficie del ghiacciaio si abbasserà creando

una differenza di livello tra loro; oppure quando in punti con scarso spessore di ghiaccio la roccia sottostante viene allo scoperto, nell'arco anche di pochi anni questa presenza può creare una barriera naturale all'interno della pista. In presenza di forti modifiche alla conformazione superficiale possono quindi insorgere notevoli costi di manutenzione, a seguito della necessità di sistemare ripetutamente i piloni di sostegno degli impianti a fune all'interno del ghiaccio in movimento. È così che nelle "zone nevralgiche" dei comprensori sciistici su ghiacciaio, si è arrivati a mantenere lo spessore ricoprendo la superficie con telo geotessile, riducendo notevolmente l'impegno manutentivo.

L'esatta funzione del telo geotessile è stata studiata dal 2004 al 2006 in un campo prova sul Ghiacciaio dello Stubai in Tirolo (a pochi chilometri da Innsbruck, Austria) nell'ambito del Progetto AlpS "Aktiver Gletscherschutz" (Fischer, 2008).

I partners scientifici coinvolti sono stati l'Istituto di Meteorologia e Geofisica (le misurazioni del bilancio di massa ed energetico) e l'Istituto di Ecologia (per lo studio dell'impatto della copertura sugli organismi viventi), entrambi dell'Università di Innsbruck. Le aree di test erano collocate all'interno dei comprensori sciistici dei partner degli impianti di risalita Stubaier Gletscherbahn.

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, non si riusciva poi ad 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 di pochi mm, molto resistente allo strappo e con caratteristiche di elevata stabilità meccanica.

Attualmente i comprensori sciistici tirolesi su ghiacciaio risultano rivestiti circa per il 3% della superficie (Fig. 3.3), pari circa a meno di un millesimo dell'intera estensione degli apparati glaciali del Tirolo (Fischer, 2008).



Fig. 3.3: porzione di ghiacciaio austriaco rivestito con teli geotessili.

3.2 TECNICHE USATE IN ITALIA

Studi pilota condotti in Austria 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.

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 abbiano manifestato ingenti perdite sia areali che volumetriche.

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 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, ecc).

In accordo a questi criteri si è scelto, nell'ambito di un progetto di ricerca dell'Università degli Studi di Milano sostenuto da San Pellegrino Spa - Levissima, il Ghiacciaio di Dosdè Orientale, un apparato montano dotato di una modesta lingua che fluisce nella Valle di Dosdè, localizzata alla testata della Val Viola Bormina in Valdidentro (Alta Valtellina, Lombardia),(Diolaiuti,2008).

Per la prima volta in Italia è stato intrapreso un progetto di ricerca scientifica per sperimentare una strategia di "protezione attiva" di un ghiacciaio.

L'area scelta per attuare questa sperimentazione, è una porzione di superficie glaciale ubicata sul settore centrale del ghiacciaio, un'area lievemente pianeggiante a circa 2800 m.

In quest'area è stata installata nell'estate 2007 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. Le operazioni di protezione glaciale attiva sul Ghiacciaio Dosdè Orientale (Gruppo Cima Piazzzi) sono iniziate a Maggio 2008 e si sono concretizzate nello stendimento di circa 150 m² di geotessile in poliestere, polipropilene, bianco puro.

Il geotessile (denominato ICE Protector 500) è un materiale caratterizzato da un peso (asciutto) di 500 g/m², 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 “non tessuto” 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 impedendo a questi ultimi di raggiungere la neve sottostante. Il materiale in oggetto è stato scelto anche per la sua caratteristica di essere esente da sostanze nocive e smaltibile termicamente. 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.

Nell’area adiacente alla porzione glaciale scelta per lo stendimento della copertura geotessile, nel settore centrale del ghiacciaio, si è poi eseguita una trincea nivologica per determinare tramite l’analisi di un profilo lo spessore in equivalenti in acqua.

Concluse le operazioni di analisi nivologica, si è poi proceduto allo stendimento del geotessile ed al suo ancoraggio. A questo punto l’intera superficie sottoposta alla sperimentazione appariva perfettamente bianca ed omogenea (Fig. 3.1), minimizzando così difformità di albedo e di assorbimento-riflessione energetica, evitando impatti visivi e paesaggistici alla superficie del ghiacciaio.



Fig. 3.1: superficie sottoposta a copertura con telo geotessile sul Ghiacciaio Dosdè perfettamente mimetizzata ed omogenea

La superficie sottoposta a protezione glaciale attiva si estendeva per 150 m² 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 m³ (Diolaiuti,2008).

L'area glaciale dove 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.

A inizio ottobre del 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 valore medio di 190 cm; di questi i 115 cm di base erano costituiti da ghiaccio di ghiacciaio (densità

circa 917 kg/m^3). Gli altri 75 cm di materiale preservato alla fusione erano costituiti da neve densa e compatta (densità di circa 750 kg/m^3).

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 è 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 (Diolaiuti,2008) (Fig 3.2).



Fig.3.2: notevole effetto positivo ottenuto grazie alla copertua con geotessile e risultato finale con spessore di neve preservata dalla fusione

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%.

I risultati sono stati dunque più che soddisfacenti; lo scopo dell'esperimento non era 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.

4. TECNICHE UTILIZZATE SUL PRESENA E LORO RISULTATI

4.1 UTILIZZO DELLA COPERTURA GEOTESSILE

I ghiacciai sono indicatori climatici molto attendibili che, nel corso della storia, hanno subito fasi di espansione e fasi di regresso in funzione dei cambiamenti climatici in atto in quel periodo. Negli ultimi decenni, le elevate temperature estive e le scarse precipitazioni nevose della stagione invernale hanno causato una marcata riduzione della superficie occupata dai corpi glaciali.

Anche i ghiacciai del Trentino, come tutti i ghiacciai dell'arco alpino, stanno attraversando un periodo di grande sofferenza con rilevanti perdite di massa. Mediamente, a partire dagli inizi degli anni '80 del XX secolo, i ghiacciai trentini hanno perso ogni anno 1000 mm di equivalenti in acqua; questa continua perdita di massa si è andata accelerando tant'è che negli ultimi anni, si è arrivati ad una media di 2000-3000 mm, il che significa che i ghiacciai trentini, ogni anno, perdono circa 2 m di spessore (Provincia Autonoma di Trento, 2008).

Sebbene sul Ghiacciaio di Presena non siano disponibili dati idonei a calcolarne la perdita di massa annuale, è evidente che anch'esso è soggetto alle stesse dinamiche che interessano tutti gli altri ghiacciai del Trentino tant'è che dagli anni '90 ai giorni nostri, si è verificato un considerevole arretramento della fronte, dell'ordine dei 10 m all'anno (fig. 4.1).

Inoltre, da rilievi eseguiti dalla Provincia Autonoma di Trento è emerso che dal 1993 al 2003 la superficie del ghiacciaio si è ridotta del 39 % circa, passando da una superficie di circa 68 ha ad una di circa 41 ha.

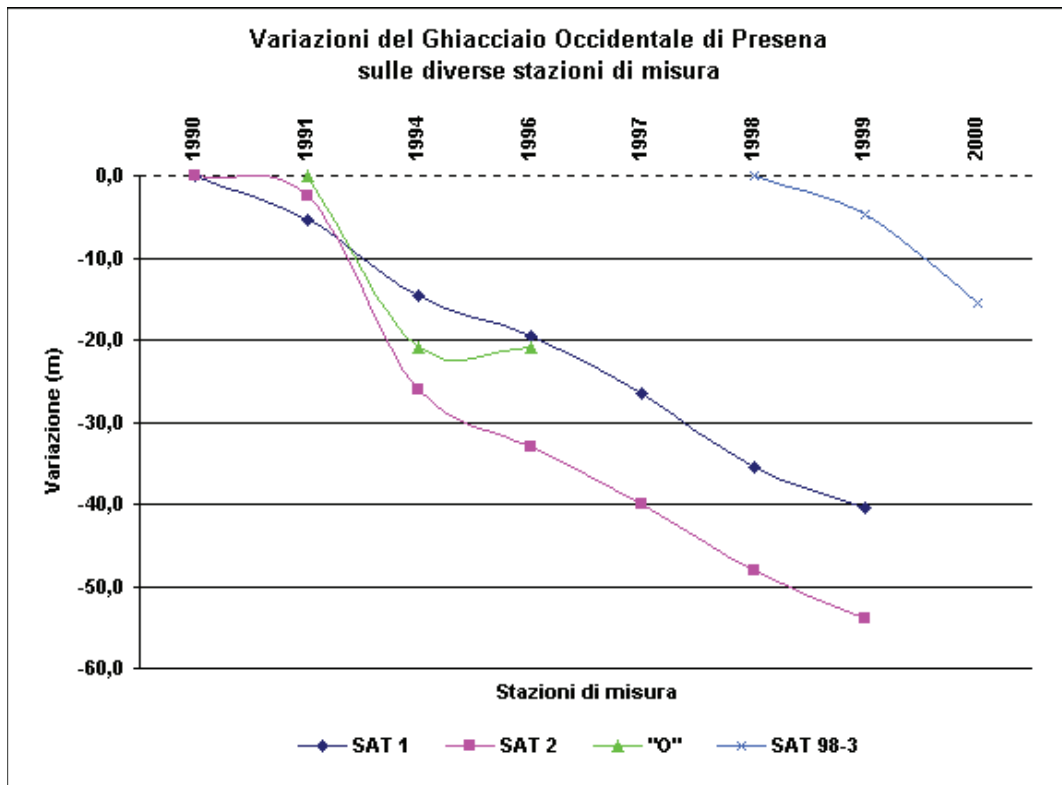


Fig. 4.1 : Variazioni frontali del Ghiacciaio Occidentale di Presena in relazione alle stazioni di misura controllate dal C.G.T (Comitato Glaciologico Trentino).

Da rilievi eseguiti con georadar sul Ghiacciaio di Presena (fig. 4.2), è emerso che lo spessore del ghiaccio varia notevolmente a seconda dei punti; infatti, si passa da uno spessore di circa 30-40 m nella parte centrale del bacino di accumulo (approssimativamente da quota 2.950 a quota 3.000), ad uno spessore minimo di qualche metro nella parte centrale del ghiacciaio (a quota 2.850 circa). E' proprio questo il punto critico del sistema; infatti, con le attuali intensità dell' ablazione superficiale del ghiacciaio, risulta evidente che, nel giro di qualche anno, nella zona centrale emergerà la sottostante cresta rocciosa che separerà la zona di ablazione dal bacino di accumulo posto più a monte. Questa eventualità risulterebbe deleteria per la porzione inferiore del ghiacciaio che, una volta separato dalla parte superiore (bacino di accumulo), rimarrebbe priva di alimentazione e sarebbe quindi destinata a scomparire in breve tempo.

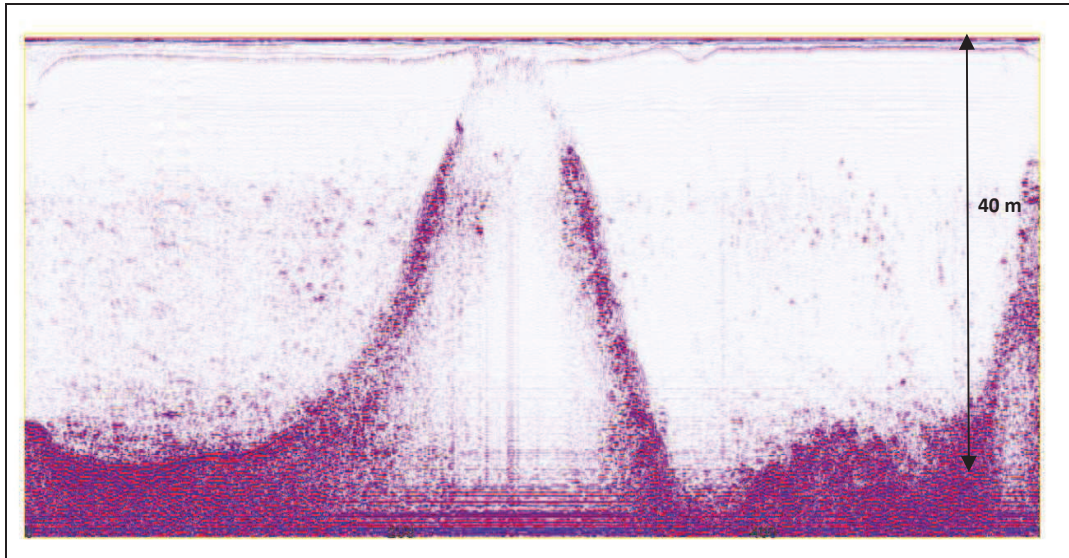


Fig. 4.2 : Rappresentazione del rilievo georadar lungo il percorso dove è stata indagata la profondità del ghiacciaio tramite georadar.

Per scongiurare la divisione del ghiacciaio Presena e l'apertura di finestre rocciose, è stato definito un quadro organico di azioni che hanno preminente finalità di ricerca scientifica, ma che mirano anche a contenere quanto più possibile gli impatti derivanti dalle attività sciistiche, con particolare riguardo all'armonizzazione delle stesse rispetto alle dinamiche naturali che regolano la vita del ghiacciaio. Questi interventi mirano quindi a contrastare il processo di assottigliamento del ghiaccio soprattutto nella sua zona più critica, ossia il ginocchio centrale, rendendo necessario realizzare su questo settore centrale del ghiacciaio una copertura con geotessile.

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 di un certo spessore minimo (il punto critico è di 6 cm), la fusione è infatti significativamente più lenta rispetto ad altre aree analoghe scoperte. I detriti infatti 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.

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 riscontrare in pratica, 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 possibili valanghe a seguito di nuove neviccate.

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.

In media, la copertura con telo geotessile comporta una riduzione della fusione di circa $2/3$, il che significa che rispetto ad aree prive è tanto più marcata quanto più elevato risulta il tasso di fusione nel punto considerato (Fischer, 2008). Si può dire che 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.

L'utilizzo delle coperture interesserà poi comunque sempre "zone nevralgiche", cioè aree in cui la fusione e la perdita di spessore sono particolarmente marcate e rischiano di avere un impatto negativo sulle infrastrutture esistenti (fig. 4.3).

La contenuta estensione superficiale degli interventi fa comunque in modo che essi non influiscano né sul bilancio di massa complessivo né sul flusso del ghiaccio.



Fig. 4.3 : teli geotessile di copertura alla base dei piloni e della risalita dello skilift al Ghiacciaio Presena (foto M. Donati, luglio 2010).

Sul Ghiacciaio di Presena questo progetto di copertura delle zone nevralgiche con teli geotessili, è nato nel 2009 grazie ad un protocollo d'intesa firmato dalla Società Carosello Tonale Spa (proprietaria degli impianti di risalita al ghiacciaio) e la Provincia Autonoma di Trento. Questo protocollo prevede il monitoraggio delle condizioni del ghiacciaio e conseguente stesura di una relazione tecnica a ogni fine stagione estiva, per la durata di tre anni, in collaborazione con le università di Trento e Milano. I primi esperimenti in questo campo sul Presena furono già affrontati 10 anni fa, installando però solo alcune strisce di telo alla base dei piloni dello skilift, che essendo ancorati nel ghiaccio e non in blocchi di cemento o roccia, rischiavano di inclinarsi troppo con il movimento della massa glaciale e il ridursi del suo spessore. Grazie agli ottimi risultati ottenuti e al protocollo d'intesa quindi, nel 2009 furono installati quasi 40'000 m² di teli geotessile coprendo in parte anche il punto più critico e sofferente del ghiacciaio nella

parte centrale chiamato ginocchio. Nell'estate 2010 la superficie coperta è praticamente raddoppiata, arrivando a 90'000 m² di teli geotessile, aggiungendo anche la parte superiore e quella inferiore al ginocchio.

Il sistema di prevenzione della fusione delle nevi su ghiacciai mediante copertura delle superfici maggiormente sottoposte ad aggressione da parte di agenti atmosferici (sole, vento, raggi UV, raggi infrarossi, ecc), chimici, muffe e batteri, è risultato il più efficace rispetto ad altri tipi di intervento. Con questo tessuto gli esperti glaciologi dell'Università di Innsbruck continuano a monitorare un risparmio costante di almeno il 60% di spessore del ghiaccio e del manto nevoso. Questo comporta un notevole risparmio di energia, mezzi e risorse per poter reinnevare le piste, prima che queste cadano in pericolosi "fuori servizio" con grave danno per gli utenti.

I teli geotessili utilizzati sul Ghiacciaio di Presena sono prodotti dalla ditta *Tencate Geosynthetics Austria Ges*, con sede a Linz in Austria (commercializzati dalla sede di Milano) e sono denominati TOPTEX GLS 340.

Si tratta di teli geotessili di tessuto non tessuto 100% polipropilene a filo continuo spunbonded con superficie idrorepellente stabilizzato ai raggi UV e in grado di respingerli, limitando lo scioglimento del manto nevoso sottostante. Hanno uno spessore di 4 mm ed un peso di 340 g/m² e sono in grado di racchiudere delle micro bolle di aria ostacolando il passaggio dei raggi solari e la trasmissione di calore alla neve sottostante. I teli sono stati trasportati fino al ghiacciaio in elicottero, a causa della loro grande volumetria e del peso, avvolti in rotoli di tessuto larghi 5 m e con una lunghezza di 70 m. Una volta portati in quota vengono posizionati sulla superficie del ghiacciaio interessato e srotolati; in seguito sono sovrapposti uno all'altro di circa 10-15 cm e saldati termicamente con fiamma a gas (Fig. 4.2). I bordi vengono quindi fissati mediante una tubazione ottenuta dal medesimo materiale geotessile e riempita con materiale inerte reperito sul posto (solitamente sabbia).



Fig. 4.2: operai impegnati nel posizionare i teli e saldarli termicamente fra loro (foto Adamelloski).

Nell'estate del 2010 i teli geotessili al Ghiacciaio di Presena sono stati installati il 21 giugno e rimossi il 14 settembre, coprendo una superficie di 90'000 m².

La spesa per l'acquisto di questo materiale è piuttosto alta, infatti per l'estate 2009 e la successiva del 2010 si sono spesi circa 130'000 € per l'acquisto dei teli (circa 1 €/m² e valevoli poi per la durata di tre anni), e per la monodopera si arriva ad un costo di altri 100'000 € circa ogni anno. Il protocollo d'intesa prevede però che la spesa sia finanziata per il 50% dalla Provincia Autonoma di Trento ed il restante è a carico della Società Carosello Tonale spa proprietaria degli impianti di risalita al ghiacciaio.

Si parla di cifre abbastanza alte, ma è da confrontare con un probabile costo da sostenere di quasi 300'000 € per produrre eventualmente neve artificiale che sarebbe stata fornita per sostituire lo spessore di neve fusa che invece è stato salvato dal telo geotessile, quindi con una differenza di circa 70'000 € a favore della società.

Due squadre di sei operai cadauna impiegano mediamente 10-15 giorni a rimuovere dalla superficie i teli e riavvolgerli con l'aiuto di gatti delle nevi e di un apposito macchinario (Fig. 4.3) studiato e creato appositamente per facilitare le operazioni di recupero. A fine stagione quindi i teli vengono tutti recuperati, tolti dalla superficie del ghiacciaio e depositati in un magazzino pronti per essere riutilizzati l'anno successivo.

Teoricamente i teli geotessili sono ricollocati sulla superficie del ghiacciaio tutti interamente anno dopo anno, ma in pratica le operazioni di recupero sono piuttosto difficoltose e, causa il freddo e la superficie dei teli ghiacciata, spesso si rompono e spezzano, così da doverli in parte sostituire con dei nuovi.



Fig. 4.3: apposito macchinario collegato al gatto delle nevi utilizzato per il riavvolgimento dei teli (foto M. Donati, 23-09-2010).

Grazie al mio lavoro di tirocinio il 30 luglio 2010 ho potuto assistere e collaborare al posizionamento di una nuova stazione di rilevamento, collocata sulla superficie dei teli a quota 2780 m circa (nella zona centrale e più critica del ghiacciaio definita ginocchio), da parte dei tecnici dell'Ufficio Previsione e Pianificazione della Provincia Autonoma di Trento.

Le operazioni di installazione iniziano con una carotatrice o trivella a vapore (Fig. 4.4): questo strumento, inventato da uno svizzero, è composto interamente da pezzi originali mercedes e funziona con il principio simile a quello di una pentola a pressione. Si inseriscono 4 litri di acqua distillata nel serbatoio, con una piccola bombola a gas collegata ad una camera di combustione si accende una fiamma e si aspetta fino al raggiungimento di una pressione di circa 1,8/2,0 bar.

A questo punto l'acqua, ormai diventata vapore in pressione in un lungo tubo, è in grado di "bucare" la superficie ghiacciata sciogliendo in parte la neve e il ghiaccio e lasciando un foro di 2,60 m di profondità dove poter immediatamente inserire un tondino d'acciaio di 3 m d'altezza. Complessivamente vengono effettuati quattro buchi, uno centrale che sostiene la stazione e altri tre (1,80 m di profondità) per tener ancorata la strumentazione grazie a dei tiranti di catena in acciaio inox.

Nel palo d'acciaio centrale viene poi aggiunto un ulteriore tondino di 2 m (dove sarà posizionata l'intera strumentazione) con alla base un "gioco" che serve per mantenere sempre a piombo la stazione, poiché il ghiaccio sottostante, essendo in continuo movimento verso il basso, trascina con sé il palo e la stazione inclinandola, mentre è molto importante che questa rimanga sempre dritta in una posizione di 90° per registrare correttamente i dati e questo è possibile con una successiva e attenta manutenzione.

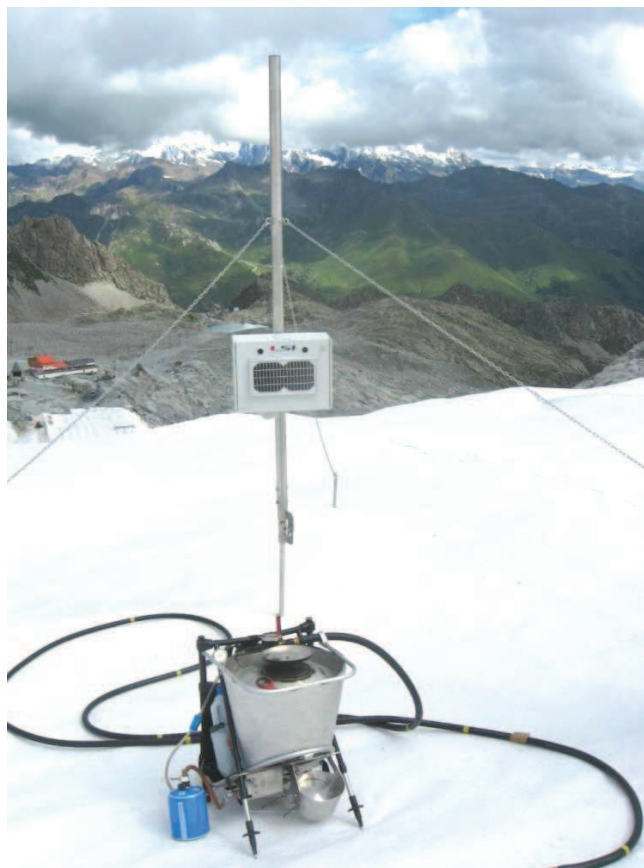


Fig. 4.4: carotatrice o trivella a vapore e la stazione di rilevamento
(foto M. Donati, 30-07-2010).

Dopo un'accurato fissaggio dei tiranti e la messa a piombo della stazione si può procedere con l'installazione dei pezzi elettronici.

L'alimentazione della stazione in questione è fornita da due pannelli solari orientati a sud sud-ovest ad un metro d'altezza, inoltre è dotata di un dispositivo data logger che registra il livello di carica della batteria in modo da permettere sempre una verifica nella fase di scarico dei dati. La batteria e i pannelli solari sopportano un'autonomia della stazione di almeno due mesi, anche in assenza di insolazione diretta. L'immagazzinamento dei dati avviene in una scheda di memoria veloce di 2 MB. Sopra il data logger di circa 50 cm (Fig. 4.5), sono collocati i 4 sensori che rilevano i dati radiativi, precisamente due pyranometri e due pyrgeometri ed il radiometro netto Kipp & Zonen.



Fig. 4.5: il radiometro e il display interno del data logger
(foto M. Donati, 30-07-2010).

A poche decine di metri, ma all'esterno della superficie coperta dai teli geotessili, è posizionata un'ulteriore stazione AWS. Dotata anch'essa di data logger è in grado di registrare e misurare tramite sensori la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la velocità e direzione del vento, la pressione atmosferica, la radiazione solare in entrata e in uscita e la radiazione a infrarossi proveniente dall'atmosfera e dalla superficie del ghiacciaio (Senese,2010):

- I dati della temperatura dell'aria sono misurati a 2 m d'altezza dalla superficie del ghiaccio, calcolati per misurare l'escursione termica giornaliera e confrontare l'andamento stagionale ed annuale.
- La radiazione solare o radiazione a onda corta in entrata (*Short Wave Incoming* o *SWin*) e in uscita (*Short Wave Outgoing* o *SWout*) vengono analizzati per quantificare l'albedo o riflettività della superficie glaciale.
- L'albedo si esprime come α è adimensionale e assume valori compresi tra 0 (corpo nero, assorbimento completo) e 1 (specchio, riflessione totale); si calcola come rapporto tra radiazione in uscita e quella in entrata $\alpha = \frac{SWout}{SWin}$

È un parametro importante a livello glaciologico perché condiziona l'entità dell'ablazione che varia in funzione della struttura dei cristalli, della morfologia della superficie, della concentrazione di polveri (*dust*) e fuliggini (*black carbon*), dello spessore e granulometria del morenico

superficiale, dalla presenza di acqua allo stato liquido nelle fratture del ghiaccio e in superficie, dall'elevazione del sole, dalla nuvolosità, ecc.

- Il livello della neve presente sulla superficie del ghiaccio viene misurato con *sonic ranger*, un sensore a ultrasuoni in grado di calcolare la distanza tra superficie del ghiaccio e posizione dove esso è collocato: conoscendo la velocità di propagazione degli ultrasuoni e misurando il tempo impiegato per arrivare alla superficie e ritornare indietro, il sensore calcola la distanza percorsa per ottenere il valore dello spessore nevoso al suolo e il valore registrato.

4.2 RISULTATI

La copertura della superficie del Ghiacciaio di Presena con questo tipo di sperimentazione della mitigazione dell'ablazione estiva attraverso la stesura di teli geotessili, nell'estate 2010 è stata in grado di preservare dalla fusione spessori di neve e ghiaccio che variavano tra 1,5 e 2 m di altezza (Fig. 4.2.1). Ciò vuol dire 130'000 m³ di neve su una superficie di 90'000 m² (nell'ordine di circa 20 campi da calcio).

Il progetto di copertura estiva del ghiacciaio, è stato rinnovato anche per i prossimi due anni e rientra in uno studio più ampio che coinvolge anche le Università di Milano e di Trento ed il Comitato glaciologico trentino e quello nazionale. L'obiettivo è quello di limitare lo scioglimento della neve.



Fig. 4.2.1: risultato ottenuto alla fine della stagione estiva con quasi 2 m di spessore di neve al di sotto della copertura geotessile (foto M. Donati, settembre 2010).

5. INTERVISTE CON I RESPONSABILI DEL PROGETTO

Questo progetto, nato nel 2009, rientra in un programma sperimentale per la “mitigazione dell’ablazione e dell’impatto delle attività sciistiche sul Ghiacciaio Presena”. Le parti interessate che hanno firmato il protocollo d’intesa sono la Società Carosello Tonale spa (proprietaria degli impianti di risalita al ghiacciaio) e la Provincia Autonoma di Trento (poiché il ghiacciaio si trova su territorio trentino), affiancate dalla collaborazione delle Università di Trento e di Milano.

Rappresentante della Provincia Autonoma di Trento è il dott. Alberto Trenti, direttore di *Meteotrentino* e dell’ufficio previsioni e pianificazione, servizio prevenzione rischi del Dipartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio:

“siamo in fase di sperimentazione e bisogna ancora capire se il risparmio in spessore ottenuto con la copertura geotessile rallenta anche la riduzione della superficie del ghiacciaio, ossia il suo ritiro, ma grazie agli ottimi risultati ottenuti nell’estate del 2009, per il 2010 abbiamo esteso la superficie di copertura. Ci siamo concentrati in un punto dove la roccia, che ha una forma molto particolare, stava quasi per affiorare, proprio al centro della superficie, con il rischio che il ghiacciaio si spezzasse in due. Ma i risultati che la copertura è in grado di ottenere sono piuttosto alti, con una percentuale di neve “salvata” che arriva al 60-70%”.

Giacinto Delpero, presidente della Società Carosello Tonale spa, ente ospitante questo importante e imponente progetto, esprime la sua soddisfazione per i risultati ottenuti e la certezza di continuità nel futuro:

“il bilancio è assolutamente positivo, lo spessore salvato rappresenta la base per la prossima stagione invernale. Abbiamo iniziato con 30`000 m² e quest’anno abbiamo coperto il 70% del ghiacciaio, in questo modo riusciremo a conservarlo meglio. La nuova stagione sciistica partirà un mese prima (al 10 ottobre) rispetto al passato e ci permette di lavorare con i vari ski-club.

Abbiamo avuto anche delle richieste da parte delle squadre nazionali che a fine ottobre saranno a Sölden in Austria per la Coppa del Mondo e che vorrebbero venire ad allenarsi sul Presena che presenta caratteristiche simili a quelle del ghiacciaio austriaco”.

Per l'Università degli Studi di Milano il progetto è diretto dal professor Claudio Smiraglia, già presidente del Comitato Glaciologico Italiano e docente di geografia fisica alla facoltà di Scienze della Terra a Milano:

“non voglio alimentare inutili illusioni, è impossibile salvare un intero grande ghiacciaio con questi teli, ci sarebbero anche problemi di paesaggio. Però se un domani la situazione dovesse peggiorare, con carenza idrica, sarà utile aver capito come procede la fusione. I ghiacciai in Italia non sono certo la fonte principale di approvvigionamento idrico, ma sono un'ottima riserva da preservare con attenzione per far fronte ai tempi duri. Fin dai tempi antichi s'è cercato di rallentare la fusione con coperture di paglia. Tentativi tornati alla ribalta dalla fine degli anni '90, soprattutto su quei ghiacciai dove si pratica lo sci estivo come il Presena che iniziavano a risentire, anche a livello economico, degli effetti della fusione. Sotto la copertura dei teli geotessili la neve in parte fonde e in parte cambia densità diventando molto più compatta mentre il ghiaccio si salva completamente. Sono più a rischio quei ghiacciai a quote inferiori, sui 2'000 m dove la fusione è più intensa, e quelli più piccoli, che sono centinaia sulle nostre Alpi. Ad esempio il complesso glaciale dell'Adamello (il più esteso d'Italia con 18 Km² di superficie) o il Ghiacciaio dei Forni (13 Km²) in Valtellina, si mantengono meglio perché hanno un'enorme riserva di massa fredda, mentre i più piccoli con spessori di ghiaccio e neve che a volte non superano i 40-50 m, rischiano l'estinzione (come sta per accadere al Ghiacciaio della Sforzellina al Passo Gavia). L'anno scorso (estate 2009) abbiamo avuto una notevole copertura nevosa, ma poi l'estate è stata calda e il ghiaccio nuovo s'è fuso in fretta. In quota sta già aparendo il ghiaccio vivo che assorbe più calore rispetto alla neve. Ci vorrebbero 10 anni di nevicate simili a quelle del 2009

ma con temperature estive di almeno un grado più basse per invertire il trend”.

Perfino il famoso meteorologo Andrea Giuliacci, in conferenza a inizio estate a Pontedilegno, ha espresso parere favorevole riguardo la copertura del ghiacciaio con teli geotessile:

“tuttavia negli ultimi due anni si è registrata una leggera inversione di tendenza: il sole emette meno energia e questo basta a limitare il surriscaldamento. Anche l’uomo però contribuisce al surriscaldamento del pianeta ed è probabile che il caldo aumenti in futuro con conseguenze poco piacevoli per i ghiacciai, dunque ben vengano soluzioni come questa dei teli geotessili”.

6. CONCLUSIONI

L'elaborato ha preso in considerazione un tema attuale di glaciologia applicata, cioè un intervento di mitigazione della fusione su un ghiacciaio utilizzato per lo sci estivo. Si è trattato del ghiacciaio del Presena sopra il Passo del Tonale, nella provincia Autonoma di Trento. Qui, utilizzando tecniche già impiegate in Austria e Svizzera, nell'estate del 2010 sono stati stesi circa 90'000 m² di teli speciali (geotessile) lungo la risalita e alla base dello skilift, ma soprattutto nella parte centrale del ghiacciaio definita "ginocchio", a circa 2800 m di quota, dove sta per emergere la sottostante cresta rocciosa che porterebbe a separare la zona di ablazione del bacino di accumulo posto più a monte, dalla porzione inferiore che rimarrebbe priva di alimentazione e destinata a scomparire in breve tempo. Il telo è stato disteso sul manto nevoso invernale in primavera, le varie fasce (in rotoli di 5 m di larghezza e 70 m di lunghezza) sono state 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 sono state asportate e riposte per venire riutilizzate l'anno successivo.

In conclusione sulla superficie glaciale sottoposta a protezione, nell'estate 2010 sul Ghiacciaio di Presena si sono salvati circa 130'000 m³ di neve su una superficie di 90'000 m², in pratica sotto i teli si sono protetti dalla fusione spessori di quasi 2 m di neve e ghiaccio. L'efficacia del telo geotessile quindi si è dimostrata altissima, ma è chiaro che non è pensabile utilizzare questo tipo di strategia per il salvataggio di un grande ghiacciaio, la cui superficie dovrebbe essere coperta completamente. Questa tecnica è tuttavia possibile per interventi mirati su aree parziali, soprattutto nel caso di ghiacciai dalla notevole importanza economica, come è avvenuto per il Presena (fig. 6.1).



Fig. 6.1: il Ghiacciaio di Presena nell'estate 2010 completamente ricoperto dai teli geotessili (foto M. Donati, 2010).

BIBLIOGRAFIA

- Bartaletti F. (2002) *Montagne d'Italia, Le trasformazioni del turismo montano*, con il contributo del Comitato Italiano 2002 Anno Internazionale delle Montagne, istituto geografico De Agostini spa Novara, pag. 166-179.
- Diolaiuti G. (2002) *Montagne d'Italia, Acque e ghiacciai*, con il contributo del Comitato Italiano 2002 Anno Internazionale delle Montagne, istituto geografico De Agostini spa Novara, pag. 67-83.
- Diolaiuti G. (2008) *Strategia di protezione "attiva" dei ghiacciai: prime applicazioni italiane e risultati*, rivista Neve e Valanghe: meteorologia alpina, glaciologia, prevenzione, sicurezza in montagna.
- Diolaiuti G. e Smiarglia C. (2002) *Montagne d'Italia, L'aumento dei pericoli in alta montagna*, con il contributo del Comitato Italiano 2002 Anno Internazionale delle Montagne, istituto geografico De Agostini spa Novara, pag. 185-193.
- Fischer A. (2008) *Ritiro dei ghiacciai ed effetti degli interventi di copertura*, rivista Neve e Valanghe: meteorologia alpina, glaciologia, prevenzione, sicurezza in montagna, n°64.
- Giovannini A. (2001) *Vermiglio: una storia di confine*, casa editrice publilux seconda edizione.
- Laureti L. (2002) *Montagne d'Italia, Alpi Appennini e altre montagne*, con il contributo del Comitato Italiano 2002 Anno Internazionale delle Montagne, istituto geografico De Agostini spa Novara, pag. 12-25.

- Lombardo A. (2002) *Montagne d'Italia, La fruizione della montagna: sport e cultura*, con il contributo del Comitato Italiano 2002 Anno Internazionale delle Montagne, istituto geografico De Agostini spa Novara, pag. 286-297.
- Mercalli L. (2002) *Montagne d'Italia, Il clima che cambia*, con il contributo del Comitato Italiano 2002 Anno Internazionale delle Montagne, istituto geografico De Agostini spa Novara, pag. 56-66.
- Orombelli G. (2007) *Ghiacciai e clima: 800'000 anni di storia del clima nelle "carote" di ghiaccio*.
- Provincia Autonoma di Trento, Dipartimento protezione civile e tutela del territorio (2008) *Ghiacciaio di Presena: mitigazione dell'ablazione e dell'impatto delle attività sciistiche, programma sperimentale*.
- Senese A. (2010) *Evoluzione meteorologica sulla lingua di ablazione del Ghiacciaio dei Forni nel periodo 2006-2008*, Bollettino della Società geografica italiana serie XIII volume III fascicolo 4 pag. 845-864.
- Smiraglia C. (1992) *users.unimi/glaciol*
- <http://users.unimi/glaciol>
- www.adamellooski.com
- www.cervinia.it
- www.dovesciare.it
- www.ledeuxalps.com

- www.neveitalia.it
- www.ortlerskiarena.com
- www.passostelvio.com
- www.stubai.at

Si ringraziano

per il loro permanente supporto tecnico e logistico durante tutto il mio periodo di tirocinio al Ghiacciaio di Presena e per aver continuato ad incoraggiarmi assiduamente anche durante l'intera stesura della tesi, fornendomi importanti e preziose informazioni storiche, tecniche, dati e testi indispensabili allo svolgimento del lavoro:

la *Società Carosello-Tonale spa* rappresentata dal presidente Giacinto Delpero, per la sua grande disponibilità e cortesia dimostratemi;

la *Provincia Autonoma di Trento*, Dipartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio, servizio prevenzione rischi, tutto lo staff dell'ufficio previsioni e pianificazione di Meteotrentino, con particolare attenzione alla disponibilità concessami dal direttore dott. Alberto Trenti.

Inoltre importanti e sinceri ringraziamenti vanno riservati a:

prof. Giuseppe Carlo Lozzia, per la pazienza e grande disponibilità con cui ha seguito questo lavoro di tesi;

prof. Claudio Smiraglia e dott.ssa Antonella Senese, per la immensa comprensione e attenzione riservatami nell'assistenza alla stesura dell'elaborato finale.

Infine un grazie particolare alla mia famiglia
per avermi dato fiducia e la possibilità
di fare tutto questo.

Marzia