



GLISTT

Un sistema interregionale di monitoraggio dei ghiacciai
per la regione Alto Adige-Tirolo



eurac
research



Interreg
Italia-Österreich
European Regional Development Fund



**Autori:**

Agenzia per la Protezione civile, Provincia autonoma di Bolzano – Roberto Dinale, Stefano Benetton
Eurac Research – Claudia Notarnicola, Mattia Callegari, Daniela Dellantonio, Riccardo Barella
Università di Innsbruck – Rudolf Sailer, Christof Klug, Stephan Galos, Hannah Tussetschläger

Traduzione italiano-tedesco:

Rudi Nadalet

Grafica: Elisabeth Aster, Eurac Research

Stampa: Tipografia Druso

Foto: Archivi partner di progetto;

Cover: iStock/Tom

Riproduzione parziale o totale del contenuto autorizzata soltanto con citazione della fonte: AA.VV. Interreg ITAT2025 GLISTT – Report finale

2021 © Università di Innsbruck / Eurac Research / Agenzia per la Protezione civile, Provincia autonoma di Bolzano

”

Il ritiro dei ghiacciai non è un fenomeno nuovo. Nell'ultimo secolo, la temperatura nelle Alpi è aumentata di due gradi. Le conseguenze sono inequivocabili ed i ghiacciai ne sono un chiaro segno. Tutte le previsioni danno per scontato che entro la fine di questo secolo non ci saranno quasi più ghiacciai in Alto Adige.

Il ritiro dei ghiacciai porta con sé gravi conseguenze per il bilancio idrologico e le acque di superficie. È quindi importante sensibilizzare l'opinione pubblica sull'importanza centrale della loro protezione. Il progetto interregionale Glacier Inventory South Tyrol - Tyrol GLISTT si è fatto carico di questa causa.

Una parte importante è stata la mostra intitolata “Goodbye Glaciers” realizzata nell'ambito della cooperazione transfrontaliera tra i partner del progetto Università di Innsbruck, Eurac Research e Agenzia per la Protezione civile con l'ufficio Natura, i cui Centri visite dei parchi naturali hanno ospitato la mostra per alcuni periodi durante il suo itinerario fra Alto Adige e Tirolo.

Anche se il progetto si sta concludendo, esso lascia un'importante eredità e compiti per il futuro. Infatti, le nuove conoscenze acquisite con i programmi tradizionali di misurazione dei ghiacciai in combinazione con i moderni dati di telerilevamento costituiscono la base per una missione importante: fare tutto il possibile per contribuire a rallentare il cambiamento climatico.

Dr. Klaus Unterweger

Direttore dell'Agenzia per la Protezione civile della Provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige

”

I ghiacciai delle Alpi orientali in realtà non sono più ghiacciai, dice il glaciologo Georg Kaser; a causa del cambiamento climatico sono rimaste solo delle aree ghiacciate. In questo senso, i ghiacciai alpini sono un oggetto di ricerca ideale per indagare gli effetti globali del cambiamento climatico sulla natura e sulla società. Questo è anche il compito del progetto Interreg GLISTT, che negli ultimi quattro anni ha definito un concetto di monitoraggio interregionale dei ghiacciai per la regione Alto Adige-Tirolo sotto la guida dell'Università di Innsbruck. Nell'ambito del progetto sono stati studiati anche gli effetti sulla qualità e quantità delle risorse idriche alpine, che sono una base vitale per gran parte dell'Europa. È stato fondamentale per questo lavoro combinare i metodi tradizionali di misurazione dei ghiacciai con tecnologie di telerilevamento all'avanguardia. Grazie all'eccellente e costruttiva cooperazione dei partner del progetto e delle rispettive amministrazioni, questo progetto fornisce un importante contributo ad una migliore comprensione delle modifiche dei ghiacciai e dei cambiamenti climatici nelle Alpi. Questi risultati, scientificamente validi, costituiscono una base importante per i compiti che ci aspettano per affrontare le conseguenze del cambiamento climatico.

Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Tilmann Märk

Rettore dell'Università di Innsbruck

”

Come limnologo, so che il 75% di tutti i laghi della terra sono di origine glaciale, quindi è chiaro da dove proviene la grande maggioranza dei miei oggetti di ricerca. Ecco perché negli ultimi 30 anni ho osservato con un certo fascino il numero crescente di laghi d'alta montagna di nuova formazione ai margini dei ghiacciai in scioglimento, perché oggi quei processi e quelle forze che erano all'opera all'inizio dell'Olocene si possono studiare come in un time-lapse. Vedo questi processi con un sorriso come ricercatore di laghi, ma allo stesso tempo con una lacrima come alpinista, perché lo scioglimento dei ghiacciai non riguarda solo i cambiamenti di fase dell'acqua, ma sta scomparendo anche l'immagine del paesaggio che ho conosciuto in gioventù. Inoltre, con i ghiacciai, la criosfera, l'habitat freddo abitato dagli organismi, si sta ritirando in tutto il mondo, e non sappiamo nemmeno cosa stiamo perdendo in biodiversità e servizi ecosistemici nel processo.

GLISTT non solo ha documentato questi processi, ma ha anche indagato i loro effetti, che vanno al di là della percezione fisica, idrologica o geomorfologica e descrivono i nostri cambiamenti di stato psicologici. Meta-glaciologia, in una parola, mi riporta all'acqua, che è già diventata il tema dominante in molti paesi. I ghiacciai, come indicatori evidenti del cambiamento climatico, diventano così forieri delle sue gravi conseguenze previste.

Forse, pur con tutta la nostalgia e il dispiacere sul ritiro dei ghiacciai, è utile dare un'occhiata alla fase iniziale dell'Olocene, quando i primi abitanti della terra avevano davanti a loro un habitat quasi privo di ghiaccio, che solo al tempo di Ötzi si è trasformato di nuovo nello stato che avevamo percepito come quasi immutato fino al 19.9.1991 - quando l'Uomo venuto dal ghiaccio emerse dal ghiacciaio. Meta-glaciologia, o “i ghiacciai come insegnanti”. Siamo, spero, allievi che apprendono velocemente.

Prof. Dr. Roland Psenner

Presidente di Eurac Research

1. GLISTT, un sistema interregionale di monitoraggio dei ghiacciai per la regione Alto Adige-Tirolo

IL PROGETTO

“GLISTT Un sistema interregionale di monitoraggio dei ghiacciai per la regione Alto Adige-Tirolo” è un progetto finanziato da Interreg V-A Italia-Austria 2014-2020 nell’asse prioritario „Natura e Cultura“ con un budget di circa 621.000 euro. Grazie ai finanziamenti nazionali e ai contributi istituzionali propri, il progetto dispone di circa 770.000 euro. L’obiettivo specifico dell’asse prioritario „Natura e Cultura“ è la protezione e valorizzazione del patrimonio naturale e culturale. I partner del progetto, l’Università di Innsbruck, Eurac Research e l’Agenzia per la Protezione civile della Provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige, hanno voluto portare alla ribalta i ghiacciai del Tirolo e dell’Alto Adige come patrimonio naturale storico e contemporaneo, documentarne i cambiamenti, alcuni dei quali notevoli, sulla base di archivi storici e inventari attuali e mettere in evidenza i possibili sviluppi futuri.

I DATI DEL PROGETTO	
Programma operativo	Interreg V-A Italien-Österreich 2014-2020
Numero del progetto	ITAT2025
Misura	2.6c.4 Schutz und Inwertsetzung des Natur- und Kulturerbes
Acronimo del progetto	GLISTT
Titolo del progetto (it)	Un sistema interregionale di monitoraggio dei ghiacciai per la regione Alto Adige-Tirolo
Titolo del progetto (de)	Ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol

Tabella 1: Dati del progetto GLISTT e descrizione del programma di finanziamento.

	REGIONE	NOME DEL BENEFICIARIO (IT)	BEZEICHNUNG BEGÜNSTIGTER (DE)
LP	TIR	Università di Innsbruck	Universität Innsbruck
PP1	BLZ	Eurac Research	Eurac Research
PP2	BLZ	Agenzia per la Protezione civile	Agentur für Bevölkerungsschutz
LP	TIR	Università di Innsbruck	Universität Innsbruck

Tabella 2: Partner di progetto.

	FONDI UE (FESR)	CONTRIBUTO NAZIONALE	RISORSE PROPRIE	COSTI TOTALI
LP	222.587,36 €	0,00 €	39.280,13 €	261.867,49 €
PP1	200.049,94 €	35.302,94 €	0,00 €	235.352,88 €
PP2	198.687,50 €	35.062,50 €	41.250,00 €	275.000,00 €
Totale	621.324,80 €	70.365,44 €	80.530,13 €	772.220,37 €

Tabella 3 Costi del progetto.

Questa relazione ha lo scopo di introdurre il lettore alle idee del progetto GLISTT. In primo luogo, nella sezione **“Uno sguardo sentimentale ai ghiacciai dell’Alto Adige e del Tirolo - Goodbye Glaciers”** viene mostrato quanto siano preziosi i documenti fotografici storici sia per la sensibilizzazione che per l’analisi dei cambiamenti in alta montagna, in particolar modo dei cambiamenti dei ghiacciai. Successivamente, nella sezione **“Registrare ciò che deve essere registrato - un’eredità per le generazioni future”**, viene descritta l’importanza del lavoro svolto dal team di scienziati di GLISTT sul monitoraggio e la generazione di un nuovo catasto dei ghiacciai dell’Alto Adige e del Tirolo. Infine, nella sezione **“Esplorare ciò che può essere esplorato - Un contributo alla comprensione dei ghiacciai e dei cambiamenti climatici nelle Alpi”**, vengono discusse le innovazioni tecniche e metodologiche sviluppate nel progetto per contribuire a migliorare il monitoraggio dei ghiacciai.

2. Uno sguardo malinconico ai ghiacciai dell'Alto Adige e del Tirolo – Goodbye Glaciers

La progressiva deglaciazione del nostro Pianeta è l'evidenza più immediata e inequivocabile del riscaldamento globale. Rivolgere l'attenzione alle modificazioni della criosfera e della morfologia dell'alta montagna è quindi fondamentale, da un punto di vista scientifico per la comprensione dei fenomeni in atto e delle loro conseguenze, da un punto di vista politico per la programmazione delle necessarie contromisure e strategie di adattamento, e, non da ultimo, per veicolare una corretta informazione e sensibilizzazione circa la necessità di un'azione globale finalizzata a consegnare alle nuove generazioni la speranza di un futuro sostenibile. Per quest'ultimo motivo e per l'attenzione che a tali aspetti ha richiesto di dedicare l'Autorità di gestione del Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Austria, nell'ambito del progetto GLISTT è stata ideata la mostra fotografica itinerante chiamata "Goodbye Glaciers".



Figura 1: Fase di creazione della mostra "Goodbye Glaciers" e campagna di riproduzione delle fotografie storiche effettuata nell'estate 2018.

Punto di forza dell'esposizione sono senza dubbio i confronti fotografici che descrivono meglio di qualsiasi dato il ritiro dei ghiacciai e gli effetti dei cambiamenti climatici. Grazie ad un'approfondita ricerca di archivio è stato possibile, in particolare, recuperare molte fotografie di ghiacciai altoatesini e del Tirolo risalenti a fine Ottocento ed ai primi del Novecento, periodo immediatamente successivo alla loro massima espansione recente nella Piccola Età glaciale. La maggior parte del materiale è stato recuperato negli archivi di Alpenverein, Club Alpino Italiano e Comitato glaciologico italiano. Molto laborioso, e per questo ancor più motivo di soddisfazione, è stato il lavoro svolto presso alcuni archivi privati dove è stato possibile scovare fotografie altrimenti destinate all'oblio, come la lastra di vetro del 1881 raffigurante le Vedrette di Fosse e di Cima Fiammante, di proprietà di un collezionista meranese. Quella più datata è opera del fotografo austriaco Gustav Jägermayer e ritrae il Picco dei Tre Signori, alla testata della Valle Aurina, con le Vedrette di Lana e Predoi nel 1863.

Una selezione di queste immagini è stata il riferimento per gli scatti realizzati nel 2018 con l'obiettivo di riprodurre gli stessi panorami in termini di punto di vista e inquadratura: il risultato è impietoso e molti ghiacciai risultano oggi irriconoscibili, tanto da toccare profondamente la sensibilità degli oltre 20.000 visitatori che hanno visto ed apprezzato la mostra. Tra le fotografie esposte troviamo anche due coppie di immagini satellitari ad indicare come questa tecnologia sia uno strumento molto utile per l'osservazione della Terra che ha oggi raggiunto un grado di maturità tale da offrire informazioni di qualità confrontabile a quelle della fotografia terrestre ed aerea tradizionali. Le fotografie della mostra sono scaricabili dal sito web del progetto GLISTT dove sono riportate anche le relative informazioni in merito a copyright e condizioni di utilizzo.



1930
Ghiacciai della Val Martello



2018



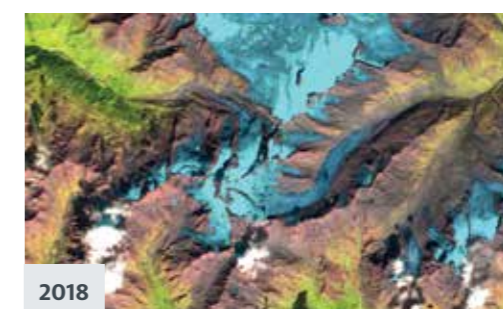
1927
Wilder Freiger-Ferner (Grünaufener)



2018



1987
Ghiacciai delle Alpi Venoste, osservati dal satellite



2018

Figura 2: Selezione di confronti fotografici esposti nella mostra.

La relazione causa effetto è inoltre resa dai dati climatologici rappresentati in una serie di installazioni che completano la mostra, ove sono esposti anche vari strumenti per la misura delle variabili climatiche, oltre a numerosi reperti e oggetti che caratterizzano l'ambiente glaciale e periglaciale e le sue modificazioni recenti.



Figura 3: Ambientazioni, installazioni, eventi inaugurali e libro dei visitatori esemplificativi della mostra e del buon riscontro da essa registrato.

L'obiettivo di limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2 gradi perché almeno una minima parte dei ghiacciai della Alpi possa sopravvivere fino a fine secolo è il messaggio che il visitatore porta con sé dopo aver percorso le sale dell'esposizione. Tra giugno 2019 e dicembre 2020 la mostra ha toccato 8 città e località turistiche dell'area di progetto e ha ora trovato dimora per ulteriori tre anni, oltre la durata del progetto, nel "Museo Magia dell'Acqua" di Lappago in Valle di Selva dei Molini. Lo scorso inverno essa avrebbe dovuto essere esposta anche presso la sede dell'Euregio a Bruxelles ma la pandemia non ha reso possibile questa prestigiosa data.

Per poter osservare con continuità ed in tempo reale i ghiacciai dell'area transfrontaliera del progetto, nell'ambito di GLISTT sono state inoltre installate 5 foto-webcams di monitoraggio di altrettante aree glaciali. Anche a questi dati si può accedere dal sito web di progetto.

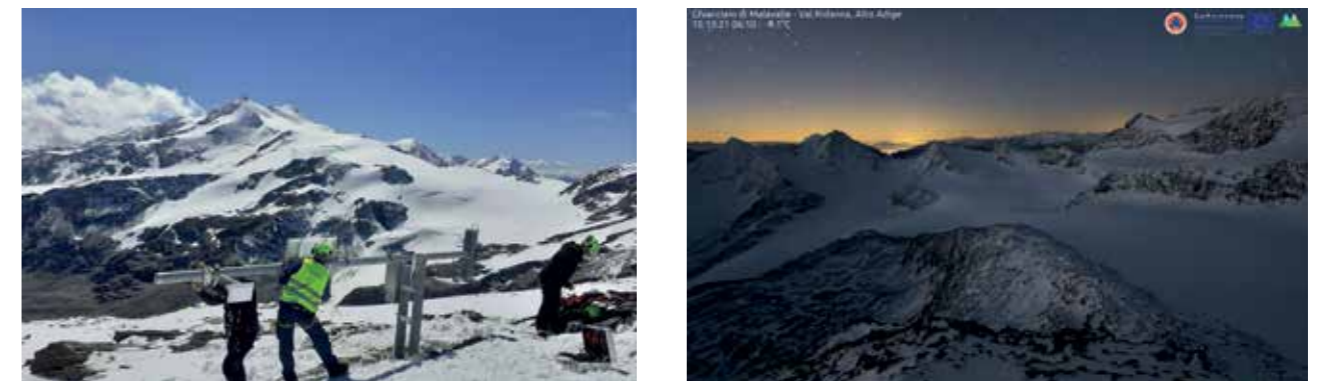


Figura 4: Installazione foto-webcam Vedretta Lunga e suggestiva immagine del Ghiacciaio di Malavalle.

Completano le attività di disseminazione del progetto GLISTT gli eventi pubblici che lo hanno accompagnato. Tra questi ricordiamo lo stakeholder workshop di Vipiteno destinato ai soggetti potenzialmente interessati alle attività del progetto e il convegno rivolto alla comunità scientifica organizzato in Val d'Ultimo in occasione della sofferta decisione di sospendere le campagne di misura sul ghiacciaio di Fontana Bianca a causa della sua progressiva disgregazione. L'evento finale del progetto di presentazione dei risultati conseguiti si è svolto il 24 novembre 2021 a Bolzano.



Figura 5: Stakeholder workshop svoltosi a Vipiteno il 20 aprile 2018 (sopra) e convegno "L'esaurimento della Fontana Bianca" del 20 e 21 settembre 2018 (sotto).

3. Registrare ciò che deve essere registrato: un'eredità per le generazioni future

Mentre durante la Piccola Età Glaciale (tra il XIII e la metà del XIX secolo) i ghiacciai alpini venivano monitorati con attenzione perché il loro avanzamento ed i pericoli naturali ad esso associati, come ad esempio le rotte glaciali, minacciavano l'uomo e gli insediamenti umani, oggi gli interessi principali associati al monitoraggio dei ghiacciai sono completamente mutati.

I documenti fotografici, che sono stati esposti anche nell'ambito della mostra „Goodbye Glaciers“, mostrano in modo impressionante gli enormi cambiamenti che i paesaggi di alta montagna hanno subito negli ultimi decenni a causa dello scioglimento dei ghiacciai alpini. Questo sviluppo drammatico ha portato i ghiacciai sempre più in primo piano, sia da un punto di vista scientifico che sociale.

In questo contesto, il progetto GLISTT si è posto l'obiettivo di creare un catasto transnazionale dei ghiacciai aggiornando quelli già esistenti. Nell'ambito del WP4 - Monitoraggio dei ghiacciai nell'intera area di studio, le variazioni di superficie, volume e massa dei ghiacciai sono state indagate, quantificate e documentate utilizzando metodi di analisi basati su rilievi laser scanner, ortofotogrammetrici e sulla elaborazione di immagini satellitari. Il confronto del catasto dei ghiacciai aggiornato con quelli precedenti evidenzia notevoli perdite di massa (vedi Tabella 4 e Tabella 5). Sia in Tirolo sia in Alto Adige, la perdita media di superficie subita dai ghiacciai in poco meno di un decennio e mezzo è appena inferiore al 20%. In tre sole aree montuose dell'Alto Adige e in una del Tirolo la riduzione di superficie è stata inferiore. La variazione di superficie minore si è registrata nella parte altoatesina delle Alpi Breonie (13%). Sia a nord che a sud dello spartiacque alpino, le Alpi Aurine sono in testa in termini di perdita di superficie, con una riduzione del 20 % e del 30 % rispettivamente.

REGIONE ALTO ADIGE	SUPERFICIE SGI 16/17 [KM ²]	SUPERFICIE SGI 05 [KM ²]	ΔA (16/17-05) [%]
Ortles-Cevedale	34,8 (2016)	60,6	-14,3
Alpi Venoste	18,7 (2016)	22,9	-18,3
Gruppo di Tessa	3,8 (2016)	4,8	-10,8
Alpi Breonie	9,4 (2016)	10,8	-13,0
Alpi Aurine	8,5 (2017)	12,2	-30,3
Gruppo delle Vedrette di Ries	5,4 (2017)	7,5	-28,0
Alti Tauri	3,4 (2017)	4,8	-29,2

Tabella 4 Confronto delle superfici dei catasti dei ghiacciai del 2005 (SGI 05) e del 2016/17 (SGI 16/17) per l'Alto Adige (ΔA indica la variazione percentuale della superficie).

REGIONE TIROLO	SUPERFICIE NGI 17/19 [KM ²]	SUPERFICIE NGI 06 [KM ²]	ΔA (17/19-06) [%]
Alpi Orientali	46,86 (2019)	61,02	23,2
Alpi Venoste (solo Valle Rofental)	36,15 (2019)	45,08	-19,8
Alpi Aurine	11,52 (2017)	13,78	-16,4

Tabella 5: Confronto delle superfici dei catasti dei ghiacciai del 2005 (NGI 05) e del 2016/17 (NGI 16/17) per il Tirolo (ΔA indica la variazione percentuale della superficie).

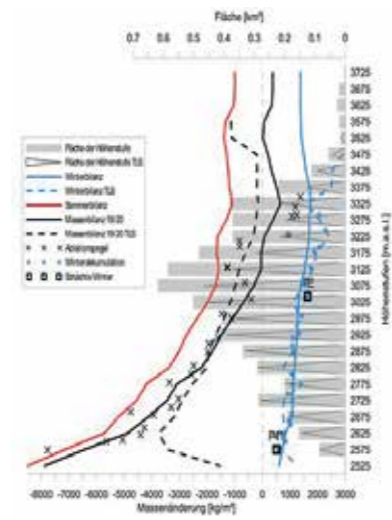
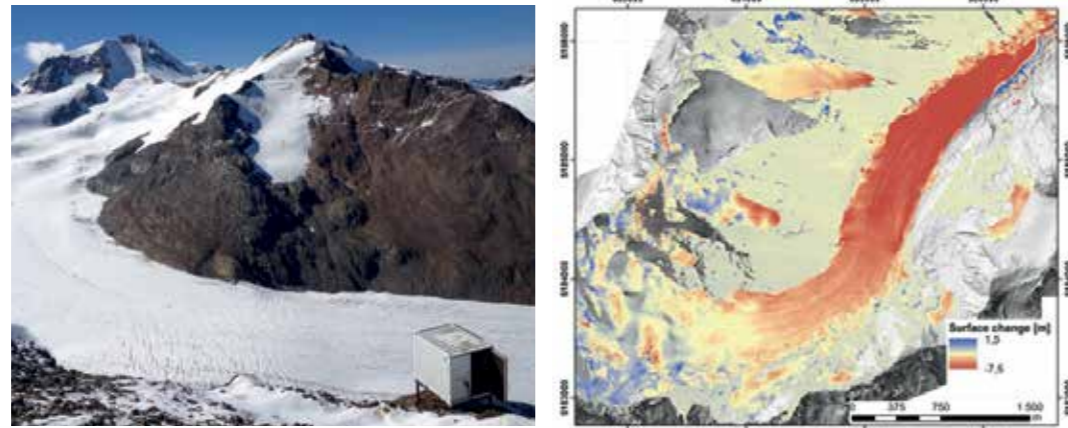


Figura 6: Stazione 'Im Hinteren Eis' attrezzata con un laser scanner fisso e gli strumenti necessari alla restituzione georeferenziata dei dati di misura. In alto a sinistra: Stazione 'Im Hinteren Eis' con vista su Hintereisferner, Palla Bianca e Cima di Vallelunga. In alto a destra: modello differenziale del terreno basato su due scansioni laser. Al centro: immagine laser scanner dell'area di studio. In basso: profilo altimetrico del bilancio di massa specifico del Hintereisferner per l'anno idrologico 2019/20 integrato con i dati di ablazione e accumulo rilevati in campo.

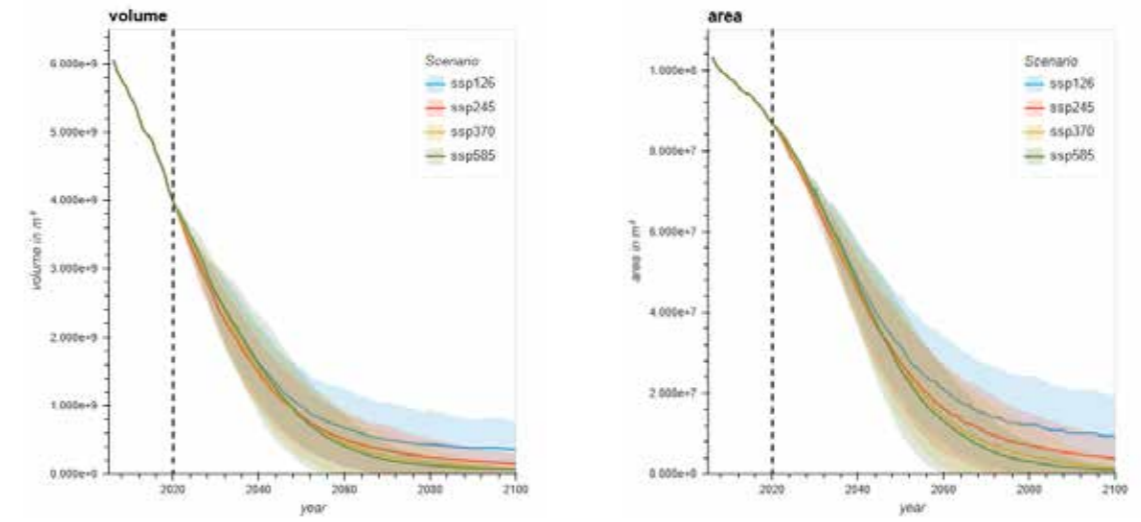


Figura 7: Proiezioni del volume e dell'area dei ghiacciai di tutta l'area di studio fino al 2100 in base a quattro diversi scenari climatici. Per gli scenari climatici, sono state utilizzate quattro differenti 'Shared Socioeconomic Pathways (SSP)' (SSP1, SSP2, SSP3 e SSP5). Esse si differenziano per le diverse emissioni di gas serra fino al 2100 e sono state sviluppate per il prossimo rapporto IPCC.

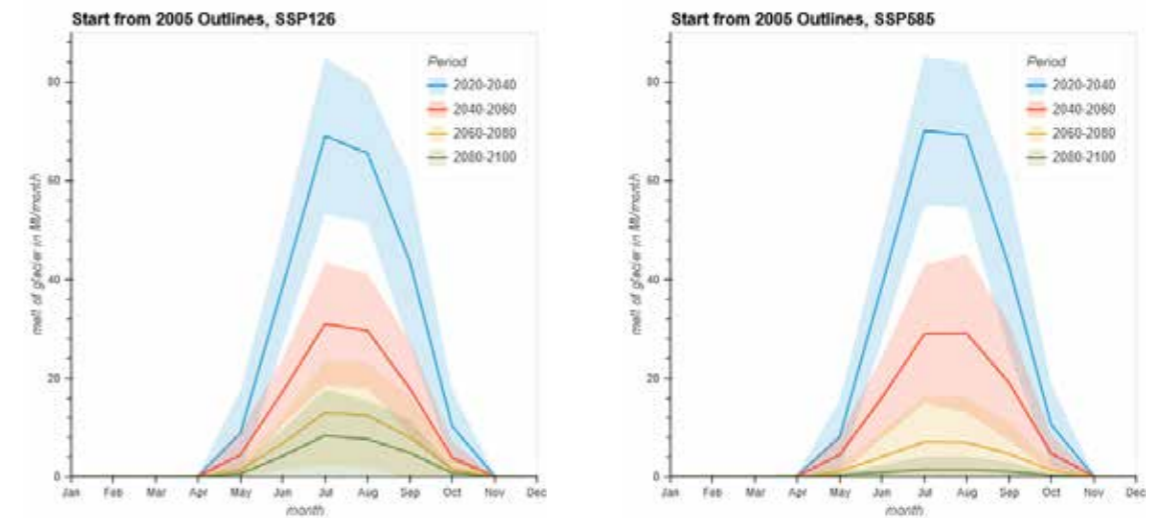


Figura 8: Proiezioni del deflusso dei ghiacciai fino al 2100 basate su due diversi scenari climatici. Per gli scenari climatici, sono state utilizzate quattro differenti 'Shared Socioeconomic Pathways (SSP)' (SSP1, SSP2, SSP3 e SSP5). Esse si differenziano per le diverse emissioni di gas serra fino al 2100 e sono state sviluppate per il prossimo rapporto IPCC.

Utilizzando tecniche di telerilevamento all'avanguardia e sulla base dei catasti dei ghiacciai aggiornati al 2016/17, è stato possibile calcolare i bilanci di massa geodetici di un gran numero di ghiacciai selezionati per il periodo 2005-2016/2017 (vedi Figura 6). La fotografia del glacialismo offerta dai vari aggiornamenti dei catasti dei ghiacciai dell'area di studio, come quello più recente realizzato nell'ambito del progetto GLISTT, fornisce anche la base dati necessaria per guardare al futuro e calcolare i possibili scenari di ulteriore deglaciazione. Questi consentono anche una stima del futuro contributo dei ghiacciai al ciclo idrologico. Con l'aiuto dell'Open Global Glacier Model (OGGM), tali proiezioni sono state calcolate da oggi al 2100 per l'intera regione GLISTT (vedi Figure 7 e 8). Tutti gli scenari mostrano una progressiva perdita di area e di massa dei ghiacciai nell'area di studio, che a sua volta comporta una massiccia riduzione del loro contributo al ciclo idrologico. È molto probabile che verso la fine del XXI secolo il contributo della fusione glaciale sarà dell'ordine di meno di un decimo rispetto a quello attuale.

È verosimile che durante le fasi in cui l'arretramento dei ghiacciai sarà più forte, nelle regioni d'alta quota dell'area di studio si manifesterà una pronunciata instabilità geomorfologica. Per analizzare questi cambiamenti, il progetto ha utilizzato sia i dati del catasto prodotto sia altre informazioni elaborate ad hoc. I dati di telerilevamento multi-temporali ad esempio sono stati utilizzati per studiare le variazioni superficiali causate da pericoli naturali come colate detritiche, caduta massi o frane. Questo permette di porre l'attenzione sulle modificazioni delle aree di interfaccia tra quelle glaciali e quelle periglaciali, con un focus particolare dedicato alle infrastrutture umane quali le aree sciistiche di alta quota, le vie di comunicazione, gli accessi ai rifugi o i percorsi escursionistici. Nell'estate del 2020, una grande colata detritica ha interessato la zona frontale del Hintereisferner, con interessamento di una classica via di accesso alla Palla Bianca. Questa colata detritica, che può essere presa ad esempio per un gran numero di eventi simili, è stata studiata in dettaglio con l'aiuto di tecnologie di scansione laser all'avanguardia come un laser scanner terrestre in combinazione con un drone a scansione laser (vedi Figura 9). È molto probabile che nei prossimi decenni la regione di studio sarà interessata da un sensibile aumento dell'instabilità geomorfologica delle aree periglaciali a causa delle significative alterazioni causate dallo scioglimento dei ghiacciai. Dopo che queste fasi di parziale destabilizzazione avranno fatto il loro corso, è verosimile che subentri una fase di stabilizzazione dei suoli con progressivo miglioramento della situazione. Questa possibile stabilizzazione sarà tuttavia variabile nel tempo e nello spazio.

Sulla base delle analisi effettuate nell'ambito del progetto GLISTT e dei catasti dei ghiacciai prodotti, è possibile analizzare e stimare le conseguenze dei cambiamenti climatici sull'ambiente e quindi gli impatti socio-economici che ne derivano, fornendo ai decisori uno strumento per pianificare le misure di adattamento da mettere in campo.

Gli sviluppi tecnici e scientifici disponibili sono stati inoltre considerati e combinati per definire un concetto operativo, innovativo e sovra-regionale di monitoraggio delle aree glaciali, tarato sulle esigenze dei portatori di interesse dei settori dell'idrologia, dei rischi naturali, della gestione energetica, dell'agricoltura e del turismo. Da un lato, questo concetto tiene conto dei programmi di misurazione dei ghiacciai già esistenti in Tirolo e in Alto Adige, dall'altro li integra e li ottimizza con i dati resi disponibili dalle più moderne tecniche di telerilevamento, componendo così un quadro informativo integrale dei cambiamenti in atto. Il grande valore aggiunto offerto dai dati satellitari ad alta risoluzione temporale e spaziale, peraltro liberamente fruibili, è quello di aumentare la risoluzione e la frequenza delle informazioni che possono essere rese disponibili ai decisori e agli utenti interessati (vedi Figura 10). Il nucleo di questo concetto di monitoraggio glaciologico è l'accoppiamento di metodi di misura tradizionali e tecnologie di telerilevamento all'avanguardia.

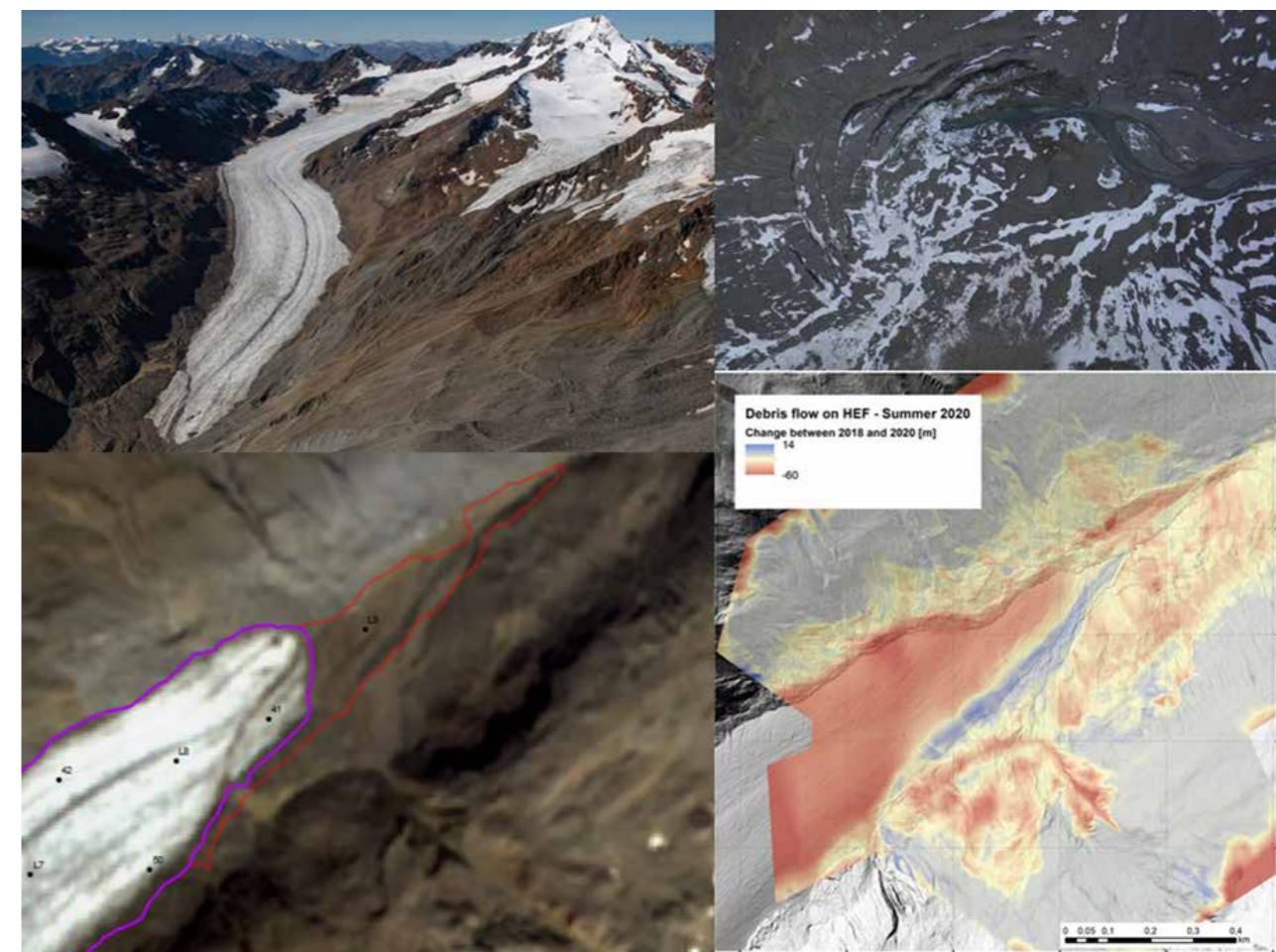


Figura 9: Colata detritica che ha interessato la lingua del Hintereisferner nell'estate 2020 e prime analisi. In alto/sinistra: foto aree dell'Hintereisferner. In alto/destra: viene mostrata una sezione dettagliata dello smottamento che ha raggiunto la lingua dell'Hintereisferner. In basso/sinistra: sono mostrate le valutazioni dei dati della scansione laser con delimitazione del ghiacciaio in viola e delle aree di protezione dalle colate detritiche in rosso (immagine di sfondo: Sentinel 2); in basso/destra: immagine differenziale dalle scansioni laser.

Nella prima fase (da 1 a 5 anni), le tecniche di monitoraggio più innovative devono essere applicate e verificate al fine di calibrare e validare il concetto generale in modo da predisporre la sua implementazione operativa futura.



Figura 10: Schema concettuale del primo periodo di implementazione del concetto di monitoraggio dei ghiacciai sviluppato in GLISTT. Per un orizzonte temporale di 10 anni, da Y1 a Y10, nella parte superiore del grafico sono riportate le misure di monitoraggio tradizionali mentre in quella inferiore sono evidenziate le applicazioni di telerilevamento. La freccia in entrambe le direzioni segnala il generale aumento delle risorse da impiegare.

4. Esplorare ciò che può essere esplorato: un contributo alla comprensione dei ghiacciai e dei cambiamenti climatici nelle Alpi

Nel 2014 l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha lanciato un innovativo programma per l'osservazione della Terra costituito dalla famiglia dei satelliti Sentinel. Dal 2017 sono completamente operativi quattro satelliti, la coppia di satelliti Sentinel-1 e la coppia Sentinel-2, particolarmente interessanti per il monitoraggio dei ghiacciai alpini. In particolare, i due satelliti Sentinel-2 offrono delle immagini ottiche multi-spetttrali, che coprono la parte del visibile e dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico (Figura 11), a una risoluzione spaziale fino a 10 metri e un tempo di rivisita di almeno 5 giorni su ogni punto della superficie terrestre. I due satelliti Sentinel-1, invece, montano un sensore radar in grado di acquisire informazioni su ogni punto della superficie terrestre almeno ogni 6 giorni con una risoluzione di 20 metri.

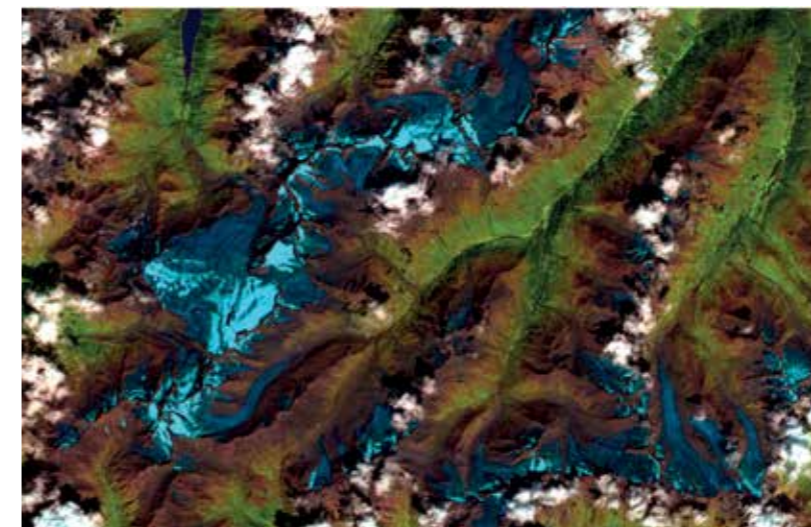


Figura 11: Esempio di immagine Sentinel-2 acquisita sui ghiacciai delle Alpi Venoste (17 agosto 2018). L'acquisizione dell'immagine in diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico ci permette di distinguere meglio tra neve, ghiaccio e copertura nuvolosa. In particolare, in questa rappresentazione a falsi colori vengono utilizzati i canali del visibile e infrarosso dove la parte innevata e con ghiacciai appare in diverse tonalità di azzurro.

Nel progetto GLISTT abbiamo sviluppato nuovi metodi per elaborare ed estrarre informazioni da questi dati satellitari di ultima generazione, il cui accesso e utilizzo è completamente gratuito. Con l'ausilio di tecniche di intelligenza artificiale applicate all'analisi di immagini, le procedure sviluppate sono totalmente automatiche. Nello specifico, sfruttando le caratteristiche dei satelliti Sentinel-2 siamo ora in grado di monitorare con dettaglio i cambiamenti di copertura nevosa dei ghiacciai alpini durante una stagione estiva. Questo permette da una parte di avere per ogni anno un'immagine di tutti i ghiacciai nel loro periodo di massima ablazione, dall'altra un confronto coerente e costante dello stato dei ghiacciai anno dopo anno (Figura 12).

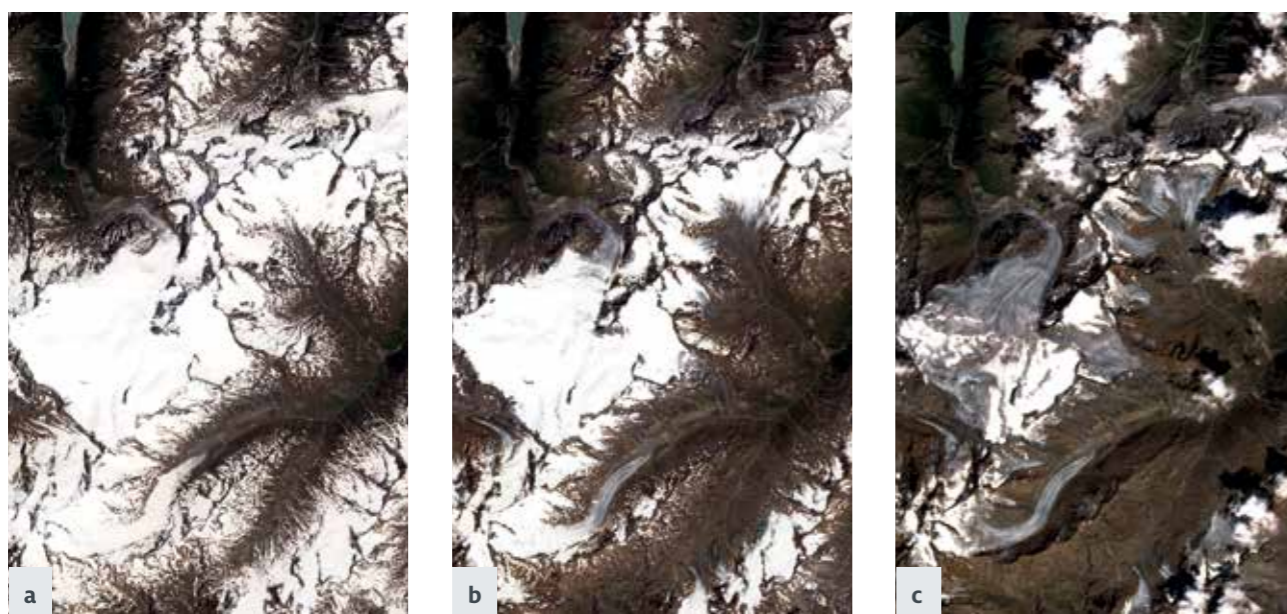


Figura 12: Ghiacciai delle Alpi Venoste osservati da Sentinel-2 in diversi momenti della stagione estiva 2018: 16 giugno (a) con la neve che copre ancora quasi per intero i ghiacciai; 13 luglio (b) quando nella parte bassa del ghiacciaio inizia ad affiorare il ghiaccio; 17 agosto (c) durante la massima ablazione dei ghiacciai che risultano quasi per intero scoperti da neve.

I dati radar Sentinel-1 completano questo tipo di informazione essendo dotati di due caratteristiche molto interessanti per il monitoraggio dei ghiacciai alpini: 1) il segnale radar penetra nelle nuvole, che risultano quindi invisibili al sensore montato sul satellite. In caso di persistenza nuvolosa per periodi estesi le immagini radar possono quindi offrirci ugualmente una visione dall'alto di come sta evolvendo la copertura nevosa sui ghiacciai; 2) grazie a una specifica elaborazione del dato, cioè tramite interferometria, il dato radar Sentinel-1 è in grado di individuare i movimenti superficiali (Figura 13). Questa caratteristica viene sfruttata per la mappatura dei ghiacciai coperti da detrito, che sono di difficile individuazione, invece, dalle immagini ottiche. I ghiacciai coperti da detriti, infatti, si muovono tipicamente verso valle e per questo motivo risultano facilmente individuabili nelle immagini radar Sentinel-1.



Figura 13: Esempio di immagine di coerenza interferometrica ricavata da immagini Sentinel-1 acquisite nella stagione estiva 2016 sulle Alpi Venoste. Nell'immagine, più la sfumatura di grigio è tendente al nero (bassa coerenza interferometrica) più è alta la probabilità di osservare una deformazione superficiale, ad esempio causata dal movimento dei ghiacciai verso valle.

5. Cosa ci muove: un breve riassunto



UNO SGUARDO MALINCONICO AI GHIACCIAI DELL'ALTO ADIGE E DEL TIROLO: GOODBYE GLACIERS

La progressiva deglaciazione del nostro Pianeta è l'evidenza più immediata e inequivocabile del riscaldamento globale. Rivolgere l'attenzione alle modificazioni della criosfera e della morfologia dell'alta montagna è quindi fondamentale per veicolare una corretta informazione e sensibilizzazione circa la necessità di un'azione globale finalizzata a consegnare alle nuove generazioni la speranza di un futuro sostenibile. La mostra fotografica "Goodbye Glaciers", incentrata su una serie di confronti fotografici, ha consentito di mettere a nudo le differenze tra lo stato dei ghiacciai in corrispondenza della loro massima espansione recente, risalente a soli 100-150 anni fa, e la situazione attuale, toccando profondamente le coscienze e quindi stimolando i visitatori a contribuire in modo attivo alla lotta contro i cambiamenti climatici. L'obiettivo è quello di limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2 gradi (secondo l'ultimo rapporto dell'IPCC a 1,5 gradi) perché almeno una minima parte dei ghiacciai delle Alpi possa sopravvivere fino a fine secolo. Per misurare gli effetti delle nostre azioni abbiamo puntato i fari su alcuni ghiacciai rappresentativi dell'area di studio. Queste foto-webcam sono lo strumento per non perdere di vista gli obiettivi dell'agenda mondiale sul clima alla quale ognuno può contribuire.



CATTURARE CIÒ CHE DEVE ESSERE CATTURATO: UN'EREDITÀ PER LE GENERAZIONI FUTURE

La perdita media di superficie dei ghiacciai nell'area di studio misurata con i metodi più moderni su un periodo di quasi un decennio e mezzo è pari a poco meno del 20%.

È molto probabile che alla fine del XXI secolo lo scioglimento dei ghiacciai contribuirà al ciclo idrologico per meno di un decimo rispetto a quanto non faccia oggi.

È molto probabile che, a causa delle modificazioni indotte dallo scioglimento dei ghiacciai, nella regione di studio i prossimi decenni saranno segnati da un aumento dell'instabilità geomorfologica delle aree periglaciali. Ad una fase transitoria instabile, è verosimile che seguirà un progressivo miglioramento della situazione, differenziato nel tempo e nello spazio.

È stato sviluppato un concetto per il monitoraggio regionale dei ghiacciai. Il nucleo del concetto è l'accoppiamento di metodi di misura tradizionali con tecnologie di telerilevamento all'avanguardia. Nella prima fase (da 1 a 5 anni), le tecniche di monitoraggio più innovative devono essere applicate e verificate al fine di calibrare e validare il concetto generale in modo da consentirne l'implementazione operativa futura.



ESPLORARE CIÒ CHE PUÒ ESSERE ESPLORATO: UN CONTRIBUTO ALLA COMPrensIONE DEI GHIACCIAI E DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI NELLE ALPI

Lo sviluppo tecnologico riguardante l'osservazione della Terra dallo spazio è in grande evoluzione in questi ultimi anni. Anche nell'ambito del monitoraggio dei ghiacciai è quindi molto importante sviluppare nuove tecniche per sfruttare al meglio questi nuovi dati. In particolare, il dato satellitare è l'unico strumento che è in grado di offrire con regolarità temporale informazioni omogenee della superficie terrestre su grandi aree. Per un monitoraggio regionale dei ghiacciai, quindi, questo dato risulta fondamentale. In GLISTT sono state sviluppate nuove tecniche, le quali sfruttando dati ottici multi-spettrali e radar satellitari possono offrire a livello regionale un aggiornamento annuale dello stato dei ghiacciai e in particolare delle loro variazioni areali, inclusa la parte di ghiaccio coperta da detrito, e dell'evoluzione stagionale della copertura nevosa.

