

IL GRUPPO LAVORO MONTAGNE DEL CNR
PRESENTA

Il contributo della ricerca scientifica per la comprensione e la salvaguardia della criosfera

CNR
DSSTTA

 Consiglio Nazionale
delle Ricerche

12 DICEMBRE 2025 | ORE
9:00-15:30 | AULA MARCONI
CNR, ROMA

<https://dta.cnr.it/project/criosfera2025/>





Consiglio Nazionale
delle Ricerche

Il Gruppo di Lavoro Montagne del CNR presenta

IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA
SCIENTIFICA PER LA COMPrensIONE E
LA SALVAGUARDIA DELLA CRIOSFERA

Roma (Italy), 12th December 2025

Editors

Angela Marinoni
Martina Mazzini

BOOK OF ABSTRACTS

ORGANIZERS



CNR
DSSTTA^o

 **Consiglio Nazionale
delle Ricerche**

DOI

The digital version is published in Open Access on <https://dta.cnr.it/gruppi-di-lavoro/montagne/>

The present book is licensed under CC BY-SA 4.0



Graphic design by Martina Mazzini

EDITORS IN CHIEF

Angela Marinoni, Martina Mazzini

ORGANISING COMMITTEE

Marta Chiarle

Angela Marinoni

Luigi Mazari Villanova

Martina Mazzini

Pietro Mosca

Guido Nigrelli

Michela Rogora

INDICE

<u>Prefazione</u>	8
<u>Introduzione</u>	9
<u>Programma della giornata</u>	12
<u>SESSIONE 1: La criosfera come indicatore climatico</u>	17
<u>Ice Memory - la memoria dei ghiacci</u>	18
<u>Cloud Radiative Effects on Polar regions: an Empirical Evaluation</u>	19
<u>Albedo feedback nelle regioni polari</u>	20
<u>La Carovana dei Ghiacciai e la governance della criosfera: dalla ricerca scientifica all'azione climatica</u>	21
<u>Studio dei trend di altezza neve sull'Appennino nel periodo 1980-2025</u>	22
<u>Gradienti latitudinali nella biodiversità di invertebrati nelle pozze di crioconite</u>	23
<u>From White Reservoirs to Green Responses: Impact of Snow Drought on Gross Primary Production</u>	24
<u>Perdita della criosfera marina, Atlantificazione e biodiversità: lezione dal Mare di Barents</u>	26
<u>SESSIONE 2: La criosfera come fattore di rischio</u>	27
<u>Mitigazione del rischio da frana nella criosfera delle Alpi: un progetto PRIN 2022</u>	28
<u>Attività congiunte tra DPC e CNR-IRPI per la conoscenza e la mitigazione dei rischi naturali in ambienti alpini glacializzati e con permafrost</u>	30

<u>Exploring LoRa Technology for Search and Rescue Operations in Mountain Environments</u>	31
<u>Presenza e comportamento dei contaminanti emergenti nella criosfera: sostanze industriali, metalli pesanti e composti farmaceutici in neve e ghiaccio alpino e polare</u>	33
<u>Applicazione di reti neurali artificiali a dati satellitari e in situ per generare forzanti meteorologiche sub-chilometriche per la simulazione delle proprietà fisiche del manto nevoso</u>	34
<u>SESSIONE 3: La criosfera come risorsa idrica</u>	36
<u>Dinamiche di interazione clima/ghiacciaio al Terzo Polo</u>	37
<u>Impatto delle impurità sulla fusione della criosfera Alpina</u>	38
<u>Caratterizzazione delle proprietà dielettriche della neve: dalle misure sul campo al laboratorio</u>	39
<u>Contributo del telerilevamento ottico e termico alla stima dei parametri della neve</u>	41
<u>Costruzione di un dataset di SWE per il trentennio 1991-2021 nel Distretto del fiume Po</u>	42
<u>The day after the Ice: gli effetti della deglaciazione nell'evoluzione idro-geomorfologica e sulla connettività sedimentaria del bacino del Rio Aurna (Alpe Veglia, Alpi centro-occidentali)</u>	43
<u>Modelling snow and water resources over Alpine basins</u>	45

POSTER

<u>Regimi termici delle pareti rocciose di alta montagna: osservazioni in situ della radiazione solare e della temperatura delle rocce</u>	46
<u>33 anni di ricerche ecologiche alla stazione di alta montagna del sito LTER "Velino-Duchessa"</u>	47
<u>Il lato oscuro della neve: carbonio e polveri minerali sull'Appennino centrale</u>	48
<u>Conservazione degli archivi glaciali e innovazione tecnologica nelle perforazioni profonde di ISP-CNR</u>	49
<u>Nuove implementazioni del sistema CFA a Ca' Foscari: CNR-ISP per l'analisi ad alta risoluzione di isotopi e traccianti organici in carote di ghiaccio alpine e polari</u>	51
<u>Cryoconites as Proxies of Global Change in the Cryosphere</u>	52
<u>Carbon dioxide fluxes in glacier forelands: patterns, drivers and temporal trends</u>	53
<u>Evidenze sulla presenza di Contaminanti organici persistenti ed emergenti nella criosfera delle Svalbard</u>	54
<u>Il progetto LIQUIDICE: Un'analisi della fusione della criosfera e i suoi impatti socio-economici e sulle risorse idriche</u>	55
<u>Qualità delle acque nelle sorgenti in uscita da rock-glacier: risultati da un monitoraggio multi-sito nelle Alpi occidentali</u>	56
<u>Approccio multi-sensore per la mappatura della copertura nevosa e la stima della profondità della neve nell'Appennino Centrale</u>	58
<u>Approccio multi-sensore per la mappatura della copertura nevosa e la stima della profondità della neve nell'Appennino Centrale</u>	59

Prefazione

Il Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente del CNR opera in un contesto scientifico caratterizzato da elevata complessità e interconnessione tra fenomeni naturali, ambientali e socio-economici. In tale scenario, i gruppi di lavoro tematici rappresentano uno strumento strategico per garantire coerenza, efficacia e sinergia nelle attività di ricerca, stimolando la partecipazione attiva di colleghi che operano ogni giorno nelle diverse sedi.

I gruppi tematici consentono infatti di aggregare competenze complementari, favorire la condivisione di conoscenze e sviluppare approcci integrati alle problematiche ambientali. Costituiscono perciò un elemento essenziale per il raggiungimento degli obiettivi del Dipartimento, permettendo di essere costantemente in linea con le priorità scientifiche ed essendo aggiornati con le politiche nazionali ed europee.

In questo quadro, il Gruppo di Lavoro "Montagne" riveste un ruolo di particolare rilievo. Le aree montane, per la loro rilevanza ecologica, idrologica e climatica, richiedono un approccio multidisciplinare che integri geoscienze, ecologia, climatologia, idrologia, economia e scienze sociali. Il coordinamento delle attività in tale ambito è fondamentale per affrontare le sfide legate alla conservazione della biodiversità, alla gestione sostenibile delle risorse, alla mitigazione e dei rischi naturali, con ricadute significative per le comunità locali e per le politiche di adattamento ai cambiamenti climatici.

Il convegno "Il contributo della ricerca scientifica per la comprensione e la salvaguardia della criosfera", organizzato dal Gruppo di Lavoro "Montagne" del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente del Consiglio Nazionale delle Ricerche, si colloca nel contesto dell'Anno Internazionale per la Preservazione dei Ghiacciai (<https://www.un-glaciers.org/en>) e segna l'avvio della Decade di Azione per le Scienze Criosferiche (<https://www.un-cryosphere.org/en>), iniziative delle Nazioni Unite volte a promuovere conoscenza, coordinamento scientifico e politiche globali per la tutela di questi ambienti in rapido declino. La scelta della data, il 12 dicembre 2025, in prossimità della Giornata Internazionale della Montagna, sottolinea ulteriormente l'intento di rafforzare i legami tra ricerca, governance e società, evidenziando l'urgenza di un approccio integrato alla gestione delle regioni montane e polari.

Francesco Petracchini

Introduzione

La criosfera, l'insieme delle porzioni del sistema Terra caratterizzate dalla presenza di acqua allo stato solido, incluse calotte glaciali, ghiacciai di montagna, neve stagionale, mare ghiacciato, permafrost e ghiaccio lacustre e fluviale, rappresenta una delle componenti più sensibili e in rapida evoluzione del pianeta, in particolare nell'attuale contesto di cambiamento globale. Negli ultimi decenni, la rapidità e l'intensità dei cambiamenti osservati in queste regioni ne hanno evidenziato il ruolo cruciale come sentinella del riscaldamento globale e, allo stesso tempo, come elemento chiave per la stabilità degli ecosistemi, delle risorse idriche e delle società che subiscono gli effetti delle trasformazioni degli ambienti freddi, polari o di alta montagna. Alla luce di tali trasformazioni, lo studio della criosfera assume una rilevanza senza precedenti nel panorama scientifico internazionale.

Il convegno *“Il contributo della ricerca scientifica per la comprensione e la salvaguardia della criosfera”*, organizzato dal Gruppo di Lavoro “Montagne” del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente del Consiglio Nazionale delle Ricerche, si colloca nel contesto dell'*Anno Internazionale per la Preservazione dei Ghiacciai* (<https://www.un-glaciers.org/en>) e segna l'avvio della *Decade di Azione per le Scienze Criosferiche* (<https://www.un-cryosphere.org/en>), iniziative delle Nazioni Unite volte a promuovere conoscenza, coordinamento scientifico e politiche globali per la tutela di questi ambienti in rapido declino. La scelta della data, il 12 dicembre 2025, in prossimità della *Giornata Internazionale della Montagna*, sottolinea ulteriormente l'intento di rafforzare i legami tra ricerca, governance e società, evidenziando l'urgenza di un approccio integrato alla gestione delle regioni montane e polari.

L'obiettivo principale della giornata è presentare alla le più recenti attività di ricerca condotte dal CNR e dalla comunità scientifica nazionale nel campo delle scienze della criosfera, valorizzando tanto gli aspetti osservativi e modellistici quanto quelli applicativi e di gestione del rischio. L'articolazione del programma riflette la natura multidisciplinare del tema e la necessità di un dialogo continuo tra discipline diverse: dalla glaciologia alla climatologia, dall'ecologia alla geofisica, dall'idrologia alla gestione dei rischi naturali.

La prima sessione, “*La criosfera come indicatore climatico*”, esplora il ruolo della criosfera quale archivio e testimone delle variazioni climatiche passate e presenti. I contributi affrontano tematiche che vanno dall’analisi dei ghiacci come memoria climatica, attraverso iniziative come *Ice Memory*, allo studio delle trasformazioni del ghiaccio marino artico e dei loro effetti sugli ecosistemi, fino ai processi radiativi, all’*albedo feedback* e alle dinamiche neve-atmosfera su scala regionale. Questi lavori evidenziano come le modificazioni osservate nella criosfera stiano avvenendo con velocità e modalità tali da influenzare profondamente il sistema climatico globale, fornendo indicazioni essenziali per il miglioramento dei modelli climatici e per la definizione di scenari più accurati.

La seconda sessione, “*La criosfera come fattore di rischio*”, affronta un tema attuale e delicato, la cui più drammatica manifestazione recente è stato il crollo del seracco della Marmolada avvenuto il 3 luglio 2022, evidente e tragica conseguenza dell’instabilità crescente dei sistemi glaciali alpini. La fusione accelerata dei ghiacciai, la degradazione del permafrost e la maggiore instabilità dei versanti ad alta quota hanno reso sempre più frequenti fenomeni di dissesto idrogeologico in ambiente montano, con impatti significativi sulla sicurezza delle persone, sulle infrastrutture e sugli ecosistemi alpini. Anche le valanghe di neve, da sempre minaccia per le attività outdoor ma anche per viabilità e abitati montani, stanno subendo trasformazioni per effetto del cambiamento climatico. I contributi presentati al convegno mostrano come la ricerca scientifica, in particolare attraverso il monitoraggio avanzato, la modellistica predittiva e le collaborazioni operative tra enti di ricerca e sistemi di protezione civile, sia fondamentale per comprendere l’evoluzione di questi rischi emergenti e per sviluppare strategie di mitigazione efficaci. A questi aspetti si aggiungono nuove evidenze relative alla presenza e al comportamento di contaminanti emergenti in neve e ghiaccio, sottolineando come i cambiamenti in atto possano avere ripercussioni anche sulla qualità ambientale e sul bioaccumulo di sostanze potenzialmente pericolose.

La terza sessione, *“La criosfera come risorsa idrica”*, mette in luce il ruolo essenziale della neve e dei ghiacciai nel bilancio idrologico di molte aree del pianeta, tra cui l’Europa meridionale e l’area del Mediterraneo, già fortemente vulnerabili ai cambiamenti climatici. La criosfera, definita anche *“oro bianco”*, è fondamentale per l’alimentazione dei grandi bacini fluviali, per la produzione idroelettrica, per l’agricoltura e per la disponibilità di acqua potabile. I contributi presentati approfondiscono le dinamiche di interazione clima-ghiacciai, gli impatti delle impurità sulla fusione di neve e ghiaccio, l’uso di tecniche avanzate, dal telerilevamento alle misure dielettriche, per la caratterizzazione della neve, fino allo sviluppo di dataset e modelli idrologici per la gestione delle risorse idriche a scala di bacino. Particolare rilevanza assume anche il tema della deglaciazione e della degradazione del permafrost, con le relative conseguenze geomorfologiche, che influenzano in modo diretto il trasporto solido e la connettività dei sistemi fluviali alpini, ed ecologiche, con effetti sulla qualità delle acque e sugli ecosistemi.

Questa giornata di approfondimento e confronto si pone l’obiettivo di rafforzare ulteriormente le sinergie già esistenti, stimolare nuove collaborazioni e favorire una più ampia consapevolezza del valore strategico della criosfera per il clima, l’ambiente e le società umane. Celebrare la criosfera significa riconoscerla come un patrimonio naturale fragile e insostituibile, la cui salvaguardia richiede un impegno collettivo, fondato sulla conoscenza scientifica e sulla responsabilità condivisa verso le generazioni future.

Il Comitato Organizzatore della Giornata

Marta Chiarle, Angela Marinoni, Luigi Mazari Villanova, Martina Mazzini,
Pietro Mosca, Guido Nigrelli, Michela Rogora

Programma della giornata

9:00- 9:30	SALUTI ISTITUZIONALI	
Angela Marinoni CNR, Coordinatrice Gruppo di Lavoro Montagne		
Francesco Petracchini Direttore del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente del CNR		
Massimo Frezzotti ex-presidente Fondazione Glaciologica Italiana ETS		
Filippo Cadamuro Coordinatore del Servizio Rischi presso il Dipartimento della Protezione Civile		
Vanda Bonardo Presidente di CIPRA Italia (Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi)		
9:30- 10:50	SESSIONE 1: LA CRIOSFERA COME INDICATORE CLIMATICO	
Moderata da Andrea Spolaor (CNR-ISP)		
09:30	Fabrizio De Blasi (CNR-ISP)	Ice Memory - la memoria dei ghiacci
09:40	Angelo Lupi (CNR-ISP)	Cloud Radiative Effects on Polar regions: an Empirical Evaluation
09:50	Giacomo Traversa (CNR-ISP)	Albedo feedback nelle regioni polari

10:00	Vanda Bonardo (Legambiente)	La Carovana dei Ghiacciai e la governance della criosfera: dalla ricerca scientifica all'azione climatica
10:10	Paolo Tuccella (Università degli Studi dell'Aquila)	Studio dei trend di altezza neve sull'Appennino nel periodo 1980-2025
10:20	Diego Fontaneto (CNR-IRSA)	Gradienti latitudinali nella biodiversità di invertebrati nelle pozze di crioconite
10:30	Christian Massari (CNR-IRPI)	From White Reservoirs to Green Responses: Impact of Snow Drought on Gross Primary Production
10:40	Giulia Amaglio (CNR-ISP)	Perdita della criosfera marina, Atlantificazione e biodiversità: lezione dal Mare di Barents
10:50-11:15	PAUSA CAFFÈ	
11:15-12:05	SESSIONE 2: LA CRIOSFERA COME FATTORE DI RISCHIO	
	Modera Marta Chiarle (CNR-IRPI)	
11:15	Guido Nigrelli (CNR-IRPI)	Mitigazione del rischio da frana nella criosfera delle Alpi: un progetto PRIN 2022
11:25	Filippo Cadamuro (Dipartimento della Protezione Civile)	Attività congiunte tra DPC e CNR-IRPI per la conoscenza e la mitigazione dei rischi naturali in ambienti alpini glacializzati e con permafrost

11:35	Michele Girolami (CNR-ISTI)	Exploring LoRa Technology for Search and Rescue Operations in Mountain Environments
11:45	Azzurra Spagnesi (CNR-ISP)	Presenza e comportamento dei contaminanti emergenti nella criosfera: sostanze industriali, metalli pesanti e composti farmaceutici in neve e ghiaccio alpino e polare
11:55	Edoardo Raparelli (Università degli Studi dell'Aquila)	Applicazione di reti neurali artificiali a dati satellitari e in situ per generare forzanti meteorologiche sub-chilometriche per la simulazione delle proprietà fisiche del manto nevoso
12:05-13:15	SESSIONE 3: LA CRIOFERA COME RISORSA IDRICA	
	Moderatore Fabrizio De Blasi (CNR-ISP)	
12:05	Franco Salerno (CNR-ISP)	Dinamiche di interazione clima/ghiacciaio al Terzo Polo
12:15	Biagio Di Mauro (CNR-ISP)	Impatto delle impurità sulla fusione della criosfera Alpina
12:25	Emanuele Mariani (Università degli Studi Roma Tre)	Caratterizzazione delle proprietà dielettriche della neve: dalle misure sul campo al laboratorio
12:35	Claudia Ravasio (Università degli Studi di Milano-Bicocca)	Contributo del telerilevamento ottico e termico alla stima dei parametri della neve

12:35	Claudia Ravasio (Università degli Studi di Milano-Bicocca)	Contributo del telerilevamento ottico e termico alla stima dei parametri della neve
12:45	Matteo Dall'Amico (Waterjade Srl)	Costruzione di un dataset di SWE per il trentennio 1991-2021 nel Distretto del fiume Po
12:55	Gianluca Tronti (Università degli Studi di Milano)	The day after the Ice: gli effetti della deglaciazione nell'evoluzione idro-geomorfologica e sulla connettività sedimentaria del bacino del Rio Aurona (Alpe Veglia, Alpi centro-occidentali)
13:05	Silvia Terzago (CNR-ISAC)	Modelling snow and water resources over Alpine basins
13:15-13:30	CHIUSURA	
13:30-15:30	PAUSA PRANZO, VISITA POSTER E SPAZIO ESPOSITIVO	

POSTER		
SESSIONE	AUTORE	TITOLO
1	Natali Giselle Aranda et al.	Regimi termici delle pareti rocciose di alta montagna: osservazioni in situ della radiazione solare e della temperatura delle rocce
1	Bruno Petriccione	33 anni di ricerche ecologiche alla stazione di alta montagna del sito LTER "Velino-Duchessa"
1	E. Casagrande et al.	Il lato oscuro della neve: carbonio e polveri minerali sull'Appennino centrale
1	Fabrizio de Blasi et al.	Conservazione degli archivi glaciali e innovazione tecnologica nelle perforazioni profonde di ISP-CNR
1	Azzurra Spagnesi et al.	Nuove implementazioni del sistema CFA a Ca' Foscari: CNR-ISP per l'analisi ad alta risoluzione di isotopi e traccianti organici in carote di ghiaccio alpine e polari
1	Laura Sanna et al.	Cryoconites as Proxies of Global Change in the Cryosphere
1	Silvio Marta et al.	Carbon dioxide fluxes in glacier forelands: patterns, drivers and temporal trends
2	Tanita Pescatore et al.	Evidenze sulla presenza di Contaminanti organici persistenti ed emergenti nella criosfera delle Svalbard
3	Andrea Spolaor et al.	Il progetto LIQUIDICE: Un'analisi della fusione della criosfera e i suoi impatti socio-economici e sulle risorse idriche
3	M. Rogora et al.	Qualità delle acque nelle sorgenti in uscita da rock-glacier: risultati da un monitoraggio multi-sito nelle Alpi occidentali
3	Harish Munegala et al.	Approccio multi-sensore per la mappatura della copertura nevosa e la stima della profondità della neve nell'Appennino Centrale

SESSIONE 1
LA CRIOSFERA COME
INDICATORE CLIMATICO



Ice Memory - la memoria dei ghiacci

Jacopo Gabrieli¹, Fabrizio de Blasi¹, Daniele Zannoni², Carlo Barbante²

1. Istituto di Scienze Polari, CNR

2. Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari di Venezia

A partire dalla seconda metà del XIX secolo, i ghiacciai alpini hanno subito un generale ritiro, quasi continuo, perdendo in media il 60% della loro massa. Oltre alle ben note conseguenze in termini di risorsa idrica, ambiente ed ecosistemi alpini, la fusione di un ghiacciaio comporta inoltre la perdita di preziose informazioni sul clima e sull'ambiente del passato. La storia delle nostre Alpi, delle nostre montagne e delle nostre genti è racchiusa nel ghiaccio, come se i suoi strati costituissero le pagine di un unico antico manoscritto conservato in una biblioteca ghiacciata. E così, proprio come per una biblioteca in fiamme, anche la scomparsa di un ghiacciaio è una perdita incalcolabile del nostro patrimonio culturale e delle nostre conoscenze.

Il progetto internazionale Ice Memory ha come obiettivo la perforazione dei più significativi ghiacciai montani a livello mondiale in pericolo di scomparsa, al fine di preservare le informazioni in essi contenute, rendendole disponibili per le generazioni future. In ciascun sito verranno estratte almeno 2 carote di ghiaccio. Di queste, la prima verrà immediatamente analizzata, mentre la seconda trasferita a Dome C, sul plateau Antartico. E là, come in un santuario, conservata. Un progetto che è una vera e propria missione. Una corsa contro il tempo la cui importanza è stata riconosciuta dall'UNESCO, che ne ha concesso il patrocinio. Quando i nostri ghiacciai saranno compromessi o, addirittura, ormai scomparsi, le informazioni in essi contenute potranno ancora essere decifrate dai futuri ricercatori.

Ma Ice Memory, oltre ad essere un progetto scientifico e di conservazione, è anche un grande laboratorio divulgativo. Un contenitore ideale dentro il quale, oltre a parlare di memoria dei ghiacci, si può discutere di tantissimi altri temi quali l'attuale crisi climatica, la sostenibilità ambientale, il rapporto tra uomo e ambiente, soprattutto in territori tanto eccezionali quanto fragili, quali sono le nostre montagne.

Parole chiave: Cambiamenti Climatici

Cloud Radiative Effects on Polar regions: an Empirical Evaluation

Angelo Lupi ¹, Claudia Frangipani ², Maurizio Busetto ³

1. *CNR-ISP*

2. *DWD (Deutscher Wetterdienst)*

3. *CNR-ISAC*

Here we want to show a preliminary analysis of the surface radiation budget in polar environments, emphasizing the quantification of cloud radiative effects (CRE). Using different interval of datasets from ground-based radiometers from various networks we examine the spatiotemporal variability of surface shortwave and longwave flux components under different geographic conditions. Particular attention is given to Arctic and Antarctic seasonal regimes of the CRE. The results provide constrains for evaluating and improving polar cloud parameterizations in Earth system models, thereby enhancing predictive capabilities for polar climate projections under ongoing atmospheric and cryospheric perturbations.

Albedo feedback nelle regioni polari

Giacomo Traversa & Biagio Di Mauro

Istituto di Scienze Polari - Consiglio Nazionale delle Ricerche

L'albedo delle superfici innevate e glaciali è un parametro chiave nel bilancio energetico del sistema climatico, in particolare nelle regioni polari, dove la riflettività condiziona fortemente i flussi radiativi.

Negli ultimi anni sono state condotte diverse attività di studio volte a comprendere le dinamiche spaziali e temporali del feedback dell'albedo. In Antartide, le indagini si sono concentrate sull'impatto radiativo delle aree costiere glacializzate, dove si osserva la formazione di buchi di crioonite e crosta di alterazione. I buchi di crioonite, cavità superficiali riempite da aggregati scuri, riducono localmente l'albedo e favoriscono l'assorbimento di energia solare. Al contrario, la crosta di alterazione, una crosta porosa di ghiaccio che si forma per sublimazione e metamorfismo superficiale, può aumentare la riflettività, generando un effetto "sbiancante".

L'interazione tra questi due processi ha permesso di osservare un feedback albedo inverso, in cui l'effetto oscurante delle impurità glaciali è parzialmente compensato da quello schiarente della crosta di alterazione, con implicazioni complesse sul bilancio radiativo locale.

In Groenlandia, le ricerche si sono focalizzate sulla presenza e sulla stagionalità delle alghe glaciali, organismi fotosintetici che colonizzano la superficie dei ghiacciai riducendone l'albedo. L'approccio adottato combina osservazioni da satellite e misure in campo per stimare l'abbondanza algale e analizzarne la fenologia, con l'obiettivo di quantificare il loro contributo ai processi di fusione superficiale. I risultati mostrano come la proliferazione algale sia strettamente legata alle condizioni meteorologiche e alla durata della stagione di ablazione.

Queste attività contribuiscono a migliorare la comprensione dei meccanismi che regolano la risposta della criosfera ai cambiamenti climatici, fornendo elementi utili per la modellazione dei processi di fusione e per la previsione dell'evoluzione dei ghiacci polari.

Parole chiave: Albedo feedback, Antartide, Groenlandia

La Carovana dei Ghiacciai e la governance della criosfera: dalla ricerca scientifica all'azione climatica

Vanda Bonardo

Responsabile nazionale Alpi Legambiente, Presidente CIPRA Italia

La criosfera rappresenta uno degli indicatori più sensibili della crisi climatica. Il progetto Carovana dei Ghiacciai, promosso da Legambiente con il supporto scientifico della Fondazione Glaciologica Italiana (FGI) e la collaborazione della Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi (CIPRA), costituisce una delle principali esperienze di monitoraggio e divulgazione sui cambiamenti in corso nelle aree montane.

Attraverso una rete di osservazioni annuali e la collaborazione con centri di ricerca e comunità locali, la Carovana documenta la regressione dei ghiacciai e i processi connessi al degrado del permafrost, alla perdita di risorse idriche e all'instabilità dei versanti. I dati raccolti, pubblicati in un report annuale, rappresentano una base scientifica per comprendere la rapidità del riscaldamento e i suoi effetti sull'ambiente alpino e sul ciclo idrologico.

L'edizione 2025 della Carovana ha approfondito tre principali ambiti di ricerca:

1. Ritiro glaciale, con il monitoraggio di otto ghiacciai (tra cui Aletsch, Ventina, Solda, Schneeferner e Adamello);
2. Processi periglaciali e degrado del permafrost, con osservazioni nel bacino della Bessanese e nel tunnel dello Zugspitze;
3. Rischio montano e governance ambientale, che ha evidenziato come la regressione glaciale e l'instabilità dei versanti aumentino la vulnerabilità delle comunità (Blatten).

Su queste evidenze si fonda il Manifesto per una governance europea dei ghiacciai, elaborato da Legambiente, FGI, CAI, CIPRA ed EUMA, nonché filo conduttore dell'intera campagna. Il documento propone la costruzione di un quadro condiviso per il monitoraggio, la tutela e l'adattamento, integrando conoscenza scientifica, politiche territoriali e cooperazione transfrontaliera.

La Carovana dei Ghiacciai conferma così il valore della ricerca scientifica come strumento fondamentale per la governance climatica, rafforzando il ruolo dei ghiacciai quali indicatori e sentinelle del cambiamento.

Parole chiave: Monitoraggio, Cooperazione, Governance

Studio dei trend di altezza neve sull'Appennino nel periodo 1980-2025

Paolo Tuccella ¹, Andrea Di Muzio ¹, Edoardo Raparelli ¹, David Cappelletti ², Domenico Cimini ³, Valentina Colaiuda ⁴, Gabriele Curci ¹, Donatello Gallucci ³, Massimo Pecci ⁵, Francesco Luigi Rossi ⁴

- 1. Università degli Studi dell'Aquila*
- 2. Università di Perugia*
- 3. Consiglio Nazionale delle Ricerche*
- 4. Agenzia di Protezione Civile della Regione Abruzzo*
- 5. Comitato Glaciologico Italiano*

La copertura nevosa sulle montagne del Mediterraneo è in contrazione ormai da diversi decenni. La maggior parte degli studi sulle variazioni del manto nevoso in area mediterranea si è concentrata sulle regioni alpine; pochi studi hanno riguardato l'Appennino, poiché i dati presentano una copertura spaziale e temporale meno uniforme. Tra i dataset nivologici disponibili in Appennino vi è quello del MeteoMont, finalizzato alla raccolta dati per la redazione del bollettino valanghe. Questa banca dati, attiva dal 1980, contiene 84 siti di rilevamento sull'Appennino. L'uso di questi dati è difficoltoso poiché molte serie sono incomplete e spesso le misure non coprono l'intera stagione invernale. Questo lavoro propone una metodologia per l'utilizzo del dataset MeteoMont ai fini di uno studio a lungo termine sullo spessore del manto nevoso in Appennino. La metodologia prevede un controllo di qualità preliminare delle misure. In questa prima fase vengono corretti i dati errati e vengono stimati anche quelli mancanti per periodi non superiori ai tre giorni. Quando possibile, i dati mancanti sono integrati con quelli provenienti da altri dataset. Il secondo passo prevede l'aggregazione dei dati validati in finestre temporali corrispondenti ai periodi in cui vi è la maggiore concentrazione delle misurazioni stagionali e una procedura di correzione delle medie calcolate in ognuno di tali periodi. Quest'ultima procedura è sottoposta a validazione.

Il metodo ha permesso di ottenere 42 serie temporali utili per l'analisi della tendenza dell'altezza della neve nel periodo 1980–2025, nell'Appennino settentrionale e centrale. I risultati preliminari, basati sulla stima della pendenza secondo il metodo di Sen, indicano che, nel periodo 20 dicembre – 15 marzo, la riduzione media dell'altezza della neve è di – 3 cm/decade. Inoltre, l'88% delle stazioni presenta una tendenza alla diminuzione, di cui il 73% risulta statisticamente significativa ($p < 0.05$) secondo il test di Mann-Kendall.

Parole chiave: Trend neve, Appennino

Gradienti latitudinali nella biodiversità di invertebrati nelle pozze di crioconite

Diego Fontaneto

CNR-IRSA

Acqua allo stato liquido per lunghi periodi resiste sulla superficie dei ghiacciai nelle pozze di crioconite, formate dall'azione di batteri e funghi, i quali costituiscono la fonte di cibo principale per alcune specie di rotiferi e tardigradi adattate a questo particolare ambiente della criosfera.

Campionamenti di rotiferi e tardigradi effettuati in ghiacciai a diverse latitudini, dall'Africa e dal Sud America a sud fino a Groenlandia e Svalbard a nord, passando per Alpi, Pirenei e Scandinavia, rivelano gradienti latitudinali di diversità, con maggiore ricchezza di specie nelle aree con maggiore estensione della criosfera.

La ricchezza di specie di questo ambiente sembra essere un indicatore climatico della posizione geografica del ghiacciaio.

From White Reservoirs to Green Responses: Impact of Snow Drought on Gross Primary Production

Mohsin Tariq¹, Francesco Avanzi², Manuela Girotto³, Mariapina Castelli⁴, Marta Galvagno⁵, Alessio Collalti⁶, Daniela Dalmonech⁶, Christian Massari¹

- 1. Research Institute for Geo-Hydrological Protection, National Research Council, Perugia, Italy*
- 2. CIMA Research Foundation, Savona, Italy*
- 3. University of California, Berkeley, USA*
- 4. Institute for Earth Observation, Eurac Research, Italy*
- 5. Environmental Protection Agency of Aosta Valley - Climate Change Unit, Italy*
- 6. Institute for Agricultural and Forestry Systems in the Mediterranean, National Research Council, Italy*

Snow accumulation zones and mountain regions across the world may experience snow droughts. The periods of below-normal snow accumulation are regulated by various factors, with low precipitation and/or unusually warm winters being the most important. Snow droughts represent a significant concern in the context of climate change. As snowpacks shrink and become more persistent, these shifts disturb the natural schedule of available water, reshape the hydrological cycle, and affect the ecosystems that have evolved around stable snow conditions.

We have used Snow Water Equivalent (SWE), Snow Water Equivalent Index (SWEI) [1], Potential Evapotranspiration (GLEAM, Version-4.2a), and Gross Primary Production (GPP-GOSIF) to characterize drought and assess their impacts on GPP and evaporation. As the research continues on a global scale, we have preliminary results from selected regions that include the Alps, Himalayas, Hindukush, Western America, and Eastern Russia.

Recent observations from the Alps show that snow droughts have led to earlier onset of vegetation growth and, in some cases, enhanced GPP, likely due to an extended growing season. By contrast, the Himalayas reveal a distinct seasonal pattern compared to the Alps. In this region, the highest GPP is recorded during the late summer. Although snow droughts reduce winter snow accumulation, they appear to have limited direct influence on growing-season productivity, which is instead dominated by monsoon dynamics.

These results highlight the multifaceted impacts of snow droughts, where a climate-driven factor may simultaneously challenge water resources and accelerate or decline the productivity of the GPP depending on the region.

Perdita della criosfera marina, Atlantificazione e biodiversità: lezione dal Mare di Barents

Tommaso Tesi¹, Gabriella Boretto¹, Lucilla Capotondi², Silvia Giuliani², Giuliana Panieri^{1,3}, Leonardo Langone¹, Patrizia Giordano¹, Stefano Miserochi¹, Federico Giglio¹, Alessio Nogarotto¹, Jens Hefter⁴, Gesine Mollenhauer⁴

1. *Istituto di Scienze Polari (CNR)*
2. *Istituto di Scienze Marine (CNR)*
3. *The Arctic University of Norway (UiT)*
4. *Alfred Wegner Institute (AWI)*

La riduzione del ghiaccio marino artico rappresenta una delle prove più evidenti e tangibili dell'accelerazione climatica che recentemente caratterizza le alte latitudini. Dall'inizio delle osservazioni satellitari negli anni '80, i dati mostrano un trend in costante declino, associato a cambiamenti significativi nelle proprietà delle masse d'acqua.

Tra questi, un fenomeno cruciale ed in forte accelerazione è l'"Atlantificazione" dell'Oceano Artico, particolarmente evidente nella regione delle Svalbard. Tuttavia, le serie satellitari iniziano già con un trend negativo, senza chiarire l'epoca di inizio del processo né il contributo relativo delle cause naturali rispetto a quelle antropiche.

In questa presentazione verranno mostrati dati del recente passato ottenuti da archivi climatici sedimentari (carote di sedimento), che consentono di ricostruire in maniera quantitativa la copertura del ghiaccio marino e di estendere così le osservazioni prima dell'era satellitare.

Saranno discussi i risultati del progetto PRIN 2022 ATTRACTION, focalizzato sul Mare di Barents (Artico), la regione che ha registrato la più marcata perdita di ghiaccio marino a scala globale. Verranno inoltre presentate evidenze sugli effetti della riduzione della criosfera sulla biodiversità bentonica, a dimostrazione di come gli impatti della diminuzione del ghiaccio marino possano manifestarsi a cascata fino a centinaia di metri sotto il livello del mare, mettendo in luce le profonde interconnessioni tra cambiamento climatico, criosfera ed ecosistemi marini.

SESSIONE 2
LA CRIOSFERA COME
FATTORE DI RISCHIO



Mitigazione del rischio da frana nella criosfera delle Alpi: un progetto PRIN 2022

Guido Nigrelli¹, Erica Matta¹, Andrea Merlone², Graziano Coppa², Natali Aranda², Vincenzo Corrado³, Ilenia Ballarini³, Seyed Amir Afzali Fatatouei³, Mamak P. Tootkaboni³, Andrea Gramazio⁴, Marta Chiarle¹

1. *Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Strada delle Cacce, 73 10135 Torino*

2. *Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Strada delle Cacce, 91 10135 Torino*

3. *Politecnico di Torino, Dipartimento Energia, Corso Duca degli Abruzzi, 24 10129 Torino*

4. *Lab3841 s.r.l., Via Maestri del Lavoro, 19 12100 Cuneo*

Negli ambienti alpini di alta quota, la degradazione della criosfera e del permafrost causata dagli attuali cambiamenti climatici procede velocemente. In questo contesto, le variazioni delle temperature di aria e roccia, l'aumento dei cicli di gelo-disgelo e le modificazioni dei regimi di precipitazione risultano essere fra i più importanti fattori preparatori dei processi di instabilità naturale. Negli ultimi decenni è stato osservato un significativo aumento di questi processi, in particolar modo crolli di roccia.

Nonostante i numerosi studi sull'argomento, la conoscenza delle relazioni tra temperatura dell'aria e temperatura della roccia e la complessa termodinamica che le lega presenta ancora ampi margini di incertezza, così come il trasferimento del calore dalla superficie all'interno dei diversi litotipi, che avviene direttamente sui versanti rocciosi.

Al fine di procedere verso la definizione di scenari di pericolosità e di rischio da applicare in versanti instabili o potenzialmente instabili per la mitigazione del rischio da frana in alta quota, è stato sviluppato il progetto PRIN 2022 "Rockfall risk mitigation in the Alps", che ha visto impegnati gli autori di questo contributo.

Il progetto, giunto alle sue fasi conclusive, ha raggiunto i seguenti principali obiettivi:

1. aumento delle conoscenze sulle relazioni termiche aria-roccia in alta quota;
2. installazione e utilizzo in ambienti estremi di sistemi IoT;
3. utilizzo di sensoristica metrologicamente validata;
4. sviluppo e applicazione di modelli di trasferimento del calore in roccia litotipo-specifici ed esportabili;

5. analisi di scenario di cambiamento climatico;
6. messa in rete delle conoscenze acquisite, in forma gratuita ed in tempo quasi reale mediante un portale dedicato (<https://bessanese.lab3841.it>): forse l'unico sito per il quale è nota la possibilità di accesso diretto al pubblico in near-real time di dati di temperatura della roccia.

Attività congiunte tra DPC e CNR-IRPI per la conoscenza e la mitigazione dei rischi naturali in ambienti alpini glacializzati e con permafrost

Filippo Cadamuro¹, Paolo Allasia², Marco Baldo², Mario Barbani¹, Davide Bosso², Marta Chiarle², Niccolò Dematteis², Daniele Giordan², Danilo Godone², Francesco Leone¹, Giovanni Mortara², Guido Nigrelli²

1. Dipartimento della Protezione Civile

2. CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Gli ambienti glaciali e con permafrost stanno rispondendo con rapidità al riscaldamento climatico in corso. La degradazione della criosfera, in particolare, determina un riequilibrio dei sistemi naturali, con aumento dell'instabilità naturale. Molti dei processi in atto sono ancora poco noti e nuovi pericoli stanno emergendo, mettendo a rischio chi abita e frequenta la montagna.

In questo contesto, la collaborazione tra DPC e CNR-IRPI, centro di competenza del DPC, si propone di fornire conoscenze e strumenti metodologici/tecnologici a supporto della valutazione della pericolosità e della mitigazione del rischio negli ambienti glacializzati e con permafrost.

I prodotti realizzati finora includono una revisione dei principali pericoli per le aree glaciali e periglaciali delle Alpi italiane, la traduzione in italiano del documento “Valutazione della pericolosità associata a ghiacciai e permafrost in aree montane”, redatto nel 2017 dal gruppo di lavoro internazionale GAPHAZ, corredato da un glossario, un aggiornamento della letteratura e un adattamento alla realtà italiana.

Inoltre, la crescente necessità di soluzioni innovative per lo studio dell'evoluzione delle instabilità che interessano questi ambienti ha suggerito l'opportunità di redigere delle “Linee guida per soluzioni di monitoraggio per le instabilità glaciali e periglaciali”.

I risultati di questa collaborazione sono stati utilizzati anche nell'ambito del “Gruppo di lavoro sul rischio connesso ai fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali”, istituito il 20 maggio 2024 con Decreto del Presidente del DPC e che include rappresentanti di tutte le Amministrazioni e degli Enti competenti in materia di rischio in ambito alpino.

L'obiettivo del gruppo di lavoro è stato quello di condividere indirizzi metodologici per l'implementazione di attività di conoscenza, formazione, informazione e sensibilizzazione sui rischi nell'area alpina, nel contesto dei cambiamenti climatici in corso.

Parole chiave: Ghiacciai, Permafrost, Rischio, Mitigazione

Exploring LoRa Technology for Search and Rescue Operations in Mountain Environments

Michele Girolami¹, Fabio Mavilia¹, Andrea Berton² and Gaetano Marrocco³

- 1. Institute of Information Science and Technologies "Alessandro Faedo", National Research Council of Italy*
- 2. Institute of Geosciences and Earth Resources, National Research Council of Italy*
- 3. Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering, University of Rome Tor Vergata, Rome, Italy*

Search and Rescue operations in snowy environments are particularly challenging. Ski mountaineers and winter hikers usually carry a rescue kit with ARTVA (avalanche beacon), shovel, and probe. However, survival probability strongly depends on companions ability or SAR teams to quickly detect the ARTVA signal and identify the burial location. Avalanche statistics highlight that survival rate drops remarkably after the first 15 minutes of burial.

Some factors can contribute to increase winter accidents, such as climate change, which modifies snowfall patterns and might generate unstable snow accumulations, and the growing number of people involved in winter mountain activities, leading to a higher rate of human-triggered avalanches. This emphasizes the importance of ARTVA training and the potential of technological solutions to complement ARTVA-based localization, which relies on detecting the magnetic field emitted by the transmitting beacon.

This study investigates the adoption of LoRa (Long Range) wireless technology to support localization of avalanche victims. We developed and validated a methodology through an experimental campaign designed for realistic avalanche SAR conditions, with a LoRa transmitter buried under snow. The environment introduces two major challenges: absence of line-of-sight and attenuation caused by snowpack density, temperature, and humidity.

Our campaign deployed a buried transmitter, similarly to an ARTVA beacon, and multiple receivers across an avalanche field. We measured degradation of Received Signal Strength (RSS) and Signal-to-Noise Ratio (SNR) as a function of distance, collecting simultaneous data at reference points.

Tests were carried out under varying burial depths and the snowpack features. Our experimental results provide insights into how LoRa can complement ARTVA systems, potentially enhancing localization and survival chances in time-critical SAR operations.

Presenza e comportamento dei contaminanti emergenti nella criosfera: sostanze industriali, metalli pesanti e composti farmaceutici in neve e ghiaccio alpino e polare

Azzurra Spagnesi^{2,1}, Andrea Gambaro^{2,1}, Elena Barbaro¹, Jacopo Gabrieli¹, Carlo Barbante^{2,1}

1. CNR-Institute of Polar Sciences (CNR-ISP), 155 Via Torino, 30170 Mestres, Italy

2. Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics, Ca' Foscari University of Venice, Venice, Italy

I contaminanti di interesse emergente (CECs, Contaminants of Emerging Concern) costituiscono una categoria di inquinanti non ancora regolamentati, ampiamente diffusi su scala globale e caratterizzati da elevata persistenza ambientale e capacità di bioaccumulo, con potenziali impatti negativi sugli ecosistemi e sulla salute umana. In base all'origine, alla natura chimica e all'uso funzionale, i CECs possono essere suddivisi in tre macro-categorie principali: sostanze chimiche industriali e loro sottoprodotti, metalli pesanti e metalloidi e prodotti farmaceutici e per la cura personale.

Il fenomeno del cold-trapping, attivo a scala sia locale sia globale, favorisce l'accumulo di questi contaminanti in regioni remote montane e polari, lontane dalle sorgenti di emissione. Nonostante un numero crescente di studi abbia indagato la presenza e il destino di diverse classi di contaminanti emergenti nella neve, nel ghiaccio, nei laghi e nelle acque di fusione, le conoscenze attuali risultano ancora frammentarie e non pienamente integrate.

In un contesto di rapido cambiamento climatico, la comprensione del ruolo della criosfera nel destino ambientale dei CECs assume un'importanza cruciale. Le alterazioni delle proprietà fisiche della neve e dei ghiacci, insieme alla modifica degli equilibri di partizione e ai processi di rilascio secondario indotti dallo scioglimento dei ghiacciai e dal disgelo del permafrost, possono infatti amplificare la mobilità e la biodisponibilità di tali sostanze.

Questo lavoro propone una sintesi aggiornata delle conoscenze riguardanti la presenza e il comportamento dei contaminanti emergenti nei sistemi criosferici, con l'obiettivo di supportare un'applicazione più efficace dei protocolli ambientali esistenti e di contribuire allo sviluppo di strategie di mitigazione del rischio a tutela della salute umana e dell'ambiente.

Parole chiave: Contaminanti emergenti, Criosfera, Neve, Ghiaccio

Applicazione di reti neurali artificiali a dati satellitari e in situ per generare forzanti meteorologiche sub-chilometriche per la simulazione delle proprietà fisiche del manto nevoso.

Edoardo Raparelli^{1,2}, Paolo Tuccella^{1,2,3}, Filippo Di Liberto¹, Alessia Spezza^{4,5}, Massimo Pecci^{6,3}

- 1. Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche dell'Universit degli Studi dell'Aquila*
- 2. Center of Excellence Telesensing of Environment and Model Prediction of Severe events (CETEMPS)*
- 3. Comitato Glaciologico Italiano (CGI)*
- 4. Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali dell'Universit degli Studi di Milano*
- 5. Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica dell'Universit Ca' Foscari di Venezia*
- 6. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento affari regionali e autonomie*

Grazie alle sue proprietà fisiche, il manto nevoso svolge un ruolo fondamentale nella regolazione del clima globale, ma anche a scala locale ha impatti molto significativi. Infatti, in determinate circostanze, il manto nevoso può dar luogo a valanghe e causare ingenti danni alla flora, alla fauna e alle infrastrutture locali. Tipicamente, le condizioni che consentono il verificarsi di valanghe spaziano dalla scala puntuale a quella di pendio e dipendono dalle proprietà del manto nevoso.

Queste possono essere simulate con modelli numerici di manto nevoso forzati da un input meteorologico. Tuttavia, i modelli di previsione meteorologica numerica (NWP) a risoluzione chilometrica non sono in grado di riprodurre le complesse interazioni che avvengono tra l'atmosfera e la topografia a scala di pendio. Inoltre, l'esecuzione di modelli NWP a risoluzione sub-chilometrica è computazionalmente molto onerosa. Pertanto, abbiamo valutato la possibilità di produrre alcune variabili meteorologiche su griglia a risoluzione sub-chilometrica, applicando a dati satellitari e misurazioni in situ diverse reti neurali artificiali (ANN), che dopo l'addestramento risultano essere computazionalmente meno onerose dei modelli NWP alla stessa risoluzione. Dal confronto delle osservazioni in situ con i dati meteorologici prodotti sia con le ANN che con i modelli NWP, osserviamo metriche migliori per il metodo ANN. Ciò ha un impatto diretto sulla qualità della simulazione delle proprietà fisiche del manto nevoso, che abbiamo effettuato tramite un modello numerico lagrangiano, il quale beneficia dell'output più preciso generato dalle ANN, come confermato dal confronto con dati nivometrici misurati in situ.

Pertanto, l'approccio basato sulle ANN sembra piuttosto promettente, perché in grado di fornire dati meteorologici sufficientemente accurati per forzare un modello di manto nevoso a risoluzione sub-chilometrica, usando una piccola frazione delle risorse computazionali richieste da un modello NWP.

SESSIONE 3
LA CRIOSFERA COME
RISORSA IDRICA



Dinamiche di Interazione Clima/Ghiacciaio al Terzo Polo

Salerno Franco ¹, Jacopo Gabrieli ¹, Nicolas Guyennon ²

1. *ISP-CNR*,

2. *IRSA-CNR*

Il Terzo Polo ospita circa 100.000 km² di ghiacciai, che forniscono acqua a oltre due miliardi di persone. Questa fondamentale risorsa è gravemente minacciata dal riscaldamento globale. Nonostante la sua importanza, le dinamiche di come questi ambienti reagiscono ai cambiamenti climatici non sono comprese, in gran parte a causa della scarsità di dati di monitoraggio a lungo termine a queste quote.

In questo contesto, i Laboratori della Piramide (Nepal) e dello Spantik (Pakistan) offrono un'opportunità unica per migliorare la nostra comprensione di questi meccanismi e anticipare i cambiamenti futuri nella regione del Terzo Polo.

Presentiamo qui i risultati di uno studio che abbiamo pubblicato di recente su *NATURE GEOSCIENCE* e le attività in corso in Pakistan. La novità di questa ricerca è quella di cambiare il paradigma secondo cui i ghiacciai dipendono passivamente dal clima, indagando specificamente la relazione inversa: in che modo i sistemi glaciali influenzano le tendenze climatiche locali?

Non era mai stato ipotizzato prima che i ghiacciai potessero svolgere un ruolo attivo nel modulare il clima locale, in particolare riducendo sia la temperatura estiva sia le precipitazioni. Questo meccanismo di feedback potrebbe influenzare i tassi di fusione dei ghiacciai e lo scongelamento del permafrost. Tuttavia, l'entità e la natura di questi impatti rimangono in gran parte sconosciute e quindi completamente trascurate nella modellizzazione glaciologica e climatica.

Impatto delle impurità sulla fusione della criosfera Alpina

Di Mauro B.¹, **Traversa G.**¹, **Garzonio R.**², **Gatti O.**², **Ravasio C.**², **Gilardoni S.**¹, **Colombo R.**²

1. Institute of Polar Sciences, ISP - CNR, Milan, Italy

2. Dept. of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Italy

La criosfera rappresenta un fondamentale serbatoio di acqua dolce sia nelle regioni alle medie latitudini che in quelle polari. L'attuale cambiamento climatico colpisce la criosfera più di altre componenti del Sistema Terra. Per questo motivo, è importante monitorare tutti i processi che portano al ritiro dei ghiacciai e alla diminuzione del manto nevoso. Nella regione alpina, la neve depositata sui ghiacciai persiste fino alla fine dell'estate e può contribuire a preservare il ghiaccio dalla fusione. Inoltre, la neve stagionale svolge un ruolo chiave nel controllo dei serbatoi idrici alpini.

La neve e il ghiaccio sono spesso percepiti come puri, ma possono essere contaminati da impurità di varia origine e natura, note anche come LAPs (Light-Absorbing Particles). Ricerche recenti hanno suggerito che l'apporto di queste impurità (e.g. polveri minerali, black carbon, organic carbon, alghe, crioconite) esercita una forzante radiativa su neve e ghiaccio. Queste particelle sono infatti in grado di assorbire la radiazione solare, innescando complessi processi di feedback come quello legato all'albedo della neve e del ghiaccio.

Questa forzante radiativa superficiale indotta dalle LAPs è stata indicata come elemento fondamentale nel definire il momento e la quantità di acqua di fusione disponibile per gli ecosistemi e la società. Ciò è particolarmente rilevante nel contesto del cambiamento climatico e della possibilità di siccità estiva indotta da una minore precipitazione solida durante la stagione invernale.

In questo contributo abbiamo riassunto i principali studi sull'impatto delle impurità sulla fusione della criosfera in vari settori alpini tramite l'uso integrato di stazioni automatiche di misura, spettroscopia di campo, droni, satelliti e modelli di trasferimento radiativo.

Parole chiave: Albedo, Impurità, Fusione

Caratterizzazione delle proprietà dielettriche della neve: dalle misure sul campo al laboratorio

Emanuele Mariani¹, Elisabetta Mattei¹, Barbara Cosciotti¹, Sebastian Emanuel Lauro¹, Elena Pettinelli¹, Paolo Tuccella², Edoardo Raparelli³, Riccardo Barella⁴, Carlo Marin⁴, Fabian Wolfsperger⁵

- 1. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università degli Studi Roma Tre, Via della Vasca Navale 84, Roma, Italy*
- 2. Department of Physical and Chemical Sciences, University of L'Aquila, Via Vetoio, Coppito, L'Aquila, Italy*
- 3. Center of Excellence for Telesensing of Environment and Model Prediction of Severe events, University of L'Aquila, L'Aquila, Italy*
- 4. Eurac Research, Institute for Earth Observation, Viale Druso 1, Bolzano, Italy*
- 5. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Flüelastrasse 11, 7260 Davos, Switzerland*

Una delle ricerche condotte nell'ambito del progetto " PRIN 2022 – SnowMed – Apennine snow cover in the Mediterranean climate region: multi-sensor data, observations, modeling and trend analysis" si concentra sulla caratterizzazione delle proprietà fisiche del manto nevoso, in particolare della permittività elettrica complessa e del suo legame con la densità e il contenuto di acqua liquida (LWC). In tale ambito, sono state condotte misure di campo in due siti dell'Appennino Centrale (Campo Felice e Pietrattina) utilizzando georadar (GPR) e riflettometria nel dominio della frequenza (FDR) con un analizzatore di rete vettoriale (VNA). I dati acquisiti sono stati confrontati con le osservazioni stratigrafiche, mostrando un buon accordo tra le stime geofisiche e le misure in situ e consentendo il monitoraggio continuo delle proprietà del manto nevoso. La stessa tecnica FDR è stata testata in Val Senales (Alpi, Bolzano) durante due campagne estive, ottenendo stime di densità e LWC che sono state confrontate con misure gravimetriche e calorimetriche. I risultati hanno evidenziato una stima affidabile di LWC e una migliore correlazione durante le campagne con misure sincrone, confermando l'efficacia dell'approccio. Infine, esperimenti di laboratorio presso il WSL - SLF di Davos su neve artificiale con densità comprese tra 100 e 550 kg/m³ e LWC fino al 13% hanno fornito un set di dati di permittività, utile per convalidare modelli esistenti e svilupparne di più accurati.

I dati sperimentali hanno permesso di indagare la relazione tra permittività, densità e LWC, supportando l'interpretazione delle osservazioni di telerilevamento. Questi approcci integrati, con il lavoro sul campo nelle Alpi e nell'Appennino Centrale combinato con esperimenti di laboratorio, forniscono strumenti robusti per stimare le proprietà fisiche della neve, migliorare la modellazione del manto nevoso e supportare la gestione delle risorse idriche.

Contributo del telerilevamento ottico e termico alla stima dei parametri della neve

Ravasio C. ¹, Di Mauro B. ², Gatti O. ¹, Garzonio R. ¹, Colombo R. ¹

1. Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Milano, Italia;

2. Istituto di Scienze Polari, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milano, Italia.

La spettroscopia a immagine è uno strumento fondamentale per il monitoraggio della criosfera, consentendo di stimare proprietà chiave di neve e ghiaccio, come albedo, contenuto di acqua liquida superficiale (LWC) e concentrazione di impurità presenti sul manto nevoso (polveri minerali, particelle carboniose, alghe criosferiche). Le missioni satellitari iperspettrali attuali e future (PRISMA, EnMAP, LSTM, SBG, TRISHNA) hanno aperto nuove prospettive per il recupero quantitativo di questi parametri su scala spaziale estesa.

In questo contributo presentiamo le attività del nostro gruppo di ricerca del Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Milano-Bicocca, che si concentrano sullo studio della criosfera attraverso tecniche di telerilevamento ottico e termico, con particolare attenzione alla caratterizzazione fisica e radiativa della neve e del ghiaccio.

Le attività comprendono lo sviluppo di algoritmi per l'analisi di dati multi- e iperspettrali da satellite, la modellazione del trasferimento radiativo per la stima di parametri criosferici, nonché la raccolta di dati spettrali e nivologici in ambiente alpino per la calibrazione e validazione di dati satellitari.

Un risultato innovativo è stato lo sviluppo dello Snow Surficial Water Index (SSWI), un indice spettrale progettato per stimare il LWC nella neve, variabile cruciale per la previsione di valanghe e la gestione delle risorse idriche. Sono stati inoltre studiati gli effetti di polveri minerali e alghe sull'albedo della neve e sulla forzante radiativa.

Parallelamente, sono state svolte attività relative allo studio dell'inerzia termica apparente (APs), una variabile innovativa per la stima della densità nevosa da remoto. Infine, il monitoraggio stagionale dei parametri nivologici, svolto presso stazioni di misura permanenti, supporta l'assimilazione dei dati in modelli avanzati di manto nevoso per la valutazione dell'influenza delle impurità sulla dinamica del manto nevoso.

Parole chiave: Telerilevamento; LWC; Impurità

Costruzione di un dataset di SWE per il trentennio 1991-2021 nel Distretto del fiume Po

Matteo Dall'Amico¹, Stefano Tasin¹, Federico Di Paolo¹, Marco Brian², Francesco Tornatore², Giuseppe Formetta³, John Mohd Wani⁴, Riccardo Rigon^{3,4}, Gaia Roati^{2,4}

1. *Waterjade Srl., Pergine Valsugana (TN)*

2. *ADBPO, Parma (PR)*

3. *DICAM, Univerit di Trento, Trento (TN)*

4. *C3A, Univerist di Trento, Trento (TN)*

La neve costituisce una componente fondamentale del ciclo idrologico nelle aree montane e a latitudini elevate, poiché è in grado di immagazzinare grandi quantità di precipitazioni e di regolare, su scale temporali giornaliere e stagionali, il deflusso idrico verso valle, funzione particolarmente rilevante durante i mesi estivi e nei periodi di siccità. La distribuzione spaziale della neve può infatti dominare l'idrologia locale e regionale, condizionando anche i processi ecosistemici (Wu et al., 2015).

Un'accurata ricostruzione spazio-temporale delle precipitazioni nevose, dell'accumulo e della fusione della neve è quindi essenziale per migliorare la gestione sostenibile della risorsa idrica e per affinare gli strumenti di previsione idrologica. In quest'ottica, l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, nell'ambito delle linee strategiche del Gruppo di Coordinamento Unificato Magre (GCU-M), ha intrapreso una collaborazione con l'Università di Trento e la società Waterjade Srl per la ricostruzione di un dataset di SWE (Snow Water Equivalent) nel territorio del Distretto, utile anche all'aggiornamento del sistema di modellazione idrologica e bilancio idrico DEWS (Drought Early Warning System), strumento di riferimento per la gestione della risorsa idrica nel Distretto.

Il progetto ha portato alla creazione di un dataset giornaliero di SWE sull'intero territorio montuoso del Distretto, con risoluzione spaziale di 500 m, per il periodo 1991–2021 (da ottobre a giugno). Tale prodotto, basato su una metodologia validata e pubblicata su Nature Scientific Data, rappresenta la prima ricostruzione di lungo periodo e alta risoluzione spaziale per l'area di studio.

I dati, pubblicamente consultabili, costituiscono un'utile risorsa non solo per la comunità scientifica, ma anche per gli enti gestori della risorsa idrica, e forniranno la base per la calibrazione della componente neve del modello idrologico GEOframe, attualmente in fase di implementazione presso l'ADBPO.

Parole chiave: SWE, Modellistica idrologica, Bilancio idrico

The day after the Ice: gli effetti della deglaciazione nell'evoluzione idro-geomorfologica e sulla connettività sedimentaria del bacino del Rio Aurona (Alpe Veglia, Alpi centro-occidentali)

Tronti G.¹, Aldighieri B.², Andreoli A.³, Brenna A.¹, Cavalli M.⁴, Comiti F.⁵, Mao L.⁶, Pelfini M.¹, Perotti L.⁷, Scognamiglio E.¹, Bollati I.M.¹

1. Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio" - Università degli Studi di Milano;

2. CNR IGAG, sez. Milano;

3. Facoltà di Scienze agrarie, ambientali e alimentari, Libera Università di Bolzano;

4. CNR IRPI, Padova;

5. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli studi di Padova;

6. Department of Geography, University of Lincoln, UK;

7. Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino

La degradazione della criosfera comporta effetti a cascata sugli ecosistemi e i servizi ecosistemici, in particolare su ambienti sensibili come quelli di alta montagna, che rispondono alla dinamica dei ghiacciai. In tali contesti, le aree proglaciali, definite come le superfici liberate dai ghiacciai a partire dalla Piccola Età Glaciale (PEG), rappresentano uno degli ambienti più sensibili. Qui, l'interazione tra i processi geomorfologici produce un'ampia varietà di forme tra le quali spiccano i depositi morenici, corrispondenti agli ultimi picchi di espansione glaciale della PEG, attualmente soggetti all'azione di acqua e gravità in condizioni paraglaciali. Le aree proglaciali possono agire come aree sorgente di sedimento ma anche di accumulo laddove il drenaggio delle acque non sia favorito da particolari condizioni morfologiche. La degradazione del permafrost potenzia l'effetto dei processi paraglaciali, con ricadute sull'evoluzione delle forme del rilievo e sui rischi geomorfologici connessi. Nel bacino del Rio Aurona si è testato un approccio combinato di analisi multi-temporale su dati storici, modellizzazione 3D, monitoraggio idro-geomorfologico e analisi geospaziali, delineando così il quadro evolutivo del bacino, delle sue aree glaciali e proglaciali negli ultimi 150 anni. I risultati della modellizzazione 3D rivelano un notevole arretramento delle coltri glaciali e una degradazione del ghiaccio sepolto, accompagnati da variazioni morfologiche delle forme di deposito, guidate dai processi paraglaciali. Il monitoraggio idro-geomorfologico, attivo dal 2021, ha permesso di valutare il ruolo di fattori come precipitazioni, accumuli di neve, fusione glaciale e nivale, nel determinare la portata liquida e solida del Rio Aurona.

L'introduzione di indici geospaziali di propensione all'erosione ha permesso di completare il quadro conoscitivo della connettività sedimentaria, evidenziando quali forme di deposito contribuiscano maggiormente all'apporto di sedimenti.

Modelling snow and water resources over Alpine basins

Silvia Terzago¹, **Matteo Lorenzo**¹, **Francesco Avanzi**², **Andrea Libertino**²

1. *Institute of Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council (ISAC-CNR), Torino, Italy*

2. *CIMA Research Foundation, Savona, Italy*

Climate warming is causing earlier snowmelt and glacier shrinkage, leading to a mismatch between water availability and peak demand, thereby increasing the risk of water shortages and conflicts among key users such as agriculture, energy, and tourism. Information on past variations in snow depth, snow water equivalent, and river discharge over recent decades is largely based on in-situ observations, which are often sparse in both space and time. A modelling framework that integrates snow and hydrological models could provide high-quality, high-resolution, and spatially and temporally continuous datasets. However, such integrated approaches are still at a relatively early stage of development.

We developed a novel modelling chain to simulate snow and hydrological variables at high spatial resolution (1 km). The chain integrates state-of-the-art meteorological datasets, bias-correction methods, downscaling techniques, and advanced snow and hydrological models to represent snowpack evolution and river discharge in Alpine catchments. It couples the S3M snow model with the HMC-Continuum hydrological model, and has been implemented and tested over the Po River Basin. Meteorological forcing was derived from ERA5 reanalysis data, which were bias-corrected and downscaled to 1 km. Using these inputs, we produced a 30-year baseline simulation to reconstruct the historical evolution of mountain snowpack (SWE and snow depth) and river discharge.

We present the modelling chain and its evaluation over the period 1991–2020. Simulated snow depth, SWE, and discharge were assessed against available observations from snow gauges and Italian regional hydrological networks.

The modelling framework will be further extended to operate with Copernicus seasonal forecasts as meteorological inputs, exploring the feasibility and forecast skill of seasonal predictions of snow and hydrological conditions across the study domain.

POSTER



Regimi termici delle pareti rocciose di alta montagna: osservazioni in situ della radiazione solare e della temperatura delle rocce

Natali Giselle Aranda¹, Alberto Bottacin¹, Graziano Coppa¹, Andrea Merlone¹, Chiara Musacchio¹, Guido Nigrelli², Erica Matta², Marta Chiarle², Roberta Paranunzio³

1. *INRiM*

2. *CNR-IRPI*

3. *CNR-ISAC*

Nel contesto dei cambiamenti climatici, vi è una crescente necessità di studiare l'influenza dei parametri meteorologici come fattori preparatori e innescanti processi di instabilità naturale sui versanti ad alta quota. A questo proposito, l'analisi delle variazioni di temperatura delle rocce e la sua relazione con le condizioni meteorologiche è fondamentale per una migliore comprensione dello stress termo-meccanico delle rocce. Nell'ambito del progetto PRIN 2022 P10 - 3MKEMB, è stato installato un datalogger denominato "Pera" ("roccia" nel dialetto locale) presso l'Uja della Bessanese – Spigolo Murari (3473 m s.l.m.). Pera registra le misure di temperatura della roccia a tre diverse profondità (10 cm, 30 cm e 50 cm) e la radiazione solare in superficie. Prima dell'installazione, i termometri sono stati tarati nei laboratori dell'INRiM, garantendo la riferibilità delle misure.

Sebbene altri studi abbiano evidenziato l'importanza della radiazione solare nel processo di instabilità delle rocce, questa variabile non è stata ancora quantificata. Pertanto, questo studio considera la radiazione solare incidente come una grandezza che influenza la temperatura della roccia e il gradiente di temperatura della roccia come un possibile indicatore di stress termico. È stato osservato che la differenza di temperatura tra termometri installati a diverse profondità, e anche la sua incertezza, è maggiore nelle giornate soleggiate, indipendentemente dalla stagione. Inoltre, esiste una forte relazione tra l'energia solare e il trasferimento di calore nella roccia, dove maggiore è la quantità giornaliera di radiazione solare, maggiore è il gradiente di temperatura della roccia, soprattutto per i gradienti di temperatura giornalieri massimi. Questo lavoro propone un approccio metrologico alle misure di temperatura in siti di alta quota, al fine di caratterizzare le condizioni meteorologiche e geologiche potenzialmente predisponenti o innescanti fenomeni di crollo in ambiente alpino.

Parole chiave: Temperatura, Incertezza, Radiazione solare

33 Anni di Ricerche Ecologiche alla Stazione di Alta Montagna del Sito LTER “Velino-Duchessa”

Bruno Petriccione

Carabinieri, Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari, Roma (Italia)

Negli ultimi 33 anni sono stati registrati cambiamenti nella vegetazione nelle comunità vegetali di alta montagna della stazione di ricerca Monte di Sevice, appartenente al sito LTER "Appennino Centrale: Velino-Duchessa" (<https://deims.org/12c79ecb-7890-4b75-9655-0883dacd8a29>). Il campionamento sistematico stato effettuato in due comunità vegetali di alta montagna, la tundra alpina e le praterie mesofile, comprese tra 2100 e 2200 m s.l.m.

Risultati preliminari sui cambiamenti temporali registrati sono stati pubblicati nel 2005 e nel 2021. Sulla base di 33 anni di ricerca ecologica, nel 2023 stato effettuato un primo tentativo di interpretare i cambiamenti temporali attraverso i caratteri radicali delle specie.

Il profilo del suolo e le relative analisi chimiche effettuate nel 2024 hanno confermato che, insieme alla componente epigea, anche la componente ipogea della biocenosi risente negativamente dell'aumentata frequenza e durata dei periodi di gelo, connessi all'aumentata discontinuità della copertura nevosa in inverno.

Il lato oscuro della neve: carbonio e polveri minerali sull'Appennino centrale

E. Casagrande^{1,2}, **F. Bruschi**², **E. Marchetti**², **M. Massetti**^{1,2}, **C. Petroselli**², **R. Selvaggi**², **S. Crocchianti**², **P. Tuccella**³, **E. Raparelli**³, **A. Spezza**^{1,4}, **M. Ruppel**⁵, **J. Svensson**⁵, **M. Pecci**⁶, **D. Cappelletti**^{2,7}

1. *Università Ca' Foscari di Venezia*
2. *Università degli Studi di Perugia*
3. *Università degli Studi dell'Aquila*
4. *Università degli studi di Milano*
5. *Finnish Meteorological Institute*
6. *Presidenza del Consiglio dei Ministri*
7. *CNR-ISP Venezia*

Negli ambienti montani dell'Appennino centrale, lo studio congiunto delle componenti carboniose (OC ed EC) e della frazione minerale del particolato consente di indagare le sorgenti naturali e antropiche delle deposizioni atmosferiche e i processi di interazione tra aerosol carboniosi, polveri e neve. Queste analisi forniscono indicazioni chiave sull'evoluzione fisico-chimica del manto nevoso in un contesto fortemente sensibile al cambiamento climatico.

In questo lavoro presentiamo per la prima volta un'analisi pluriennale (2020–2025) delle concentrazioni di OC ed EC su siti di alta quota nell'Appennino centrale: Pietrattina (Gran Sasso, 1460 m s.l.m.), Campofelice (gruppo del Velino-Sirente, 1530 m), Monte Bicco (Monti Sibillini, 1800 m) e il circo glaciale del Calderone (2700 m), nel massiccio del Gran Sasso, l'unico residuo glaciale appenninico.

Dati termo-ottici (OC/EC) sono stati correlati con misure ottiche (OT21 e PSAP) su campioni di neve filtrata, per approfondire la composizione della frazione fotoassorbente del particolato (Brown e Black Carbon), e con analisi della frazione solubile della neve fusa, condotte mediante IC e ICP-MS per la caratterizzazione della componente di dust.

Nel complesso è stato possibile valutare trend stagionali e interannuali delle concentrazioni, evidenziando l'influenza di fattori meteorologici, del trasporto a lunga distanza e di sorgenti locali di combustione sulle variazioni del contenuto carbonioso e ionico della neve.

I dati presentati sono inoltre fondamentali nella validazione di una parametrizzazione in via di implementazione nel modello regionale accoppiato meteorologia-chimica WRF-CHIMERE, finalizzata a simulare l'impatto della deposizione di EC, OC e dust sull'albedo della neve e i conseguenti effetti sul clima regionale.

I risultati preliminari mostrano un impatto significativo di queste impurità sulla durata del manto nevoso stagionale sull'Appennino centrale, con una riduzione compresa tra pochi giorni e un paio di settimane.

Conservazione degli archivi glaciali e innovazione tecnologica nelle perforazioni profonde di ISP-CNR

Fabrizio de Blasi, Jacopo Gabrieli, Giulio Cozzi, Andrea Spolaor

Istituto di Scienze Polari del CNR (ISP-CNR)

La criosfera montana globale sta subendo un'accelerazione significativa nella perdita di massa. Tra il 2000 e il 2023, la riduzione complessiva, esclusi i ghiacci antartici e groenlandesi, ha raggiunto il 5,4%, pari a circa 9,4 m di w.e. e a un innalzamento del livello marino di 18,05 mm. L'Europa centrale è tra le aree più colpite, con una perdita media di oltre 24 m w.e. (39%), mentre le Svalbard e Jan Mayen, soggette all'amplificazione artica, registrano un calo di circa 9 m (5%).

Oltre alla perdita volumetrica, il riscaldamento globale compromette l'integrità del segnale climatico nei ghiacciai, preziosi archivi paleoclimatici. Dal 2018 l'Istituto di Scienze Polari del CNR (ISP-CNR) partecipa al programma internazionale Ice Memory, dedicato al recupero e alla conservazione di carote di ghiaccio provenienti da ghiacciai in rapido declino.

Le sei campagne di perforazione condotte su Alpi, Appennini e Svalbard hanno mostrato che la percolazione dell'acqua di fusione fino al livello di close-off rende inutilizzabili i profili di firn per ricostruzioni paleoclimatiche e ostacola le tecniche di carotaggio, impedendo talvolta il raggiungimento del bedrock. L'acqua, percolando nel manto nevoso, si accumula all'interfaccia del ghiaccio, formando acquiferi persistenti anche oltre la stagione di ablazione.

Per affrontare tali sfide, l'ISP si è dotato di un carotiere elettrotermico e uno elettromeccanico in grado di operare in presenza di acquiferi superficiali e profondi. Le missioni alle Svalbard (2023) e sul ghiacciaio Corbassière (2025) hanno confermato l'efficacia di tali strumenti, consentendo di superare strati di firn saturi d'acqua (a 23,5 e 28,8 m) e raggiungere gli strati glaciali profondi e climaticamente intatti.

Questi progressi rappresentano un passo cruciale per la salvaguardia degli archivi glaciali e per il futuro delle ricostruzioni paleoclimatiche globali.

Nuove implementazioni del sistema CFA a Ca' Foscari: CNR-ISP per l'analisi ad alta risoluzione di isotopi e traccianti organici in carote di ghiaccio alpine e polari

Azzurra Spagnesi^{2,1}, Elena Barbaro¹, Matteo Feltracco^{2,1}, Jacopo Gabrieli¹, Fabrizio de Blasi¹, Daniele Zannoni², Agnese Petteni¹, Barbara Stenni², Andrea Gambaro^{2,1}, Carlo Barbante^{2,1}

1. CNR-Institute of Polar Sciences (CNR-ISP), 155 Via Torino, 30170 Mestre, Italy

2. Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics, Ca Foscari University of Venice, Venice, Italy

Sin dai primi anni '90, la tecnica di analisi a flusso continuo (CFA) si è affermata come uno strumento essenziale nello studio delle impurità organiche e inorganiche, dei gas in traccia e delle firme isotopiche in carote di ghiaccio polari e alpine. La CFA consente analisi ad alta risoluzione (<1 cm), riducendo i tempi di preparazione del campione e i rischi di contaminazione. Inoltre, il sistema può essere integrato con strumenti in grado di effettuare misurazioni in continuo, dotati di adeguata sensibilità e risoluzione temporale, adattandosi a diverse esigenze analitiche di laboratorio.

Presso il CNR-ISP di Venezia, in collaborazione con l'Università Ca' Foscari, sono state sviluppate due configurazioni innovative del sistema CFA. Nella prima, il modulo di fusione è stato accoppiato a un sistema di cromatografia liquida – spettrometria di massa tandem (FLC-MS/MS), consentendo la quantificazione semi-continua di traccianti della combustione della biomassa, quali acido vanillico, acido sirringico e levoglucosano, in carote di ghiaccio alpine. Tale configurazione ha permesso di raggiungere limiti di rilevabilità dell'ordine di pg mL^{-1} per l'acido vanillico e acido sirringico e un miglioramento di un ordine di grandezza per il levoglucosano rispetto a quanto riportato in letteratura.

Parallelamente, il sistema CFA è stato accoppiato a uno spettrometro Cavity Ring-Down (CRDS, Picarro L2130-I) per l'analisi continua degli isotopi stabili dell'acqua ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$) in carote di firn antartico. Le prove condotte su tre metri di carota antartica hanno evidenziato minima attenuazione del segnale ed elevata robustezza del metodo.

Nel prossimo futuro verranno integrati a Ca' Foscari – CNR-ISP i sistemi CFA-CRDS-FLC-MS/MS, cromatografia ionica (IC), contatore laser di particelle e ICP-MS, per garantire analisi ad alta risoluzione di isotopi stabili, composti organici, ioni, polveri insolubili ed elementi in tracce in carote di ghiaccio acquisite durante le campagne Ice Memory.

Parole chiave: CFA, traccianti di combustione, isotopi

Cryoconites as Proxies of Global Change in the Cryosphere

Laura Sanna¹ & Alessio Romeo²

1. CNR-IGAG, Cagliari, Italy; laura.sanna@cnr.it

2. La Venta Associazione Esplorazioni Geografiche, Treviso, Italy

Cryoconite holes, circular depressions filled with dark sediments on glacier surfaces, represent a sensitive interface between the atmosphere and the cryosphere, capable of recording valuable information about ongoing global changes. In fact, the integration of cryoconite analyses into long-term monitoring frameworks may enhance our understanding of contaminant dynamics and cryospheric responses to climate change. In this contest, cryoconites were collected from the ablation zone of the Equip Sermia glacier (Central-Western Greenland), with the aim of investigating their mineralogical and geochemical composition as proxies for atmospheric dynamics and anthropogenic forcing. A multidisciplinary approach was adopted to trace the interplay between local geology and large-scale atmospheric processes. In this area the dark particles are dominated by quartz, plagioclase, and amphibole, consistent with local lithologies. However, the angular grain morphology and the trace element patterns, partially deviating from average upper continental crust values, suggest the possible influence of exogenous inputs. Chemical analyses of both solid and aqueous matrices revealed the presence of inorganic (e.g., Cs) and organic pollutants (e.g., polycyclic aromatic hydrocarbons), likely derived from long-range atmospheric deposition. These findings indicate that cryoconites may function as temporary environmental archives, recording the composition of high-altitude atmospheric inputs, including signals of remote anthropogenic activity. Moreover, the accumulation of dark material on the ice surface reduces albedo and may contribute to climate feedback mechanisms, accelerating glacier melt. This study reinforces the role of cryoconites as indirect cryosphere climate indicators, capable of providing insights into both local sedimentary processes and global contaminant transport, offering valuable perspectives for environmental monitoring in polar regions highly sensitive to climate change.

Parole chiave: Cryoconite; Atmospheric deposition; Mineral dust.

Carbon dioxide fluxes in glacier forelands: patterns, drivers and temporal trends

Silvio Marta¹, Andrea Mainetti², Simona Gennaro¹, Gentile Francesco Ficetola^{3,4} and Antonello Provenzale¹

1. *Institute of Geosciences and Earth Resources National Research Council (CNR-IGG), Pisa, Italy.*
2. *Biodiversity Service and Scientific Research, Gran Paradiso National Park, Cogne (AO), Italy.*
3. *Department of Environmental Science and Policy, University of Milano, Milano, Italy*
4. *Université Grenoble Alpes, CNRS, Université Savoie Mont Blanc, Laboratoire d'Écologie Alpine (LECA), Grenoble, France*

Glaciers shrinkage, primarily due to human-induced climate change, is rapidly transforming mountain landscapes globally, and retreat trends are expected to accelerate in the near future. In the European Alps, more than one century of glacier retreat left wide areas available for the biotic colonization of initially barren substrates, leading to the establishment of complex communities, and the development of new ecosystems. Owing to the colonization by microbes and plants, structural diversity increased through time, providing fundamental services, such as mountain slope stabilization, control of surface runoff and soil erosion, and reduction of surface albedo. One crucial, yet still largely unexplored, service of these ecosystems is their role in carbon cycling and carbon dioxide fluxes. Depending on the balance between gross primary production and ecosystem respiration (i.e., the net ecosystem exchange), these systems might indeed act as either sinks or sources of greenhouse gases. Increasing time from deglaciation increases plant diversity and productivity (usually proxied by vegetation indices, such as NDVI); this in turn generates positive feedback loops with soil nutrients (i.e., P, N), SOM and SOC. However, the relative importance of primary production vs respiration, as well as their drivers and trends over the succession, are still poorly investigated. By combining information on time since deglaciation, duration of the growing season, productivity, composition in plant functional type and vegetation height from five Alpine glaciers, we aim at identifying the main drivers and (temporal and spatial) trends of primary production and respiration along the chronosequence at the local and regional scales.

Evidenze sulla presenza di Contaminanti organici persistenti ed emergenti nella criosfera delle Svalbard

Tanita Pescatore¹, Francesca Spataro¹, Jasmin Raouseo¹, Federico Scoto², Andrea Spolaor², David Cappelletti^{2,3}, Stefano Crocchianti³, Luisa Patrolecco¹

1. Istituto di Scienze Polari, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISP), Roma

2. Istituto di Scienze Polari, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISP), Venezia

3. Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologia, Università di Perugia, Perugia

La criosfera artica, riconosciuta come un archivio di contaminanti ambientali, si sta trasformando in una potenziale sorgente di inquinamento a causa della fusione del ghiaccio marino e del permafrost e del ritiro dei ghiacciai. Questo processo, amplificato dal cambiamento climatico, può liberare sostanze intrappolate da decenni, rendendo fondamentale un costante aggiornamento sulle loro concentrazioni e sui nuovi tipi di contaminanti che vi si accumulano.

In questo contesto, il presente studio ha indagato la presenza di contaminanti organici in campioni di neve stagionale e ghiaccio superficiale prelevati da tre ghiacciai della maggiore isola delle Svalbard, Spitsbergen (Austre Brøggerbreen, Midtre Lovénbreen e Kongsvegen), durante le campagne del 2022 e 2023.

Sono stati identificati contaminanti organici persistenti (POP), come policlorobifenili (PCB) e pesticidi di vecchia (DDT, HCH) e nuova generazione (clorpirifos, dactal ed endosulfano), oltre a contaminanti di interesse emergente in Artico, tra cui composti con proprietà di interferenti endocrini (PEDC), farmaci e prodotti per la cura della persona (PPCP), inclusi antibiotici, analgesici, ormoni e repellenti per insetti.

Le concentrazioni di PEDC e PPCP, nettamente superiori a quelle dei POP, costituiscono tra i primi dati riportati per questi composti nella criosfera artica, evidenziando una contaminazione più diffusa e complessa del previsto. I modelli spaziali mostrano un'influenza combinata di emissioni locali, trasporto atmosferico a lungo raggio e proprietà chimico-fisiche dei composti.

Nel complesso, lo studio conferma come neve e ghiaccio agiscano come serbatoi dinamici di inquinanti, capaci di rilasciarli nuovamente nell'ambiente con la fusione. La progressiva perdita della criosfera artica potrebbe quindi rimobilizzare sia contaminanti storici sia emergenti, con potenziali conseguenze per la salute degli ecosistemi artici e per l'equilibrio globale delle sostanze chimiche nell'ambiente.

Parole chiave: POP, Inquinanti emergenti, Criosfera artica

Il progetto LIQUIDICE: Un'analisi della fusione della criosfera e i suoi impatti socio-economici e sulle risorse idriche

Andrea Spolaor¹, Bartłomiej Luks², Eirik Malnes³, Agata Goździk², Christian Rodehacke⁴, Lill Rastad Bjørst⁵, Andreas Peter Ahlstrøm⁶

1. Institute of Polar Sciences National Research Council, Italy;

2. Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Poland;

3. NORCE, Norway;

4. Danish meteorological institute, Denmark;

5. University of Copenhagen, Denmark;

6. GEUS, Geological Survey of Denmark and Greenland, Denmark

Il progetto LIQUIDICE (LinkIng and QUantifying the Impacts of climate change on inland ICE, snow cover, and permafrost on water resources and society in vulnerable regions), finanziato dal programma Horizon Europe, mira ad affrontare gli impatti critici del cambiamento climatico sul ghiaccio continentale, sulla copertura nevosa e sul permafrost, e i loro conseguenti effetti sulle risorse idriche e sulla società in regioni vulnerabili.

Questa iniziativa quadriennale coinvolge 18 partner e si concentra su cinque siti chiave: il sistema glaciale del Monte Rosa nelle Alpi italiane, il sistema glaciale di Jostedalbreen in Norvegia, i bacini della calotta glaciale di Ilulissat e Kangerlussuaq in Groenlandia, i bacini di Austre Brøggerbreen, Werenskioldbreen e Fuglebekken alle Svalbard, e la regione del Ladakh e i principali bacini fluviali nell'Himalaya indiano.

Gli obiettivi principali di LIQUIDICE sono: rivalutare gli ultimi 100 anni e il prossimo secolo di cambiamenti climatici in queste regioni, sviluppare dati armonizzati dall'osservazione satellitare della Terra e dalle stazioni di terra, migliorare i modelli di calotte glaciali e ghiacciai con i modelli del sistema Terra, e fornire informazioni per le strategie sulle risorse idriche, l'energia idroelettrica e socio-economiche attraverso la comunicazione trasparente dei risultati e delle incertezze.

I risultati chiave attesi dal progetto includono la creazione di cataloghi di dati pluridecennali basati sui principi FAIR, valutazioni accurate dei flussi di acqua dolce dei ghiacciai e delle calotte glaciali, nuove simulazioni idrologiche per l'Alta Montagna e valutazioni integrate dei rischi e degli adattamenti socio-economici.

Migliorando la nostra comprensione dell'interazione tra il cambiamento climatico e i processi della criosfera, LIQUIDICE mira a fornire previsioni accurate che supportino una gestione efficace delle risorse idriche e la pianificazione socio-economica di fronte al cambiamento climatico globale.

Qualità delle acque nelle sorgenti in uscita da rock-glacier: risultati da un monitoraggio multi-sito nelle Alpi occidentali

Rogora M.¹, P. Giacomotti¹, S. Musazzi¹, A. Orru¹, G. Tartari¹, L. Paro²

1. CNR Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, Verbania Pallanza

2. ARPA Piemonte - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale. Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali (SC E05.00) S.S. Geologia e nivologia (SS E22.05), Via Pio VII, 9 - 10135 TORINO

I ghiacciai rocciosi o rock glacier (RG) intatti sono considerati importanti risorse idriche, la cui rilevanza è destinata ad aumentare a fronte del riscaldamento climatico e dell'inevitabile riduzione dei ghiacciai. Le sorgenti che hanno origine dai RG e più in generale le acque in aree con presenza di permafrost sono ecosistemi ancora poco studiati, spesso a causa della loro limitata accessibilità. Studi condotti in diverse regioni delle Alpi hanno dimostrato come le sorgenti da RG possano avere caratteristiche chimiche molto diversificate, principalmente dipendenti dalla litologia del substrato e dall'interazione tra ghiaccio e rocce. In alcune aree è stata riscontrata la presenza di metalli in tracce in concentrazioni elevate, con evidente preoccupazione per l'eventuale utilizzo di queste acque e la conseguente necessità di indagare le cause e l'estensione del fenomeno.

Nel periodo 2020–2025 è stata condotta un'indagine sulle caratteristiche chimiche di cinque sorgenti da RG situate lungo un gradiente latitudinale in Piemonte, allo scopo di caratterizzare e valutare la qualità dell'acqua in base a ioni principali, nutrienti e metalli in tracce. È stata inoltre analizzata la composizione della comunità di diatomee epilitiche in un sottogruppo di siti, per valutare la qualità dell'acqua attraverso un indicatore biologico sensibile e ampiamente utilizzato.

La litologia è risultata il principale fattore determinante la chimica delle acque, con un ruolo dei fattori meteo-climatici nella variabilità stagionale e interannuale. Nel complesso non sono state riscontrate criticità, con tutte le sorgenti caratterizzate da un contenuto medio-basso di soluti e basse o non rilevabili concentrazioni di metalli.

I risultati di questo studio evidenziano la necessità di protocolli condivisi e programmi di monitoraggio congiunti su questi ecosistemi sensibili, possibilmente coinvolgendo siti su tutto l'arco alpino e integrando indicatori chimici e biologici.

Parole chiave: Permafrost, Idrochimica, Risorse idriche

Approccio multi-sensore per la mappatura della copertura nevosa e la stima della profondità della neve nell'Appennino Centrale

Harish Munegala¹, Giovanni Laneve¹, Paolo Tuccella², Edoardo Raparelli², Jephther Ondieki¹

1. Scuola di Ingegneria Aerospaziale, Sapienza Università di Roma, Italia

2. Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC), Università dell'Aquila, Italia

La mappatura accurata della copertura nevosa e la stima della profondità della neve in aree montuose sono fondamentali per la modellazione idrologica, la gestione delle risorse idriche e la valutazione dei rischi naturali. La complessità del territorio e l'elevata variabilità del manto nevoso rendono questi compiti particolarmente sfidanti.

In questo studio è stato sviluppato un approccio multi-sensore per il monitoraggio della copertura nevosa nell'Appennino Centrale, integrando osservazioni satellitari ottiche e radar con misure in situ. Le immagini Sentinel-2 sono state elaborate per generare mappe mensili e annuali della copertura nevosa e analisi statistiche correlate, fornendo informazioni sulla dinamica spaziale e temporale della neve e sul suo contributo alle risorse idriche stagionali. I dati Sentinel-1 C-band sono stati utilizzati per ottenere informazioni sull'umidità e sulle caratteristiche strutturali della neve tramite decomposizione polarimetrica, analisi della retro-diffusione e misure di fase DInSAR.

Queste caratteristiche ottiche e radar sono state integrate con dati provenienti dalle stazioni MeteoMont, dotate di sensori di neve e temperatura, in un framework di machine learning (ML) per stimare la profondità della neve. I risultati preliminari indicano che l'approccio fornisce stime affidabili e coerenti, utili sia per la gestione delle risorse idriche sia per la valutazione dei rischi da valanghe o deflusso da scioglimento nevoso.

Questo lavoro fa parte del progetto SnowMED (PRIN 2022) "Snow cover in the Mediterranean climate region: multi-sensor data, observations, modeling, and trend analysis" contribuendo al monitoraggio della criosfera e alla modellazione idrologica nelle montagne del Mediterraneo.

PATROCINIO



PARTECIPANTI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DELL'AQUILA



ROMA
TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO
BICOCCA



CARABINIERI



WATERJADE
value in every drop



COMITATO
GLACIOLOGICO
ITALIANO



PROTEZIONE CIVILE
NAZIONALE



LEGAMBIENTE



CIPRA
VIVERE
NELLE ALPI