



PROGRAMMA DI COOPERAZIONE INTERREG V-A ITALIA SVIZZERA

PROGETTO RESERVAQUA - EVENTO FINALE

Permafrost e risorse idriche: il caso studio dei rock glacier



Région Autonome
Vallée d'Aoste
Regione Autonoma
Valle d'Aosta

Luca Paro¹ – Michela Rogora²

¹ARPA Piemonte

²CNR IRSA



ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE
Sede Secondaria di Verbania



Forte di Bard | valle d'aosta

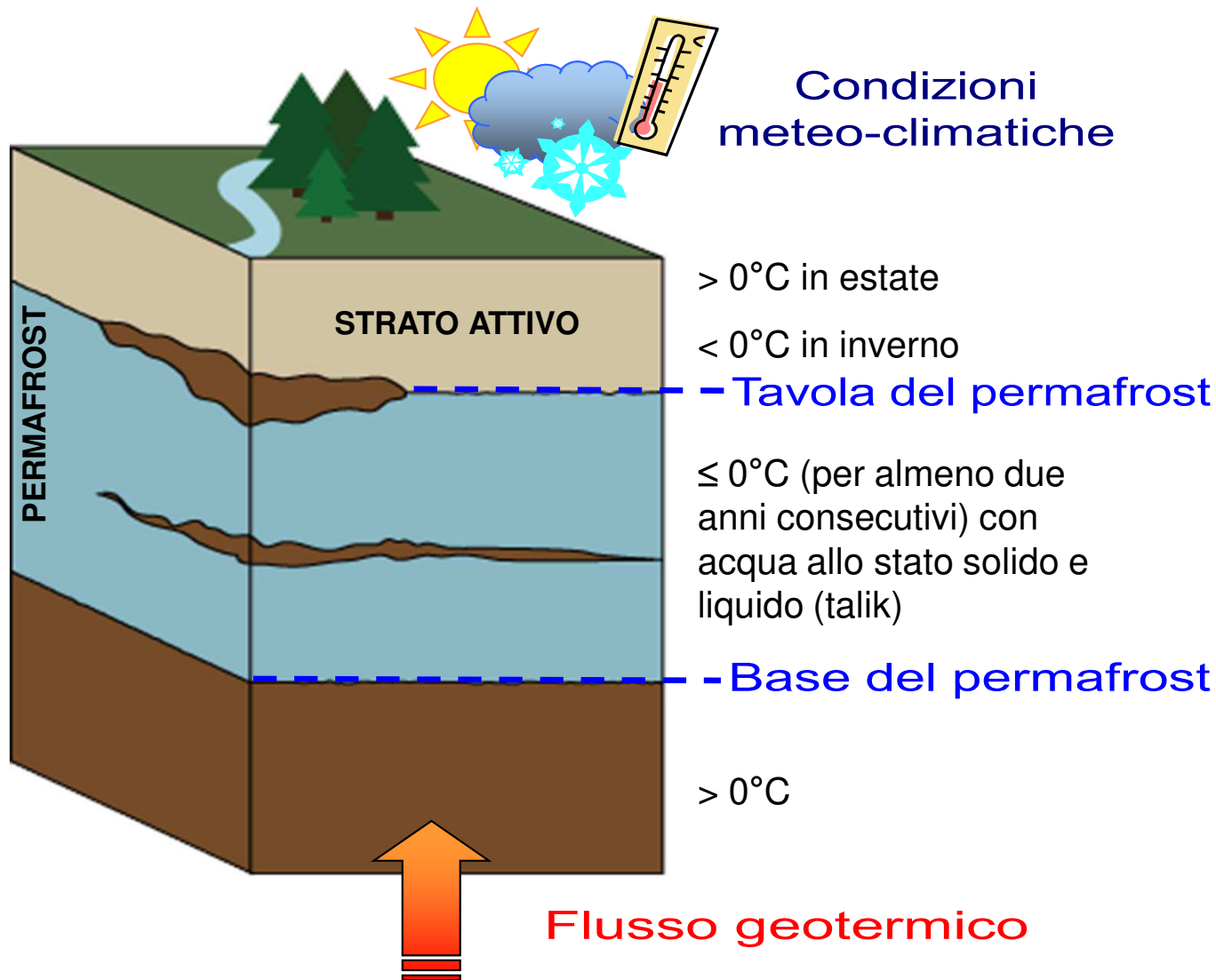
Venerdì 11 novembre 2022 | Forte di Bard, Valle d'Aosta



Cos'è il permafrost?

Si definisce **permafrost** (*perennially frozen ground*) un qualunque geo-materiale che si trovi per almeno due anni consecutivi ad una $T \leq 0^\circ\text{C}$, indipendentemente dalla presenza di ghiaccio.

Condizioni
meteo-climatiche



Venerdì 11 novembre 2022 | Forte di Bard, Valle d'Aosta



Elemento geomorfologico caratteristico del permafrost costituito da un corpo detritico di forma allungata generata dal movimento lungo un versante a causa della presenza di ghiaccio all'interno.



Venerdì 11 novembre 2022 | Forte di Bard, Valle d'Aosta

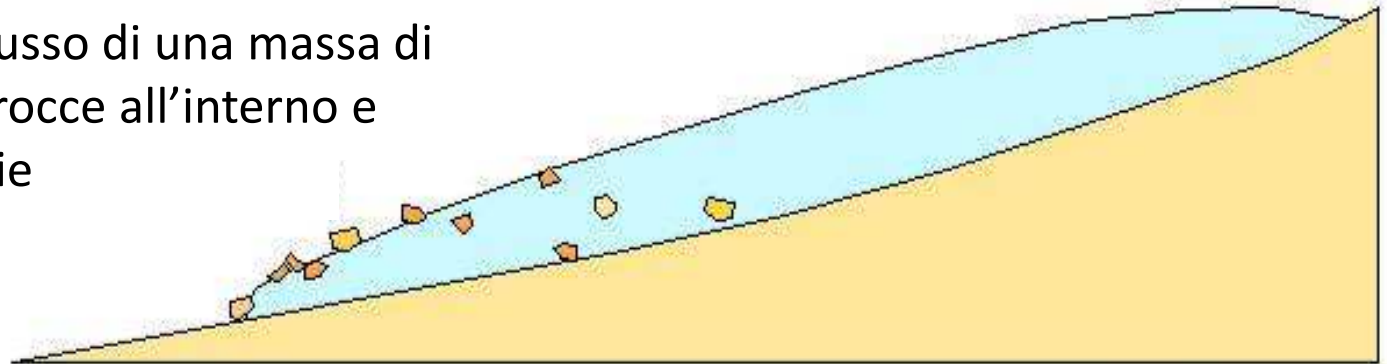


Cos'è un rock glacier?

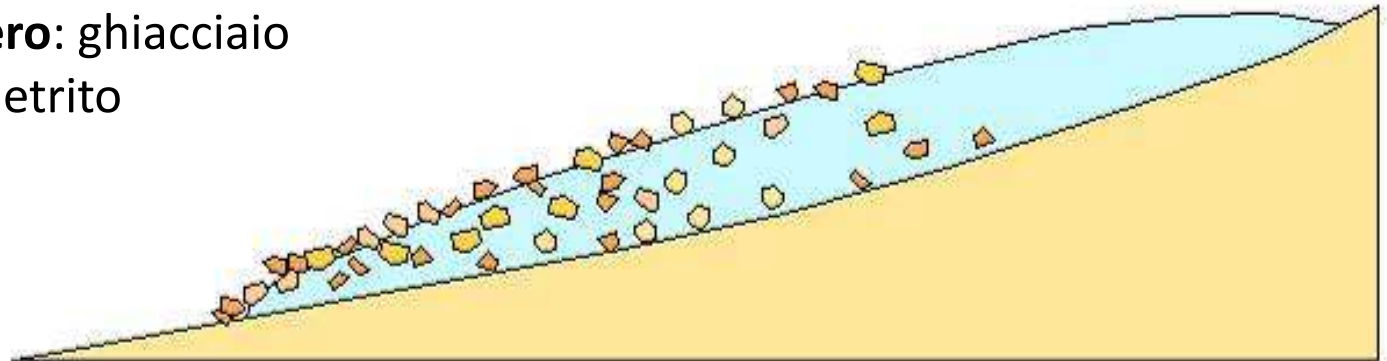




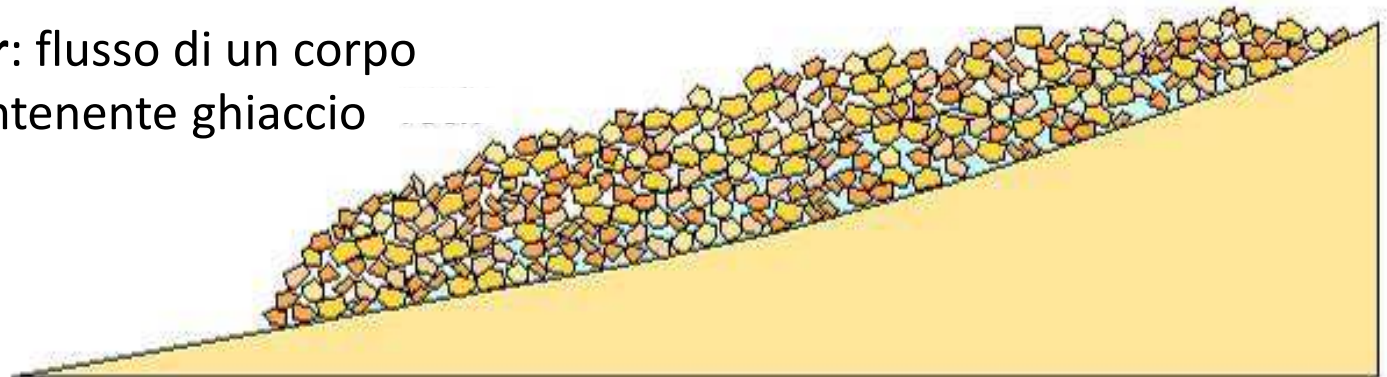
Ghiacciaio: flusso di una massa di ghiaccio con rocce all'interno e sulla superficie



Ghiacciaio nero: ghiacciaio ricoperto di detrito



Rock Glacier: flusso di un corpo detritico contenente ghiaccio interstiziale



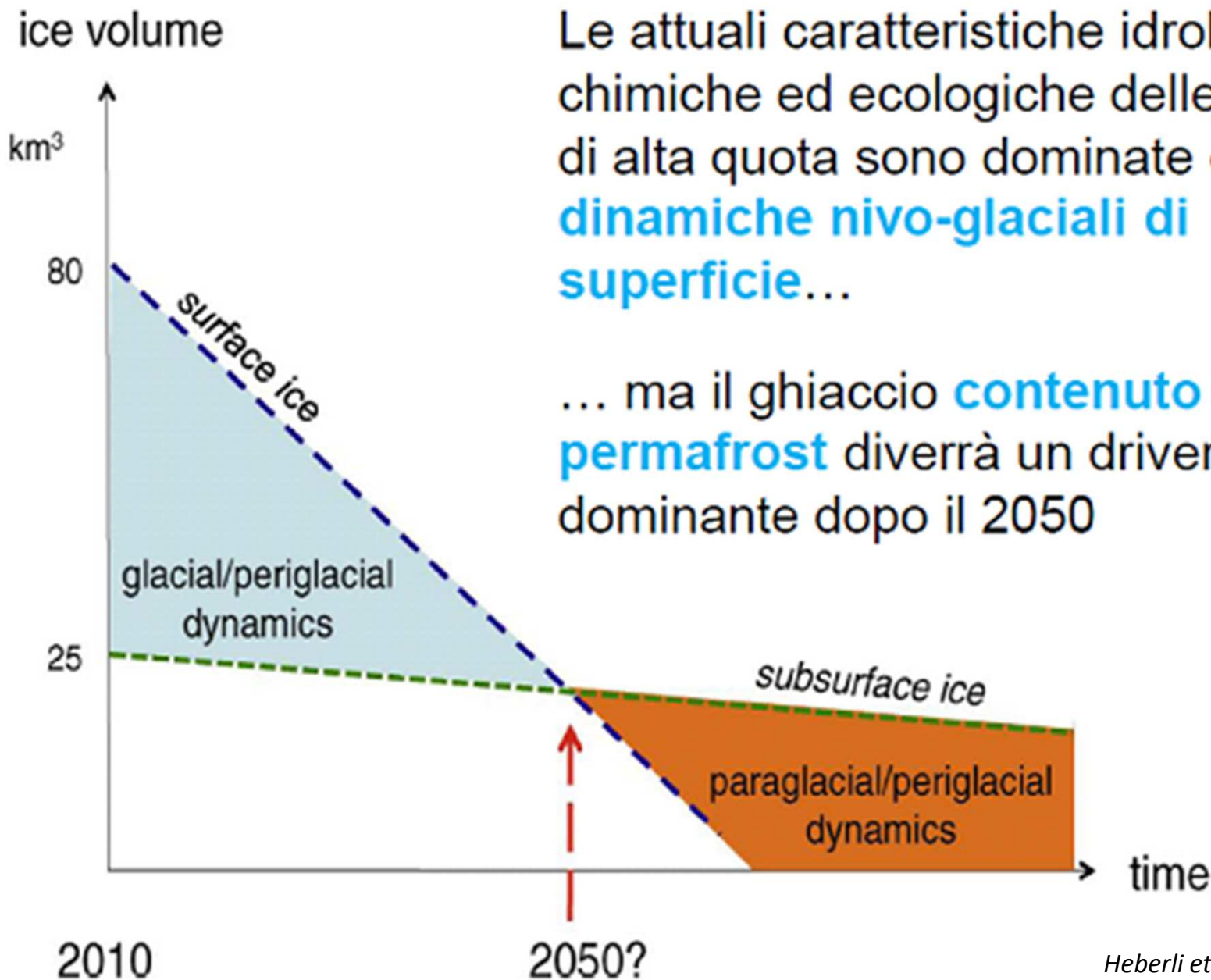


RGI region	No. studies (n)	Rock glaciers (n)			Rock glacier area			WVEQ (Gt)
		Total	Intact	Relict	Total (km ²)	Intact (km ²)	Relict (km ²)	
	(—)	(—)	(—)	(—)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(Gt)
Antarctic and Subantarctic	3	35	33	2	3.21	3.01	0.20	0.04 ± 0.01
Caucasus and Middle East	3	983	551	432	113.22	68.52	44.70	0.93 ± 0.19
Central Asia	5	2187	1991	196	291.61	290.35	17.24	4.08 ± 0.82
Central Europe	27	11968	4189	7728	752.28	326.18	495.84	3.13 ± 0.63
Greenland Periphery	1	390	186	204	46.00	21.91	24.09	0.30 ± 0.06
Iceland	2	181	121	60	61.37	47.57	13.80	0.82 ± 0.16
New Zealand	1	386	166	220	42.56	20.47	22.09	0.28 ± 0.06
North America	7	13833	7874	5959	1710.67	1131.08	628.73	15.57 ± 3.11
North Asia	5	7207	3431	3776	801.51	422.77	378.73	5.74 ± 1.15
Scandinavia	2	248	67	181	26.44	8.26	18.18	0.11 ± 0.02
South America	17	28665	16117	12548	3557.69	2307.60	1299.40	32.84 ± 6.57
South Asia East	2	6513	4356	2157	1417.57	950.80	466.77	19.48 ± 3.90
Svalbard and Jan Mayen	1	500	238	262	55.66	29.36	26.30	0.40 ± 0.08
NEAR-GLOBAL	76	73096	39321	33724	8879.79	5627.89	3436.06	83.72 ± 16.74

Jones et al., 2019

Venerdì 11 novembre 2022 | Forte di Bard, Valle d'Aosta

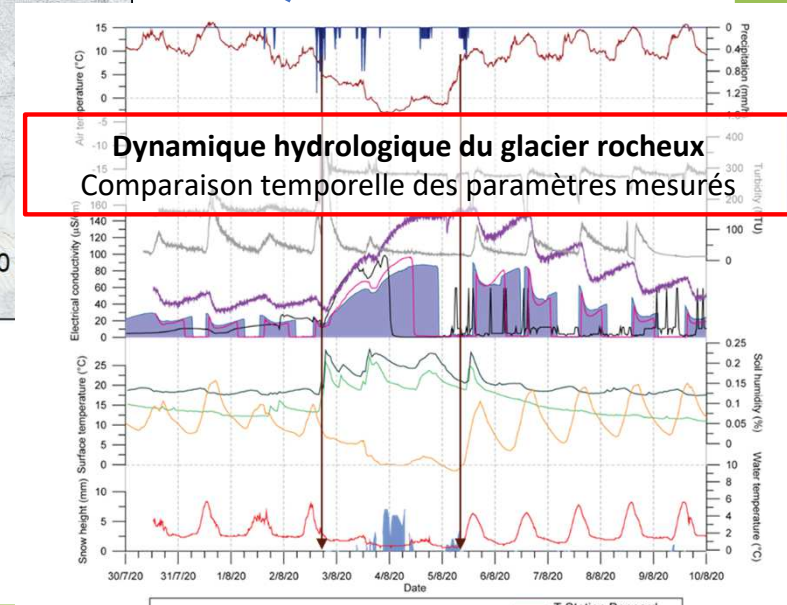
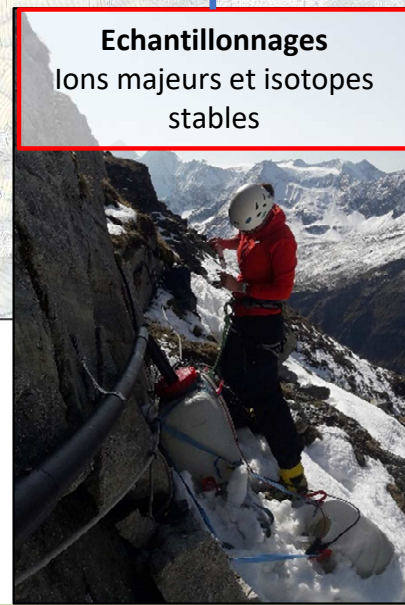
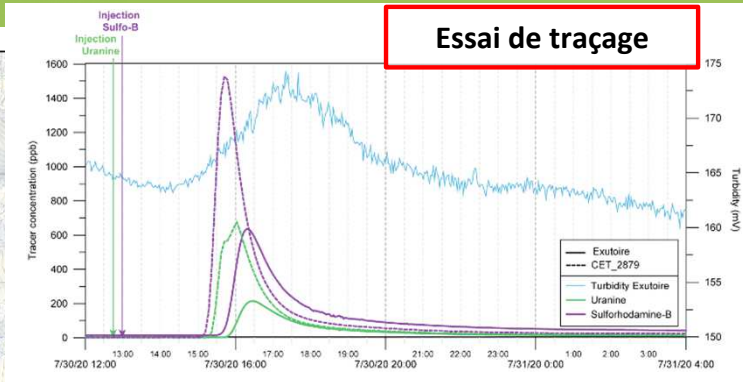
RGI region	Rock glacier		Glacier		Ratio Rock glacier: glacier WVEQ
	Area (km ²)	WVEQ (Gt)	Area (km ²)	WVEQ (Gt)	
Antarctic and Subantarctic	3.21	0.04	132,867.00	39,834.76	1:995,869
Arctic Canada North	No Data	No Data	104,873.00	24,742.59	∞
Arctic Canada South	No Data	No Data	40,894.00	7,272.89	∞
Caucasus and Middle East	113.22	0.93	1,139.00	55.38	1:60
Central Asia	291.61	4.08	62,606.00	3,688.13	1:904
Central Europe	752.28	3.13	2,063.00	103.37	1:33
Greenland Periphery	46.00	0.30	89,721.00	13,958.78	1:46,529
Iceland	61.37	0.82	11,060.00	3,001.45	1:3,660
New Zealand	42.56	0.28	1,162.00	55.38	1:198
North America	1710.67	15.57	101,274.00	17,628.45	1:1,132
North Asia	801.51	5.74	3,430.00	147.67	1:26
Russian Arctic	No Data	No Data	51,592.00	11,326.51	∞
Scandinavia	26.44	0.11	2,851.00	132.91	1:1,208
South America	3557.69	32.84	31,679.00	4,873.21	1:148
South Asia East	1417.57	19.48	21,799.00	1,103.85	1:57
South Asia West	No Data	No Data	33,859.00	2,791.02	∞
Svalbard and Jan Mayen	55.66	0.40	33,922.00	7,357.80	1:18,395
NEAR-GLOBAL	8879.79	83.72	726,792.00	138,074.14	1:1,649



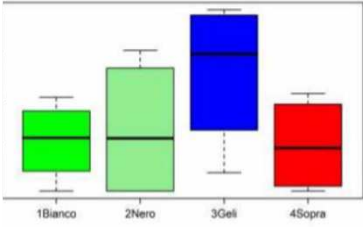
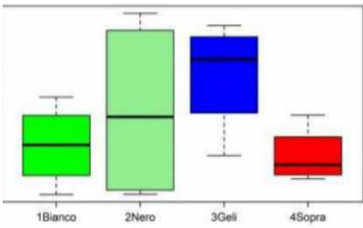
Le attuali caratteristiche idrologiche, chimiche ed ecologiche delle acque di alta quota sono dominate dalle **dinamiche nivo-glaciali di superficie...**

... ma il ghiaccio **contenuto nel permafrost** diverrà un driver dominante dopo il 2050

- Contributo alla valutazione qualitativa e quantitativa della risorsa idrica
- Contributo alla conoscenza del ciclo idrologico in alta quota
- Contributo alla definizione della governance di gestione e tutela delle risorse idriche in alta quota nel contesto del cambiamento climatico

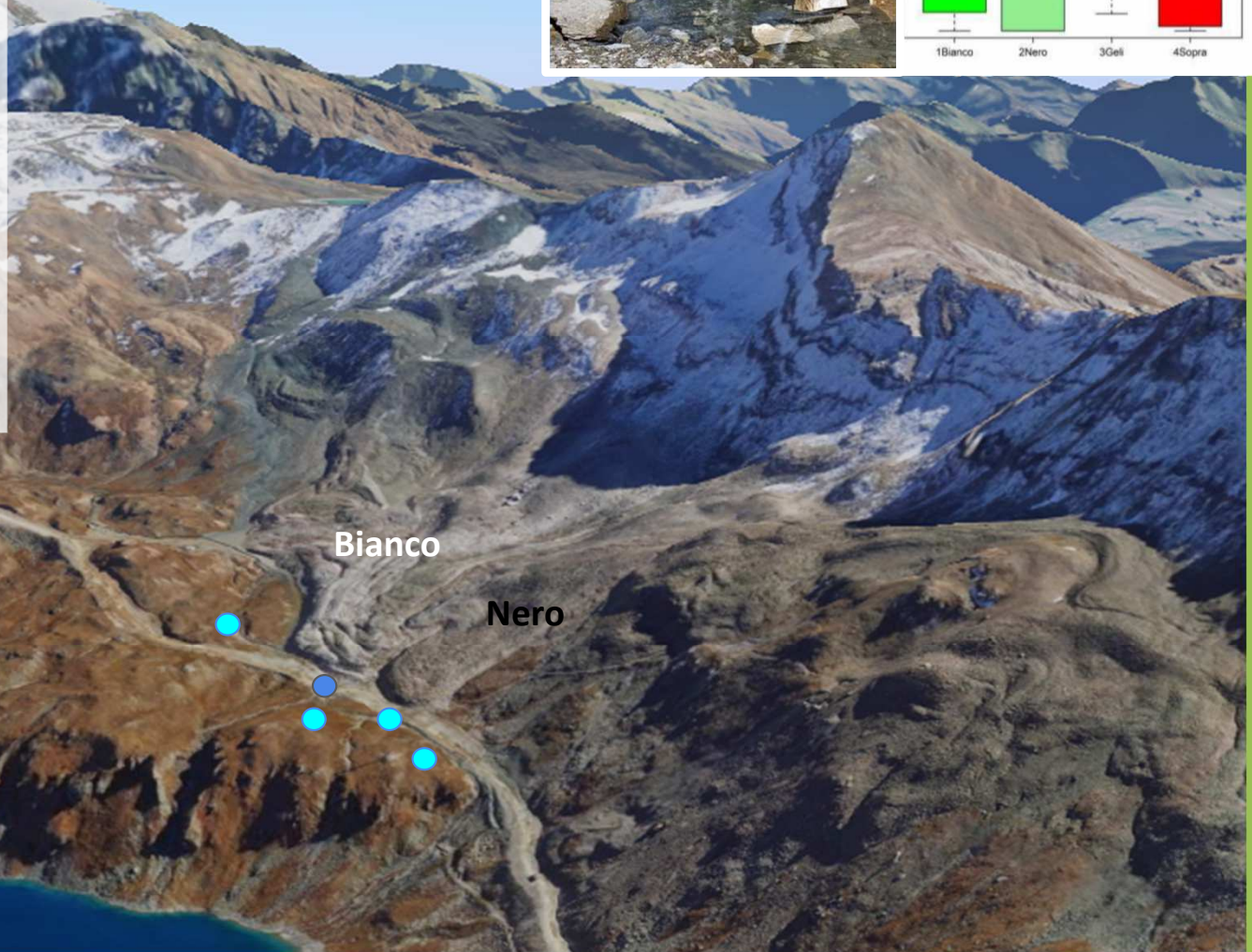


Instrumentation à l'exutoire
mesure hauteur d'eau, EC, T, turbidité, fluorescence et échantillonnage automatique



Rock glacier Gran Sometta («bianco» e «nero»)

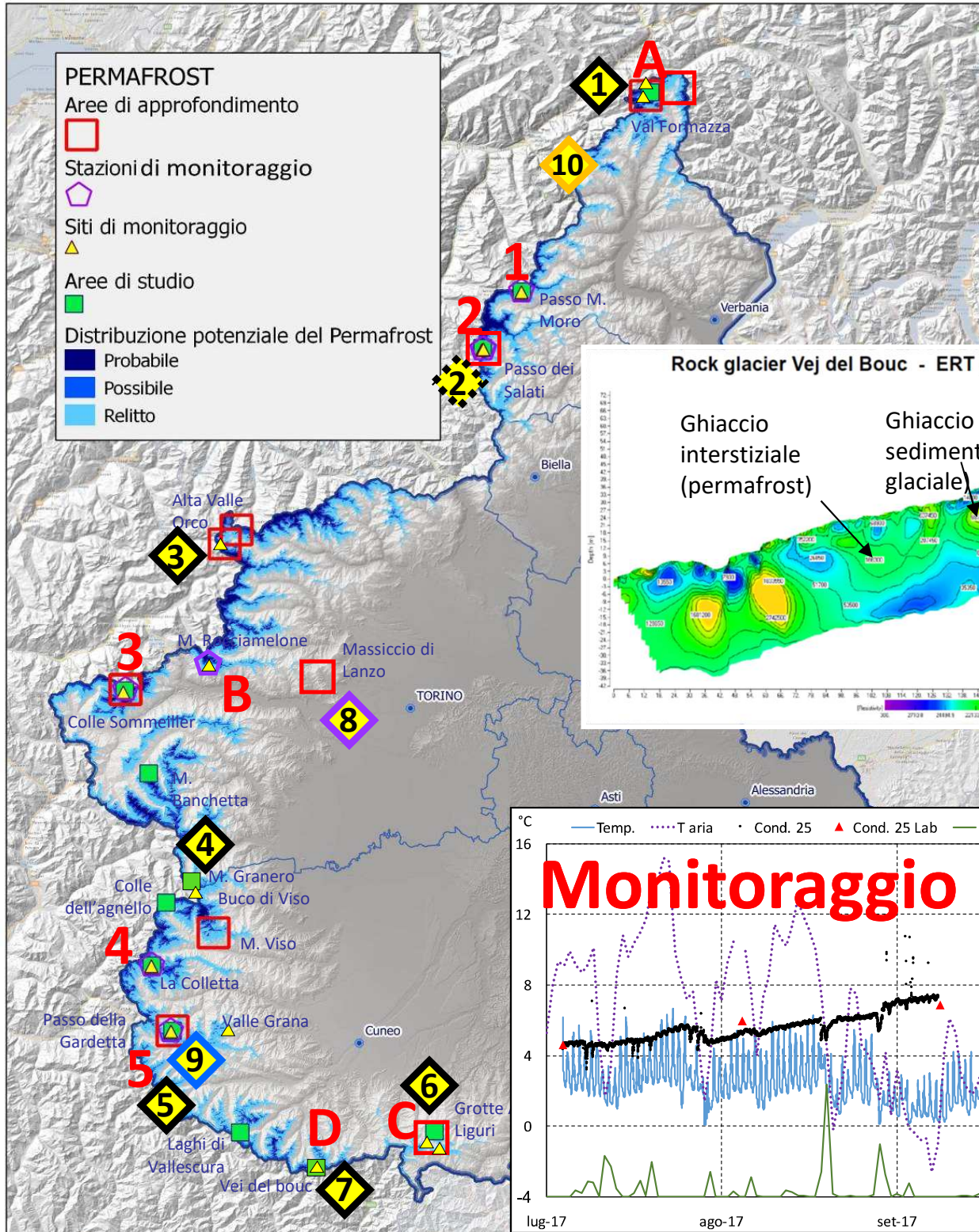
- Geofisica
- Rilievi fotogrammetrici con drone
- Campionamenti acque ed analisi chimiche
- Traccianti
- Monitoraggio strumentale



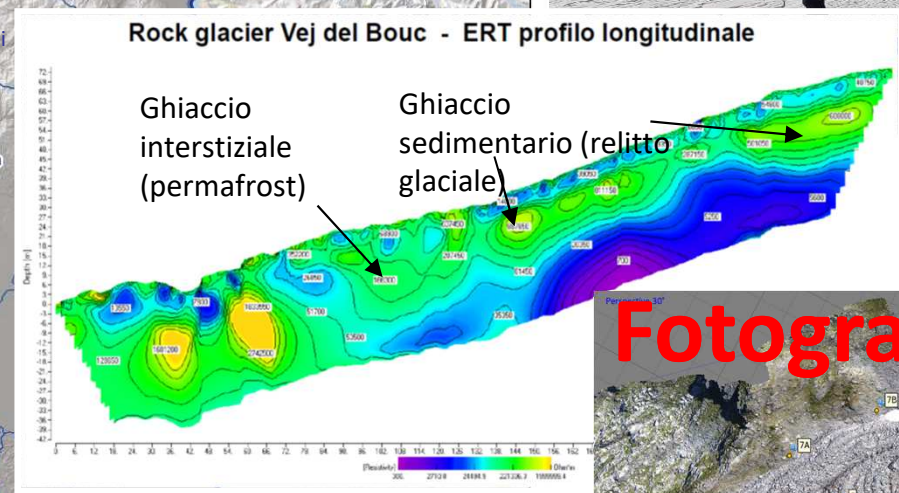
PERMAFROST

- Aree di approfondimento
- Stazioni di monitoraggio
- Siti di monitoraggio
- Aree di studio
- Distribuzione potenziale del Permafrost

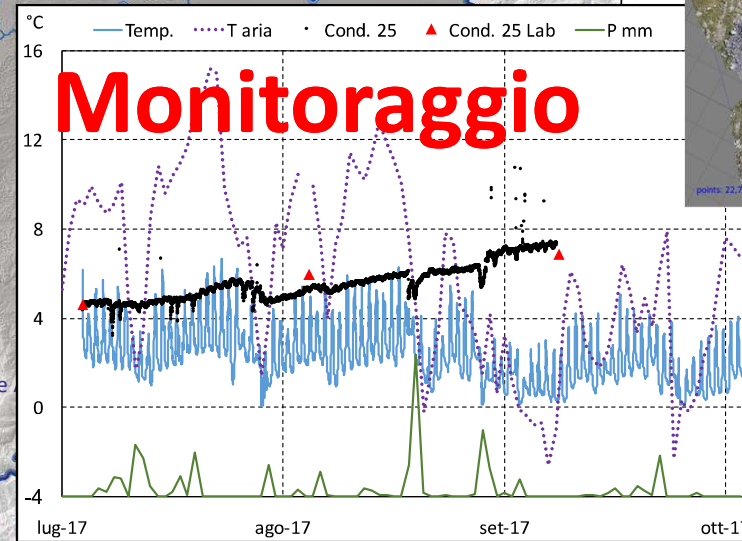
-
- ◊
- ▲
-
- Probabile
- Possibile
- Relitto



Geofisica



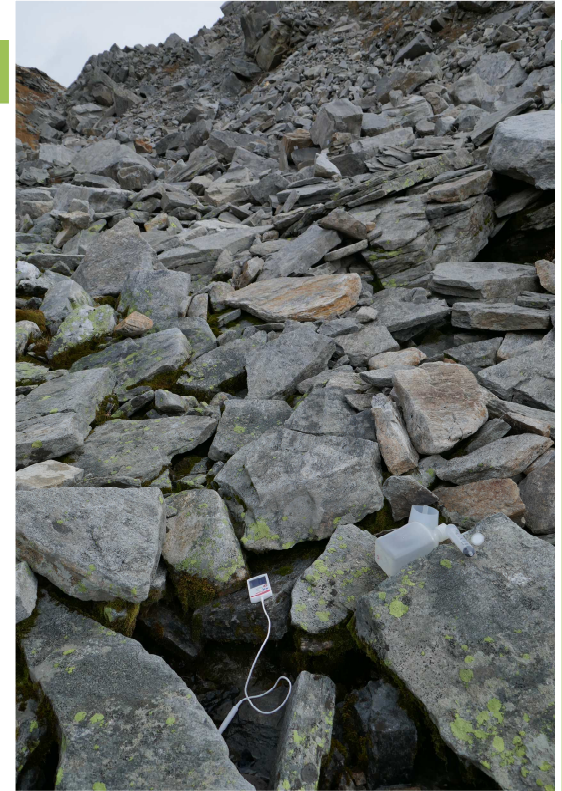
Fotogrammetria



Monitoraggio



Campionamenti



Idrochimica delle sorgenti da Rock Glacier (RG outflow)

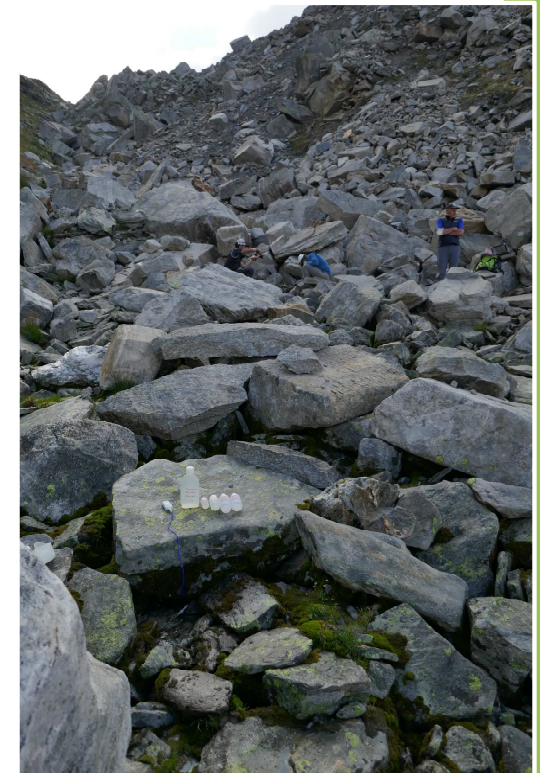
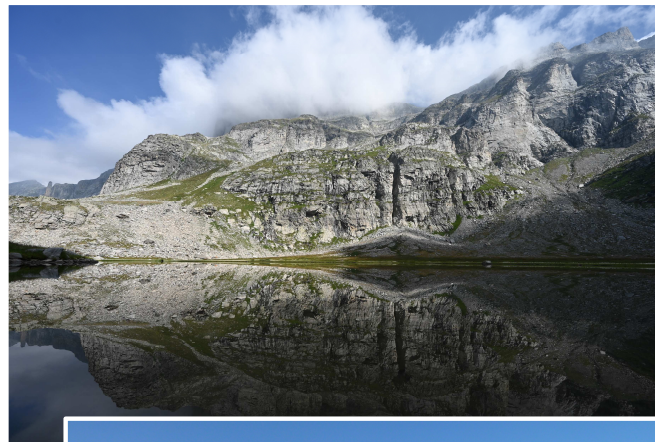
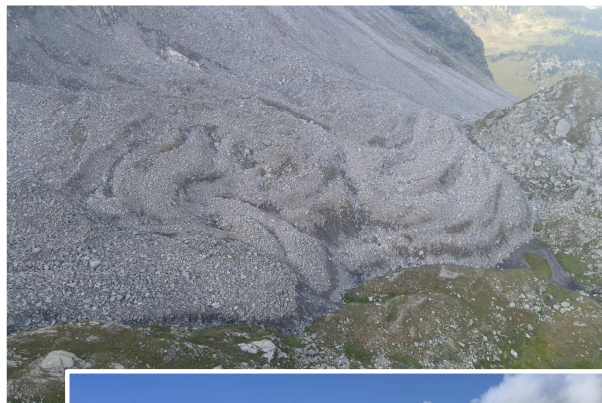
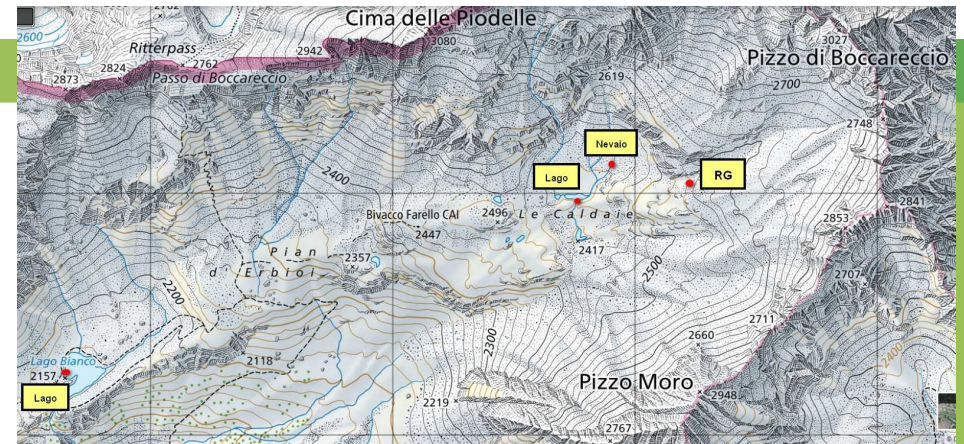
- ✓ Acque caratterizzate da temperature basse (prossime a 0 °C) e costanti
- ✓ Chimismo variabile in funzione della litologia: da acque diluite, a basso contenuto in soluti, ad acque ad elevato grado di mineralizzazione
- ✓ In letteratura riportati esempi di RG outflow con elevato contenuto di SO_4 e altri ioni e di alcuni metalli in tracce (Thies et al., 2007; 2013; Ilyashuk et al., 2014; Krainer, 2014)
- ✓ In alcuni casi, RG come sorgente di NO_3 e DOC, con un possibile ruolo di processi microbiologici (Williams et al., 2006)



Area di studio «Le Caldaie», Alpe Veglia (VB)

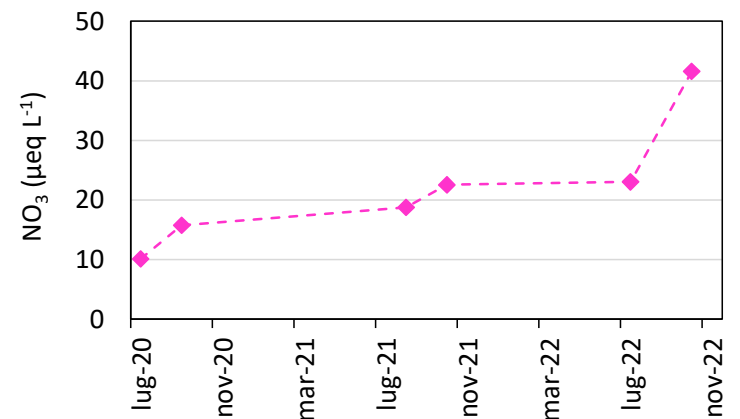
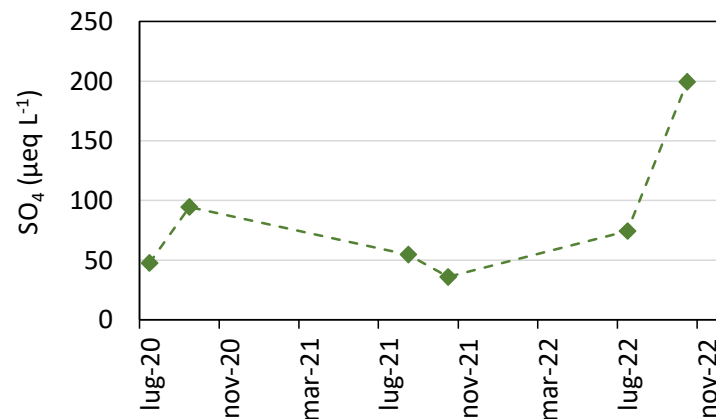
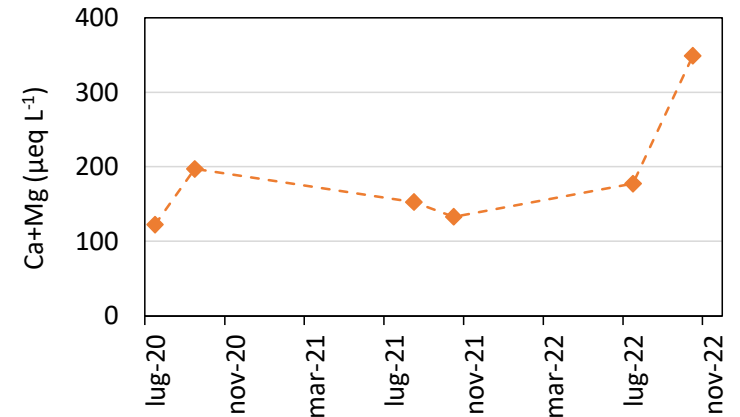
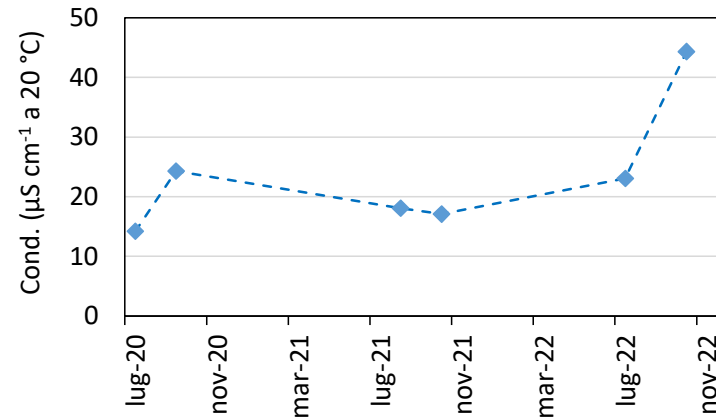
7 campagne di campionamento 2020-2022:

- analisi chimiche delle acque
- raccolta di campioni biologici
- raccolta di campioni per analisi isotopiche
(*Università di Bolzano - S. Brighenti*)





Variabilità interannuale

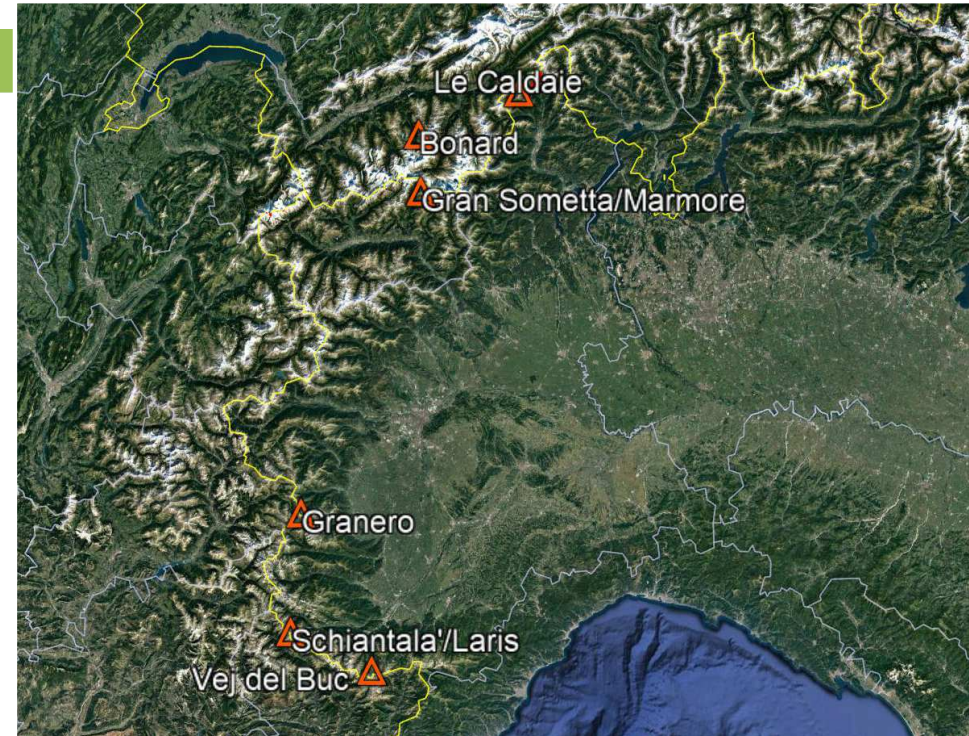


- ✓ Pattern stagionale: aumento concentrazioni dei soluti da luglio a ottobre, a causa del contributo di acque di scioglimento geologicamente arricchite
- ✓ Possibile ruolo della scarsa copertura nevosa dell'inverno 2021-2022 e della quasi totale assenza di precipitazioni nella primavera-estate 2022?



Siti RESERVAQUA - caratteristiche

- ✓ RG intatti, ampio gradiente latitudinale
- ✓ Rappresentativi di varie litologie
- ✓ Alcuni monitorati in dettaglio da più anni, altri aggiunti nel corso del progetto

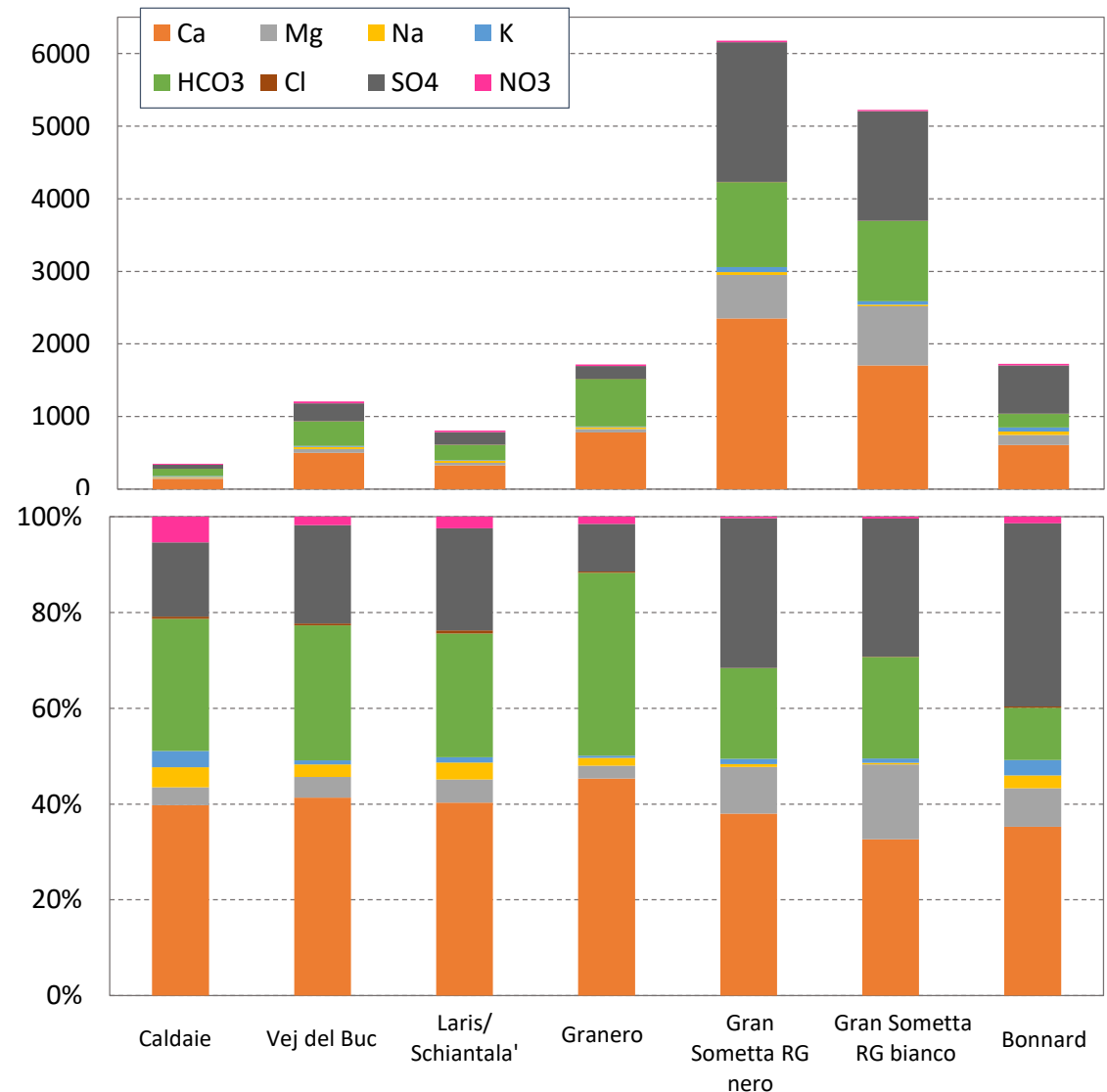
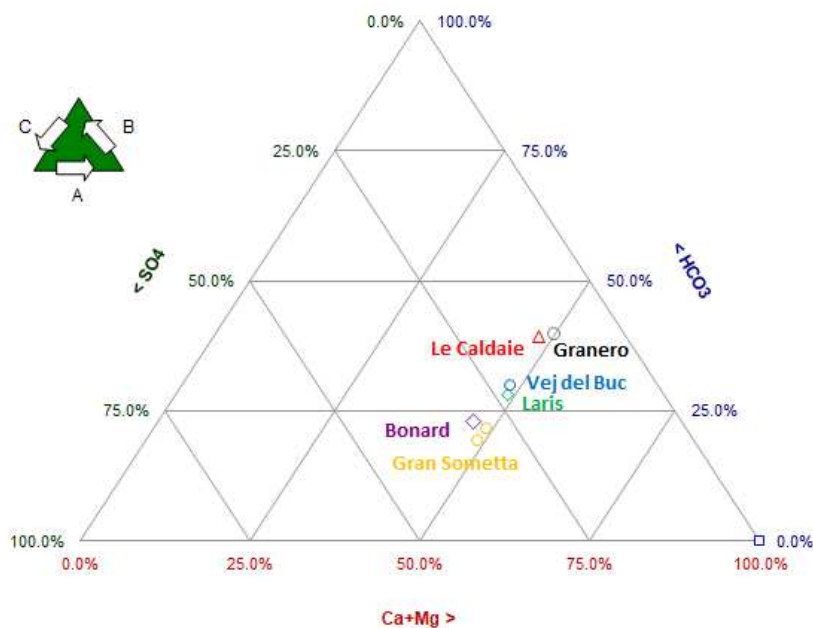


Site/catchment	Working group	Province/Federal State	Status rock glacier	Geological unit	General lithology
Le Caldaie	ARPA Piemonte/ CNR IRSA	Piedmont Region (VB), Italy	Intact	Monte Leone Unit (Lepontine Units - Nappe)	Metamorphic (tabular, fine- to medium-grained biotite-K-feldspar-oligoclase gneiss, derived from Permian granitoids)
Vej del Buc	ARPA Piemonte/ CNR IRSA	Piedmont Region (CN), Italy	Intact	Argentera "Massif" - Gesso-Stura-Vésudie Unit	Metamorphic (mainly: migmatite, ortho- and para-gneiss, micaschist, anatectic granite; secondary Bousset-Valmasque Complex Amphibolite: migmatitic amphibolite with relics of HP eclogites/granulites)
Schiantala'	ARPA Piemonte/ CNR IRSA	Piedmont Region (CN), Italy	Intact	Argentera "Massif" - Tinée Unit	Metamorphic (migmatitic paraderivate)
Granero	ARPA Piemonte/ CNR IRSA	Piedmont Region (CN), Italy	Intact	Piemonte-Ligurian oceanic domain (Monviso Unit)	Metamorphic (metabasites, prasinites, amphybolites, chloriteshists)
Bonnard	CREALP/UNINE/ SFCEP	Valais, Switzerland	Intact	Tasté Nappe and Dent Blanche Nappe	Metamorphic (Orthogneiss, Metagabbro)
Gran Sommetta/ Marmore	ARPA VDA	Aosta Valley (AO), Italy	Intact	Combin Zone	Metamorphic (calcschists, dolomitic marbles, metabasites)



Siti RESERVAQUA - confronto

- ✓ Idrochimica dipendente dalla litologia dominante
- ✓ Contributo abbastanza elevato di N-NO₃
- ✓ Basse concentrazioni di nutrienti, carbonio organico e metalli in tracce





Intercalibrazione e protocolli

- ✓ Incontri on-line tra i laboratori coinvolti (ARPA VDA, ARPA Piemonte, CNR IRSA), per discussione e condivisione dei protocolli e delle tecniche analitiche, con specifico riferimento agli elementi oggetto di interesse per il progetto (ioni principali, elementi in tracce)
- ✓ 2 esercizi di intercalibrazione, basati sull'analisi di campioni prelevati dai siti di progetto nel 2021 e 2022 + 1 campione sintetico; condivisione e discussione dei risultati

Sampling protocol for high altitude runoff water, including RG outflow

Materials needed for each sample:

- 500 mL bottles for each sample is needed for the analysis of ions and nutrients.
- for trace metals: 50 mL bottles, 60 mL syringes, disposable filters 0.45 µm with luer outlet. Bottles and syringes have to be rinsed with 2% nitric acid.
- Disposable gloves, polyethylene bags, labels and pencil.
- Thermometer
- GPS (check the reference system used; it should be UTM WGS84)

Sampling procedure

- Select the site in order to have free running water; if possible, sample in an area with at least 20-30 cm of water depth (e.g. a small pool);
- once selected the site, be careful! Avoid to:
 - contaminate the sampled water with your hands (use single-use gloves if necessary);
 - enter into the water with your feet;
- rinse at least three times the sampling bottle and the cap;
- completely fill the bottle as much as possible; after closing it no air bubbles should be left inside. Be careful not to touch the sample or the cap with your bare hands;
- tighten the cap and dry the outside of the bottle;
- label each bottle with a progressive number (ID number) and date of sampling and put the bottles in a tightly closed plastic bag;
- collect a separate sample if trace metals analyses have to be performed. The water sample can be collected directly from the water surface with a syringe. The syringe (without the filter) has to be rinsed at least three times with the water to be sampled. Syringe has then to be filled completely, the disposable filter attached to the syringe and rinsed with a volume of approximately 30-40 mL, and the filtered sample thrown away. Then remove the filter, fill in the syringe completely, attach the filter and filter about 20-30 mL of water into the 50 mL bottle. Use this water to rinse the bottle and then throw it away. Then repeat the procedure and filter slowly 50 mL of sample into the bottle. Take care to avoid bubbles when filling the syringe. Close the bottle tightly, label it and store it with the other samples.

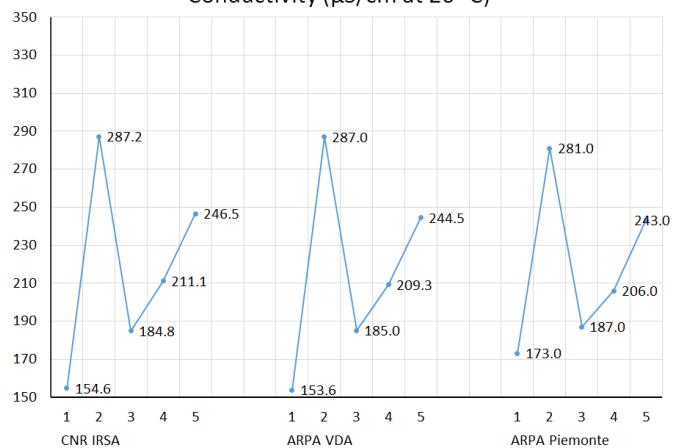


Buon accordo tra i dati dei 3 laboratori, sia per le variabili chimiche principali (pH, conducibilità, alcalinità, ioni) che per i metalli in tracce

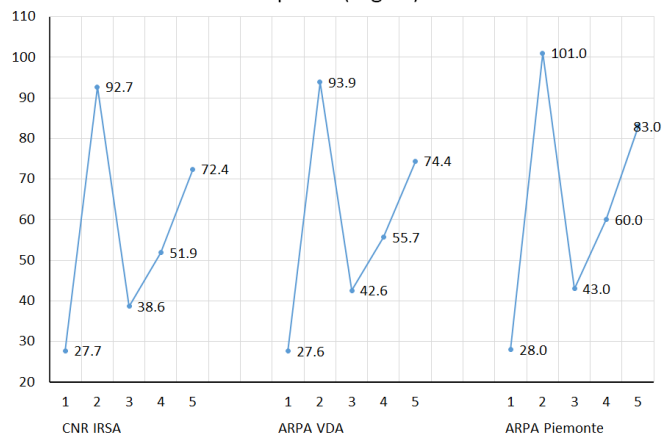


INTERCOMPARISON A

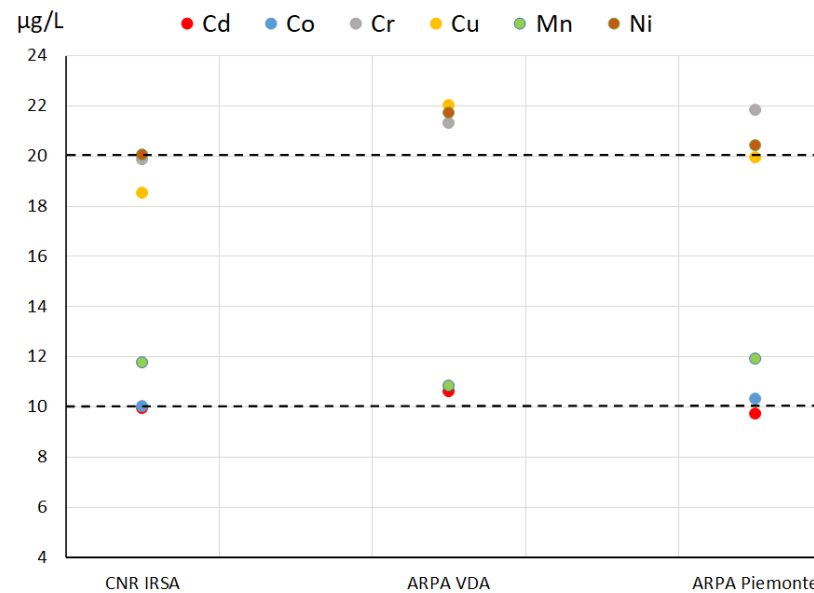
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$ at 20 °C)



Sulphate (mg L^{-1})



INTERCOMPARISON B





Conclusioni e prospettive

Le attività svolte si sono rivelate utili non solo per raccogliere nuovi dati e migliorare la conoscenza dei siti di studio, ma anche per migliorare la valutazione della qualità analitica dei dati, aspetto fondamentale nel monitoraggio delle acque in quota

La condivisione di pratiche e protocolli di campionamento e analisi è indispensabile per disporre di dati confrontabili, in particolare all'interno dello stesso progetto

Sulla base delle esperienze maturate nel progetto sono in via di definizione delle linee guida sulle variabili prioritarie e le frequenze di campionamento

E' auspicabile l'individuazione di un network di monitoraggio a lungo termine di siti chiave, monitorati per più aspetti (geofisica, fotogrammetria, idrologia, idrochimica e idrobiologia...)

