

**M. Rogora, A. Marchetto, R. Mosello,
G.A. Tartari, L. Somaschini**

**Effetti dei cambiamenti climatici sulle caratteristiche chimiche delle
acque in alta quota: alcuni casi di studio in Val d'Ossola, Alpi Centrali**

*Workshop «Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale
e del permafrost nelle Alpi piemontesi» Torino, 7 febbraio 2018*

Siti di studio e dati

Idrochimica

~ 40 *survey sites*, con dati discontinui a partire dagli anni '80

Alcuni *key-sites* con dati continuativi dall'inizio degli anni '80

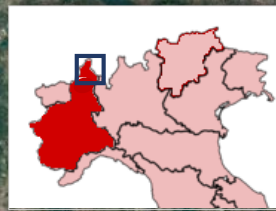
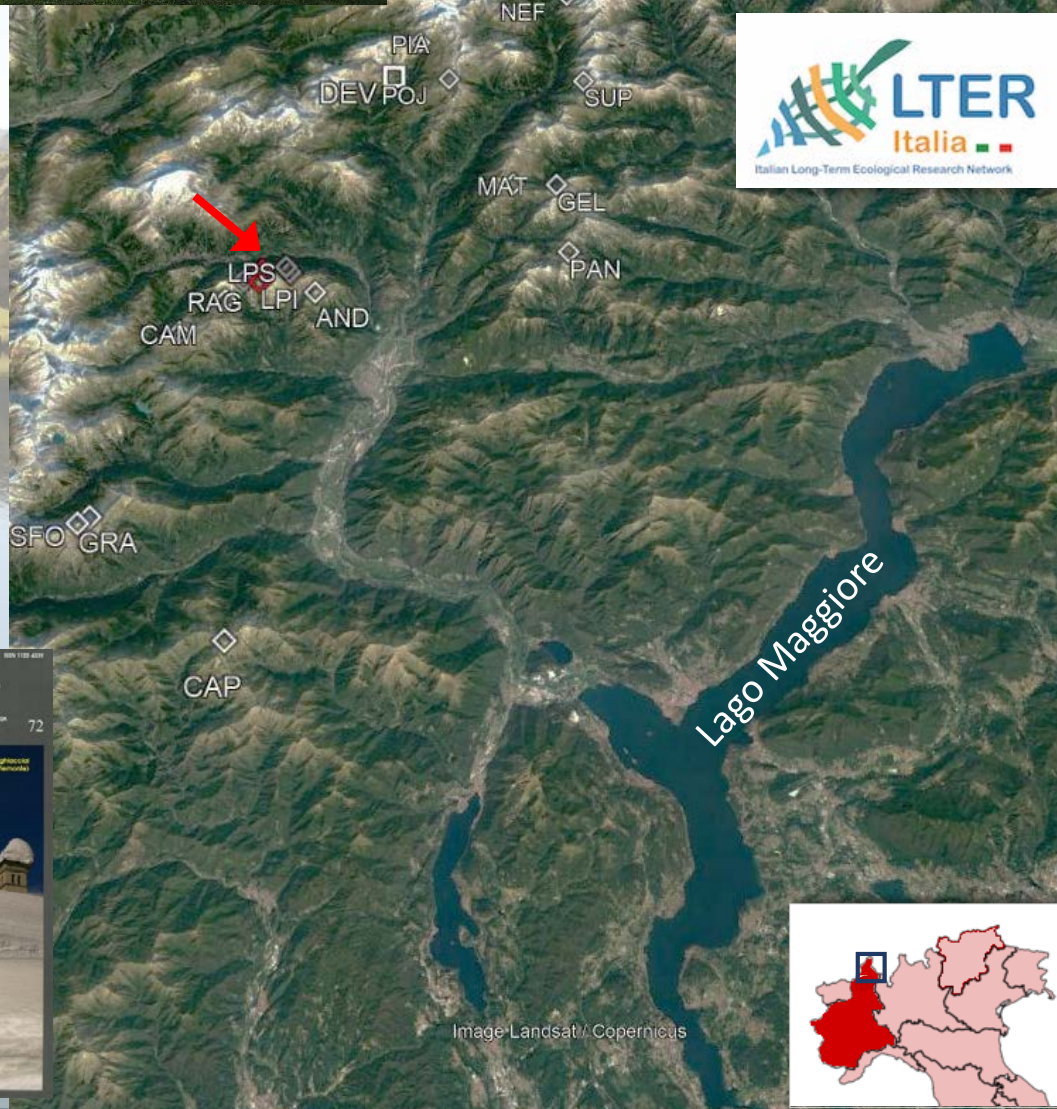
Meteoclima

Stazioni ARPA Piemonte

Dati meteo di stazioni ENEL in Ossola Superiore (dalle schede manoscritte compilate dal personale in servizio presso dighe e centrali idroelettriche)



SOCIETÀ
METEOROLOGICA
ITALIANA ONLUS
www.nimbus.it



Laghi remoti: sistemi di “early warning” ...

Componente rilevante del paesaggio alpino, con valore turistico e ricreativo di primaria importanza

Non interessati da disturbo antropico diretto, ma soggetti alla deposizione di inquinanti atmosferici trasportati con le masse d'aria dalle aree antropizzate

Fortemente dipendenti dalle caratteristiche del bacino (morfologia, copertura del suolo), rispondono rapidamente a variazioni di input atmosferici e clima

Oligotrofi o ultraoligotrofi, con reti trofiche più semplici rispetto a quelle dei laghi di pianura, sono considerati “laboratori naturali” per lo sviluppo di ricerche ecologiche di base



Sono considerati ottimi indicatori di variazioni nelle deposizioni atmosferiche di inquinanti e nel clima su scala regionale



... e fornitori di servizi ecosistemici



Risorse idriche



Turismo



Pesca



**Valore estetico-
paesaggistico**

I laghi alpini forniscono servizi alla popolazione (sia residenti che turisti)

Sono vulnerabili a diversi fattori, che minacciano quantità e qualità dell'acqua

A causa delle limitate dimensioni, nella maggior parte dei casi non sono soggetti a specifiche regolazioni o regime di tutela (es. WFD)

**EFFETTI NEGATIVI
SU BENI E SERVIZI**



**Prelievi d'acqua
Produzione idroelettrica**



Nutrienti/inquinanti



Cambiamenti climatici



Specie aliene

Fattori che influenzano la chimica dei laghi d'alta quota

Deposizioni atmosferiche (wet & dry)
(composti acidificanti, azoto, metalli
pesanti, POPs)

Meteo-clima
(temperatura, precipitazioni,
snow cover)

Weathering

Attività antropiche
(turismo, pascolo, fish stocking...)

Processi a lago

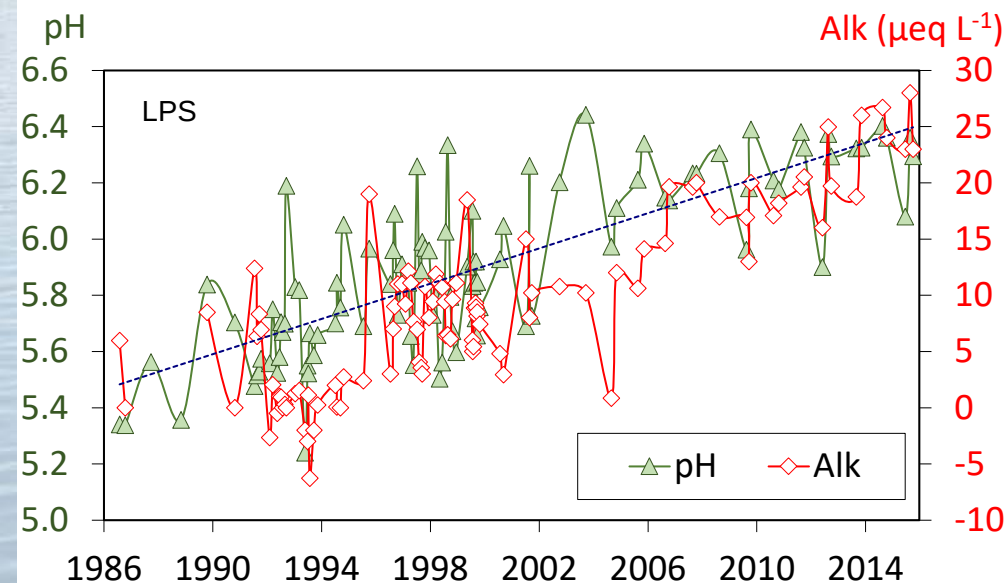
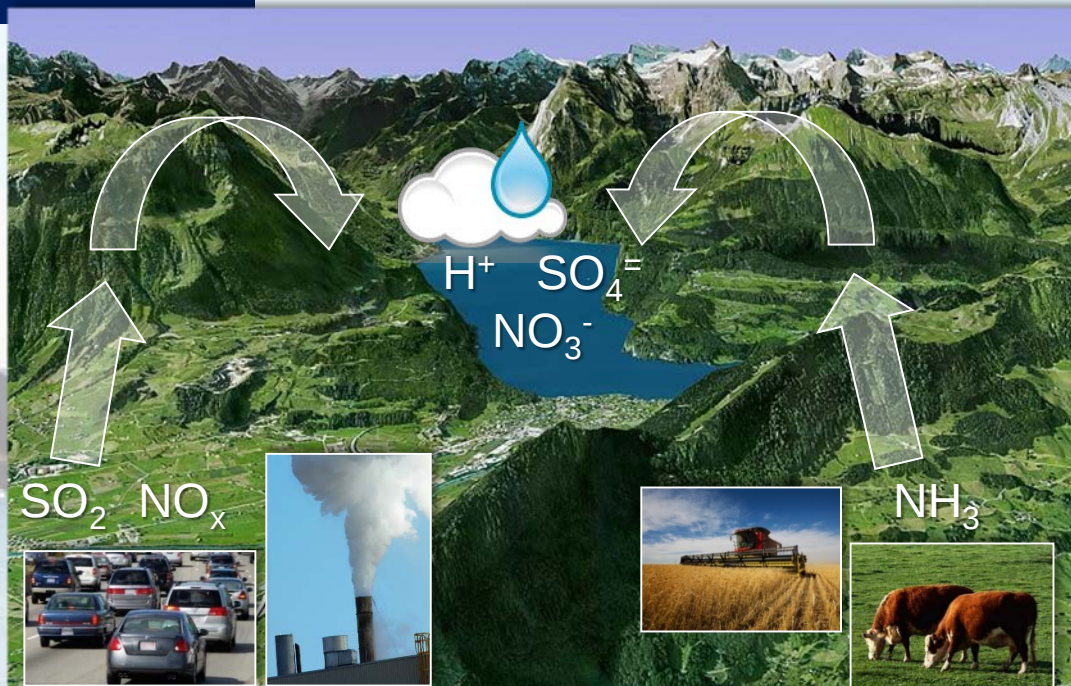
Land cover
(suolo, vegetazione,
ghiacciai...)



«Piogge acide»: una storia di successo

L'acidificazione è stato un problema ambientale rilevante negli anni '70 e '80 in alcune regioni sensibili, tra cui certe aree delle Alpi

Effetti dell'acidificazione: diminuzione di pH e alcalinità, dissoluzione di metalli pesanti (es. Al), con importanti effetti negativi sulle biocenosi



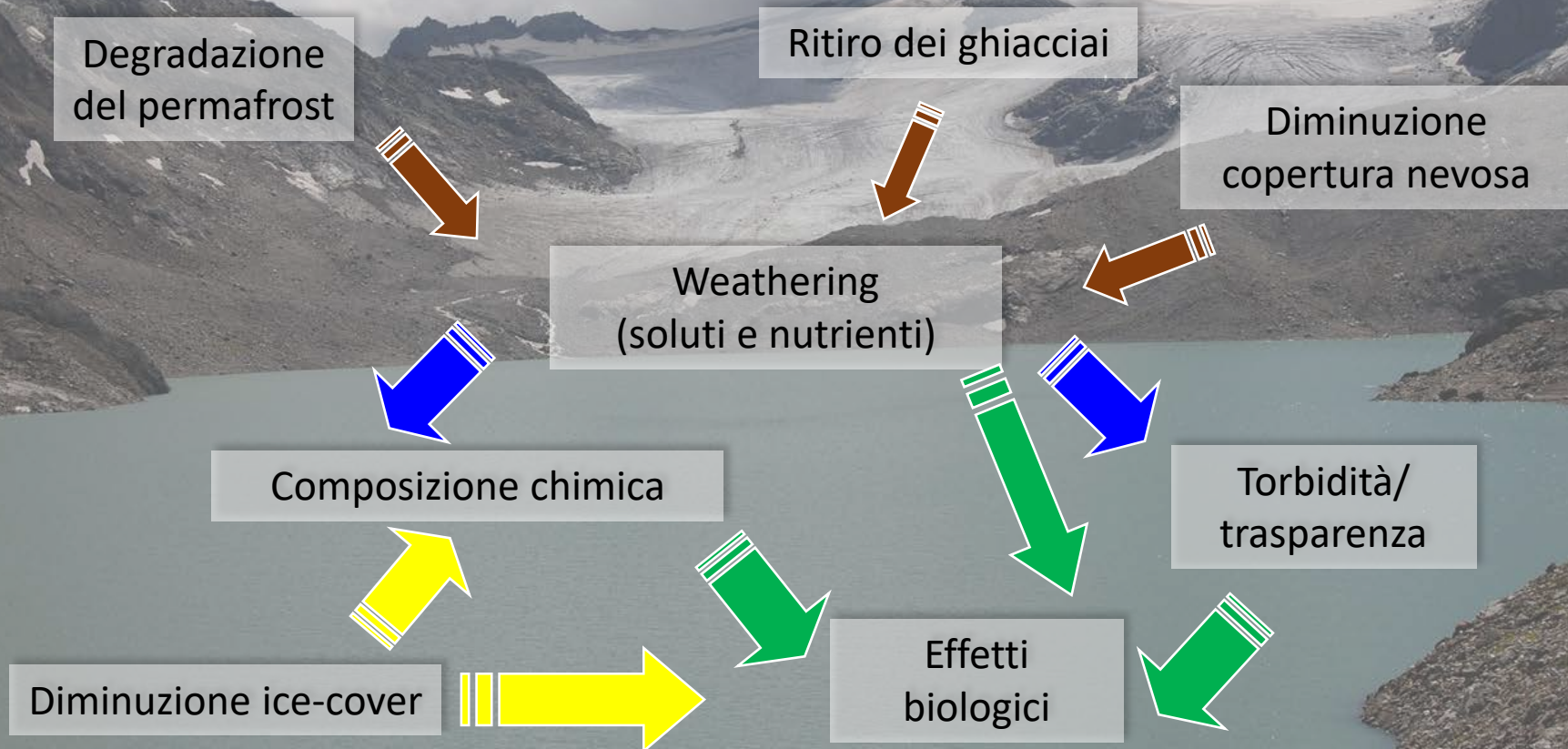
Grazie a politiche per la riduzione delle emissioni, la deposizione di composti acidificanti è nettamente diminuita dagli anni '80 e molti siti sensibili hanno mostrato segni di recupero dall'acidificazione

Clima: interazioni di processi ed effetti

21st century climate change in the European Alps

Gobiet et al. STOTEN 2014

- Warming to accelerate throughout the 21st century
- Intensified precipitation and temperature extremes
- Snow cover to drastically decrease below 1500–2000 m



Criosfera e idrochimica in alta quota

La degradazione della criosfera ha effetti su aspetti idrologici, chimici e biologici

1. PERMAFROST AND ROCK GLACIERS

Colombo et al., Global and Planetary Change. 2017

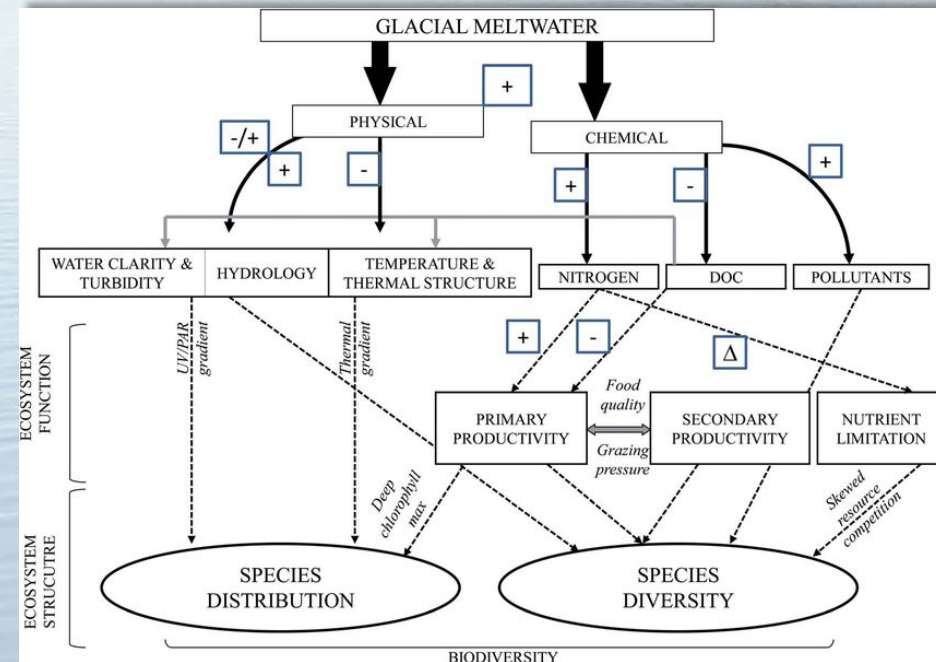
- Permafrost degradation impacts inorganic chemistry of surface fresh water globally
- Spatially-distributed modifications after pervasive permafrost degradation
- Local release of major ions and trace elements from thermokarst and rock glaciers
- Further release of solutes can be expected under warming climatic conditions



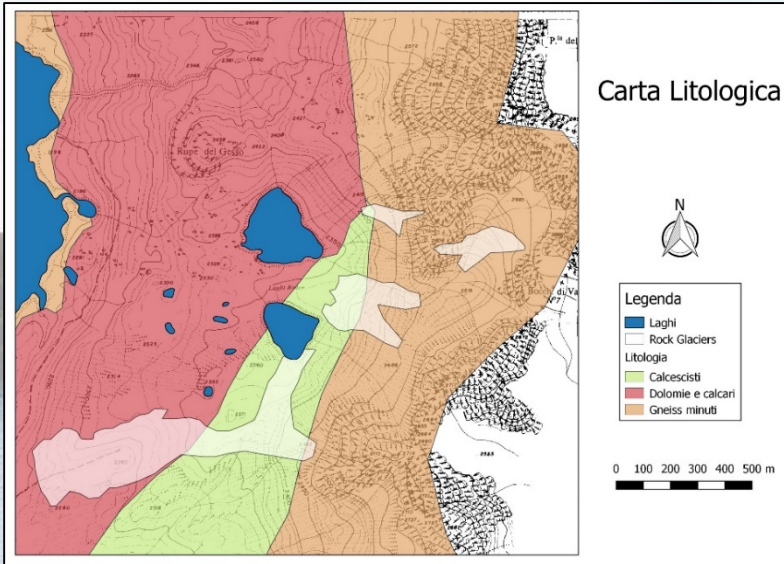
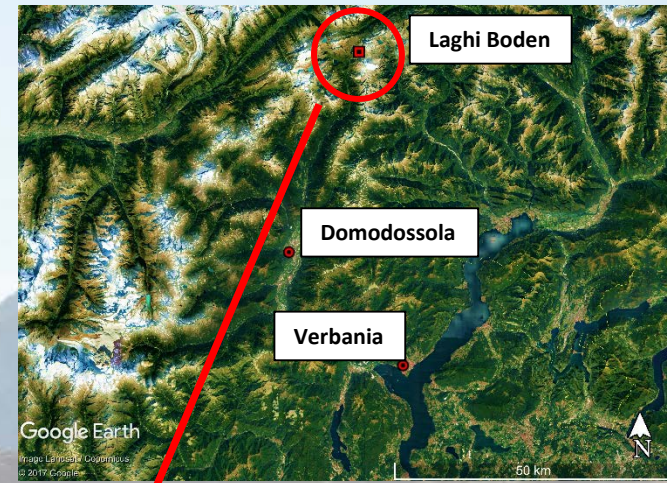
2. GLACIERS

Glacial meltwater can affect habitat by altering physical and chemical features of aquatic ecosystem, with implications for ecosystem functioning and services

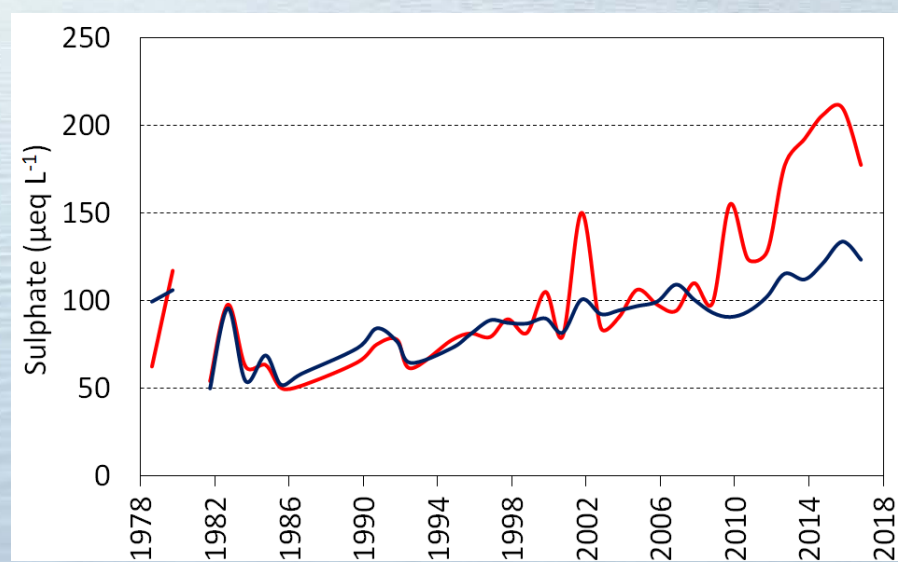
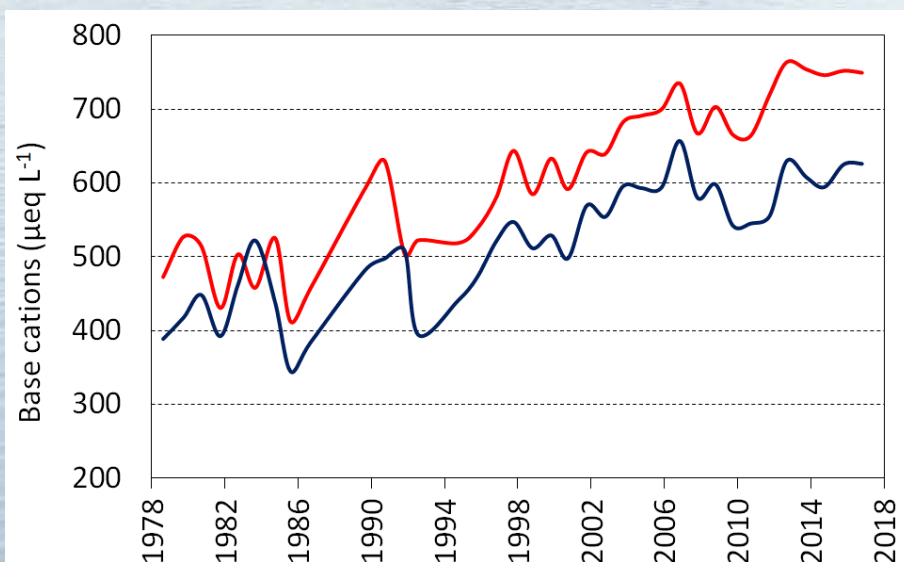
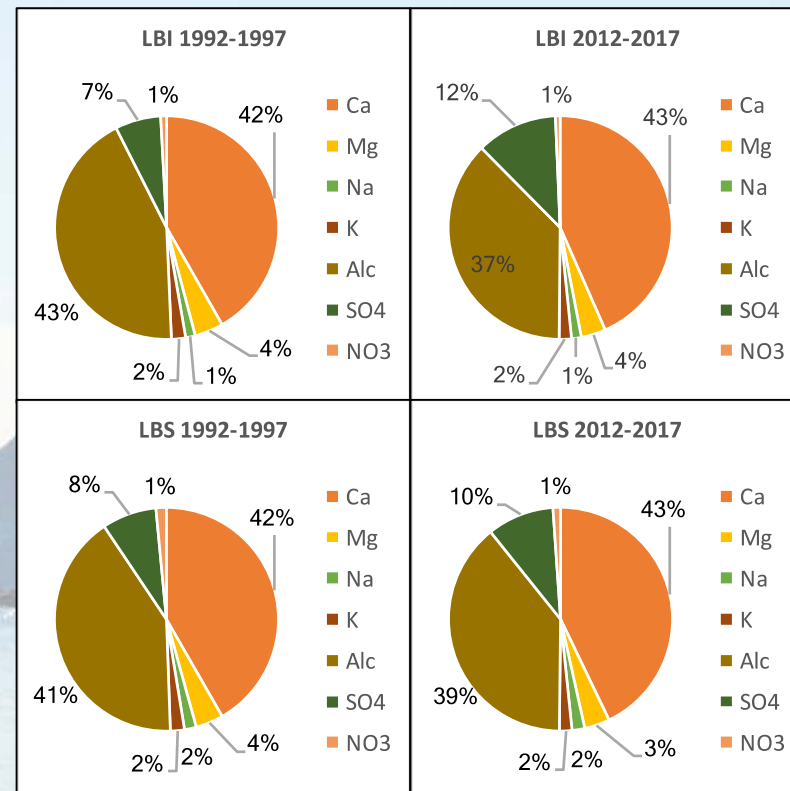
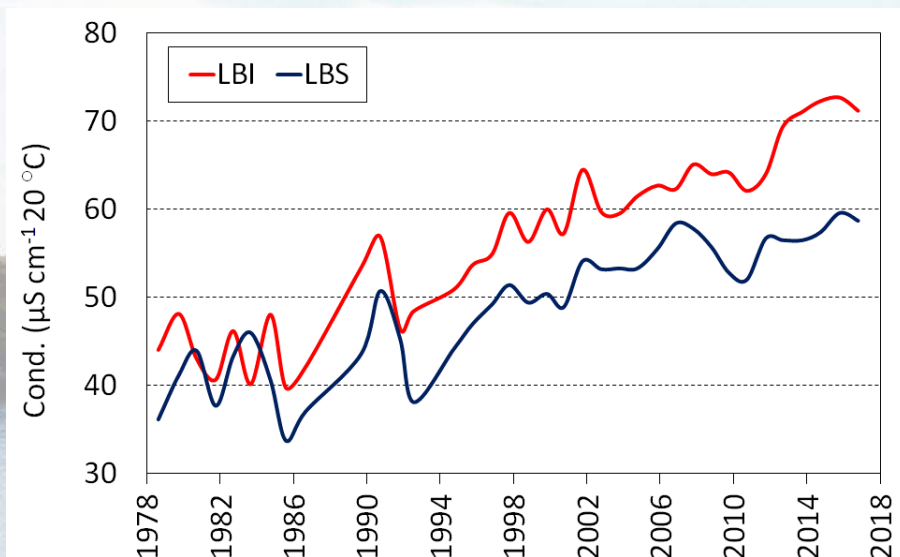
Slemmons et al. Environmental Science Processes & Impacts. 2013



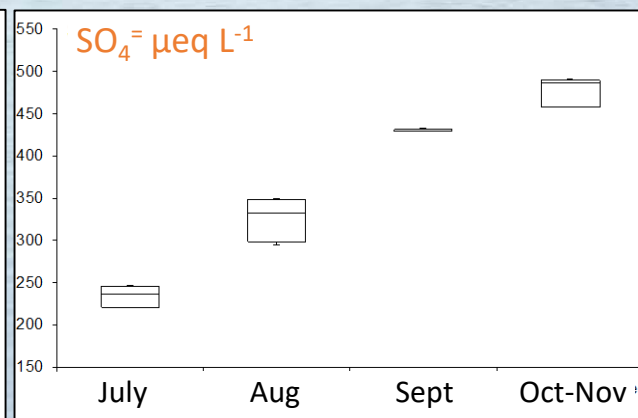
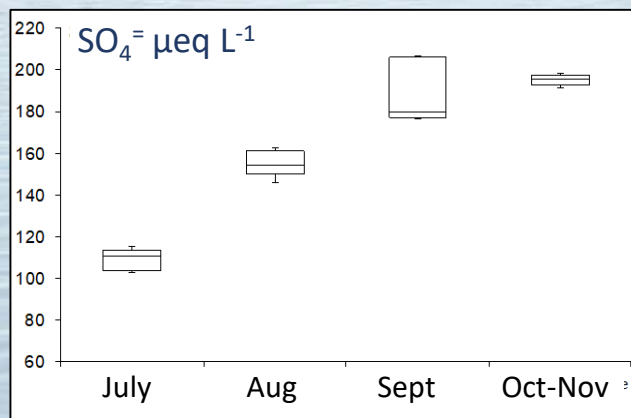
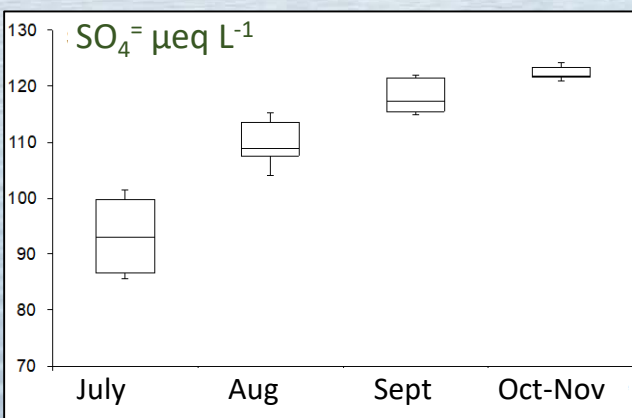
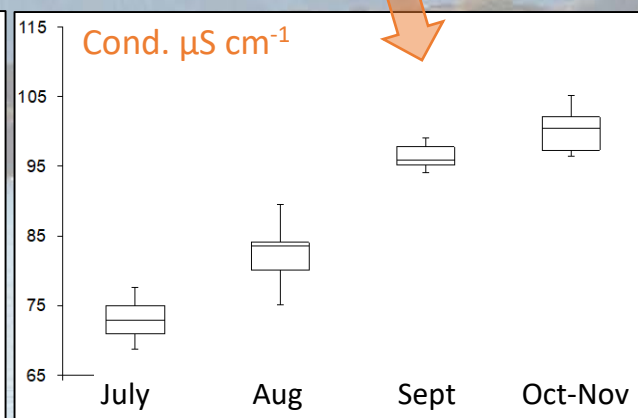
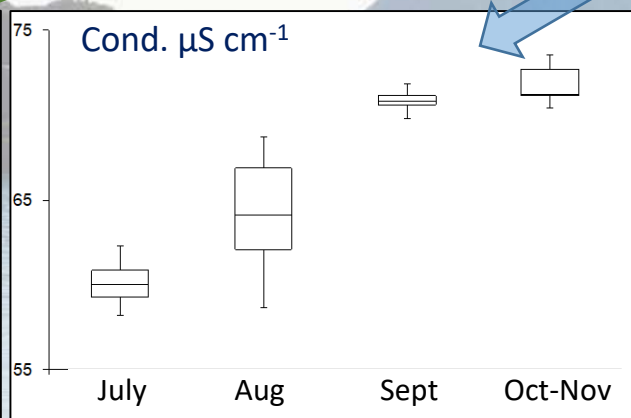
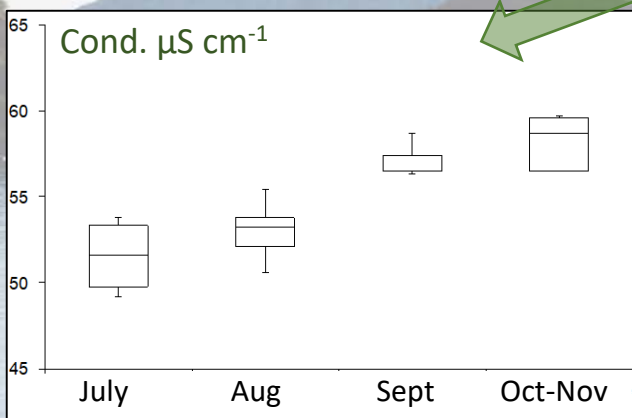
Caso di studio: Laghi Boden Superiore e Inferiore (2340 m a.s.l., Val Formazza, Alpi Centrali)



Trend a lungo termine



Variazioni stagionali

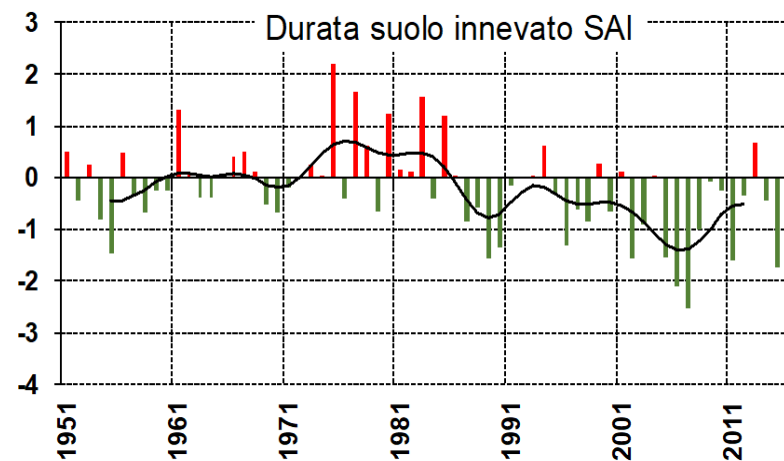
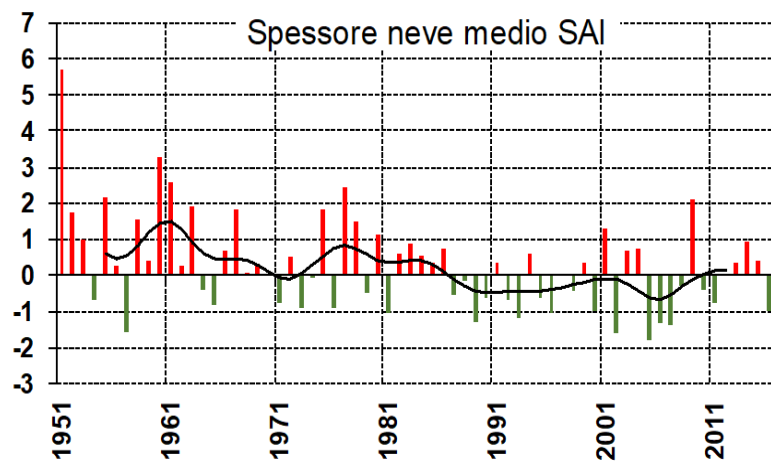
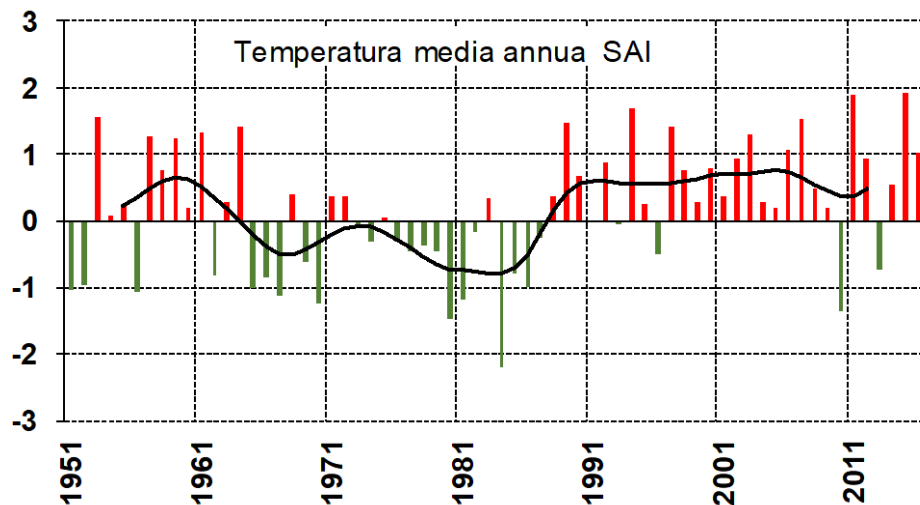


Driver climatici

4 stazioni nell'areale dei laghi
(1800-2500 m a.s.l.)

Standardised anomaly index (SAI)

Aumento T media = **+1,3°C** 1950-2016



Durata della neve al suolo → Trend in diminuzione anni '90 in poi, più marcato dal 2000

→ -5/15 giorni per completa fusione primaverile del manto nevoso

Relazioni tra variabili climatiche e chimiche

Response variables: conducibilità, concentrazioni ioniche (valori annui)

Explanatory variables: Tn, Tx, Tm, P (annual, winter, summer), HS, HSx, LS

Multiple regression
(backward selection):

$$\text{Cond}/\Sigma\text{Ions} \sim Tm_{\text{winter}} (^{\circ}) + HS (*) + Hsmax (*) + LS (**)$$

Adj R²: 0.6258 P<0.001

Cactment based
indirect effects

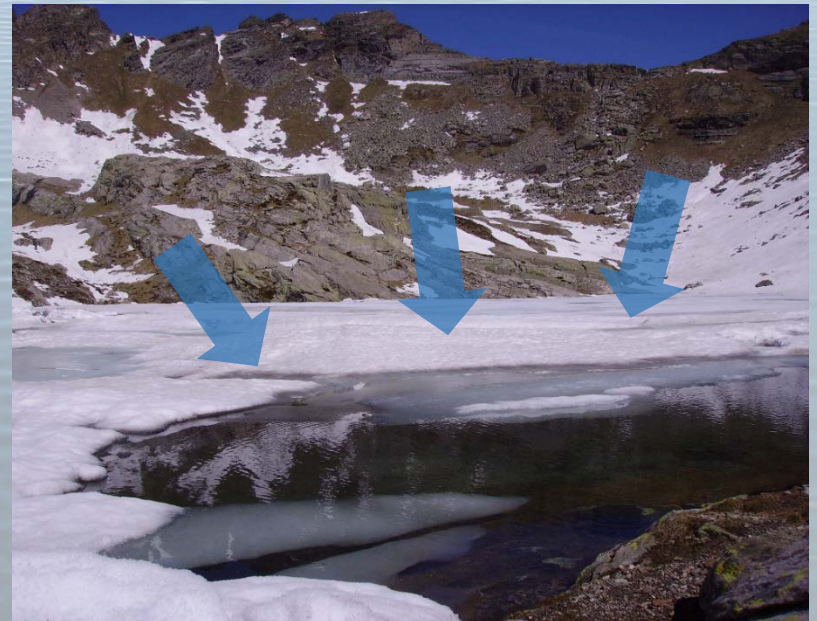
Temperature ↗
Copertura nevosa ↘
Ice-cover ↘



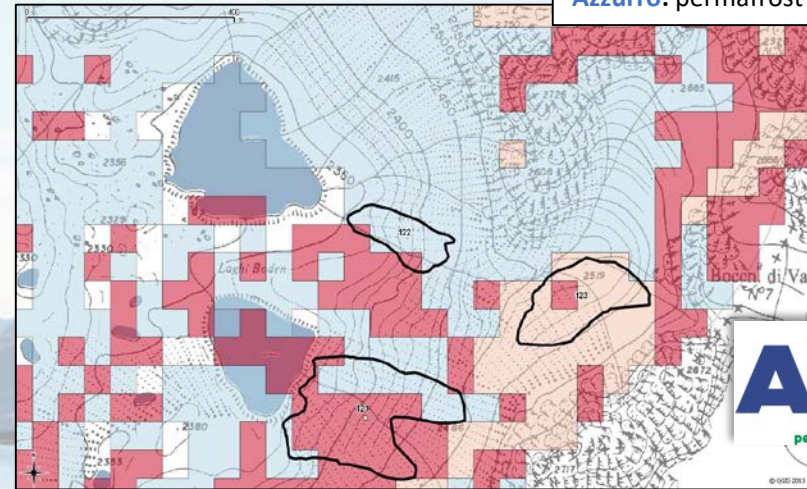
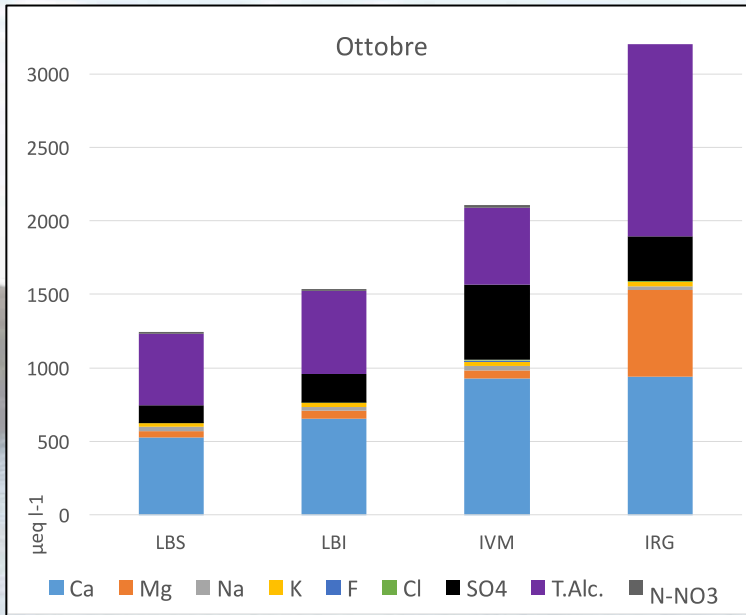
↗ Weathering



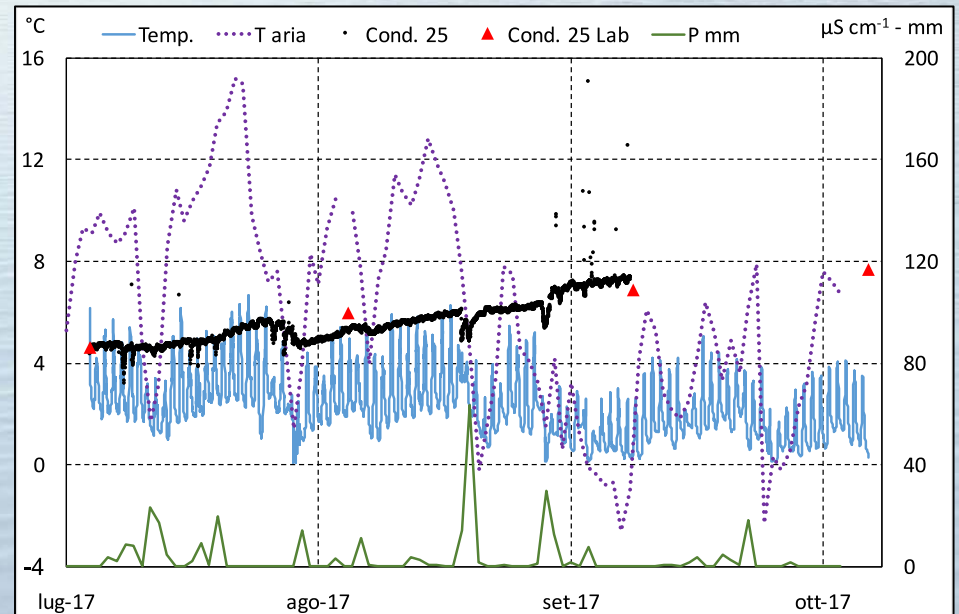
↗ Export di soluti dal bacino al lago



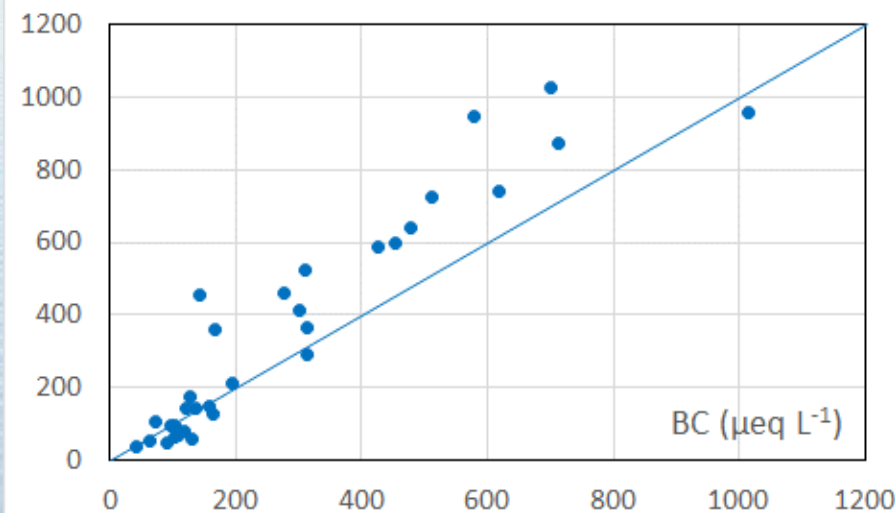
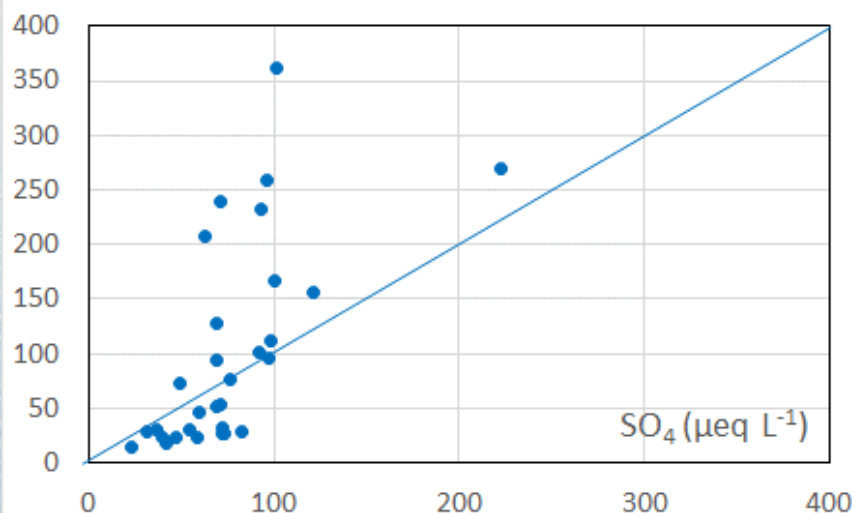
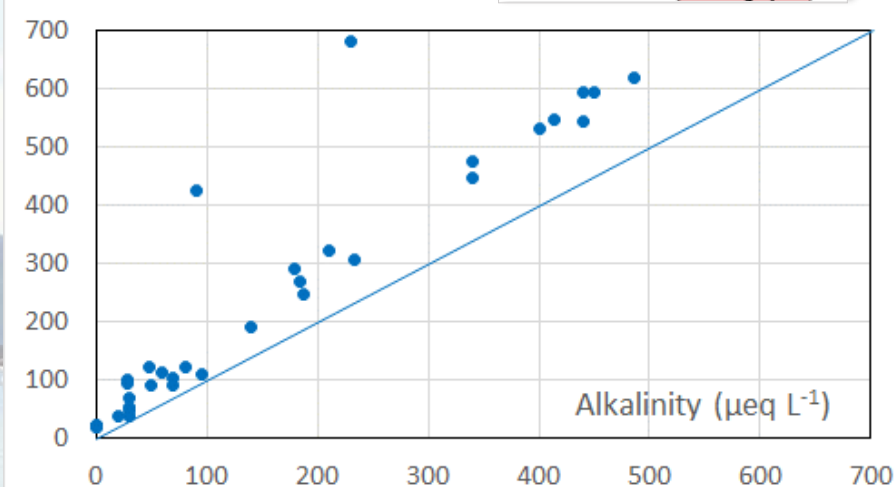
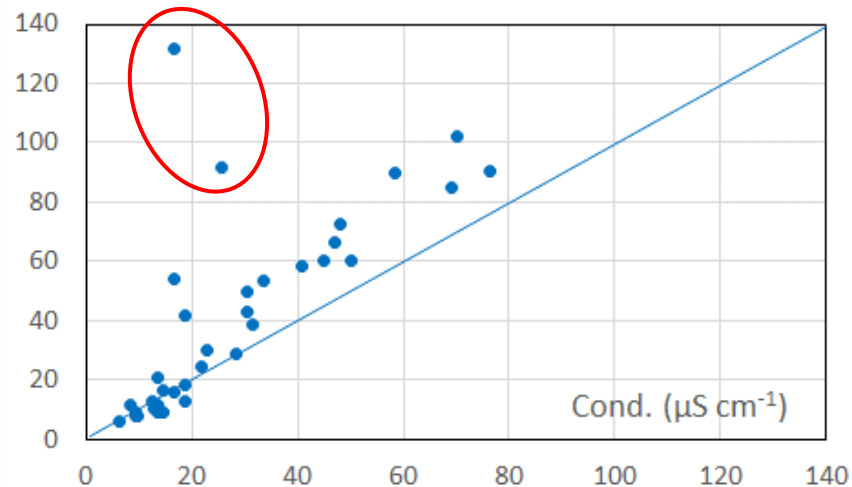
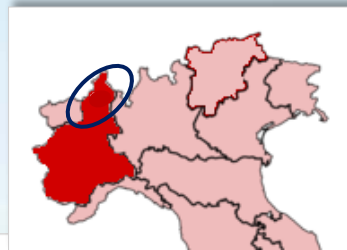
Possibile ruolo di rock-glacier e permafrost



Distribuzione del permafrost secondo il modello empirico "PERMAROCK" modificato e catasto dei rock glacier delle Alpi piemontesi (Guglielmin, 2009; Guglielmin e Paro, 2009)



Survey lakes nelle Alpi Centrali (valli Ossola e Sesia)



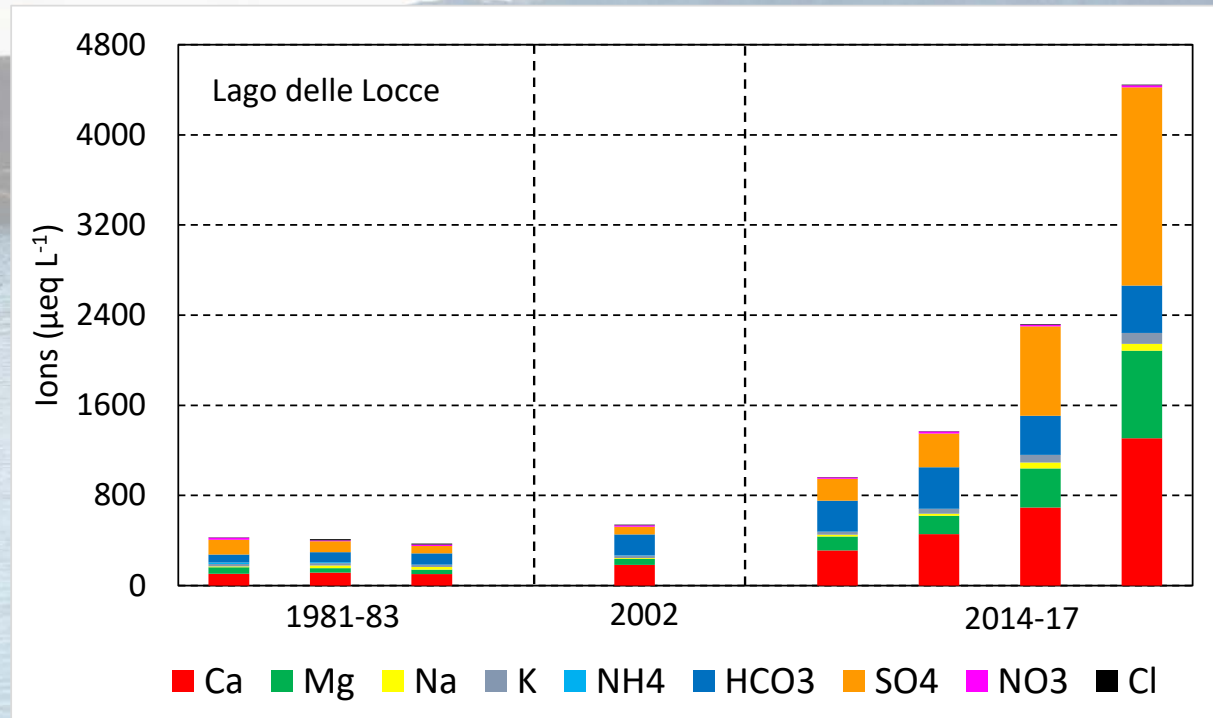
2014-16

1980s

Casi di studio: laghi di pertinenza glaciale

I laghi con presenza di ghiaccia (in regressione) nel bacino mostrano le variazioni chimiche più accentuate

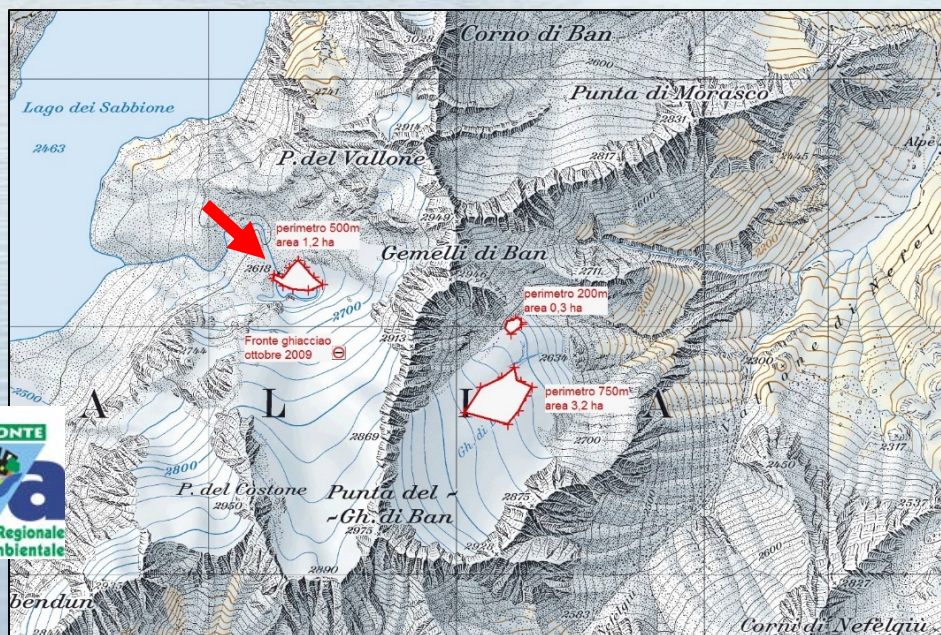
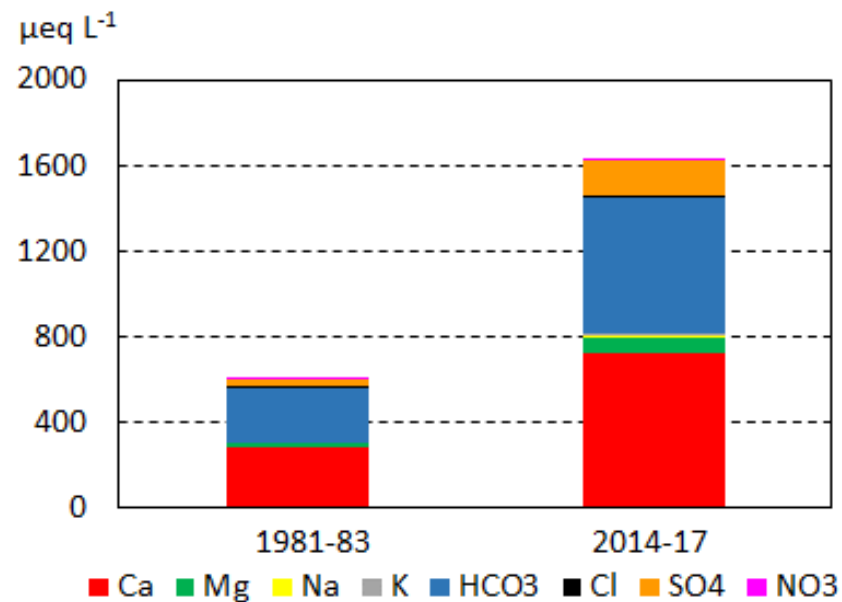
Lago e ghiacciaio delle Locce



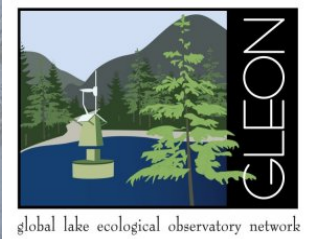
RP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	4	7	12
DIN ($\mu\text{g L}^{-1}$)	210	221	276
RSi (mg L^{-1})	0.24	0.33	0.54



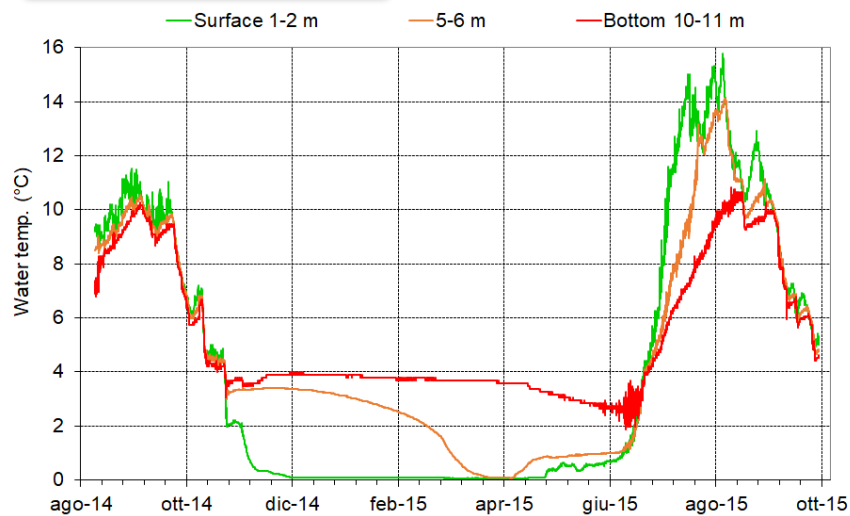
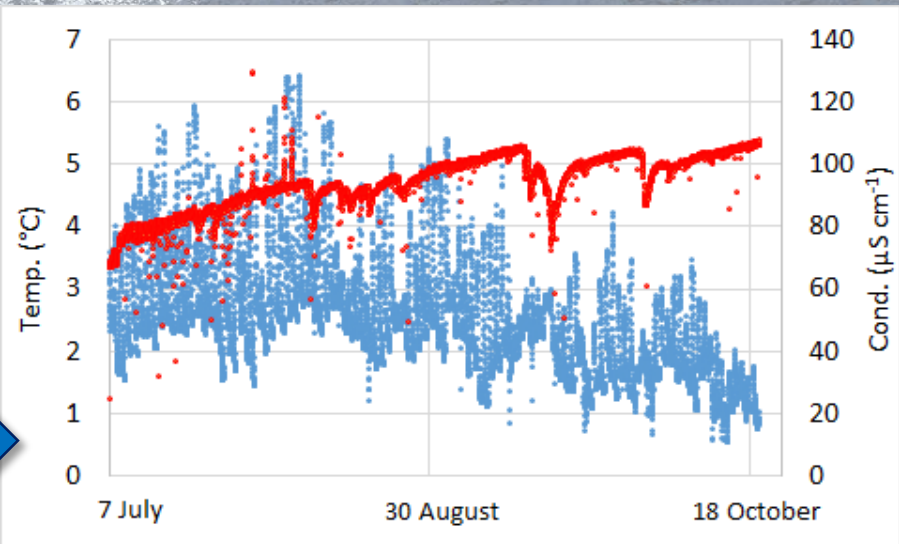
Ghiacciaio e Lago Gemelli di Ban NW



Monitoraggio ad alta frequenza



Temperatura e
conducibilità immissario



Temperatura e livello del lago



Prospettive di ricerca

I laghi alpini rispondono alle variazioni climatiche prevalentemente per via indiretta. Sono validi indicatori delle modificazioni della criosfera (ghiacciai, permafrost)

Gli effetti sull'idrochimica sono rilevanti per la qualità delle acque ed il loro utilizzo e per i servizi ecosistemici

- ➔ Necessità di approfondire e quantificare il ruolo di permafrost e rock glaciers nelle variazioni chimiche e biologiche rispetto ad altri fattori (neve al suolo, ice cover...)
- ➔ Approfondire la conoscenza sulle dinamiche dei laghi di pertinenza glaciale in forte modificazione o di nuova formazione



IMPORTANZA DEGLI STUDI A LUNGO TERMINE



Grazie per l'attenzione



m.rogora@ise.cnr.it

<http://www.idrolab.ise.cnr.it/>