

Analisi geofisiche a supporto degli studi delle relazioni tra rock glacier attivi e risorse idriche in alta quota

*Nicola Colombo^{1,2}, Luigi Sambuelli³,
Cesare Comina¹, Chiara Colombero¹,
Marco Giardino¹, Stephan Gruber², Gaetano Viviano⁴,
Livia Vittori Antisari⁵ e Franco Salerno⁴*

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino

²Department of Geography and Environmental Studies, Carleton University, Ottawa (Canada)

³Dipartimento di ingegneria dell'ambiente, del territorio e delle infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino

⁴Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), CNR, Brughiero (MB)

⁵Dipartimento di Scienze Agrarie, Università di Bologna

Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

Rock glaciers = slowly flowing mixtures of debris and ice which form by processes on a continuum from glacial to periglacial (*Haeberli et al., 2006*)

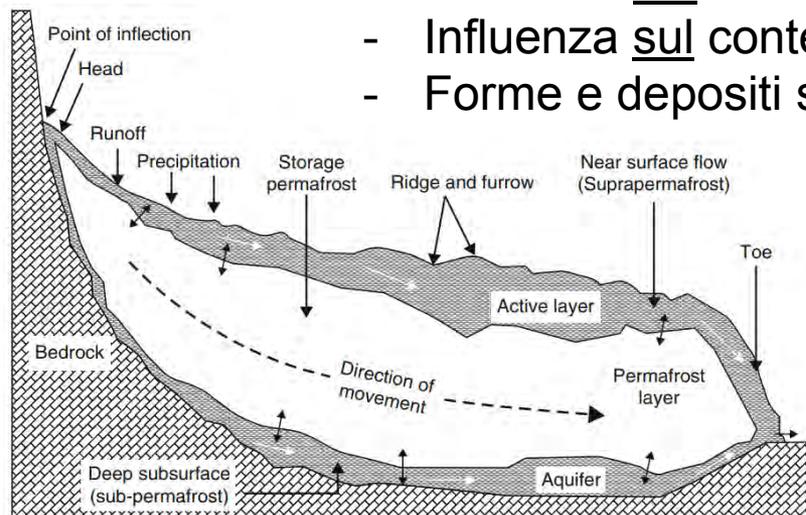
Complessità geologica/geomorfologica:

- Influenza del contesto geologico-strutturale
- Influenza sul contesto geomorfologico
- Forme e depositi sepolti/sommersi

Complessità idrogeologica:

- Stoccaggio a lungo termine di ghiaccio (ice-rich permafrost)
- Stoccaggio/rilascio stagionale di acqua dolce
- Interazione con acque sotterranee/superficiali

Giardino et al., 1992



Quali TECNICHE GEOFISICHE

possono
essere usate a supporto
delle indagini?

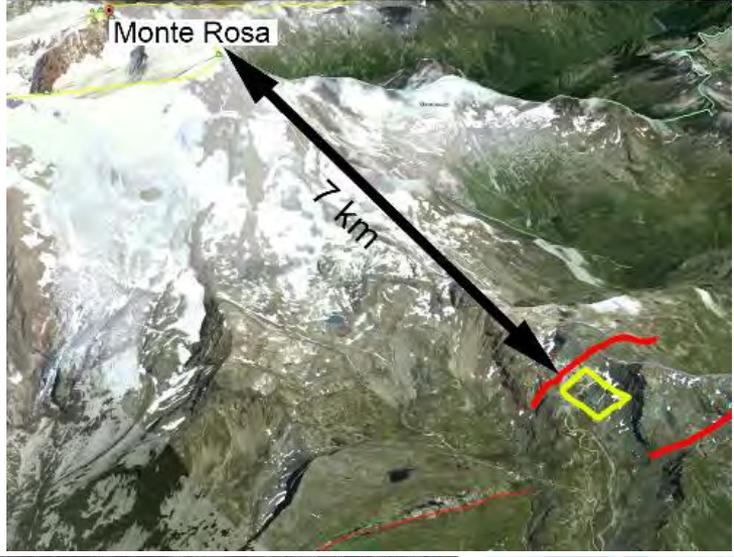
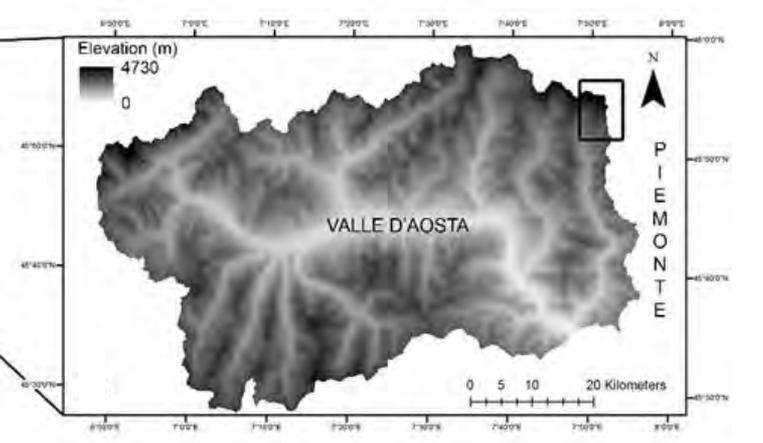
- **Ground Penetrating Radar (GPR):** batimetria + depositi di fondo
- **Electrical Resistivity Tomography (ERT):** depositi sommersi
- **Potenziali Spontanei (SP):** interazione acque sotterranee/superficiali

Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

Sito di studio: Col d'Olen



Workshop
Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi
Torino, 07 febbraio 2018



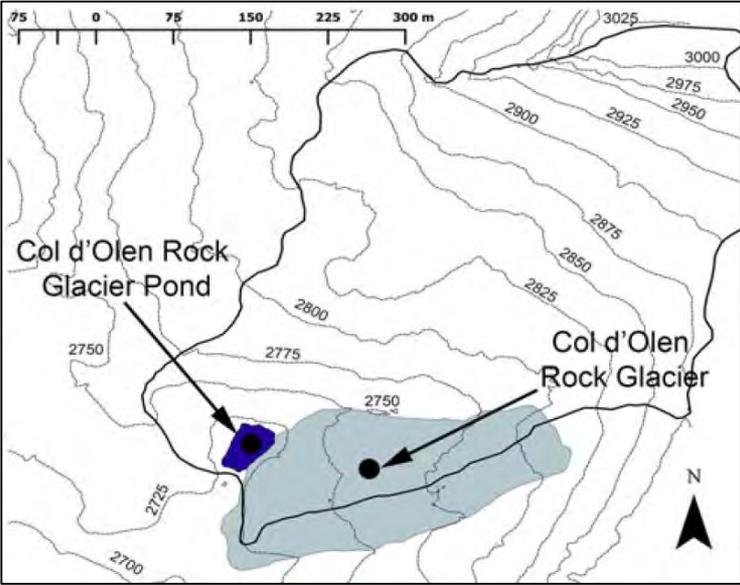
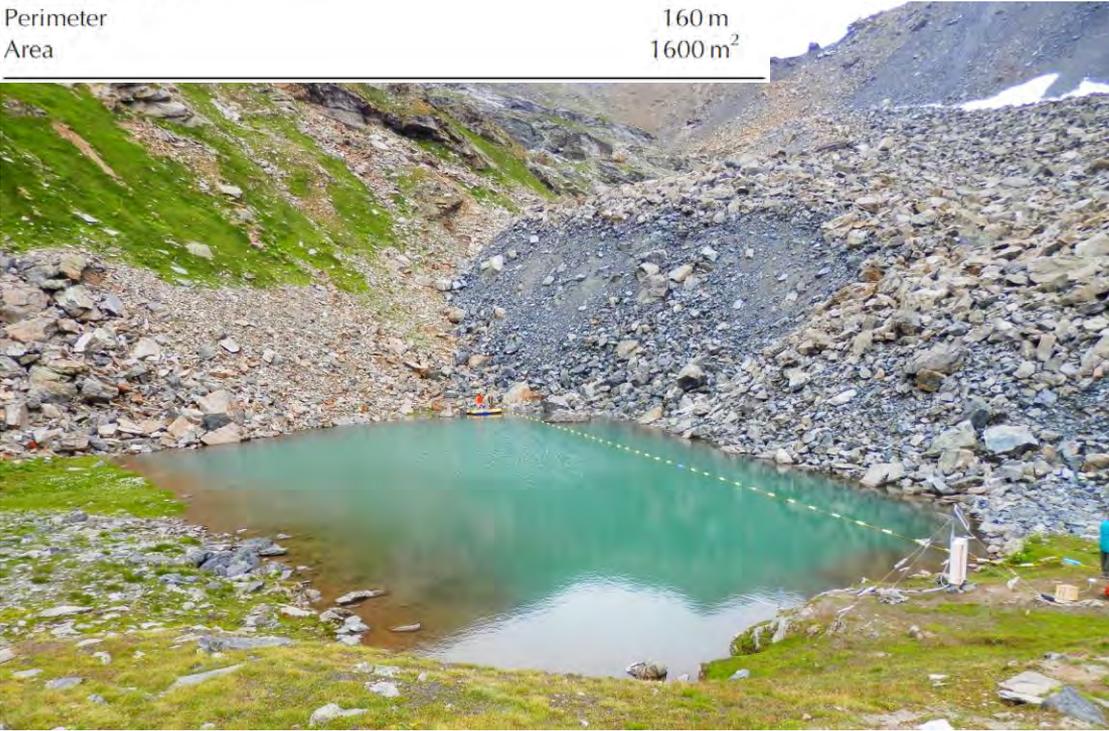
Sito di studio: Col d'Olen

Rock glacier morphometric characteristics

Minimum elevation of the front	2706 m a.s.l.
Rooting zone elevation	2816 m a.s.l.
Maximum length	340 m
Maximum width	160 m
Area	37 500 m ²
Maximum height of the front	25 m
Maximum marginal slope	46°
Mean surface slope angle	18°

Pond morphometric characteristics

Maximum length	60 m
Maximum width	40 m
Perimeter	160 m
Area	1600 m ²



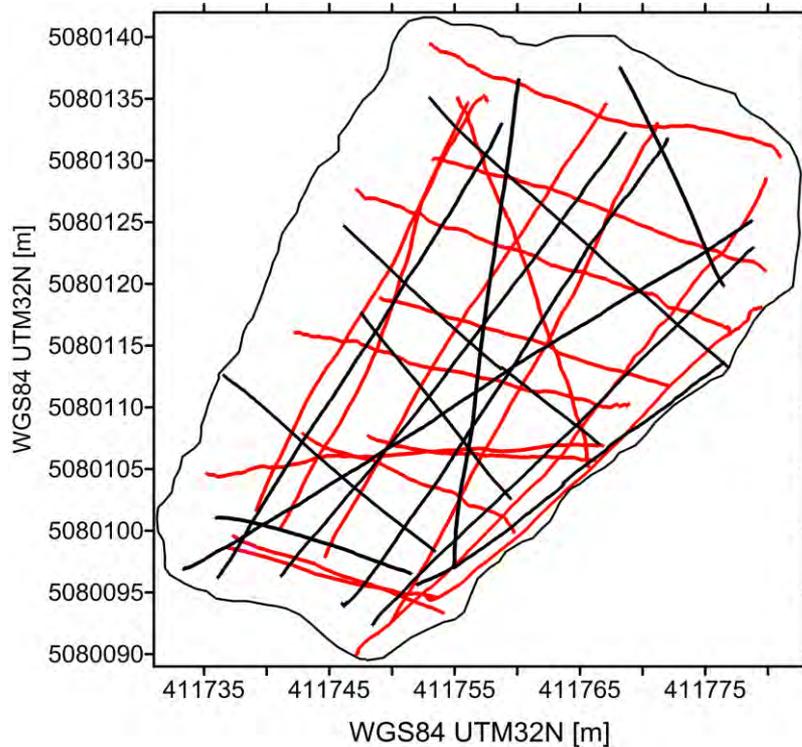
Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018



Ground Penetrating Radar (GPR)



ACQUISIZIONE:

17 profiles 200 MHz IDS antenna (530 m)
13 profiles 500 MHz GSSI antenna (440 m)
→ IDS K2 GPR Unit

- Gommone a fondo piatto con motore elettrico
- Tracciamento GPS (Ublox EVK-686)
- FS=4 GHz; 2048 campioni/traccia
- 3 tracce/s (in media $dx=0.02$ m)

PROCESSING:

- Ricampionamento spaziale costante (HR)
- Drift removal (correzione tempo zero)
- Dewow (filtro passa alto)
- Rimozione della media (attenuazione ringing)
- Recupero attenuazione geometrica
- Migrazione (con velocità acqua)
- Muting (al di sopra del fondo)



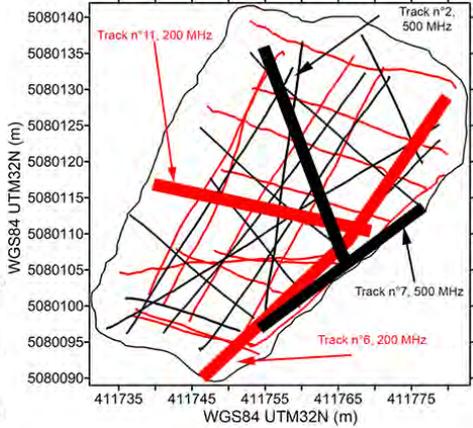
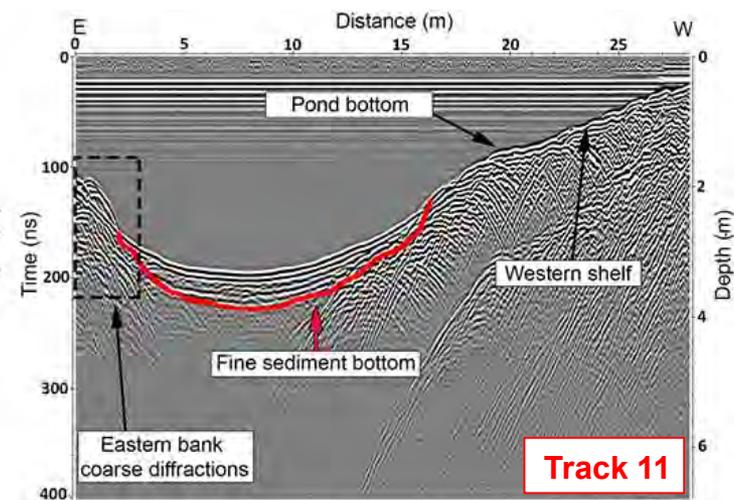
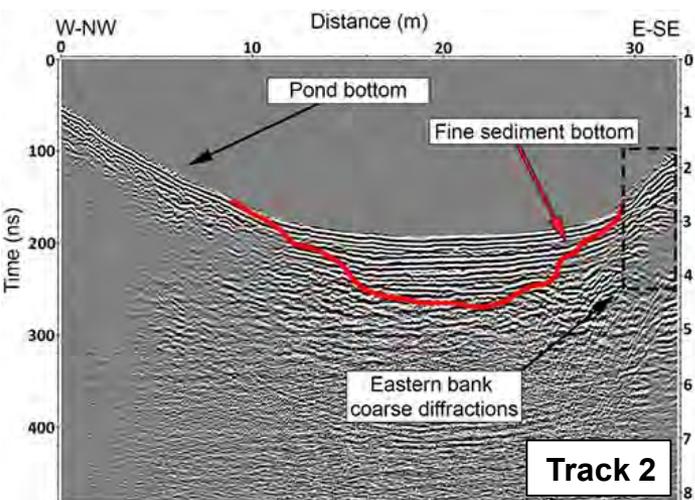
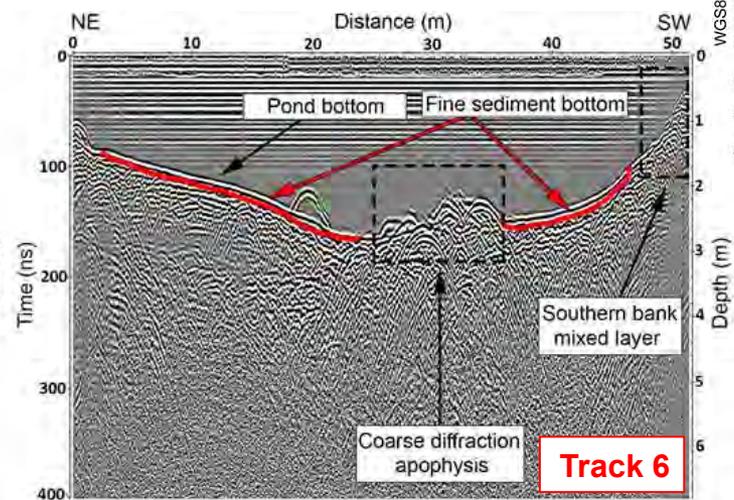
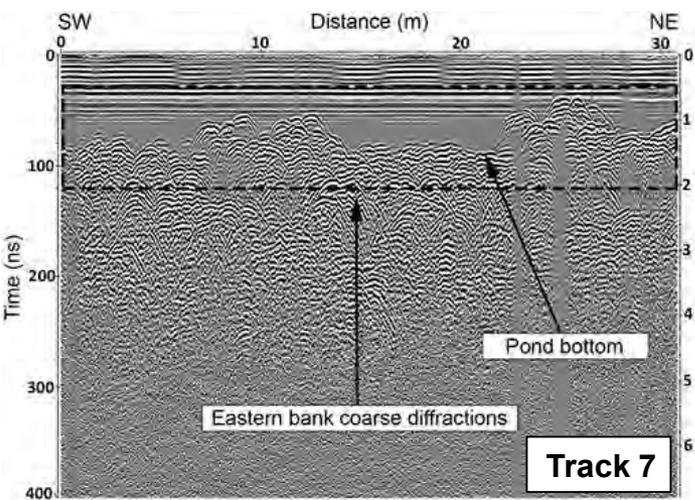
Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

Ground Penetrating Radar (GPR)

(1) Rapporti geometrici depositi di fondo

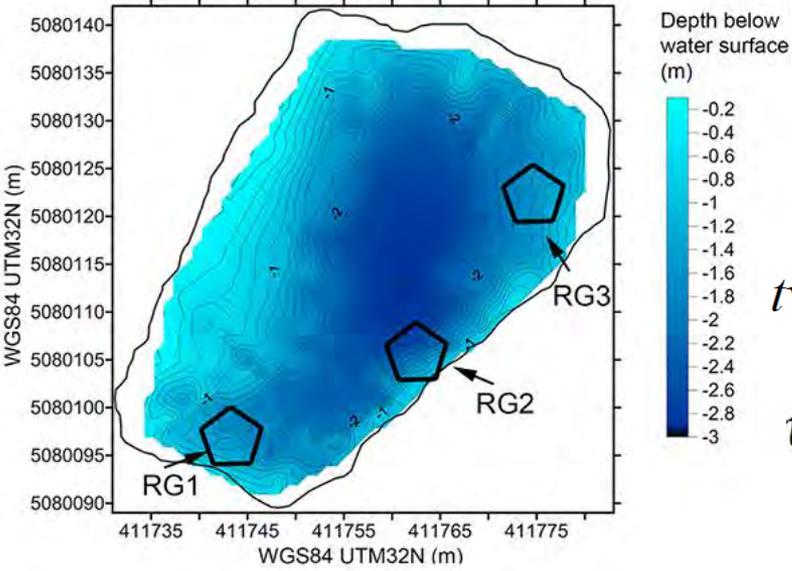


Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi
Torino, 07 febbraio 2018



Ground Penetrating Radar (GPR)

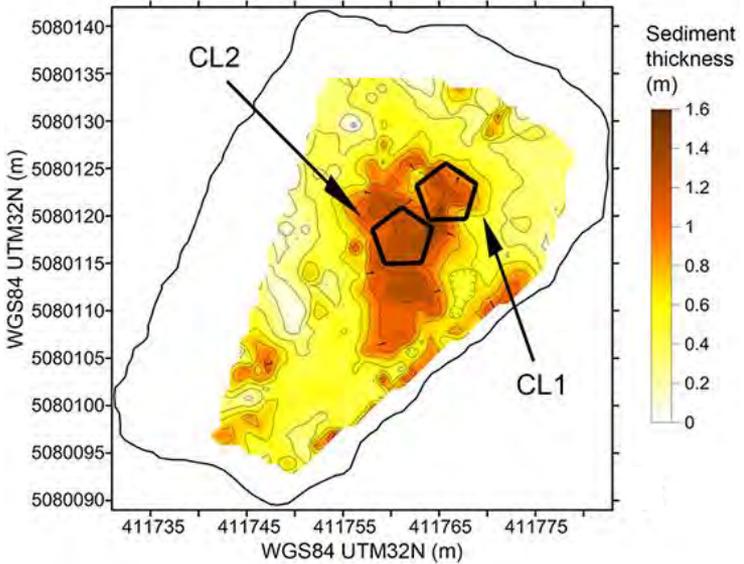


(2) Batimetria

Iperboli di diffrazione ciottoli a fondo lago → stima diretta velocità onda EM in acqua

$twt = \frac{2h}{v}$ SEZIONE TEMPI → SEZIONE PROFONDITA'

$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ $V=34\pm 0.5 \cdot 10^{-3}$ m/ns
 $\epsilon_r=77.8\pm 2.3$



(3) Spessore/porosità depositi

Vsedimenti ≈ Vacqua

FORMULA CRIM $\sqrt{\epsilon_s} = (1-\Phi) \cdot \sqrt{\epsilon_m} + \Phi \cdot \sqrt{\epsilon_w}$

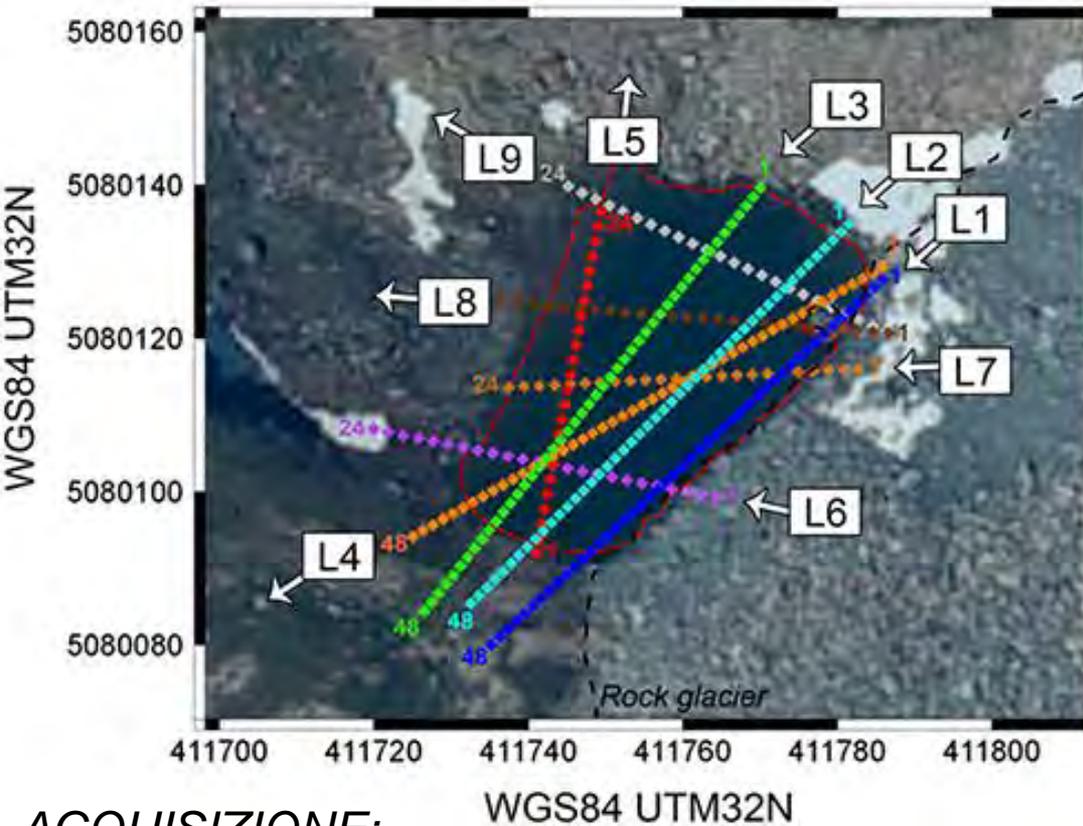
Sedimenti siltosi – $\Phi=65\%$

Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi
 Torino, 07 febbraio 2018



Electrical Resistivity Tomography (ERT)



ACQUISIZIONE:

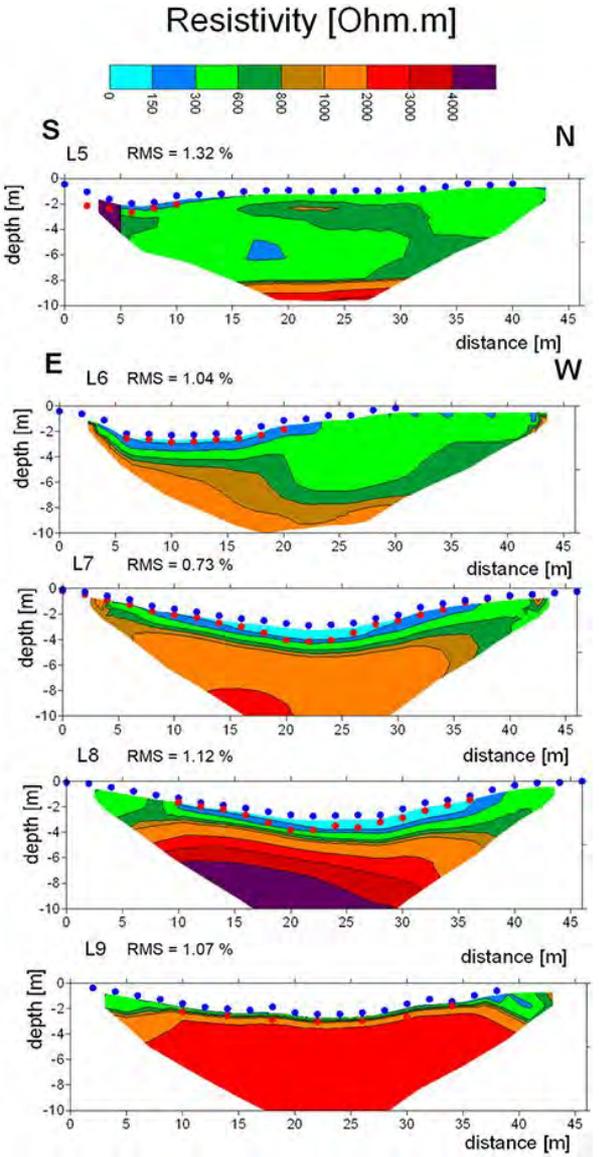
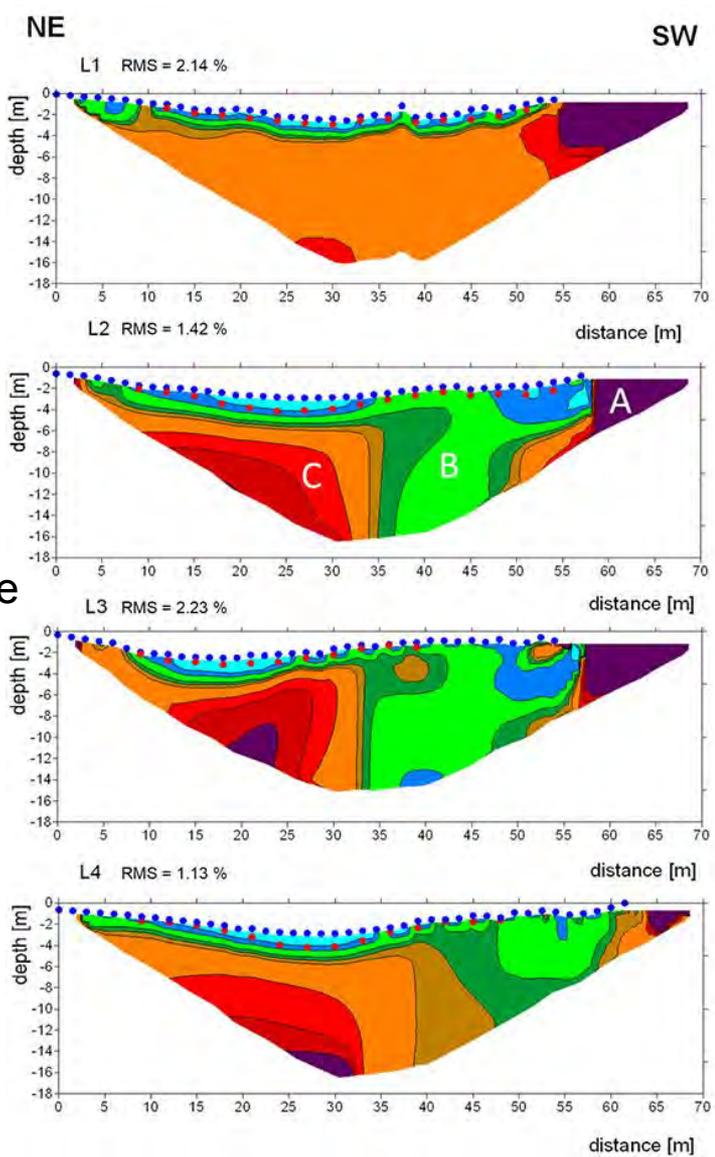
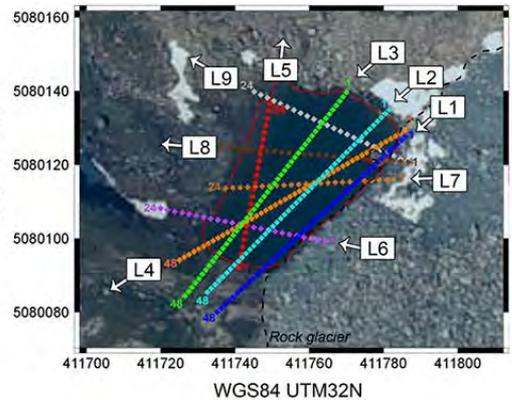
- Elettrodi galleggianti + a terra georiferiti
- **L1-L4: 48 elettrodi – 1.5 m (SSW-NNE)**
- **L5-L9: 24 elettrodi – 2 m (W-E)**
- Syscal Pro, Iris Instruments
- Sequenza Wenner-Schlumberger

Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

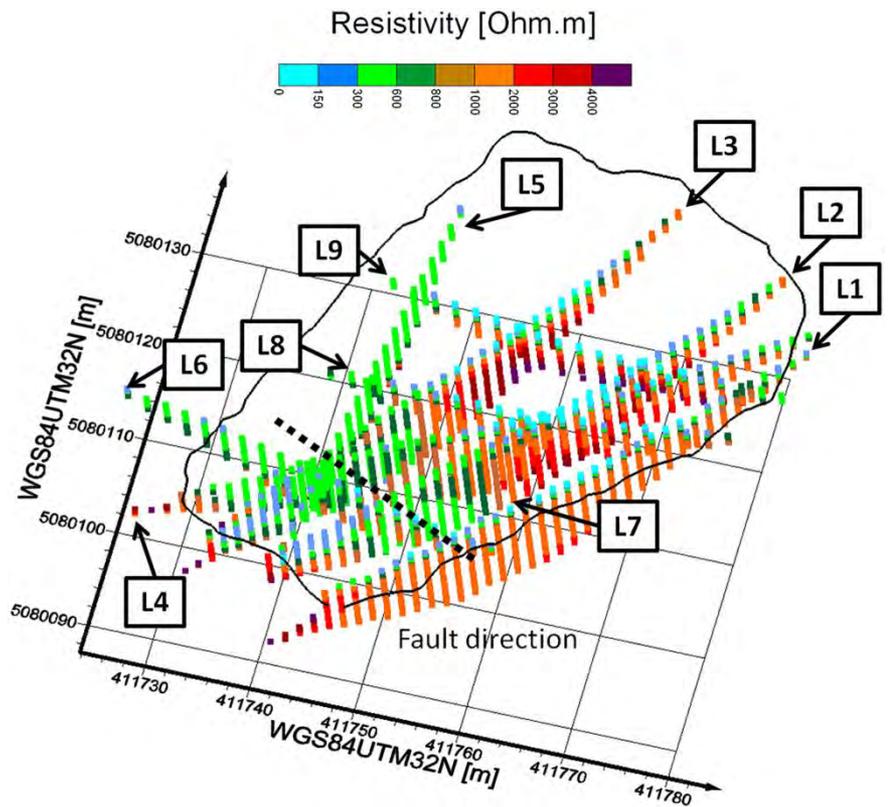
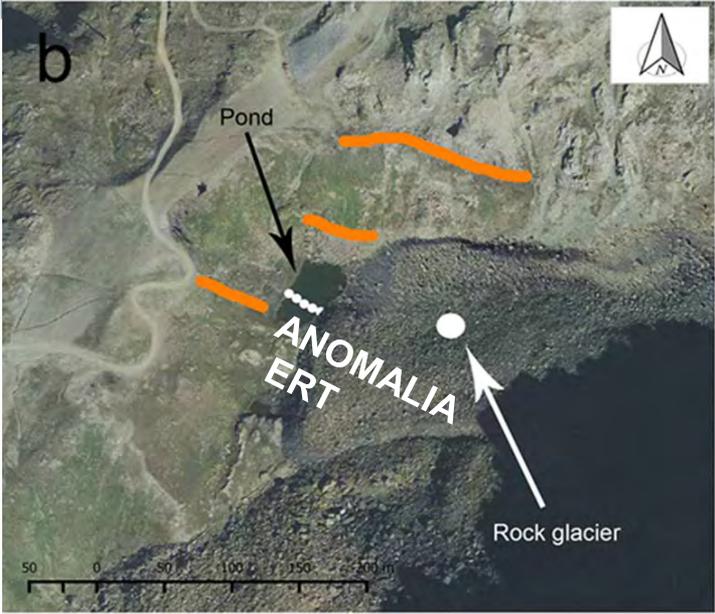
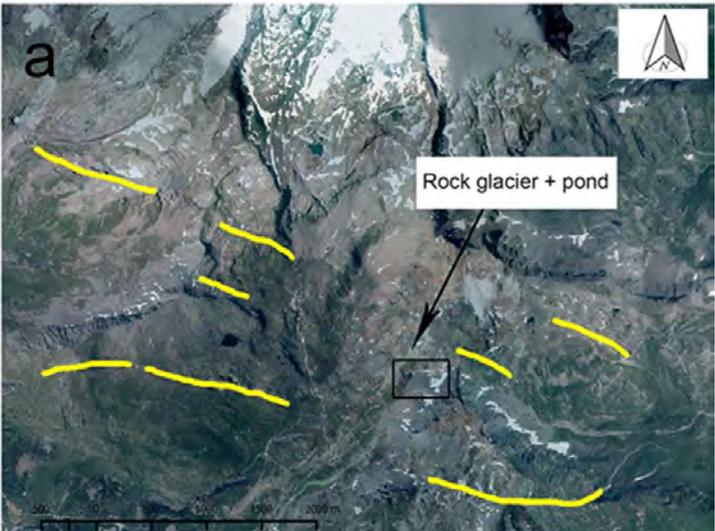
Electrical Resistivity Tomography (ERT)



PROCESSING:
Res2DInv, Geotomo software

Vincoli a-priori
Batimetria GPR e
 $\rho_{acqua} = 200 \Omega m$ (buona penetrazione linee di corrente)

Electrical Resistivity Tomography (ERT)



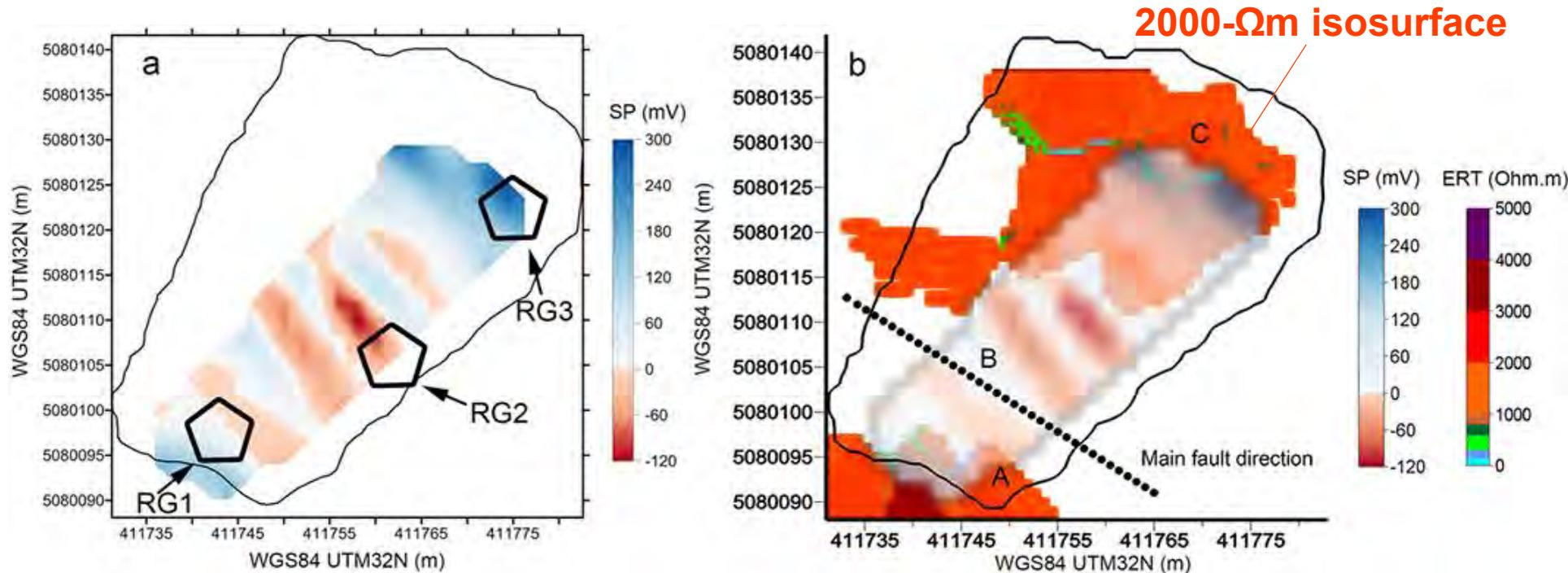
- **Shear zone, N110E Miocene-to-present fault lineaments [WNW-ESE]**
- tectonic contact between Zermatt Sass Unit and the overlaying Combin Unit (*Bistacchi and Massironi, 2000; Bistacchi et al., 2000*)

< ρ > fratturazione → > infiltrazione

Potenziali Spontanei (SP)

ACQUISIZIONE: POTENZIALE NATURALE prima di ogni immissione di corrente sequenza ERT

PROCESSING: Estrazione SP misurati a dipoli con spaziatura=3 m (\approx fondo lago)
Interpolazione triangolare (mesh 2x2 m)



ANOMALIA SP POSITIVA \rightarrow RICARICA (\uparrow)

ANOMALIA SP NEGATIVA \rightarrow INFILTRAZIONE (\downarrow)

Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

Analisi complementari

Campionamento sedimenti di fondo

Ø=6 cm L=10 cm

Beeker vibracore sampler

(1) Analisi granulometriche

(2) Concentrazione solfuri → TS=0.4-0.6 g/kg

(3) Conducibilità elettrica → 161 Ωm

CL1

Silt (82.8%)

Sabbia (9.6%)

Argilla (7.6%)

CL2

Silt (82.9%)

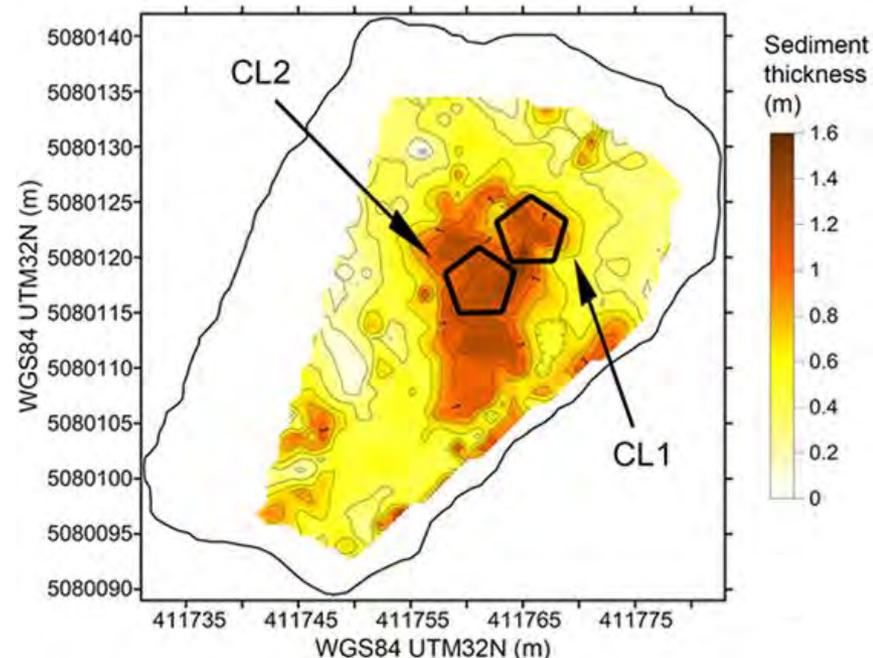
Sabbia (11.8%)

Argilla (5.3%)

Conferma:

**stima porosità/
granulometria GPR**

**resistività elettrica
ERT**



Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

Analisi complementari

Parametri meteorologici

(AWS Col d'Olen; AWS Gressoney-La Trinité Lago Gabiet)

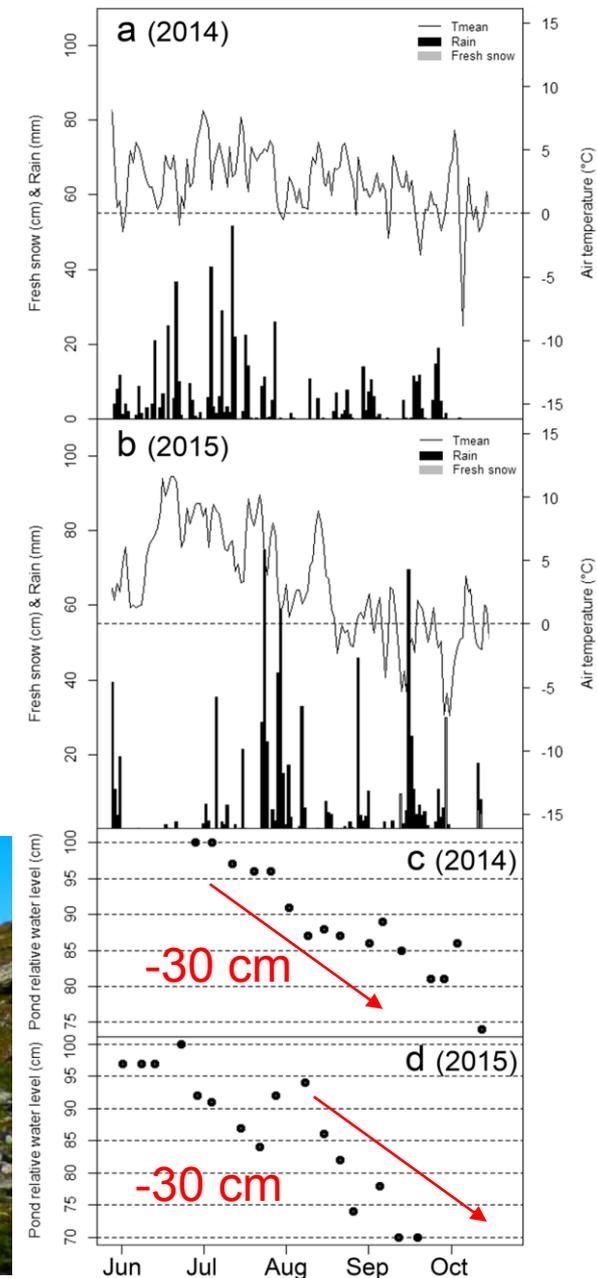
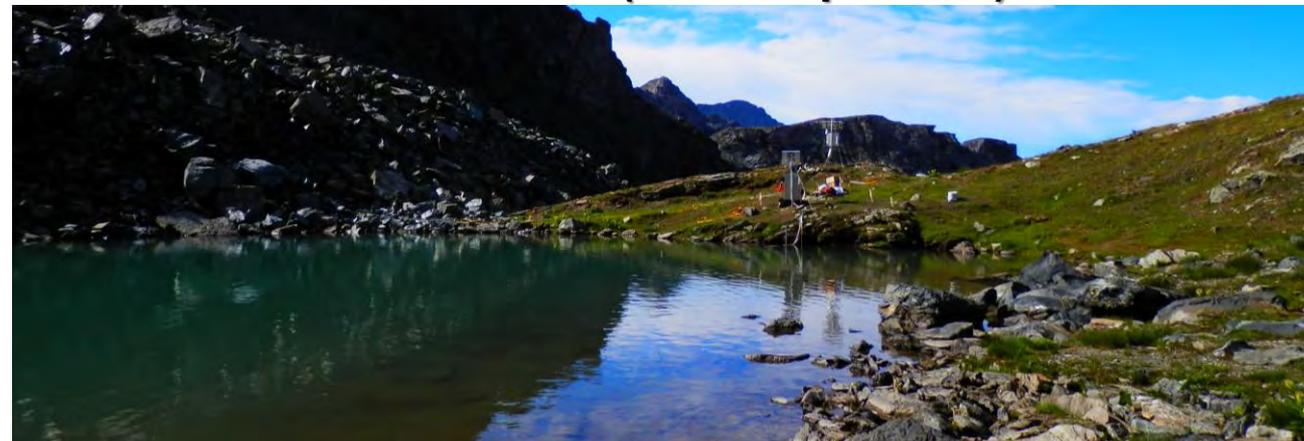
Altezza idrometrica (stazione idrometrica)

Bilancio idrologico del lago

Livello del lago in continuo calo nei mesi di disgelo → infiltrazione continua, indipendente dalle precipitazioni

Innalzamento T mesi estivi non contribuisce significativamente a fusione ghiaccio tale da fare alzare livello idrometrico

Q=-0.05 l/s (ice-free periods)



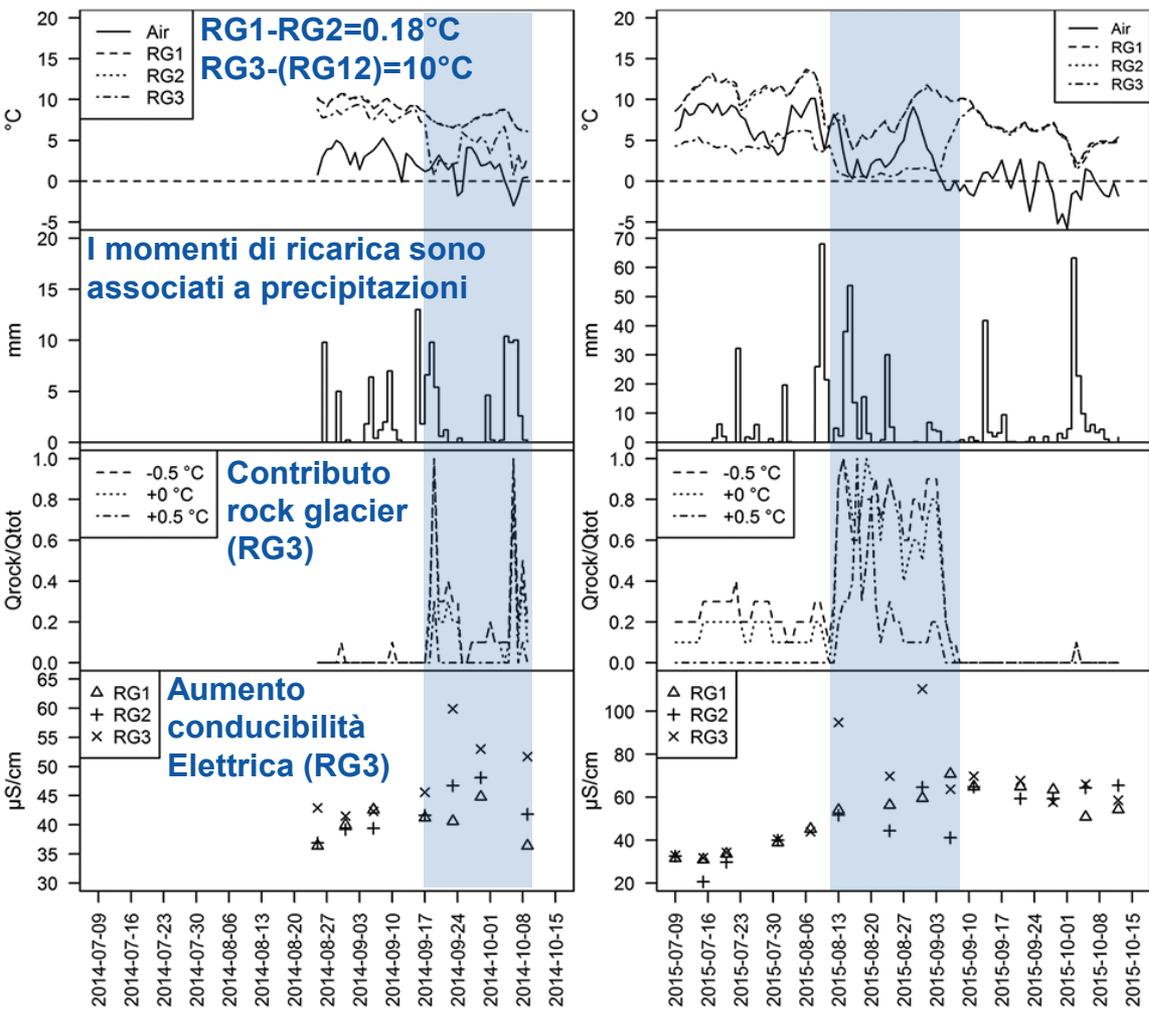
Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018

Analisi complementari

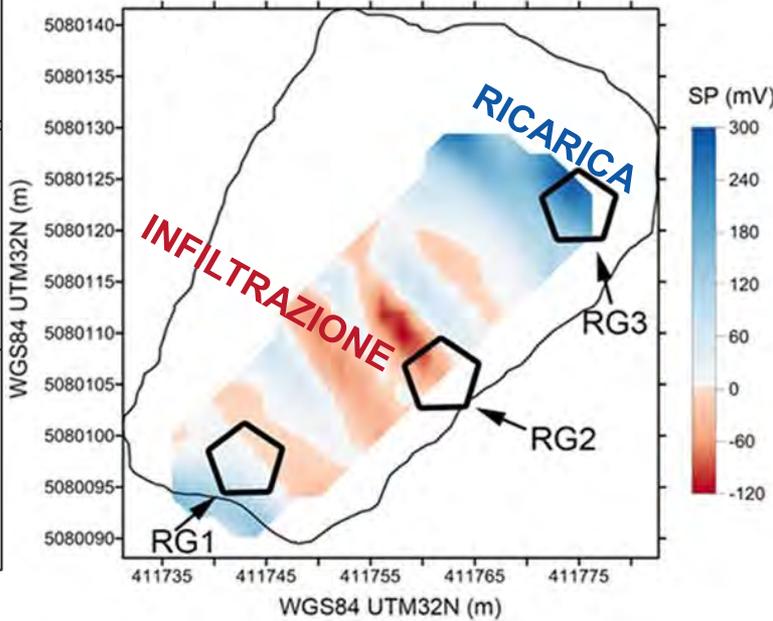
Misure termiche (RG1, RG2, RG3)



Profili di temperatura

Date (2015)	Water profile depths (cm)	Water profile temperatures (°C)
12 July	20	10.2
	100	10.0
	200	9.7
	300	9.3
9 September	20	9.4
	100	9.3
	200	9.0
	300	8.6

No stratificazione termica

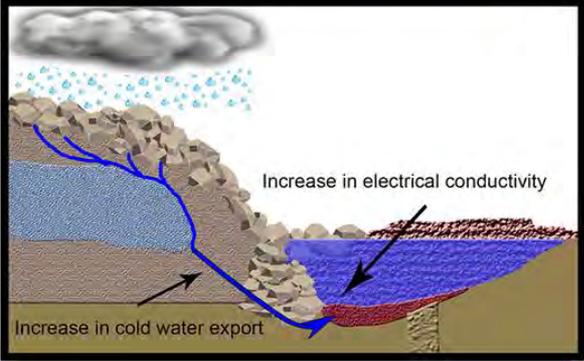
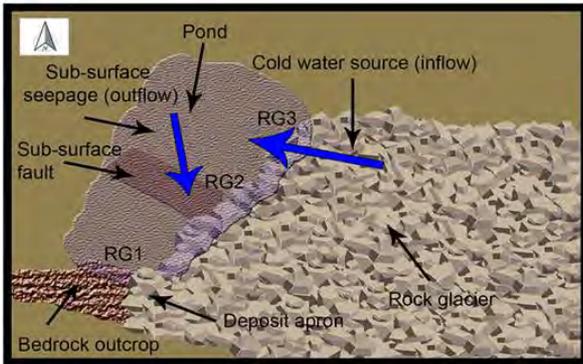
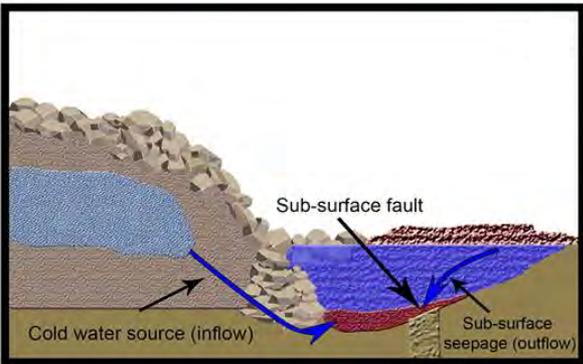
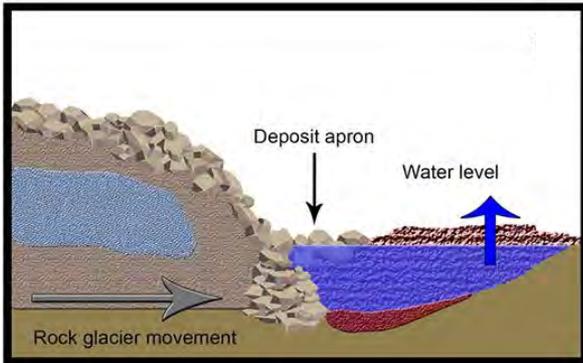
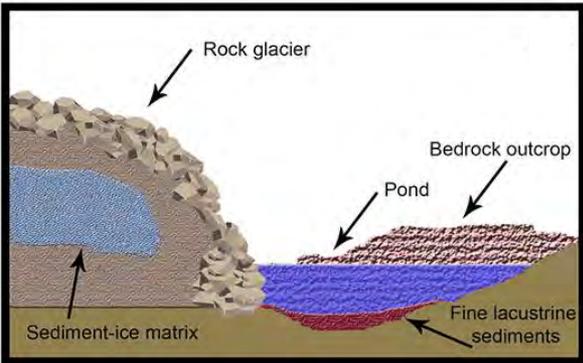


Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi
Torino, 07 febbraio 2018



Modello idrogeologico rock glacier-lago



Conclusioni

- **GPR**: batimetria, spessore e porosità sedimenti lacustri, rapporti geometrici sedimenti di fondo
- **ERT** e **SP**: natura depositi di fondo e aree di infiltrazione/ricarica del lago
- Integrazione dati geofisici con **campionamento depositi lacustri; bilancio idrologico; tracciamento termico**
- Risultato finale: **modello geologico e idrogeologico dei rapporti tra il rock glacier e il lago** → controllo geologico, strutturale e geomorfologico sulle dinamiche di ricarica e infiltrazione



Workshop

Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi

Torino, 07 febbraio 2018