

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

*Nicola Colombo<sup>1,2</sup>, Luigi Sambuelli<sup>3</sup>,  
Cesare Comina<sup>1</sup>, Chiara Colombero<sup>1</sup>,  
Marco Giardino<sup>1</sup>, Stephan Gruber<sup>2</sup>, Gaetano Viviano<sup>4</sup>,  
Livia Vittori Antisari<sup>5</sup> e Franco Salerno<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino

<sup>2</sup>Department of Geography and Environmental Studies, Carleton University, Ottawa (Canada)

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

<sup>4</sup>Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), CNR, Brughiero (MB)

<sup>5</sup>Dipartimento 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*)

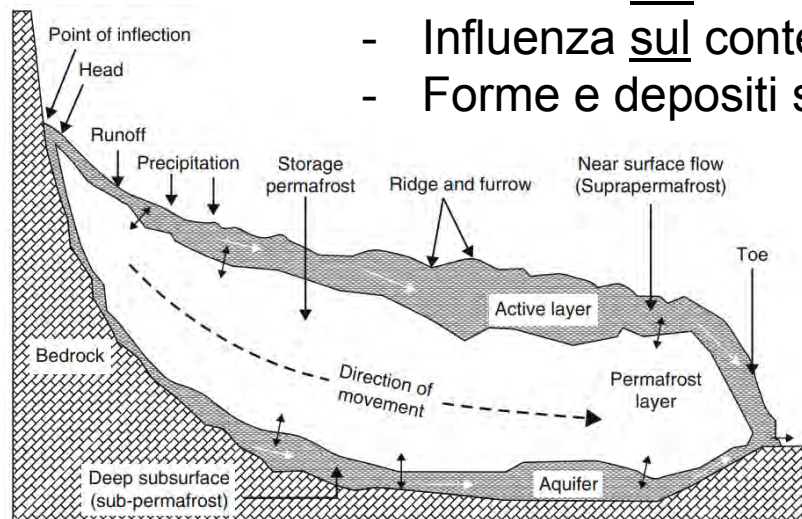
### Complessità geologica/geomorfologica:

- 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?

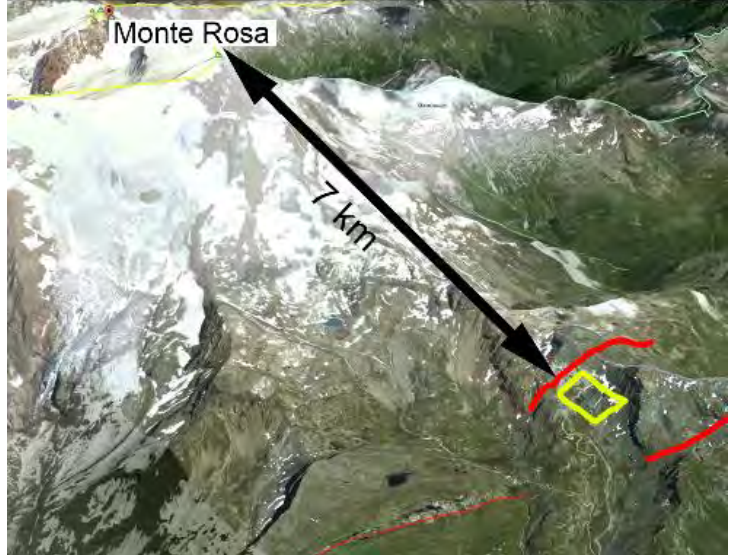
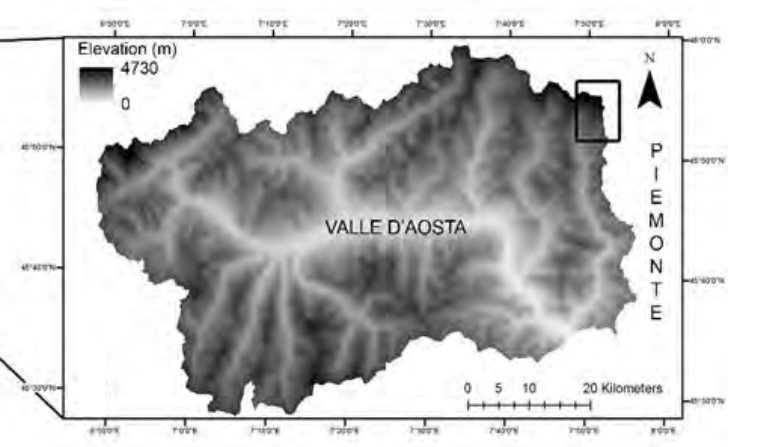
- **Ground Penetrating Radar (GPR):** batimetria + depositi di fondo
- **Electrical Resistivity Tomography (ERT):** depositi sommersi
- **Potenziali Spontanei (SP):** interazione acque sotterranee/superficiali

### 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



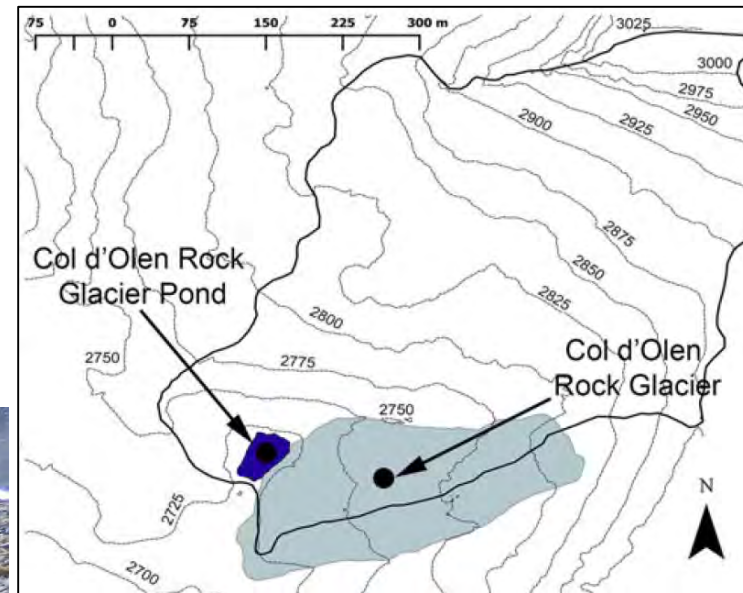
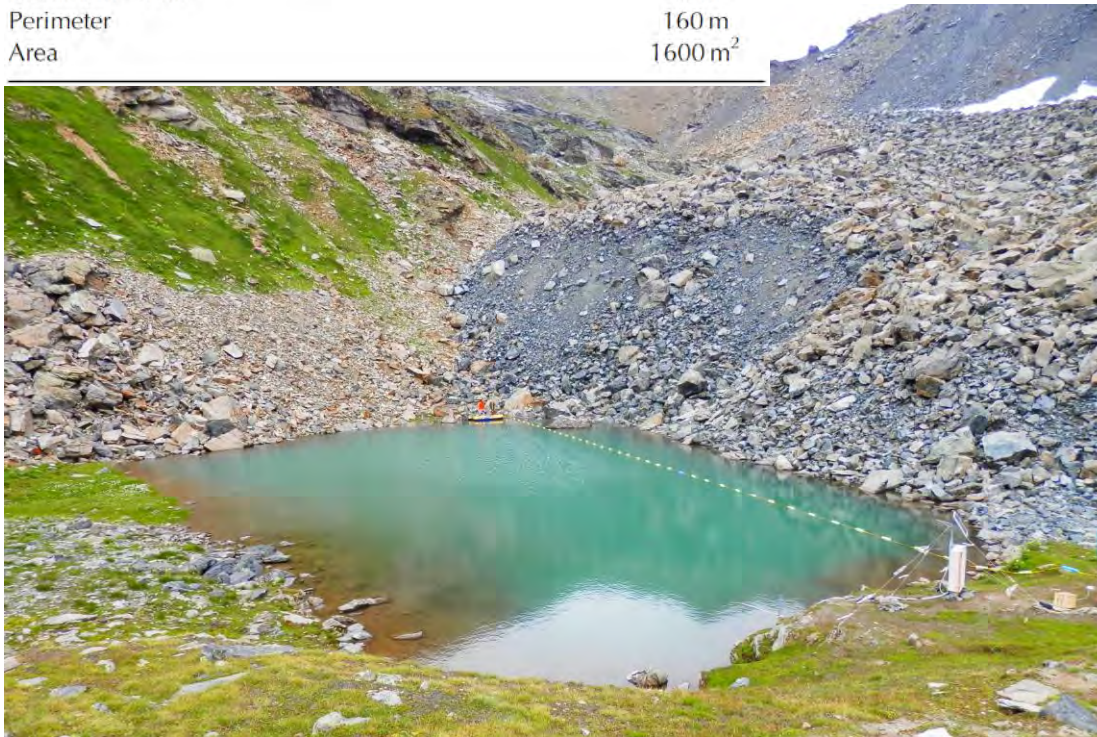
# Sito di studio: Col d'Olen

## 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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>

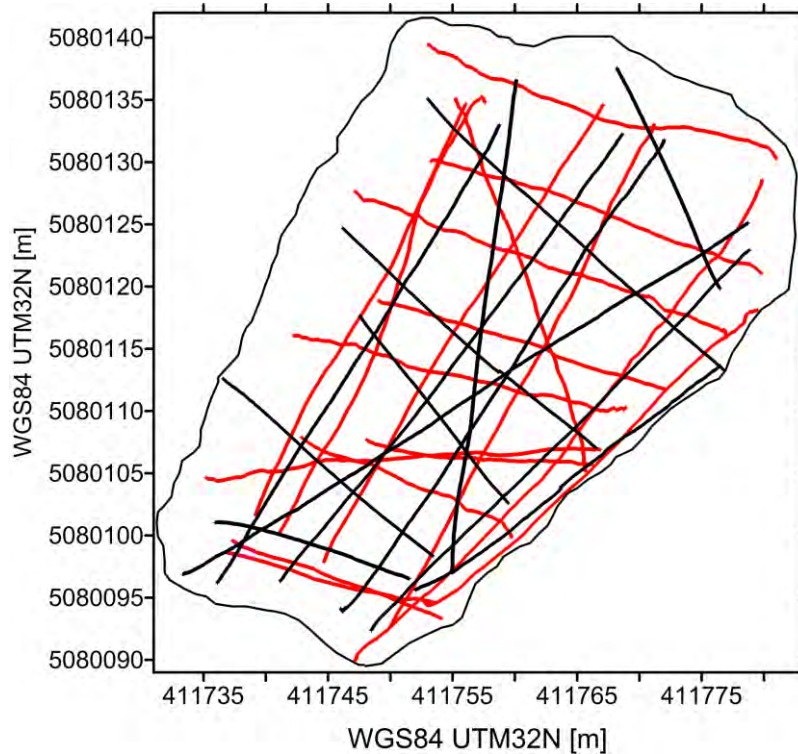


## Workshop

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)



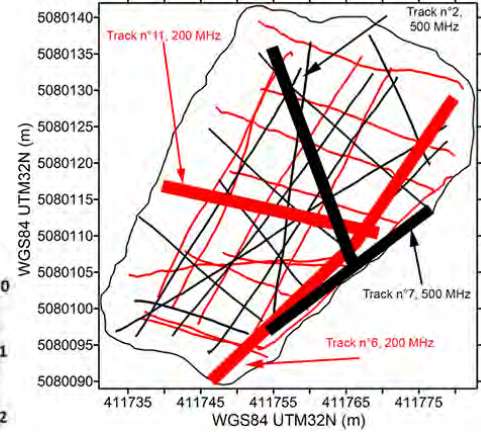
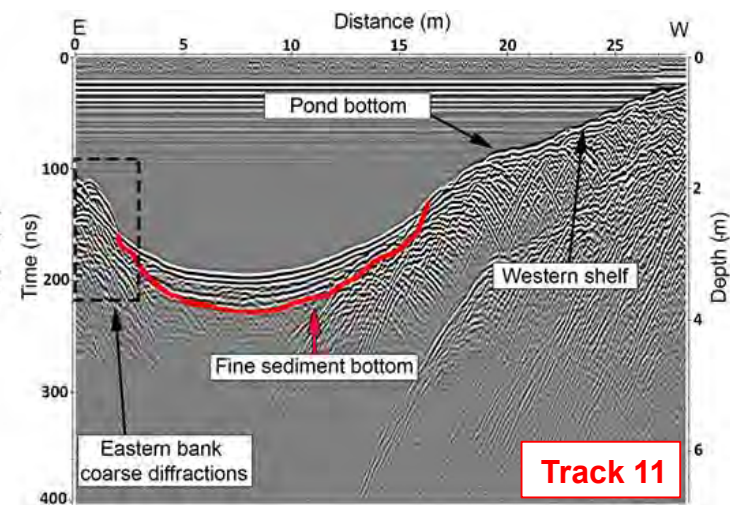
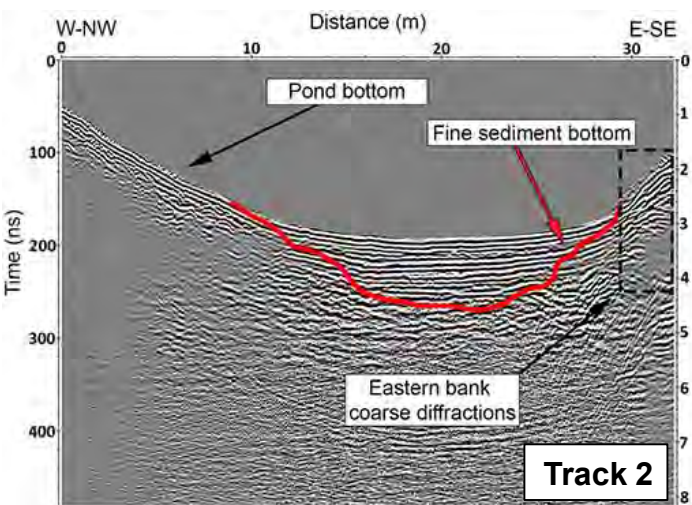
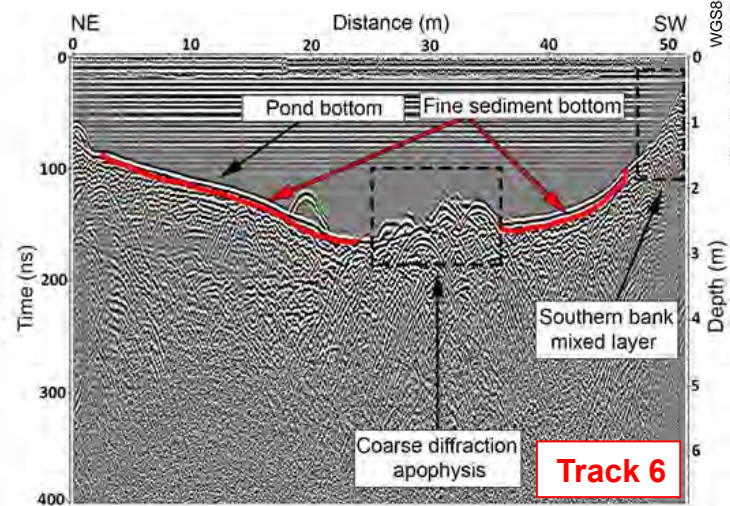
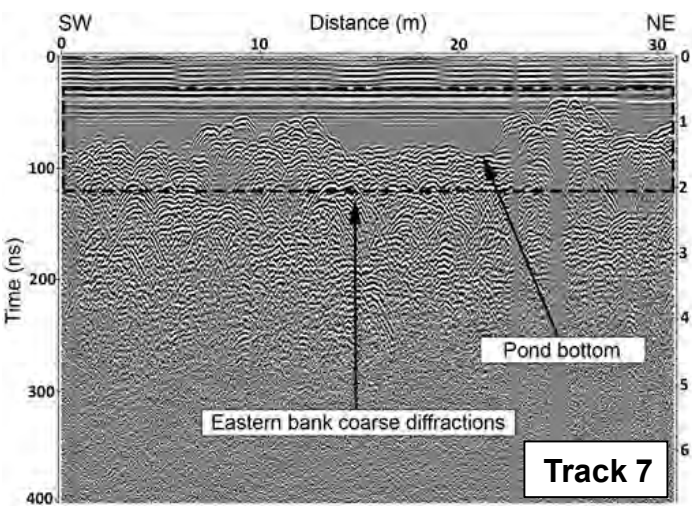
## Workshop

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

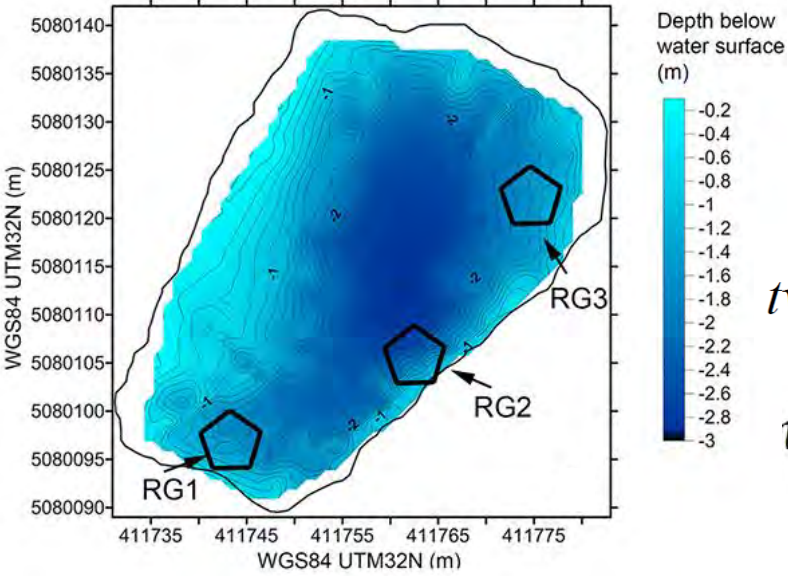


**Workshop**

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



# Ground Penetrating Radar (GPR)



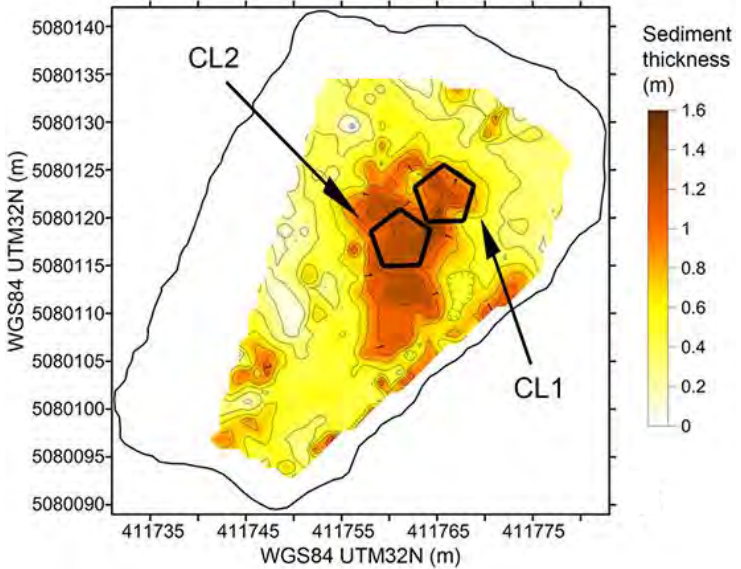
## (2) Batimetria

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

$$twt = \frac{2h}{v1} \quad \text{SEZIONE TEMPI} \rightarrow \text{SEZIONE PROFONDITA'}$$

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

$$\epsilon_r = 77.8 \pm 2.3$$



## (3) Spessore/porosità depositi

Vsedimenti ≈ Vacqua

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

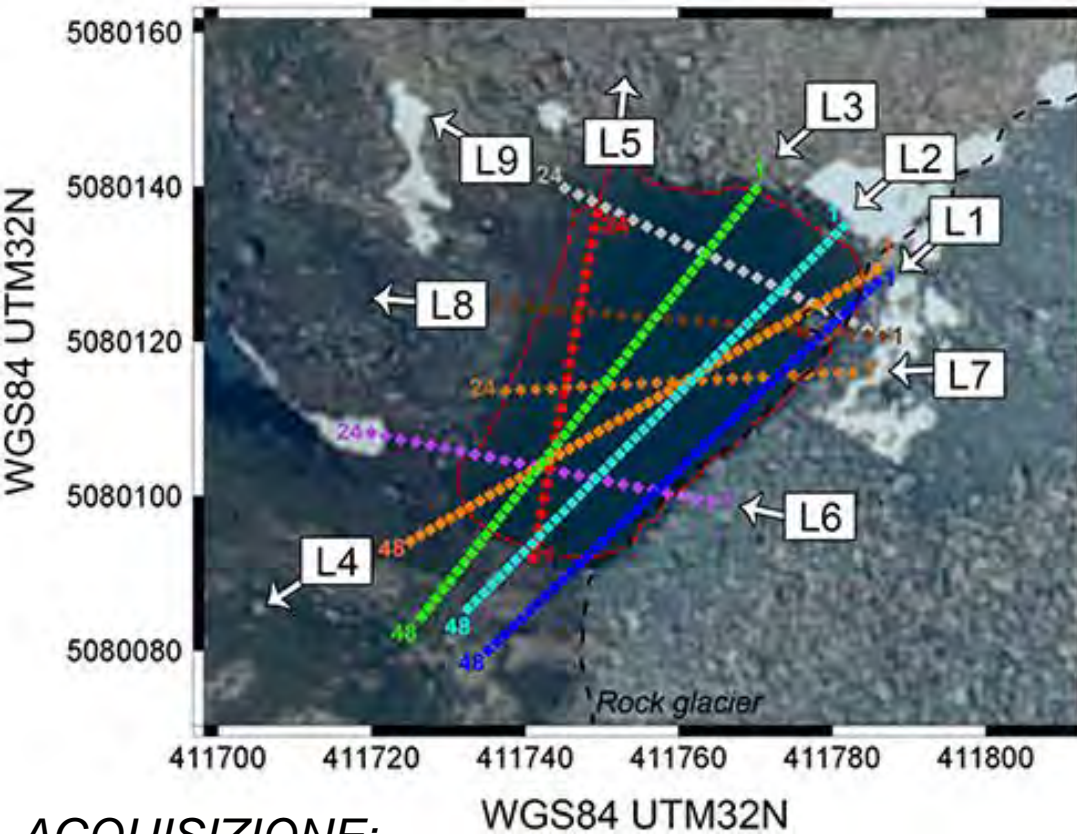
Sedimenti siltosi – Φ=65%

### 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

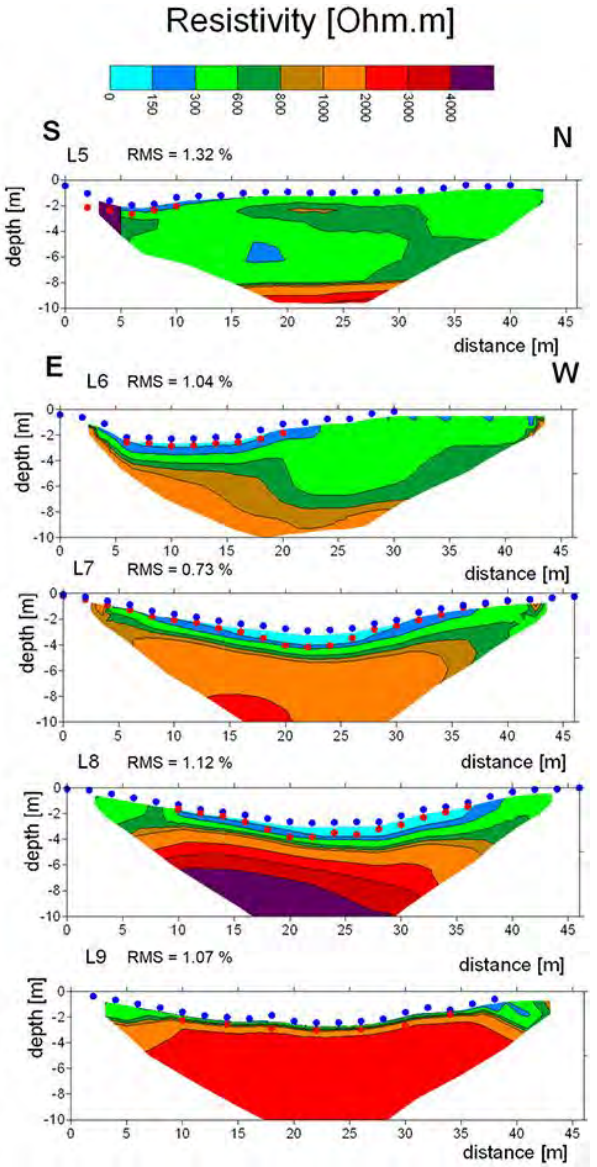
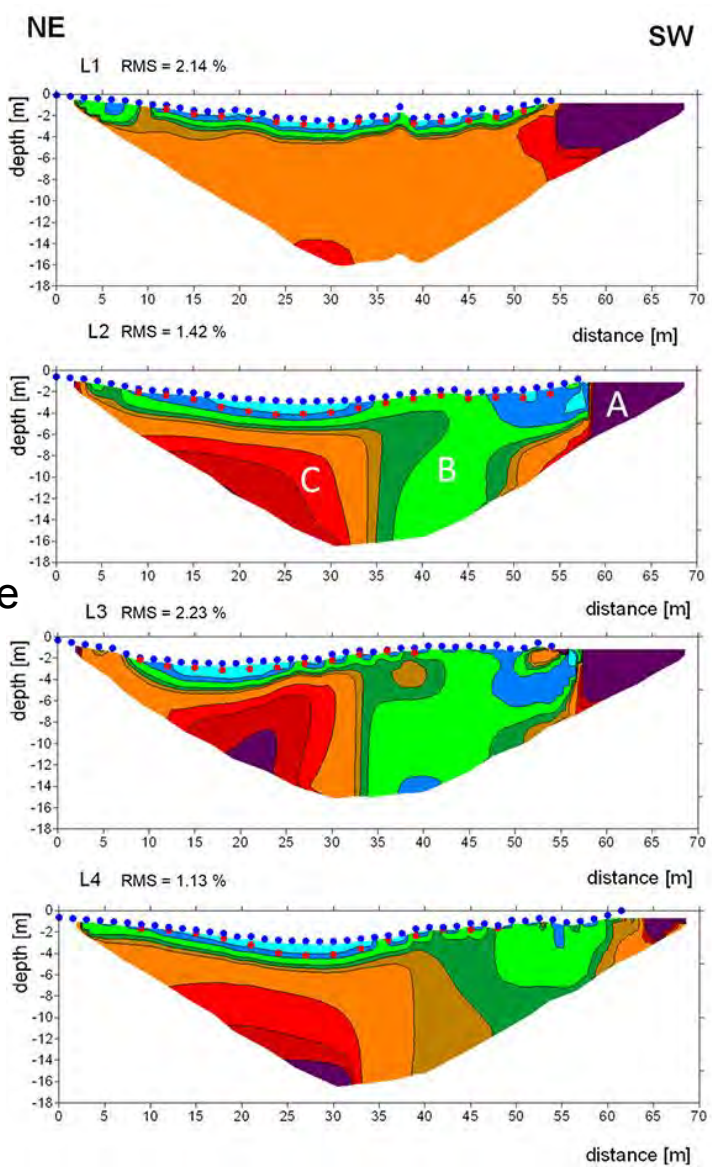
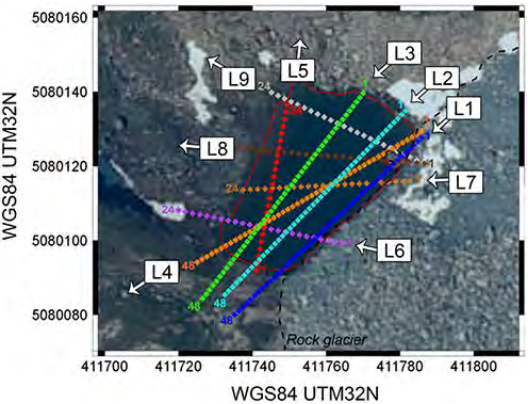
## Workshop

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

Torino, 07 febbraio 2018



# Electrical Resistivity Tomography (ERT)



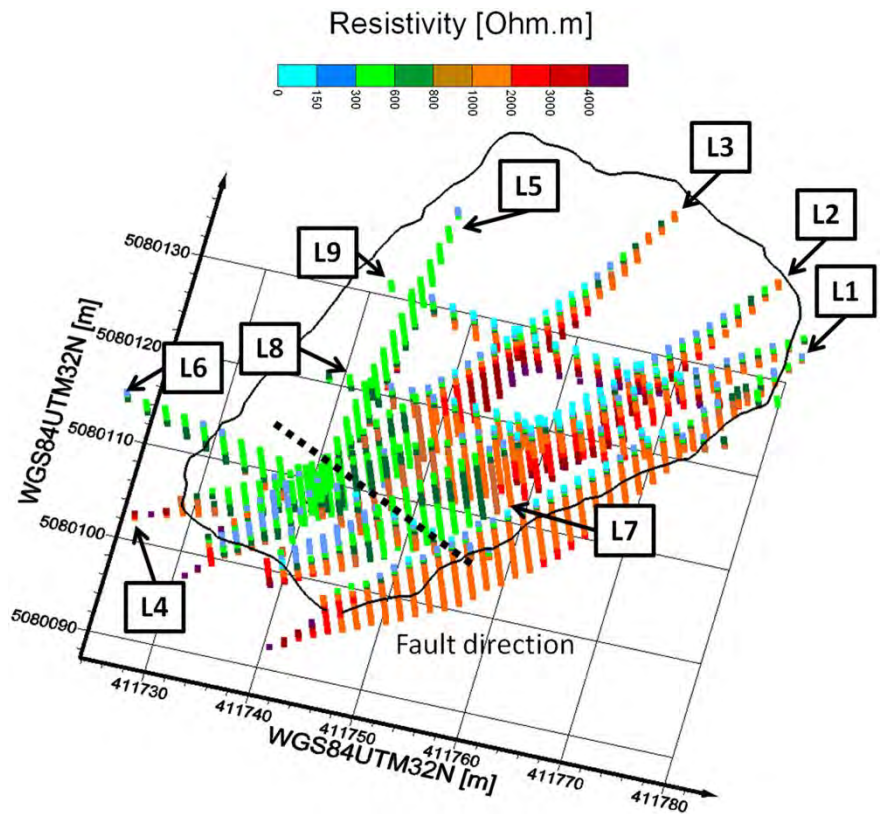
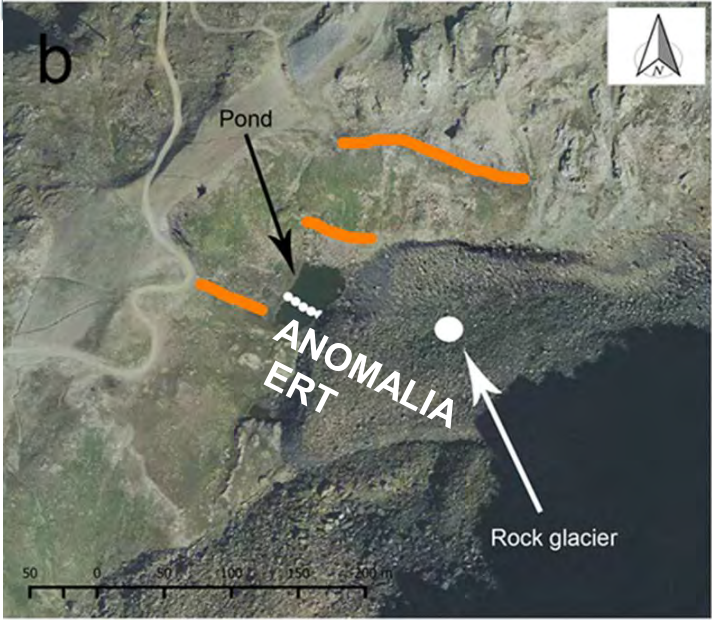
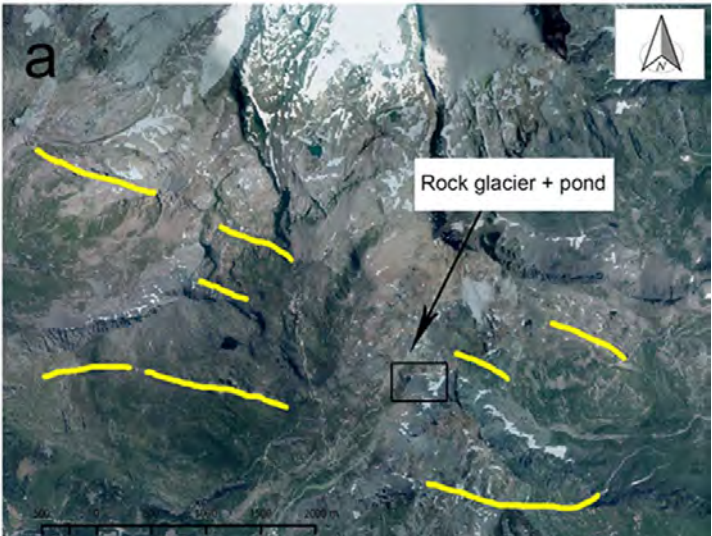
PROCESSING:  
Res2DInv, Geotomo software

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

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



# 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**

**Workshop**

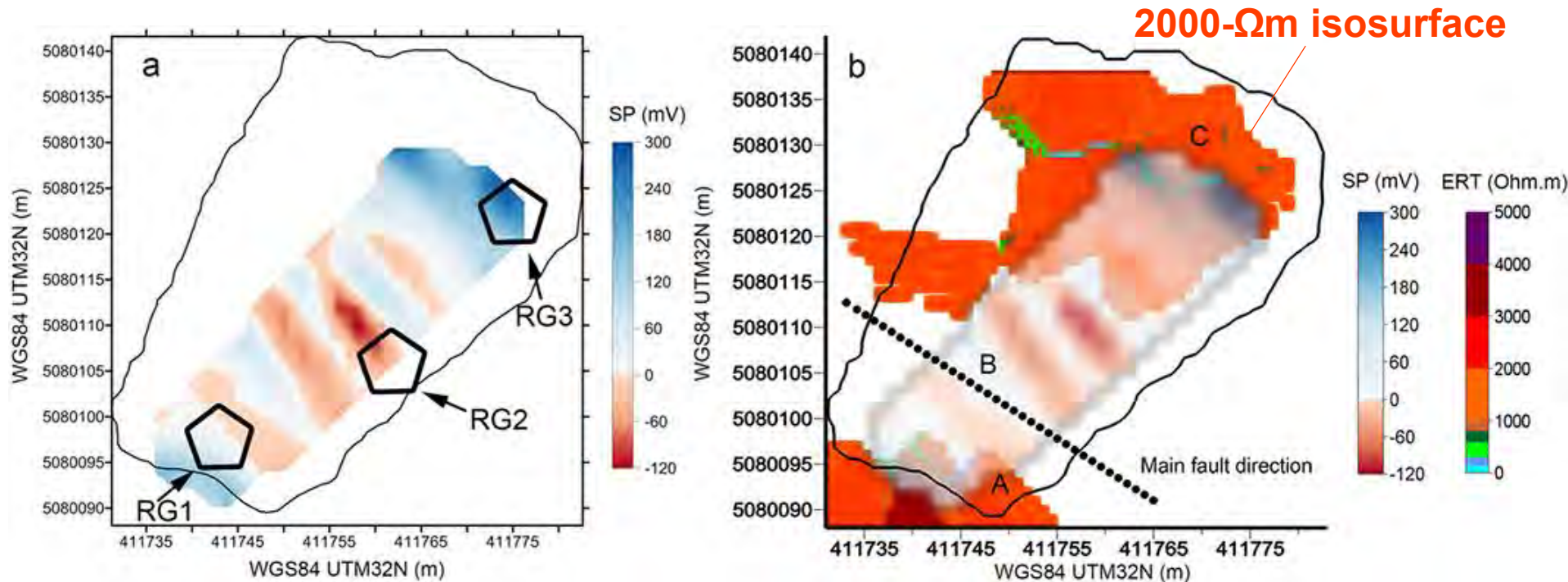
Attività di studio e monitoraggio dell'ambiente periglaciale e del permafrost nelle Alpi piemontesi  
 Torino, 07 febbraio 2018



# 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%)

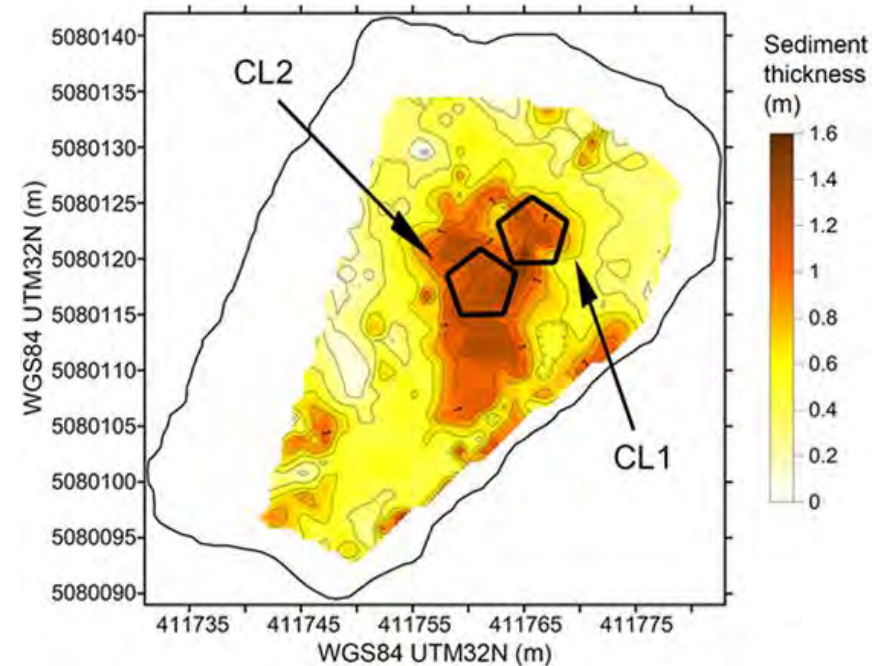
Sabbia (11.8%)

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)

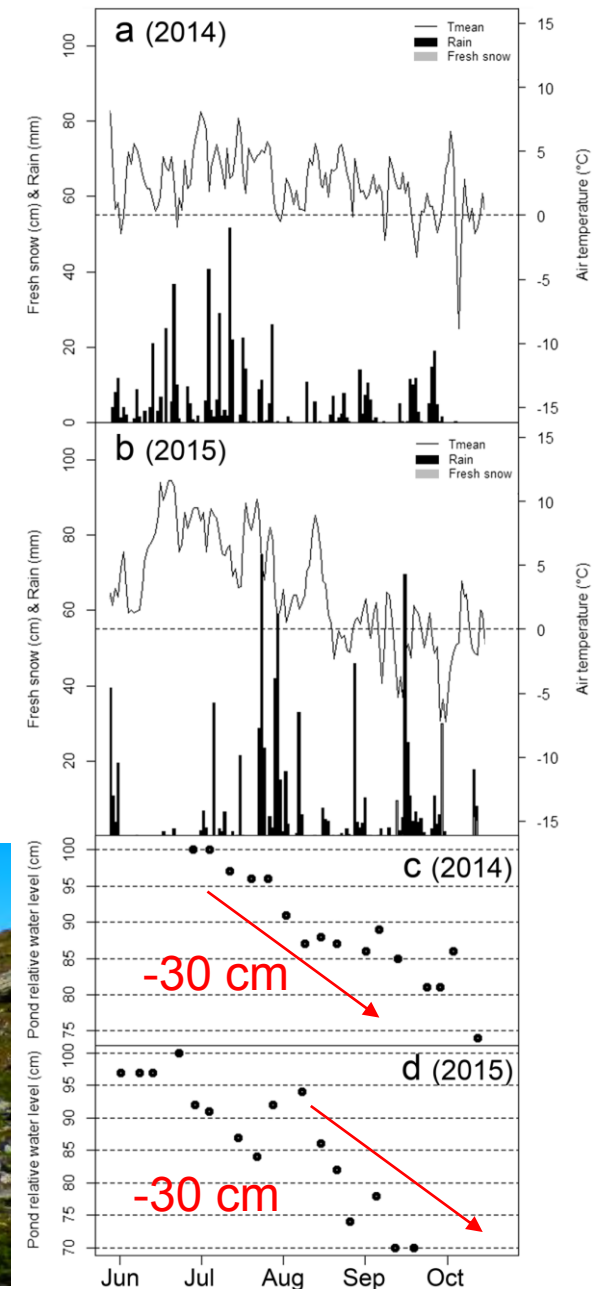
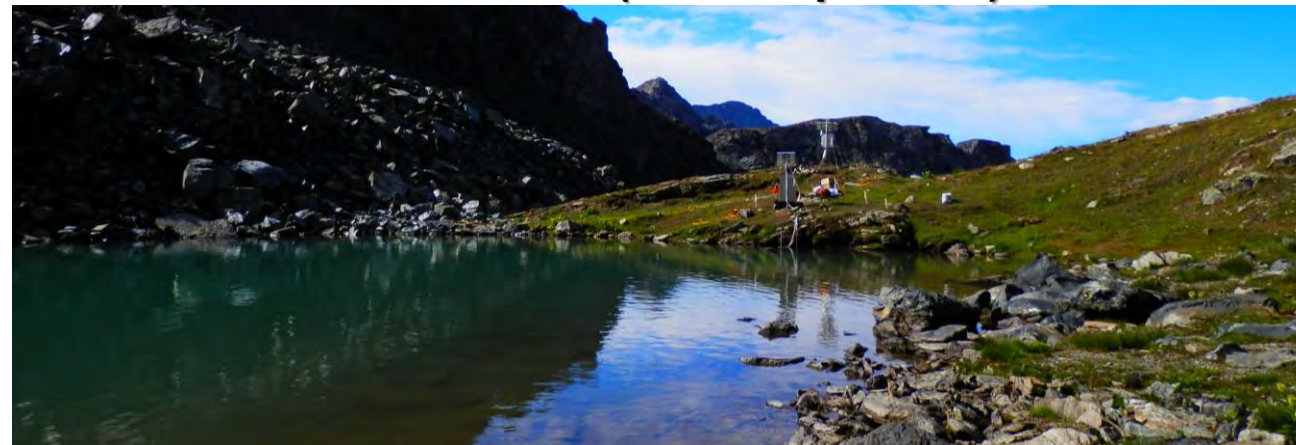
## Altezza idrometrica (stazione idrometrica)

### 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)**



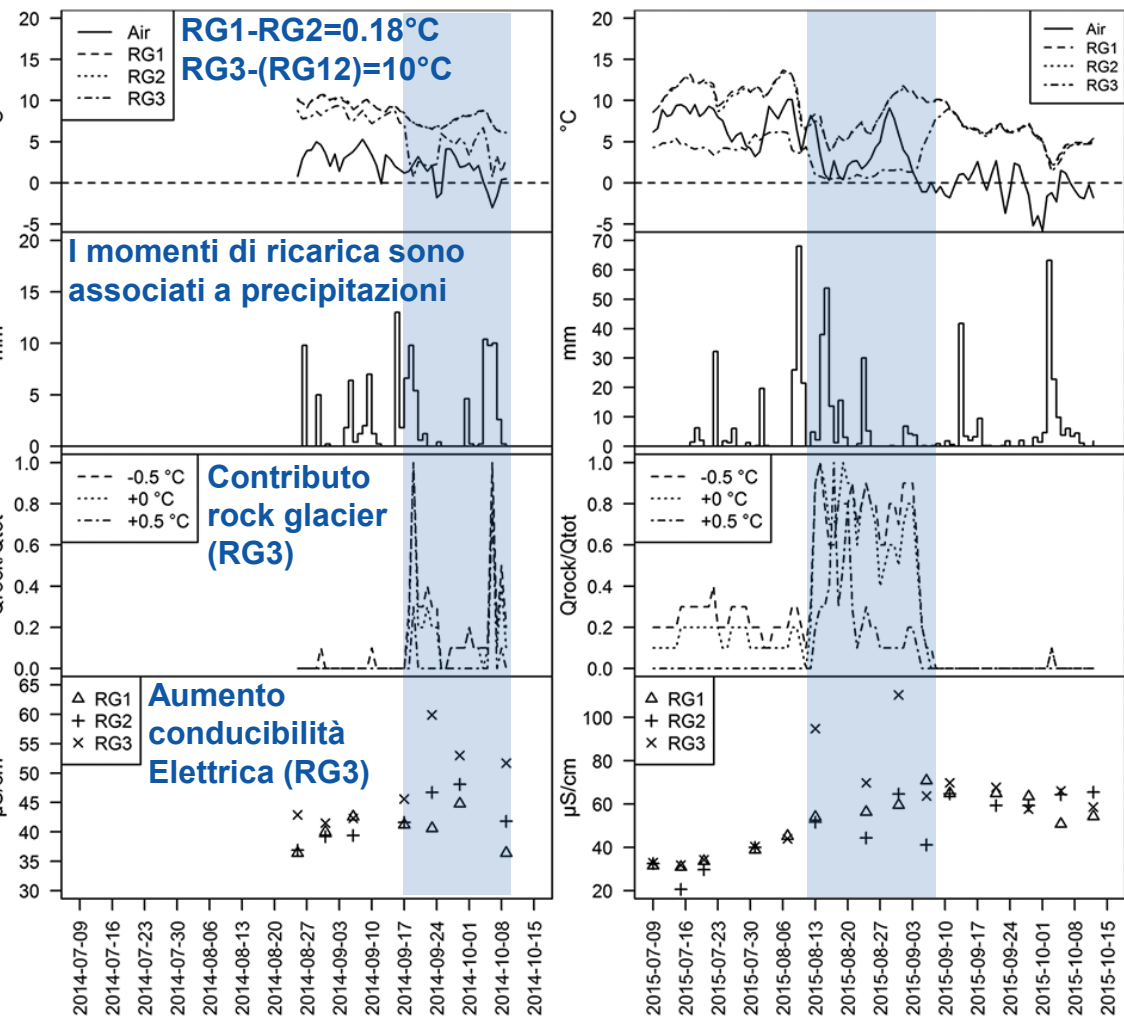
## Workshop

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

Torino, 07 febbraio 2018

# Analisi complementari

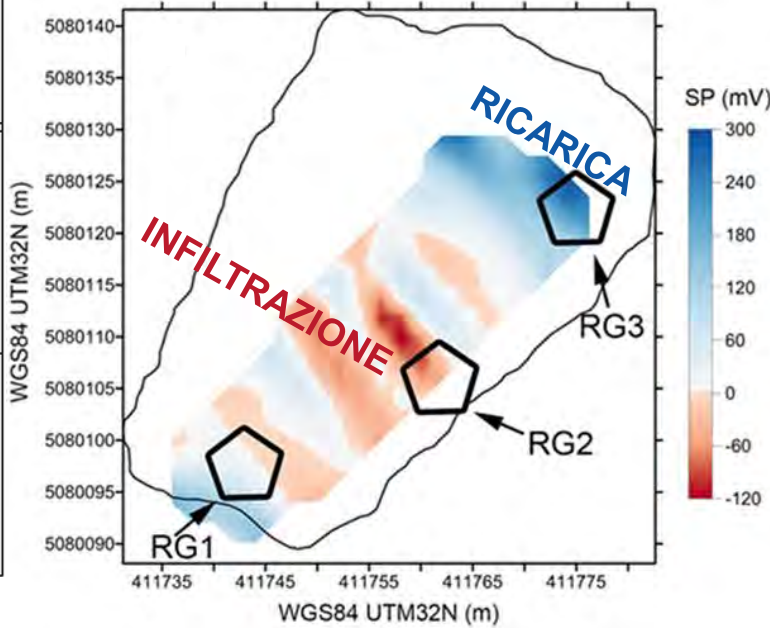
## Misure termiche (RG1, RG2, RG3)



## 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**

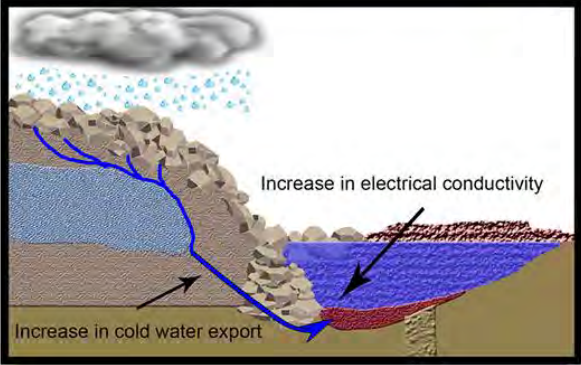
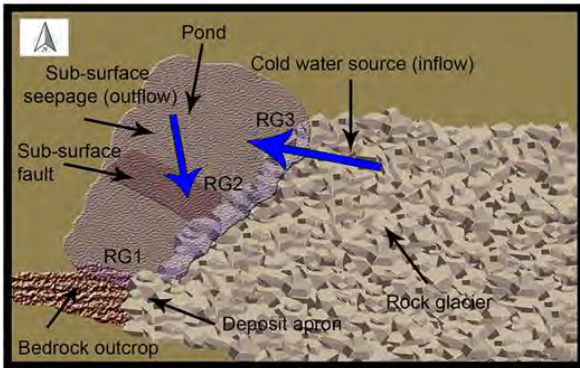
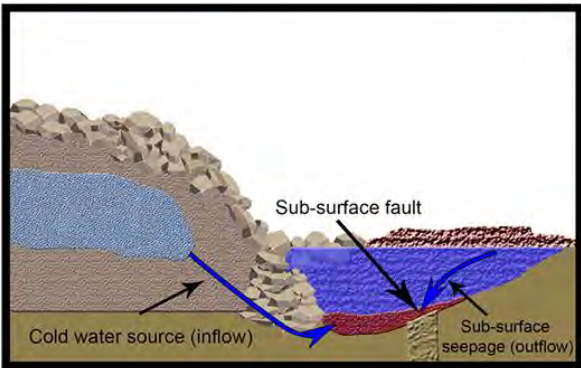
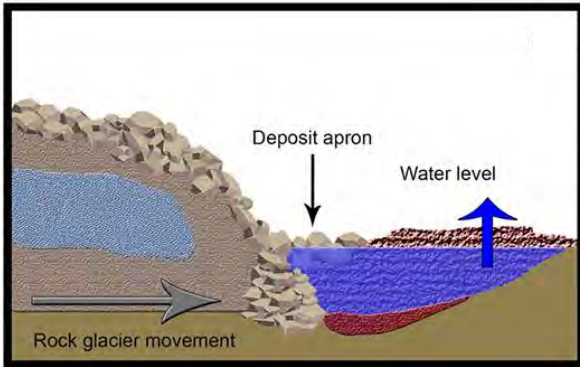
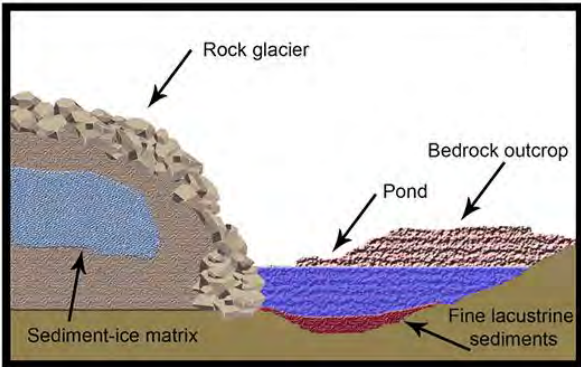


### Workshop

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