

Studio e monitoraggio del permafrost:

l'esperienza in Valle d'Aosta

U. Morra di Cella

ARPA Valle d'Aosta – Sez. Agenti Fisici – A.O. Cambiamenti Climatici



Motivazione - I

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta (L.R. n. 41 del 04/09/1995) si occupa [...] del **monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico sul territorio.**

Motivazione - I

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta (L.R. n. 41 del 04/09/1995) si occupa [...] del **monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico sul territorio.**

MONITORAGGIO



Motivazione - I

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta (L.R. n. 41 del 04/09/1995) si occupa [...] del **monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico sul territorio.**

MONITORAGGIO



Multi (t)

+



Capacità di osservare i fenomeni

Motivazione - I

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta (L.R. n. 41 del 04/09/1995) si occupa [...] del **monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico sul territorio.**

MONITORAGGIO

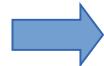


+



Capacità di osservare i fenomeni

TERRITORIO



Spazio fisico + attività umane



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio
U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Motivazione - II

La complessità dell'ambiente alpino (morfologia, diversità degli ambienti, interrelazioni fra habitat e biosfera) richiede un approccio integrato in termini di:

- **MATRICI INDAGATE**
- **TECNICHE e METODOLOGIA di MISURA e di INDAGINE**
- **TECNICHE di ANALISI e ELABORAZIONI DATI**

Motivazione - II

La complessità dell'ambiente alpino (morfologia, diversità degli ambienti, interrelazioni fra habitat e biosfera) richiede un approccio integrato in termini di:

- **MATRICI INDAGATE**
- **TECNICHE e METODOLOGIA di MISURA e di INDAGINE**
- **TECNICHE di ANALISI e ELABORAZIONI DATI**



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Motivazione - II

La complessità dell'ambiente alpino (morfologia, diversità degli ambienti, interrelazioni fra habitat e biosfera) richiede un approccio integrato in termini di:

- **MATRICI INDAGATE**
- **TECNICHE e METODOLOGIA di MISURA e di INDAGINE**
- **TECNICHE di ANALISI e ELABORAZIONI DATI**

Misure indirette



Misure dirette



Telerilevamento di prossimità

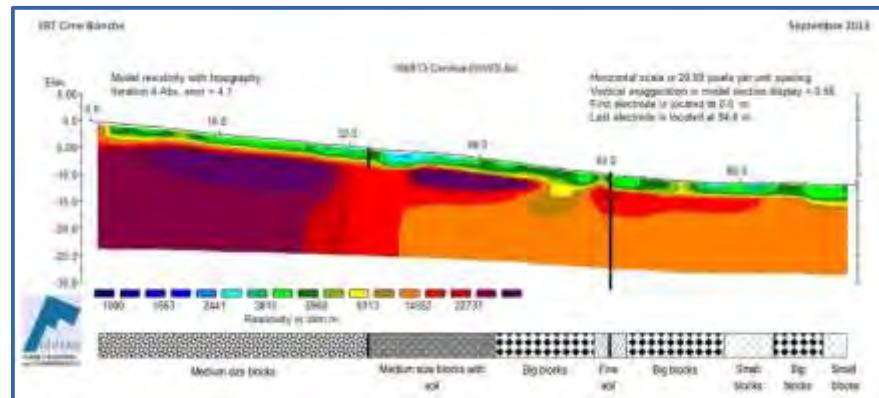
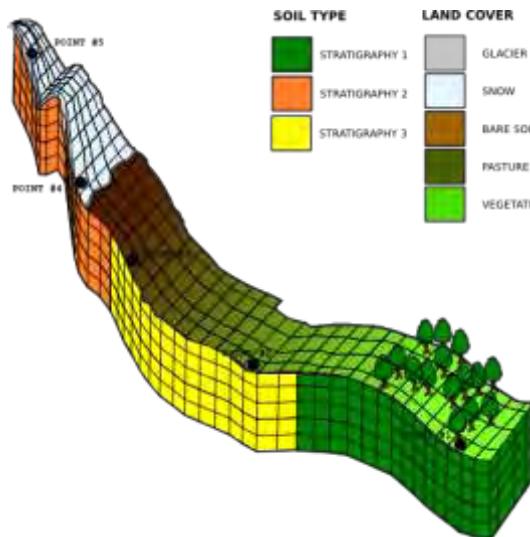
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Motivazione - II

La complessità dell'ambiente alpino (morfologia, diversità degli ambienti, interrelazioni fra habitat e biosfera) richiede un approccio integrato in termini di:

- **MATRICI INDAGATE**
- **TECNICHE e METODOLOGIA di MISURA e di INDAGINE**
- **TECNICHE di ANALISI e ELABORAZIONI DATI**



L'interesse dell'ARPA per il permafrost...

- INDICATORE DI CAMBIAMENTO CLIMATICO
- ELEMENTO SOGGETTO A EVOLUZIONE CON EVIDENTI RIPERCUSSIONI SULLA GESTIONE/PROTEZIONE DEL TERRITORIO
- ELEMENTO SOGGETTO A DINAMICHE PARTICOLARI (es. potabilità)

La storia

- interesse alla tematica 'permafrost' nato a inizio degli anni 2000 nell'ambito del Centro Tematico Nazionale Natura e Biodiversità (tema Cambiamenti Climatici): attivazione di collaborazione con Uni Insubria (Mauro Guglielmin)
- agosto 2003: crolli 'storici' sulle Alpi destano l'attenzione degli amministratori



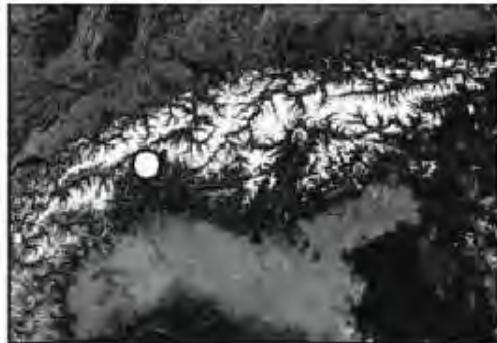
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

La storia

- interesse alla tematica ‘permafrost’ nato a inizio degli anni 2000 nell’ambito del Centro Tematico Nazionale Natura e Biodiversità (tema Cambiamenti Climatici): attivazione di collaborazione con Uni Insubria (Mauro Guglielmin)
- agosto 2003: crolli ‘storici’ sulle Alpi destano l’attenzione degli amministratori
- incremento dell’attenzione negli anni successivi (2005 Drus, 2004 Thurwieser, ...)
- strutturazione e progressiva implementazione di una rete di monitoraggio e studio del permafrost e della sua evoluzione (da 2004 CM)
- progressive ma sporadiche «richieste» di informazioni e (scarso) supporto al problema
- input rilevante fornito da finanziamenti europei: Permadatarock, PermaNET, RiskNat, ...
- nuova iniziativa Interreg ALCOTRA ITA-FRA «PrevRiskHauteMontagne» con volet permafrost

Il permafrost in Valle d'Aosta



Climate



Topography



Ground conditions

Clima: latitudine, circolazione atmosferica globale, effetti orografici,

Topografia: quota, esposizione, pendenza,

Condizioni del substrato: meccanismi di trasferimento del calore

PF DISCONTINUO (*sporadic*)

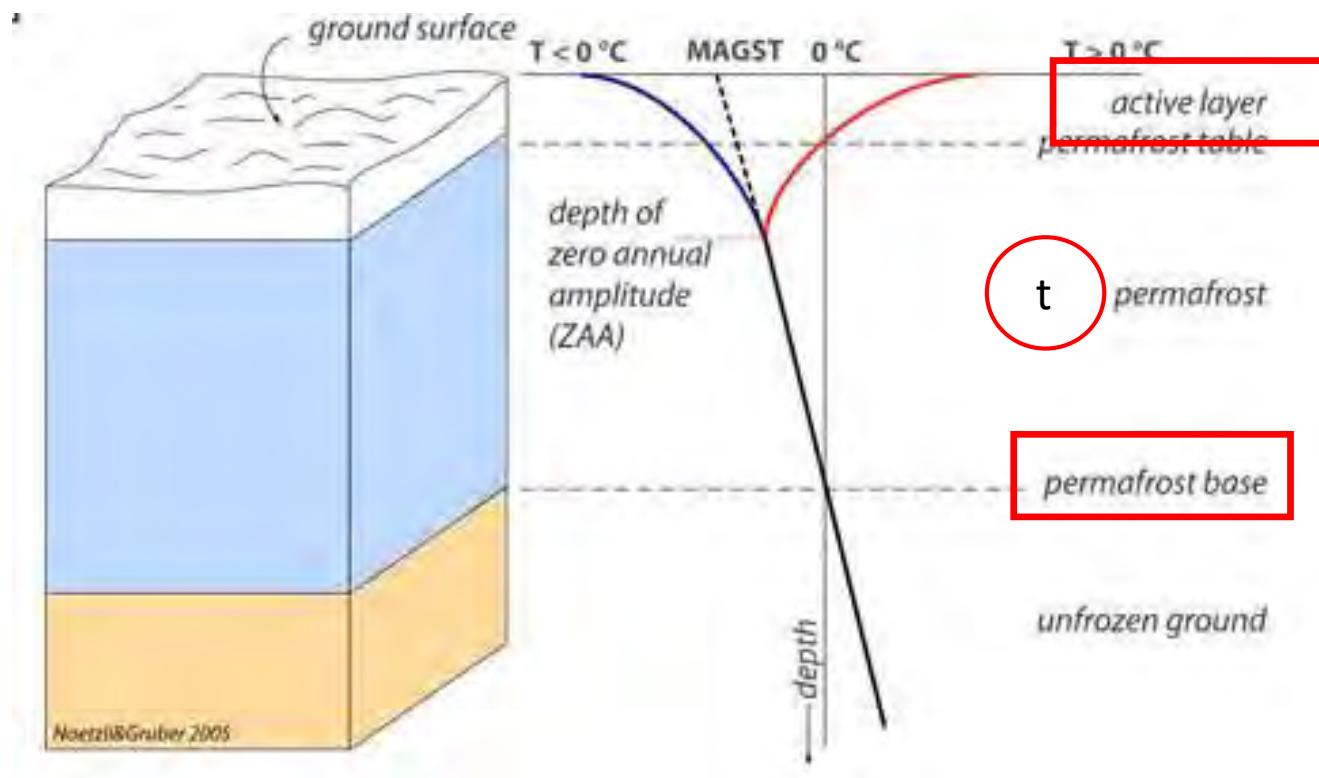
Il permafrost in Valle d'Aosta



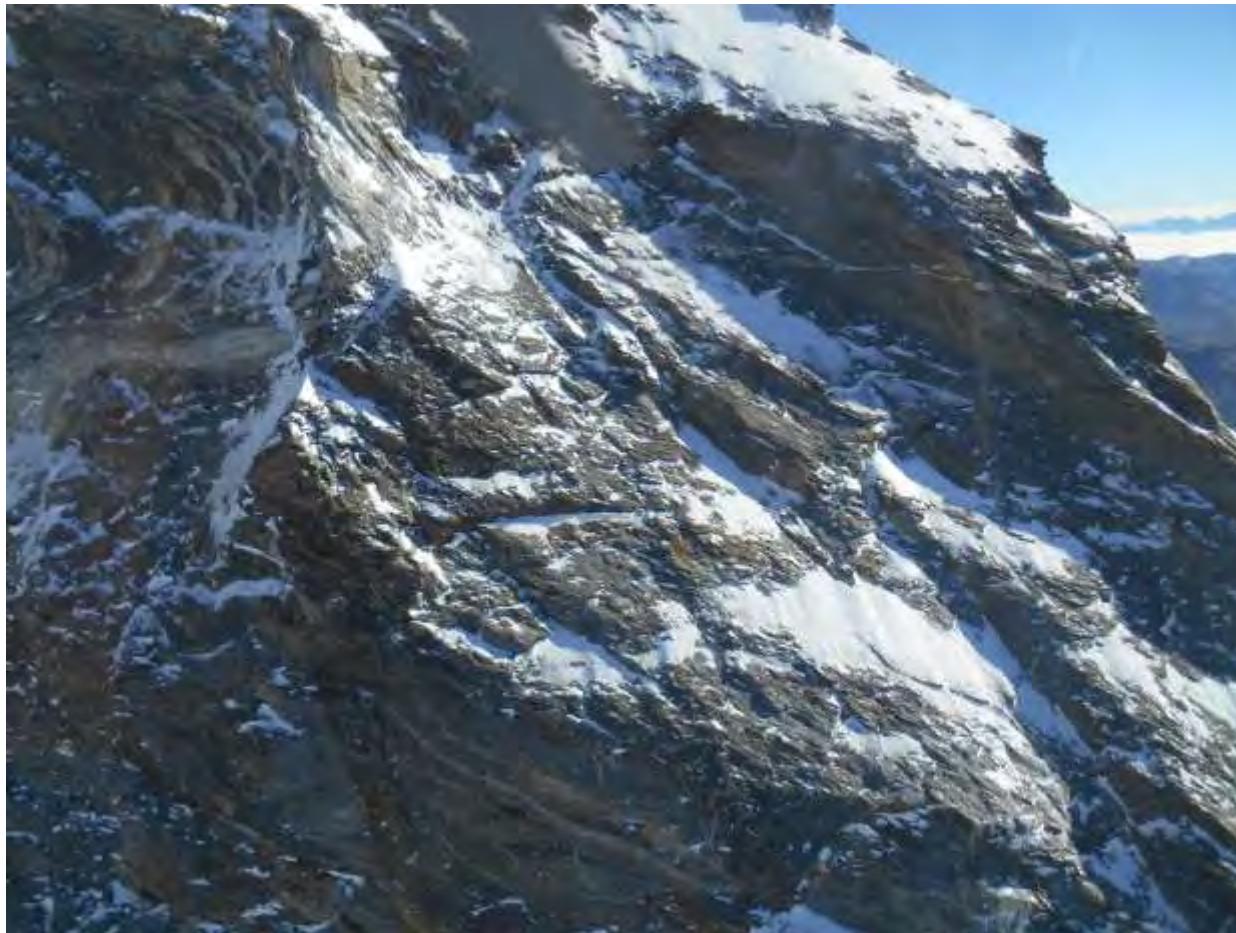
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

I parametri di interesse e le condizioni ritenute rappresentative PERMAFROST di VERSANTE



Il permafrost in Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

I parametri di interesse e le condizioni ritenute rappresentative

PERMAFROST di PARETE



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Il permafrost in Valle d'Aosta

RG – Laures - M.Emilius



Lobi di soliflusso/geliflusso (foto M. D'Amico)

Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Indicatore di cambiamento climatico



GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEM

GCOS Essential Climate Variables

The 50 GCOS Essential Climate Variables (ECVs) (2010) are required to support the work of the UNFCCC and in which international exchange is required for both current and historical observations. Additional variables required for convenience and is not an indicator of relative priority.

Domain	GCOS Essential Climate Variables
Atmospheric (over land, sea and ice)	Surface: [1] Air temperature, Wind speed and direction, Water vapour, Pressure, Precipitation, Surface radiation budget. Upper-air: [2] Temperature, Wind speed and direction, Water vapour, Cloud properties, Earth radiation budget (including solar irradiance). Composition: Carbon dioxide, Methane, and other long-lived greenhouse gases [3] . Ozone and Aerosol, supported by their precursors [4] .
Oceanic	Surface: [5] Sea-surface temperature, Sea-surface salinity, Sea level, Sea state, Sea ice, Surface current, Ocean colour, Carbon dioxide partial pressure, Ocean acidity, Phytoplankton. Sub-surface: Temperature, Salinity, Current, Nutrients, Carbon dioxide partial pressure, Ocean acidity, Oxygen, Tracers.
Terrestrial	River discharge, Water use, Groundwater, Lakes, Snow cover, Glaciers and ice caps, Ice sheets, Permafrost, Albedo, Land cover (including vegetation type), Fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR), Leaf area index (LAI), Above-ground biomass, Soil carbon, Fire disturbance, Soil moisture.

Fonte: WG1AR5 Chapter 4 – Cryosphere
(Romanovsky et al., 2010)

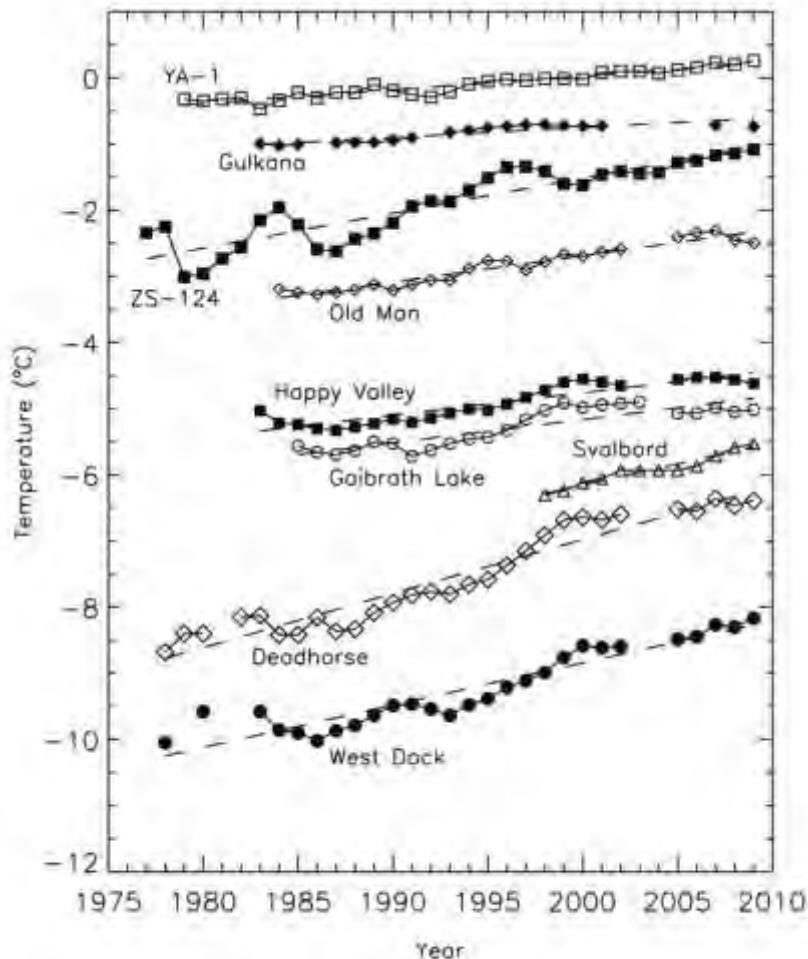
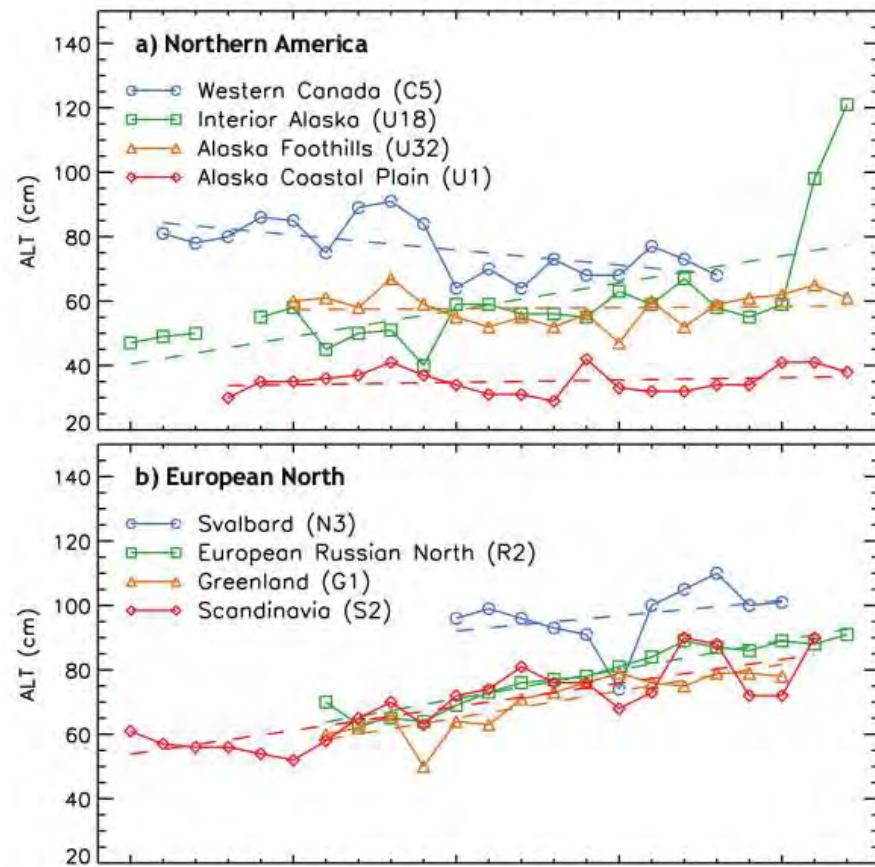


Figure 4.22 | Time series of mean annual ground temperatures at depths between 10 and 20 m for boreholes throughout the circumpolar northern permafrost regions

Fonte: WG1AR5 Chapter 4 – Cryosphere
(data from International Permafrost Association (IPA) CALM website
(<http://www.udel.edu/Geography/calm/about/permafrost.html>)



Interferenze con strutture



- stabilità delle infrastrutture
- interazioni con il ciclo dell'acqua



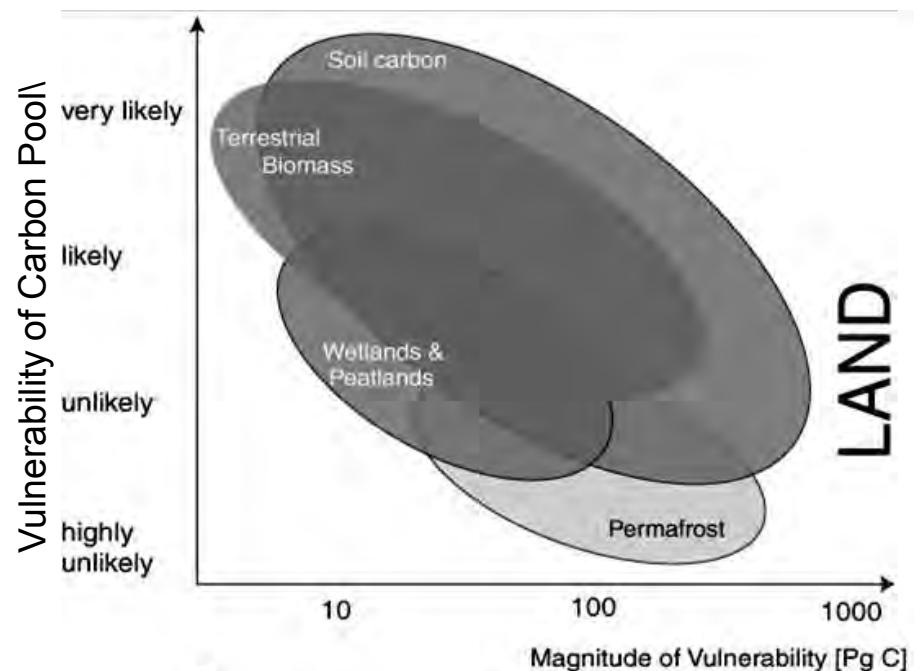
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Interferenze con strutture



- stabilità delle infrastrutture
- interazioni con il ciclo dell'acqua
- relazioni con le emissioni di CH₄ in atm



Interferenze con strutture



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Interferenze con strutture



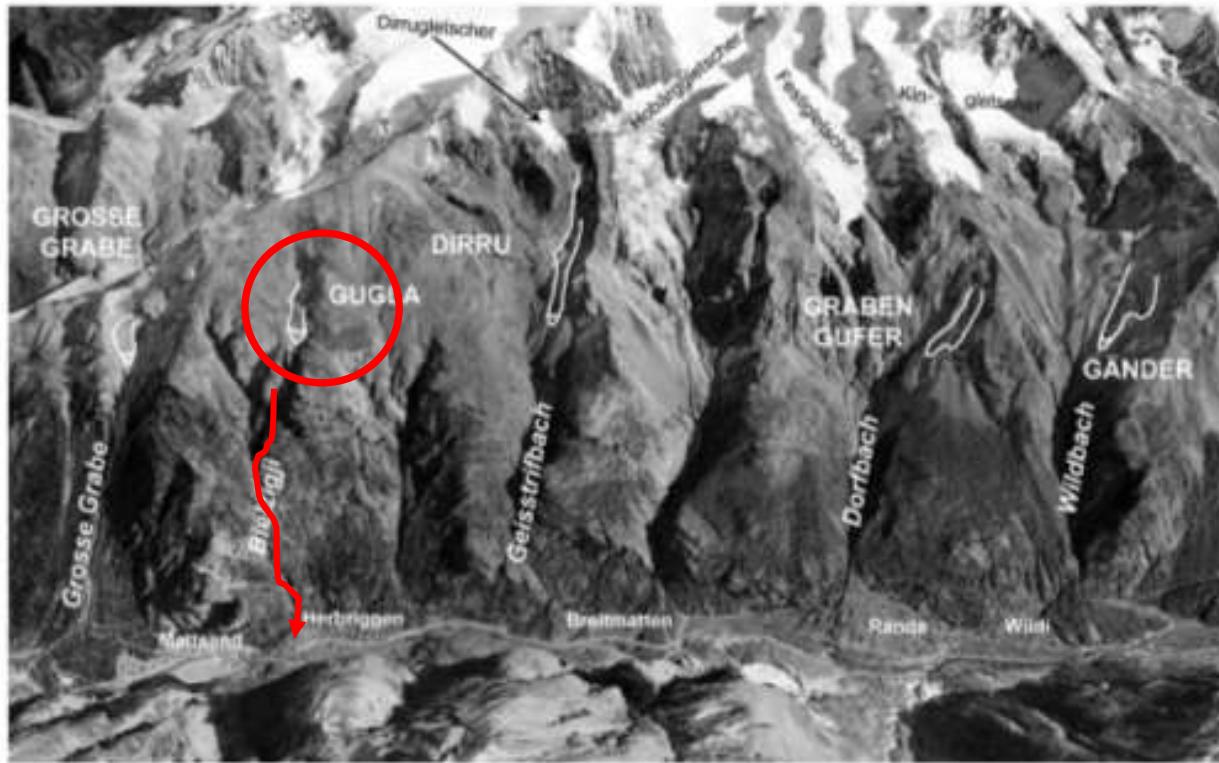
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Interferenze con strutture



Interferenze con strutture

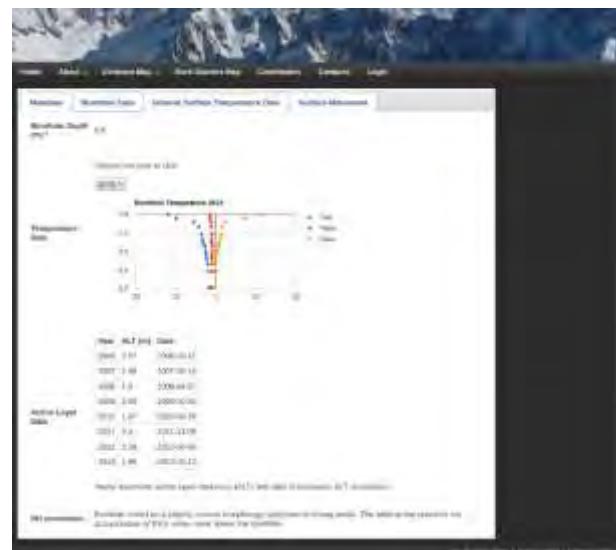
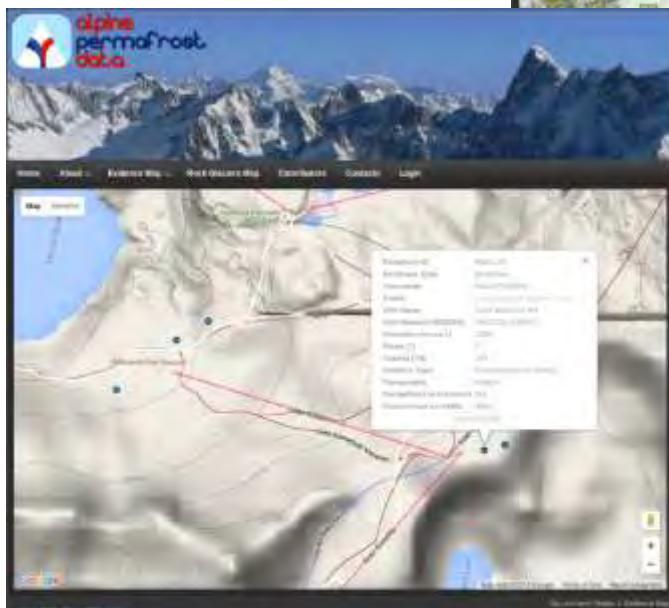
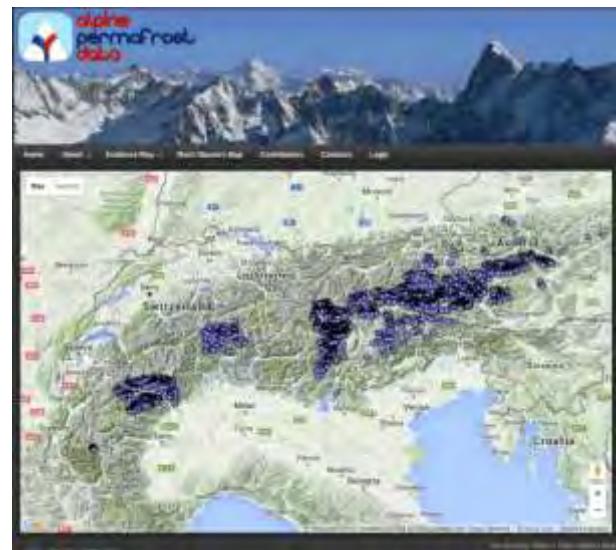
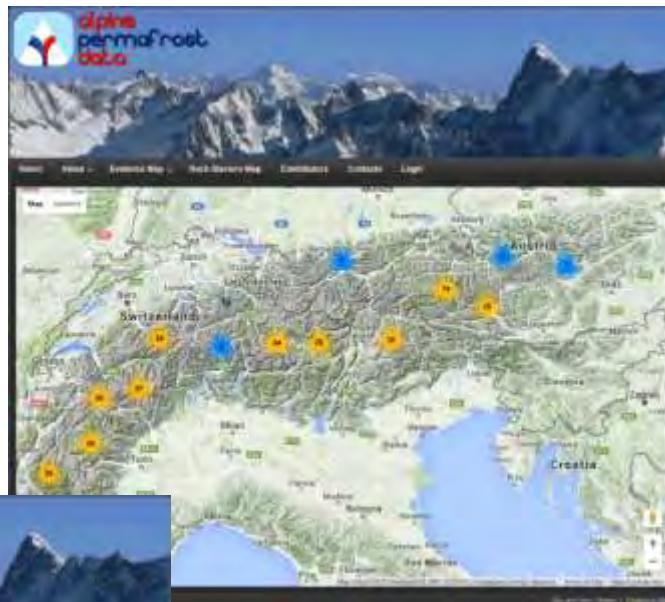


Rapidly moving rock glaciers in the Mattertal valley, Switzerland.
Delaloye et al., 2013



DATABASE - MAPPING

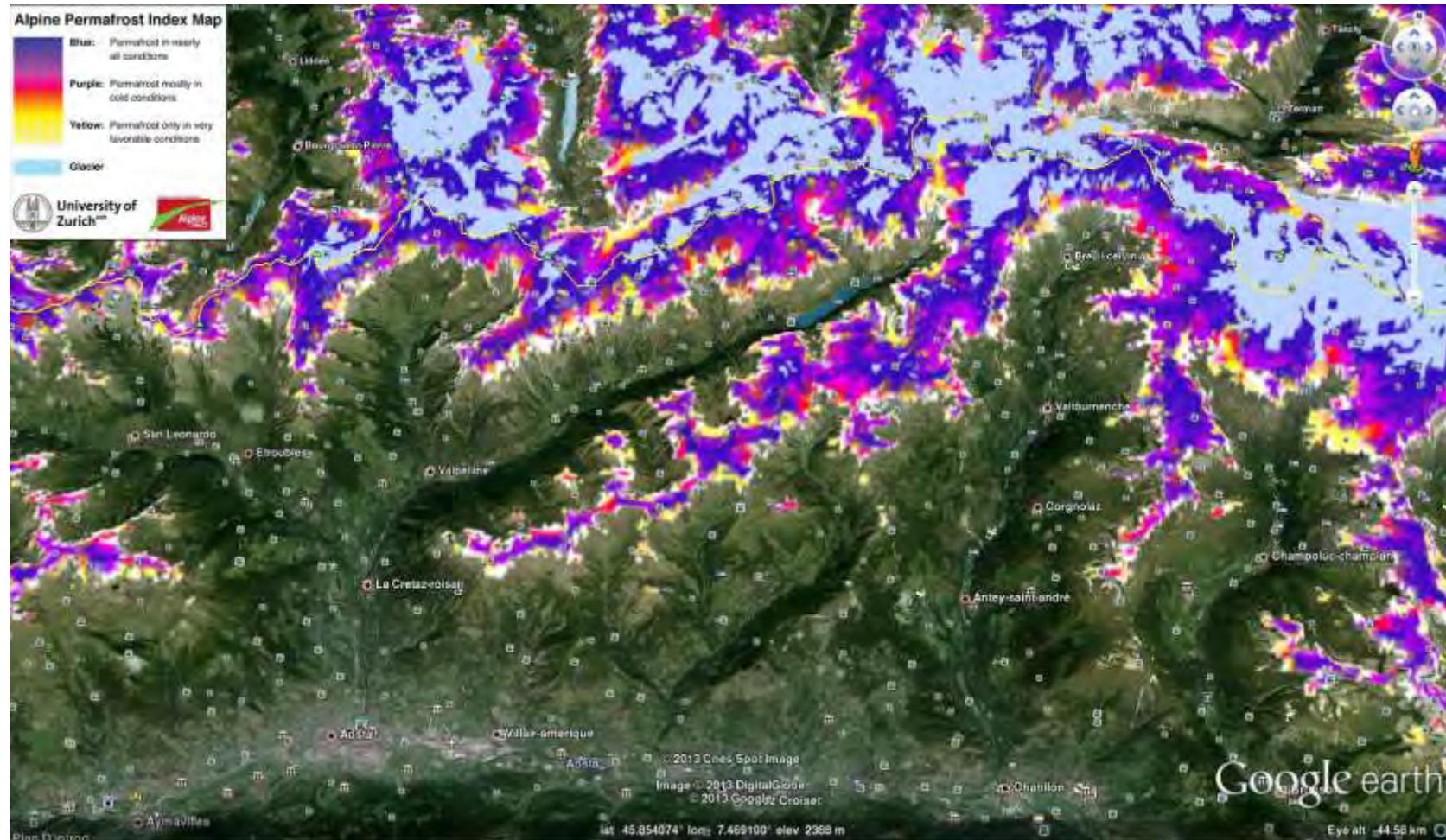
Alpine Permafrost Database



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Alpine Permafrost Index Map



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

IL MONITORAGGIO STRUMENTALE

Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Profondità rilevanti > 100 m
Sistemi di monitoraggio “onerosi”
Segnale climatico long-term



Colle Superiore di Cime Bianche – Valtournenche
(3.100 m)



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio
U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Profondità "ridotte" 15/20 m
Sistemi di monitoraggio snelli
Segnale climatico short-term

Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Rock glacier Gran Sometta – Valtournenche - (2.550 m)

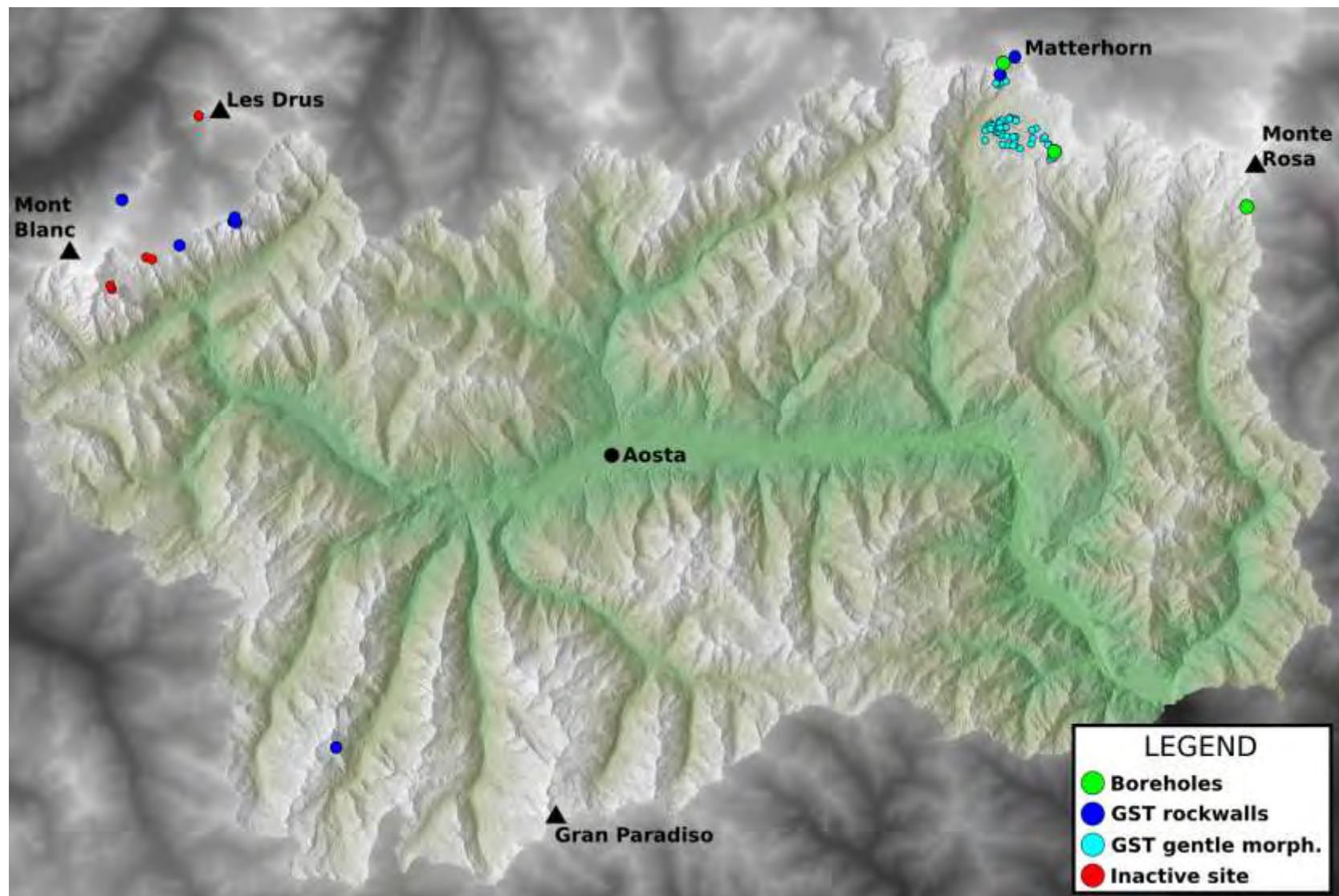
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

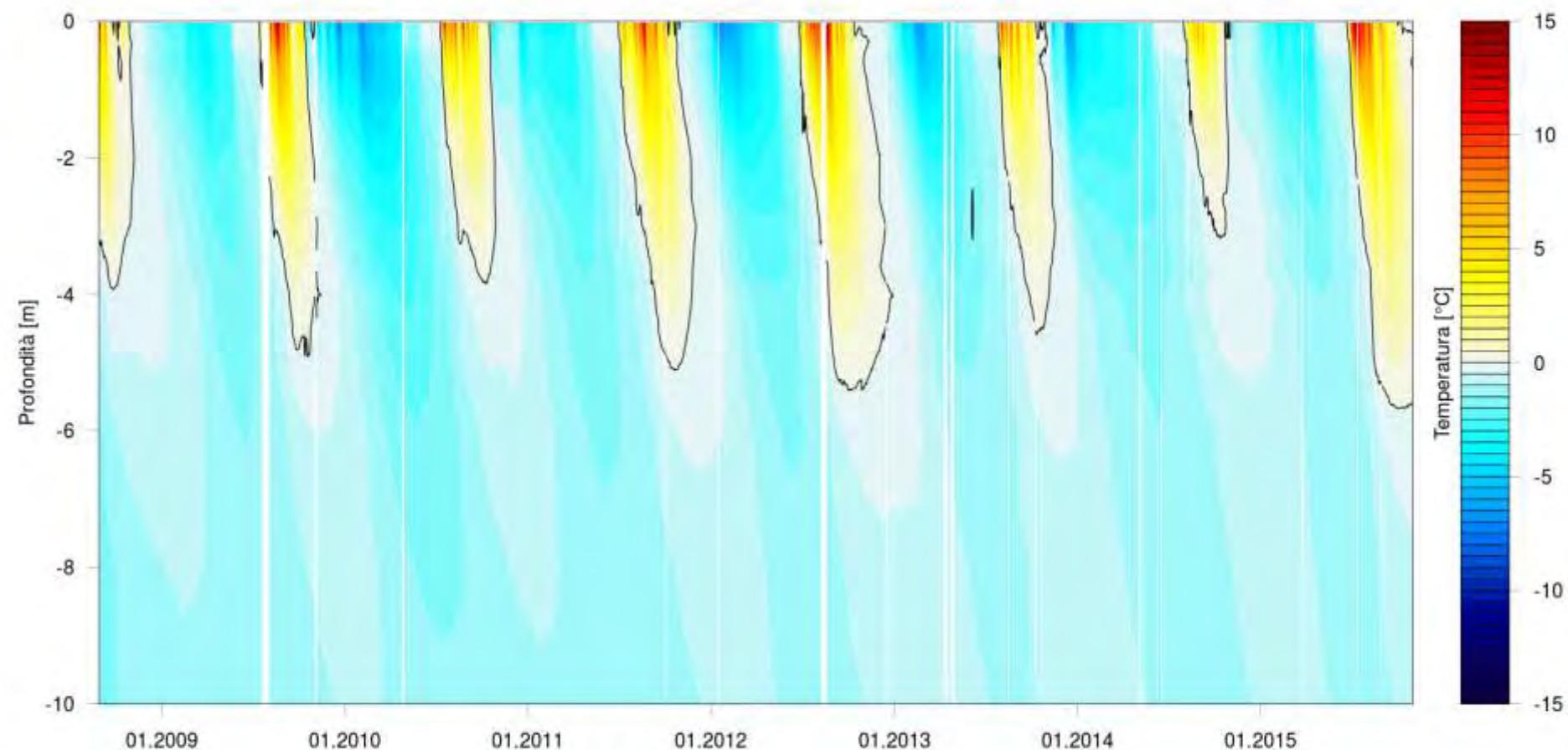
RISULTATI

RISULTATI

BHs - versante

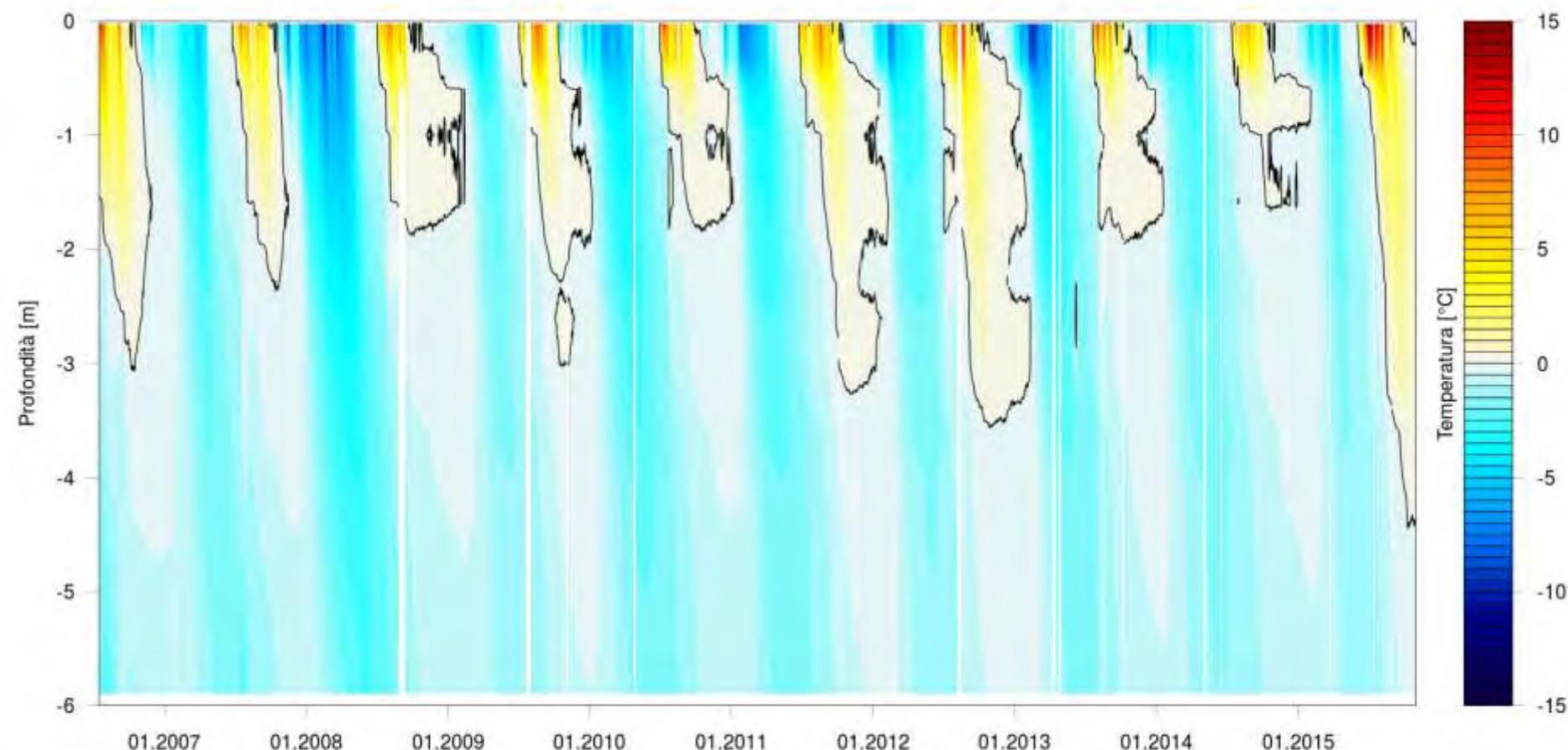
Cime Bianche BH (3.100 m)

(B) Foro Profondo (41m)



Cime Bianche BH (3.100 m)

(A) Foro Superficiale



Cime Bianche BH (3.100 m)

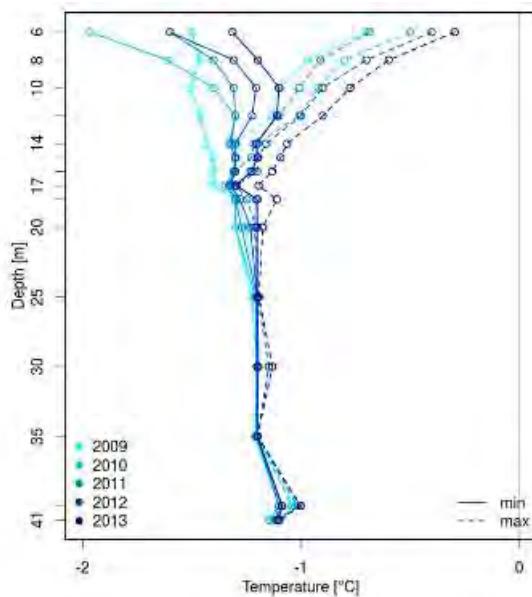


Figure 7. Minimum (solid lines) and maximum (dashed lines) temperature profiles in the borehole DP below 6 m of depth for the period 2009–2013.

The Cryosphere, 9, 647–661, 2015
www.the-cryosphere.net/9/647/2015/
doi:10.5194/tc-9-647-2015
© Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.



Warming permafrost and active layer variability at Cime Bianche, Western European Alps

P. Pugliotti¹, M. Giuglemino², E. Cremonese¹, U. Morra di Cella¹, G. Filippa¹, C. Pellet³, and C. Hanch¹

¹Environmental Protection Agency of Valle d'Aosta, Saint Christophe, Italy

²Department of Theoretical and Applied Sciences, Insubria University, Varese, Italy

³Department of Geosciences, University of Fribourg, Fribourg, Switzerland

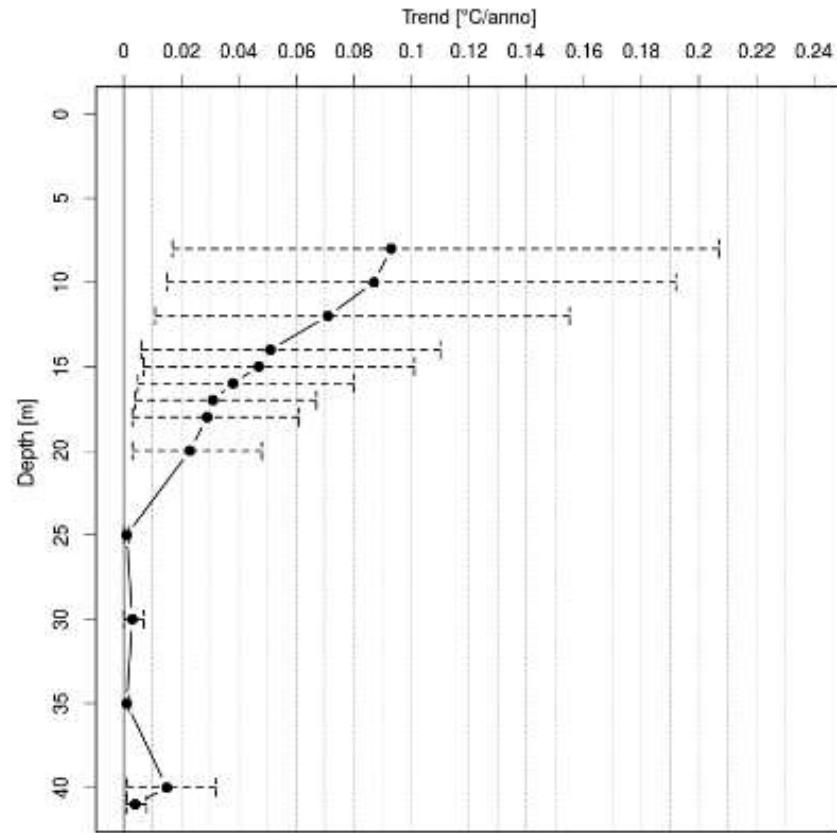


Figure 8. Warming rate calculated over the period 2009–2013 below 8 m of depth in the borehole DP as a function of depth. Black dots represent linear trends as $^{\circ}\text{C yr}^{-1}$. The uncertainty of trend values is represented by the dashed bars, which indicate the lower and upper boundaries of the 95 % confidence interval of the fitting model (see Sect. 2.5 for details).

Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

RISULTATI GST - parete

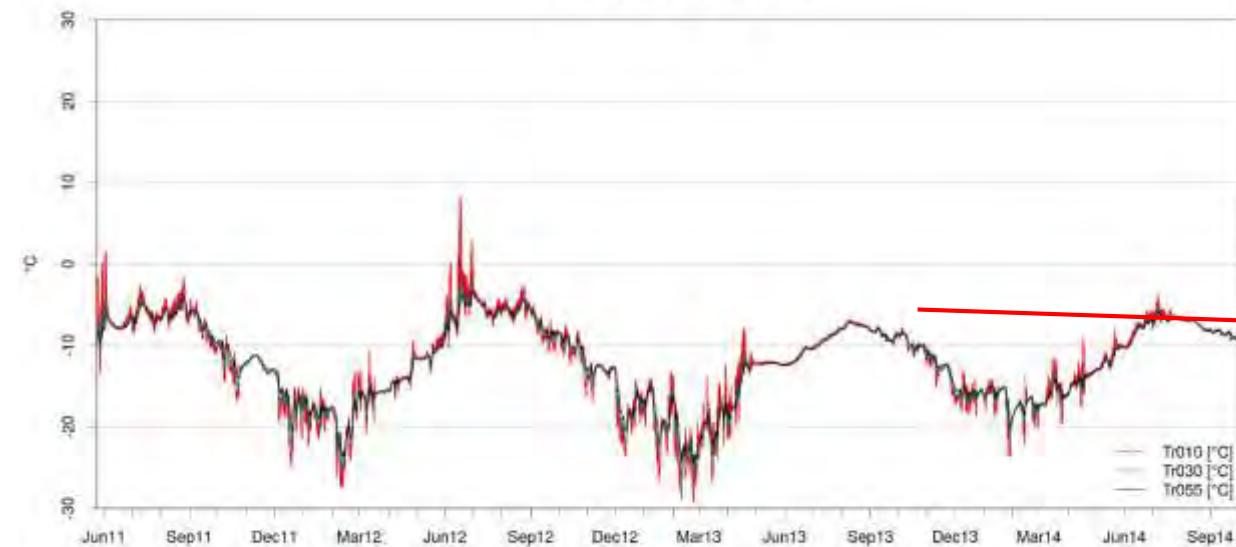
Cervino (vetta – 4.450 m)



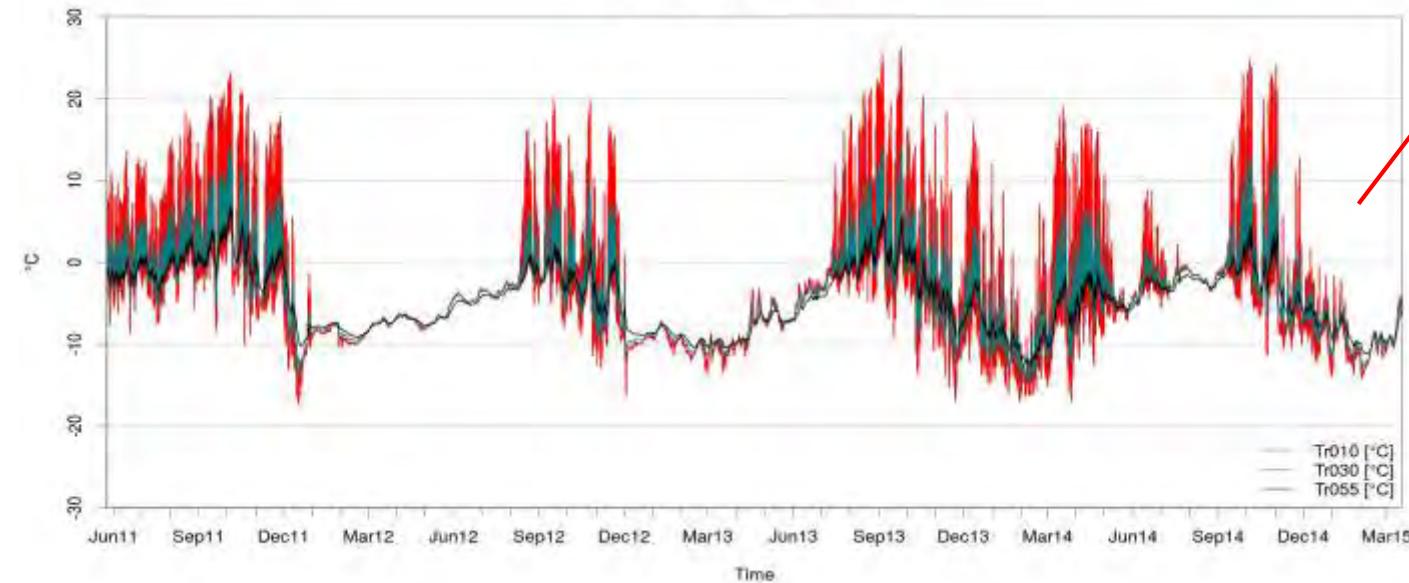
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

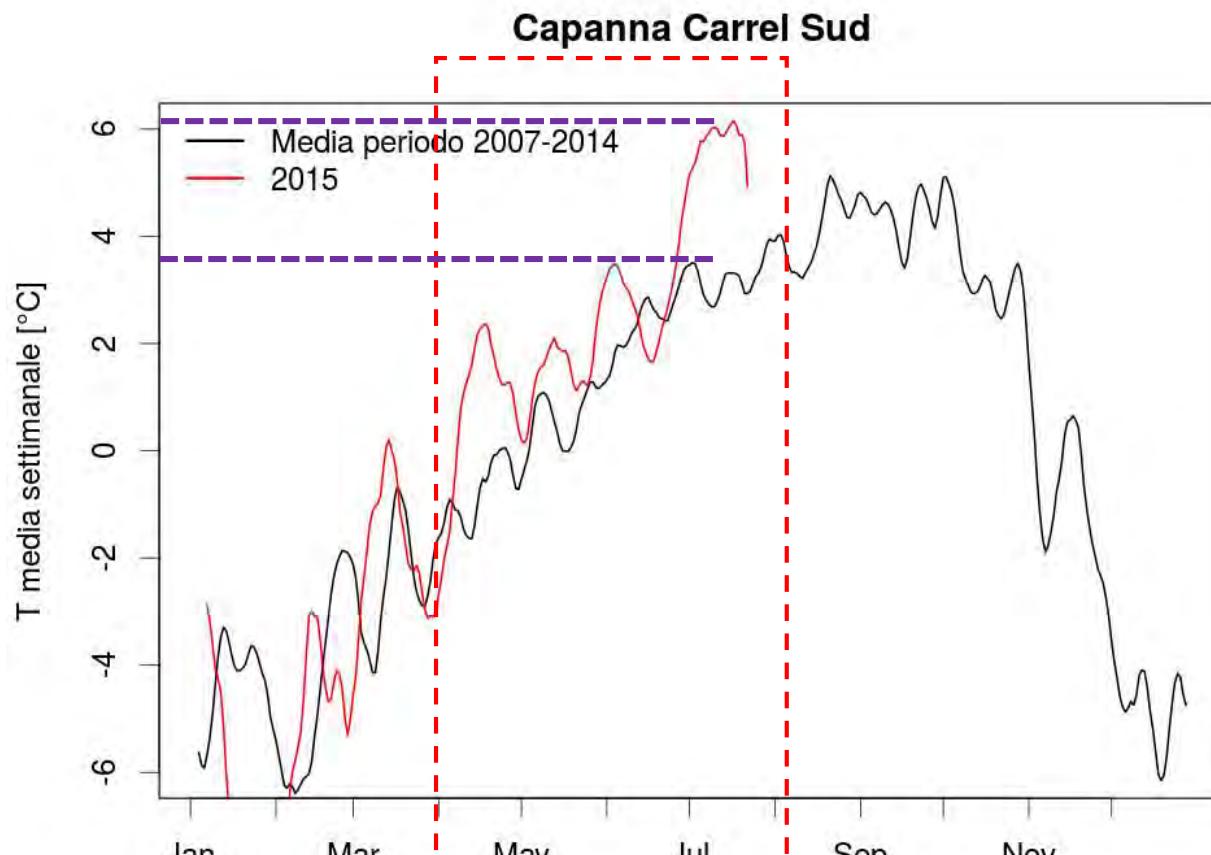
Matterhorn Summit - North



Matterhorn Summit - South

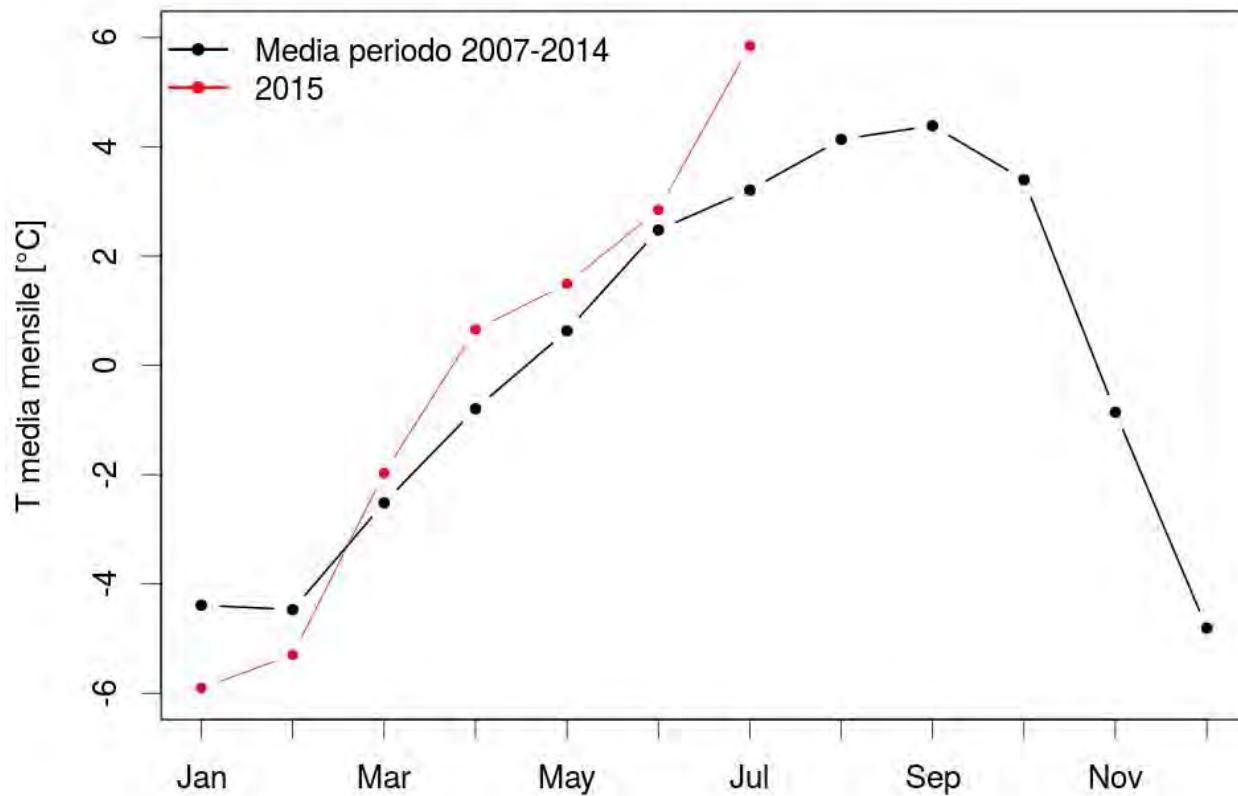


Cervino (Capanna Carrel – 3.840 m)



Cervino (Capanna Carrel – 3.840 m)

Capanna Carrel Sud



Aiguille du Midi (3.842 m s.l.m)

Table 3. Borehole and air temperature records. ALT: active layer thickness. MART_{10m}: mean annual rock temperature at 10 m depth. MAAT: mean annual air temperature.

Year	BH_E			BH_S			BH_N			
	ALT [m]	Max. ALT [dd mm]	MART _{10m} [°C]	ALT [m]	Max. ALT [dd mm]	MART _{10m} [°C]	ALT [m]	Max. ALT [dd mm]	MART _{10m} [°C]	MAAT [°C]
2010	3.1	27.07	–	5.2	23.10	–1.4	1.8	28.08	–4.7	–9
2011	2.7	30.08	–3.8	5.9	22.10	–1.5	2.3	18.09	–4.6	–6.7
2012	3.3	26.08	–3.6	–	–	–	2.5	26.08	–4.3	–7.7
2013	3.4	08.09	–3.6	5.8	30.09	–	2.2	25.08	–4.5	–

The Cryosphere, 9, 109–121, 2015
www.the-cryosphere.net/9/109/2015/
doi:10.5194/tc-9-109-2015
© Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.

The Cryosphere

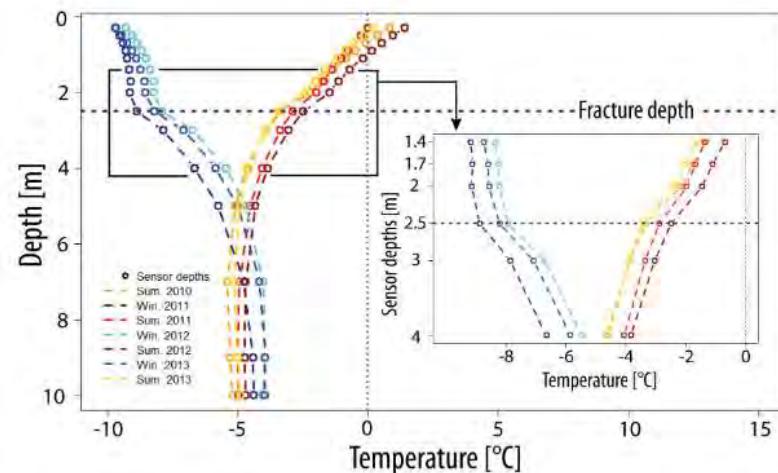


Figure 8. Seasonal $T(z)$ profiles for winters (December to February) and summers (June to August) recorded in BH_N.

Thermal characteristics of permafrost in the steep alpine rock walls of the Aiguille du Midi (Mont Blanc Massif, 3842 m a.s.l)

E. Magnin¹, P. Deline¹, L. Ravanel¹, J. Noetzli², and P. Pogliotti³

¹EDYTEM Lab, Université de Savoie, CNRS, Le Bourget-du-Lac, France

²Glaciology and Geomorphodynamics Group, Department of Geography, University of Zurich, Zurich, Switzerland

³ARPA Valle d'Aosta, Saint-Christophe, Italy

Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

RISULTATI

rock glacier



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

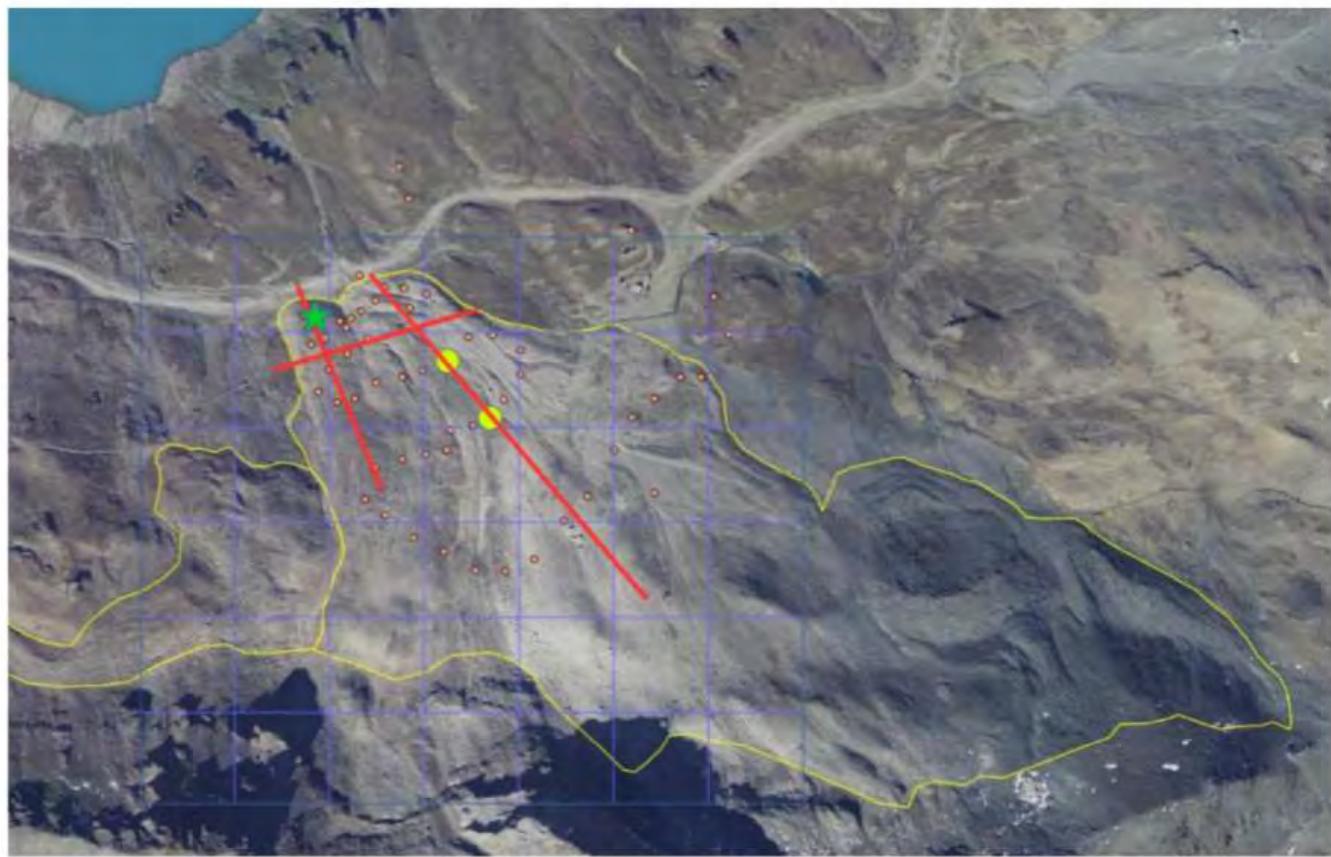
U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

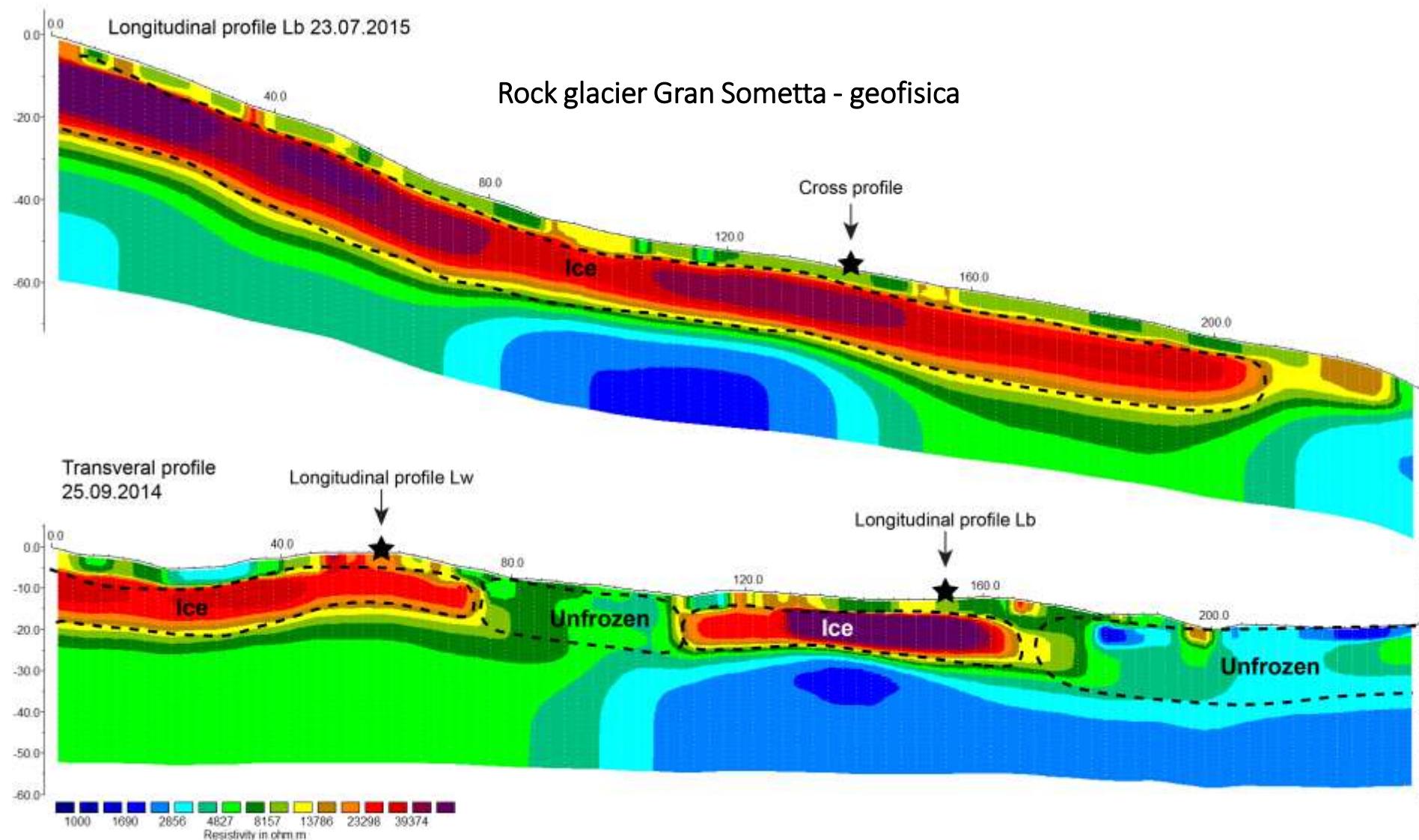


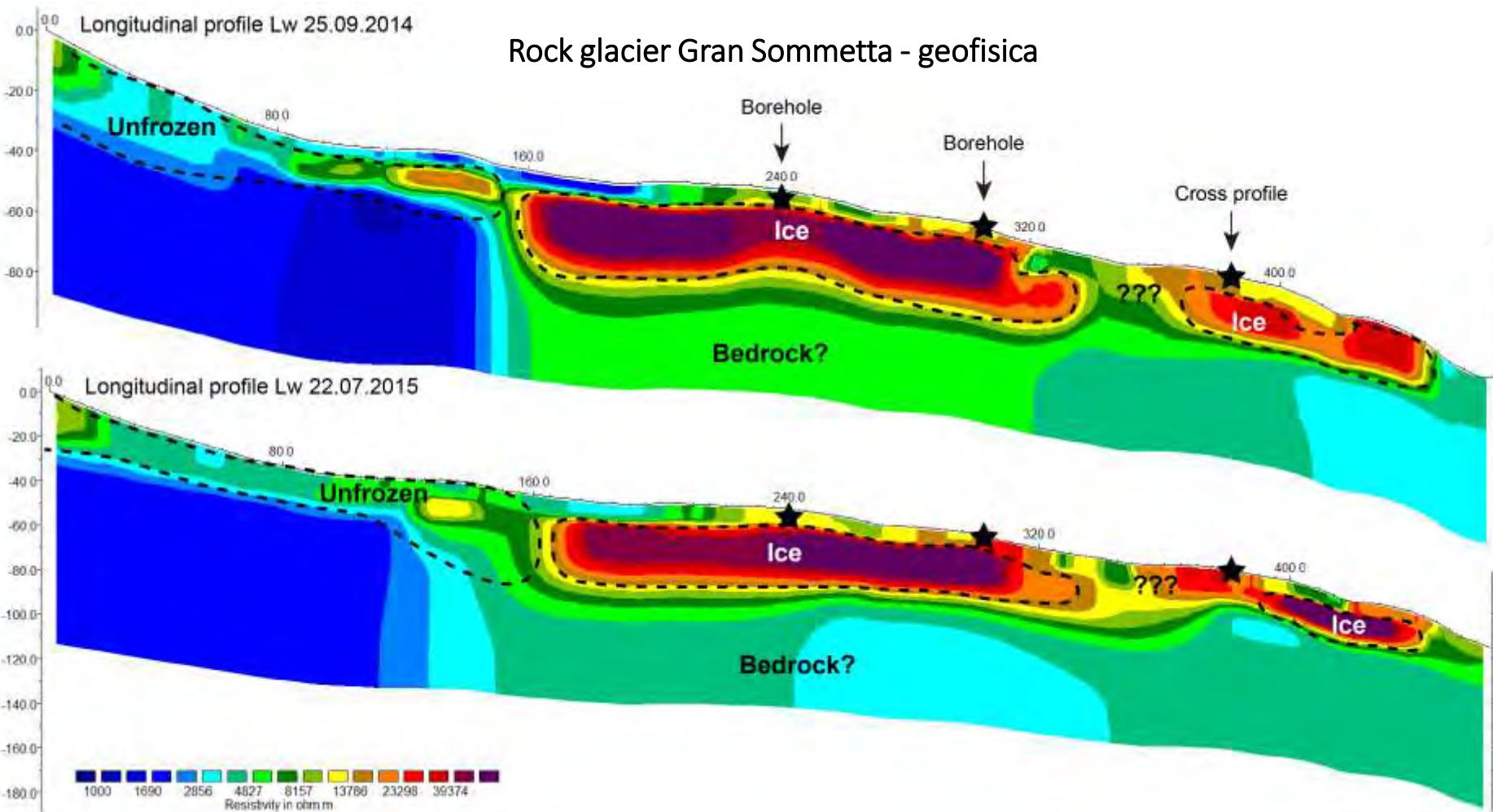
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

GNSS(UniFR)-2012
Drone-2012
Fori-2014
Geofisica-2014
GNSS fisso-2015







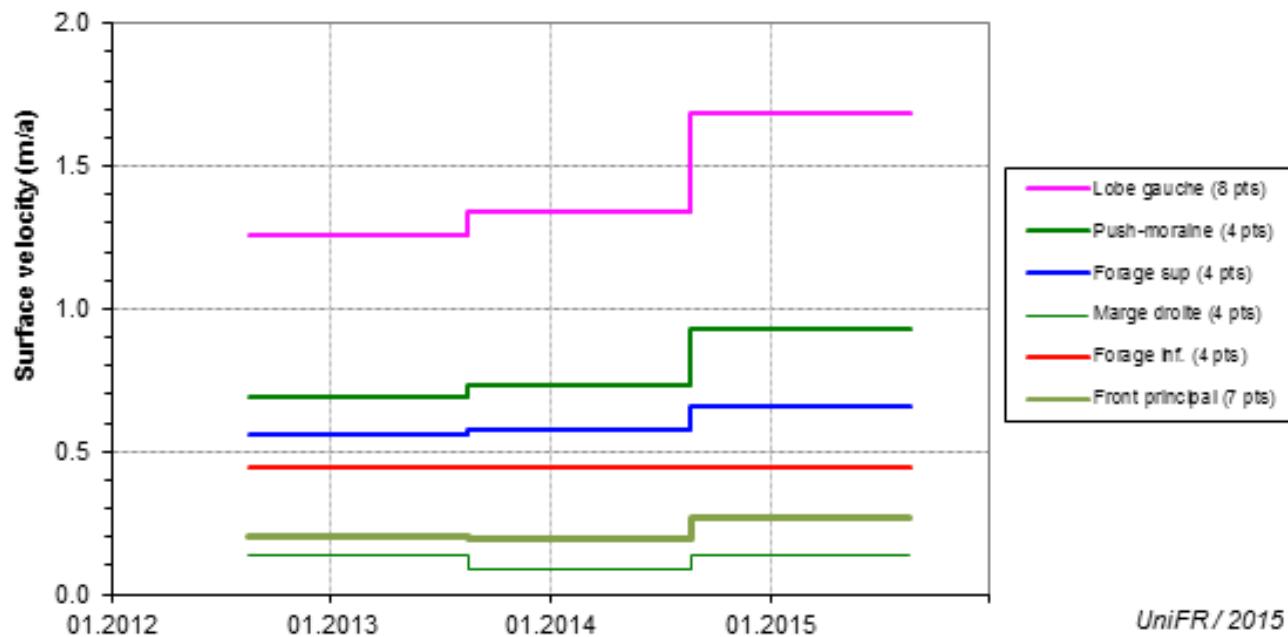


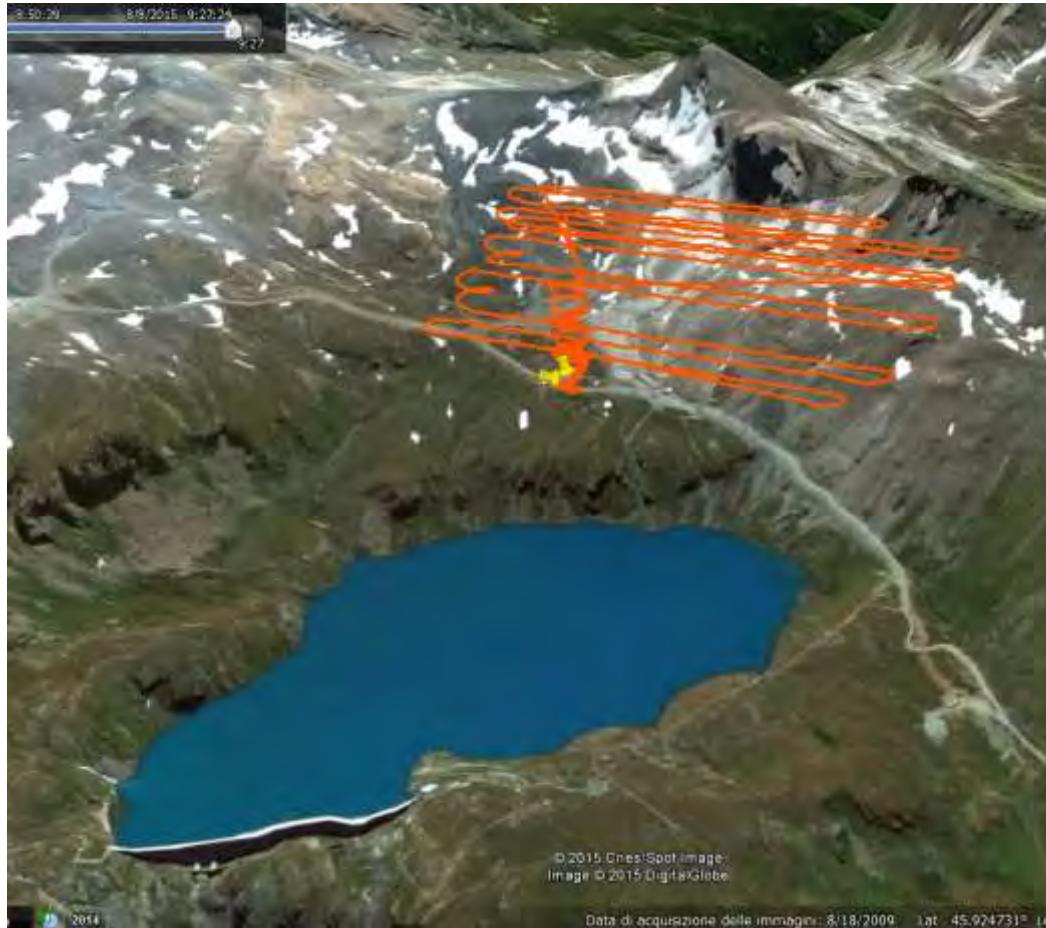
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Gran Sommetta rock glaciers

Annual velocity





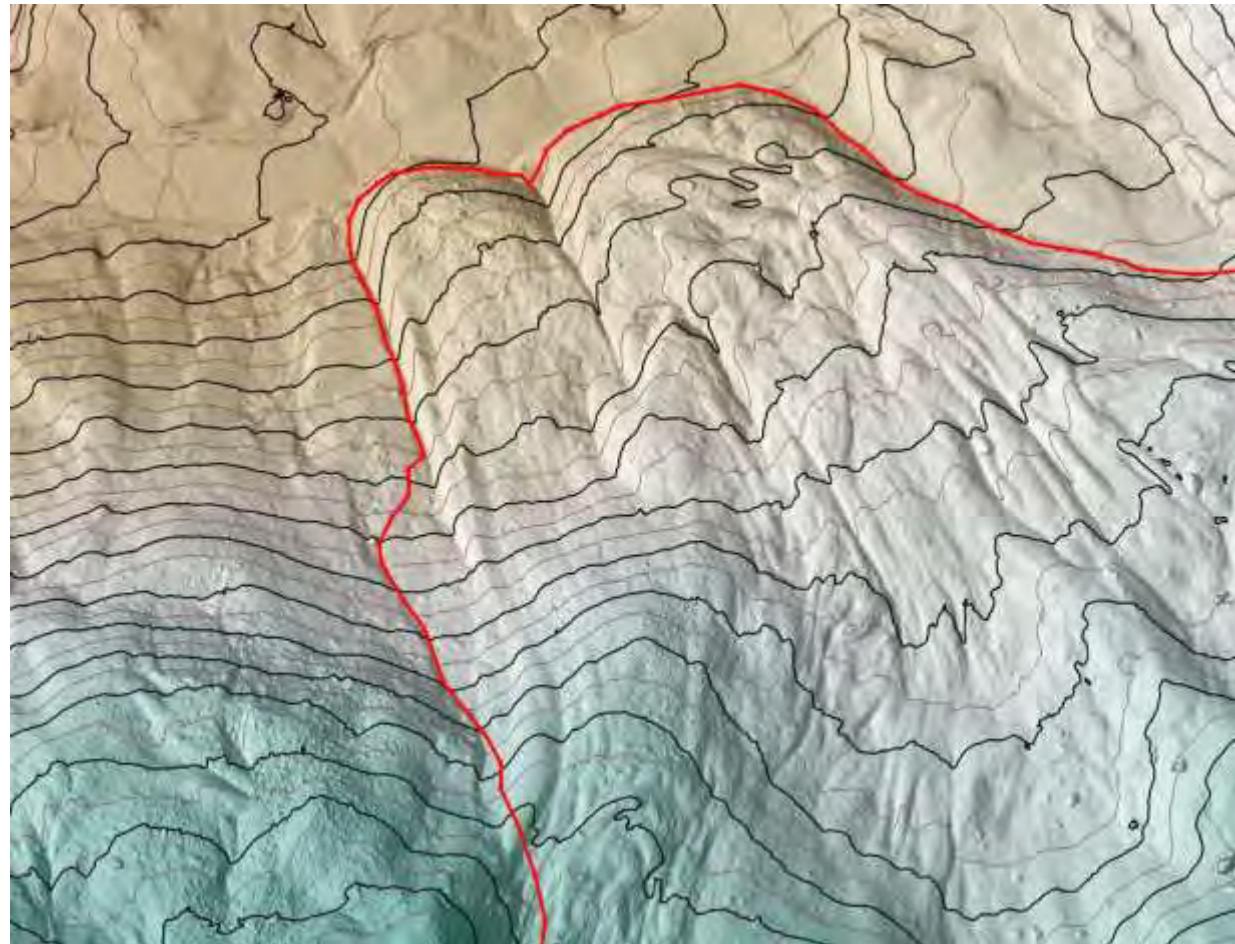
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



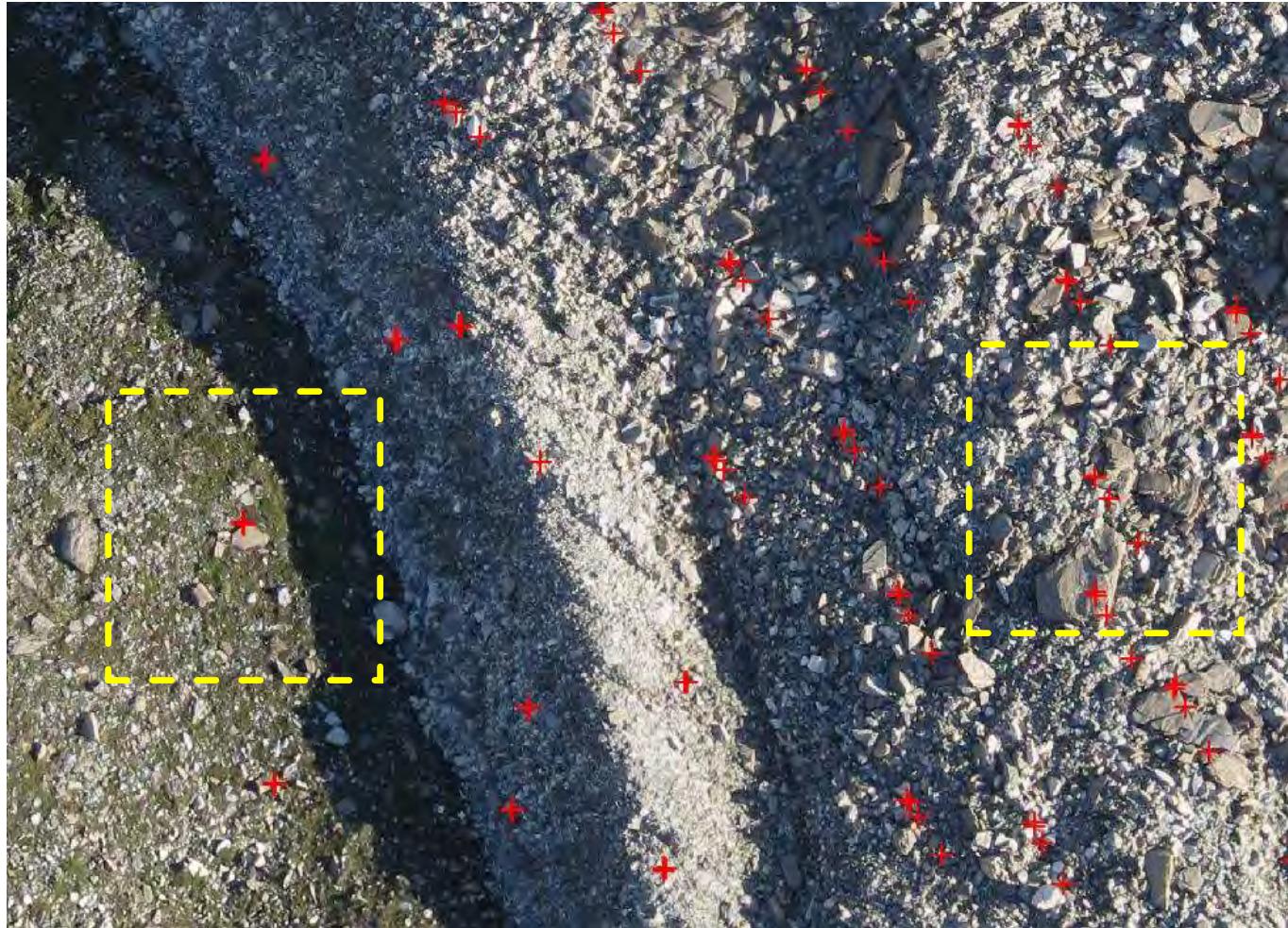
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

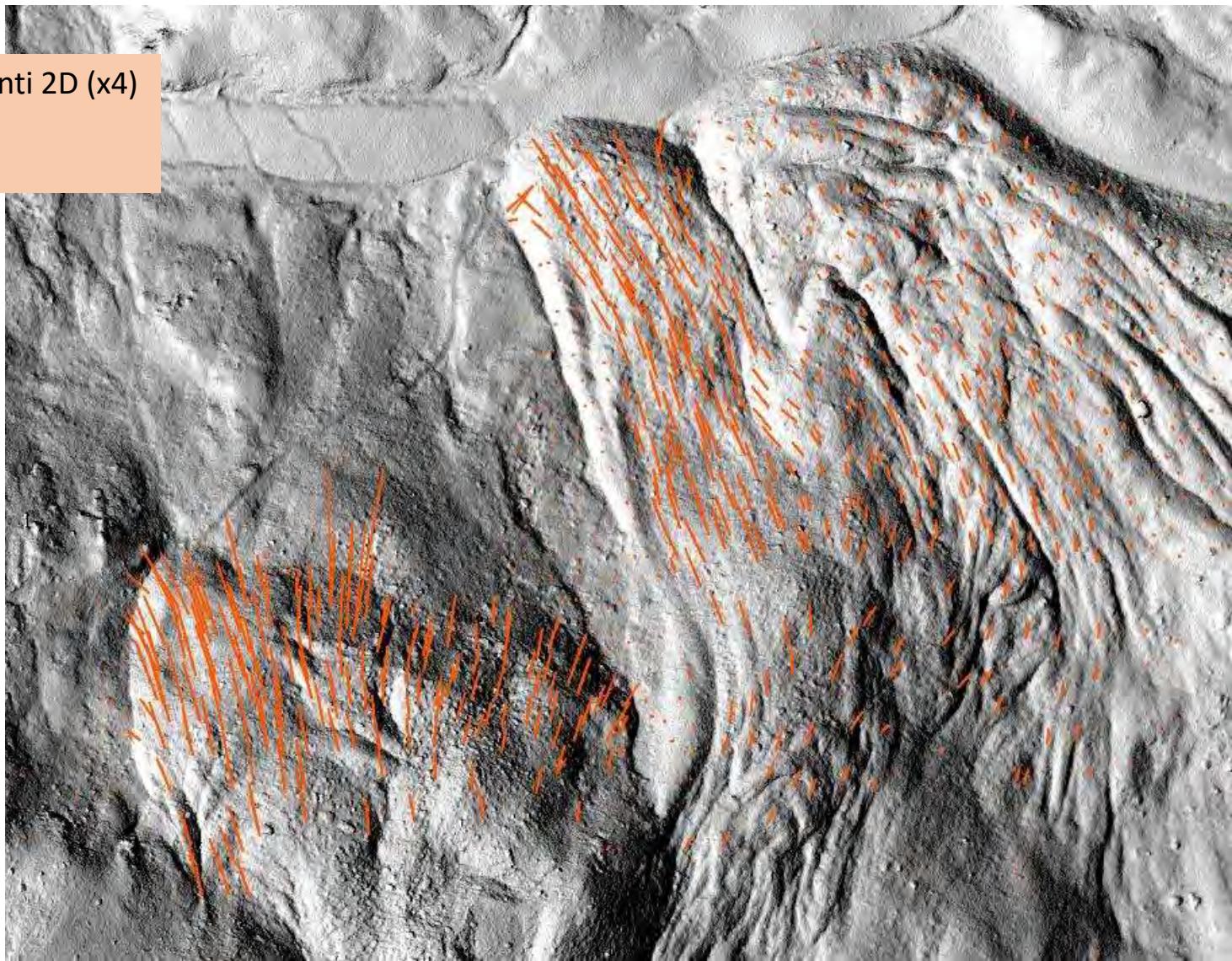


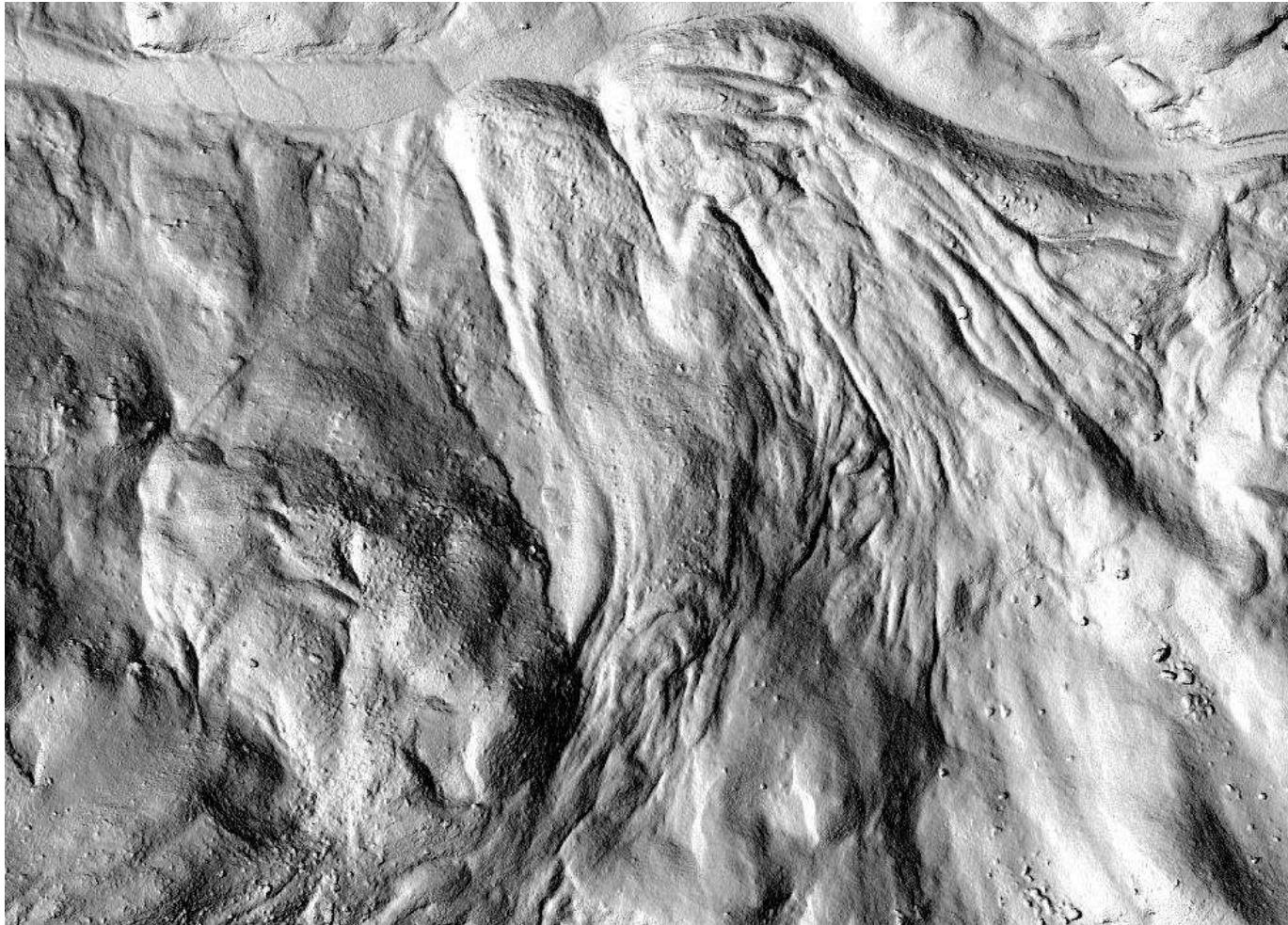
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta

Vettori degli spostamenti 2D (x4)

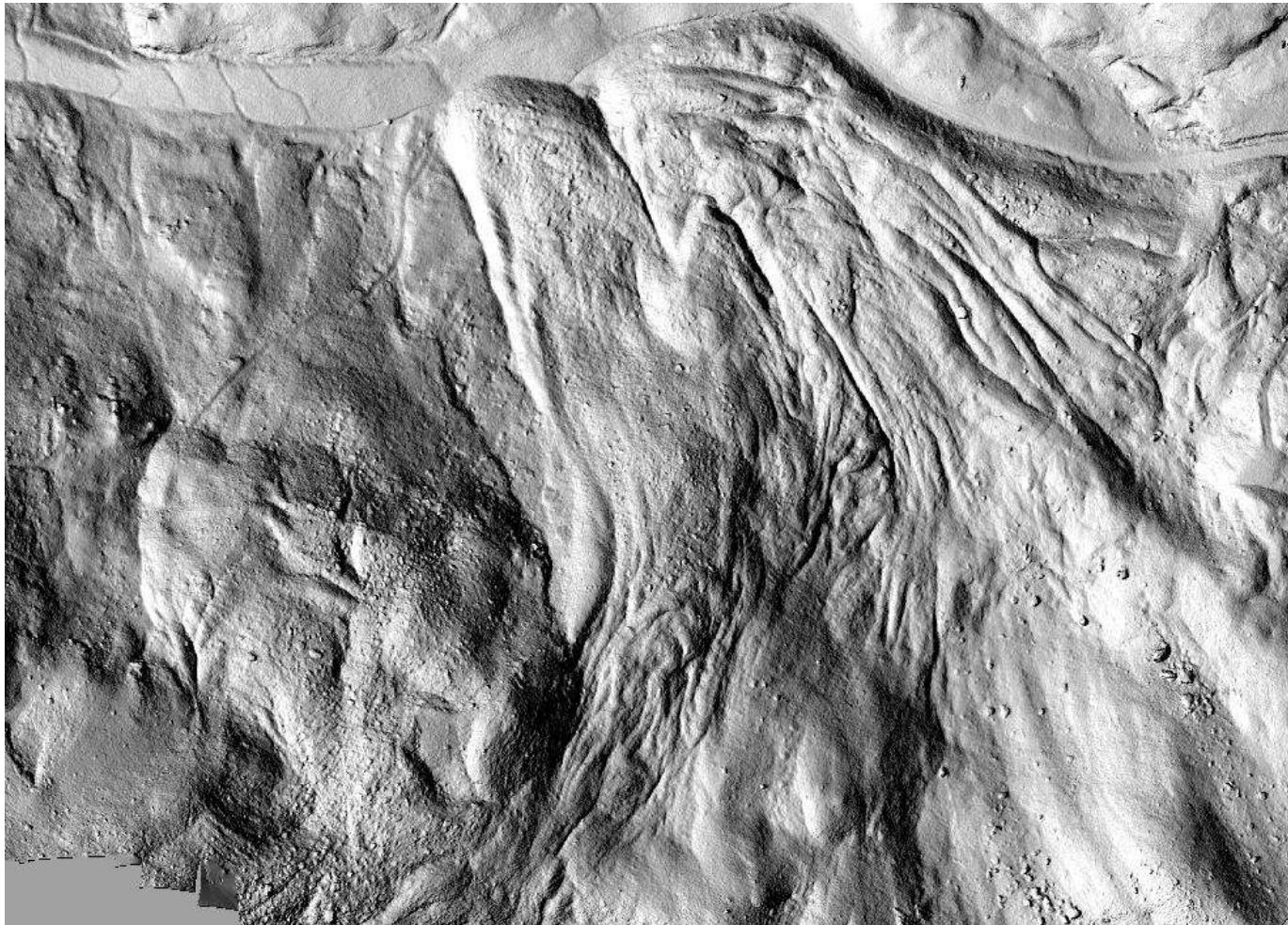
2015/08 – 2012/10





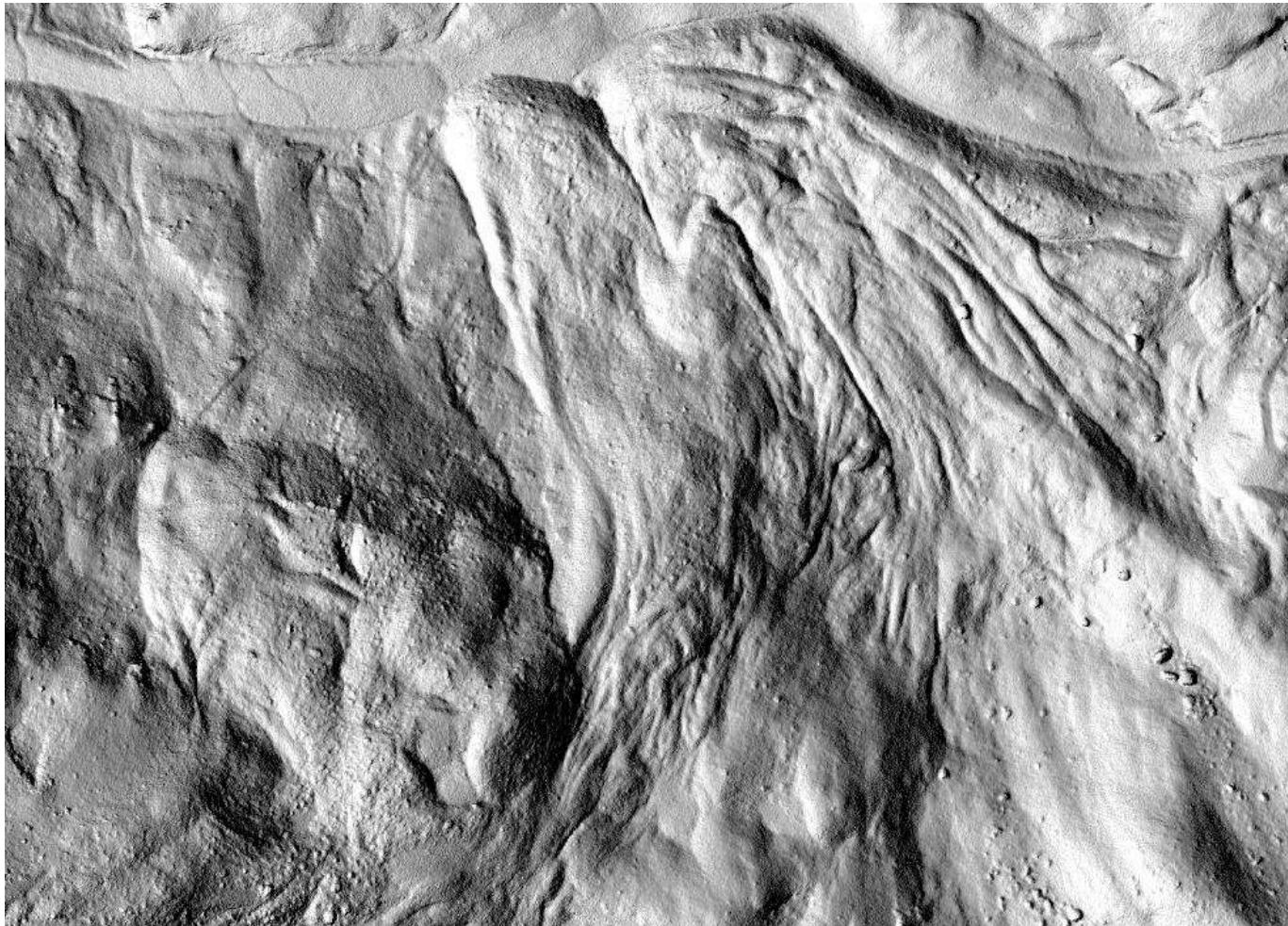
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



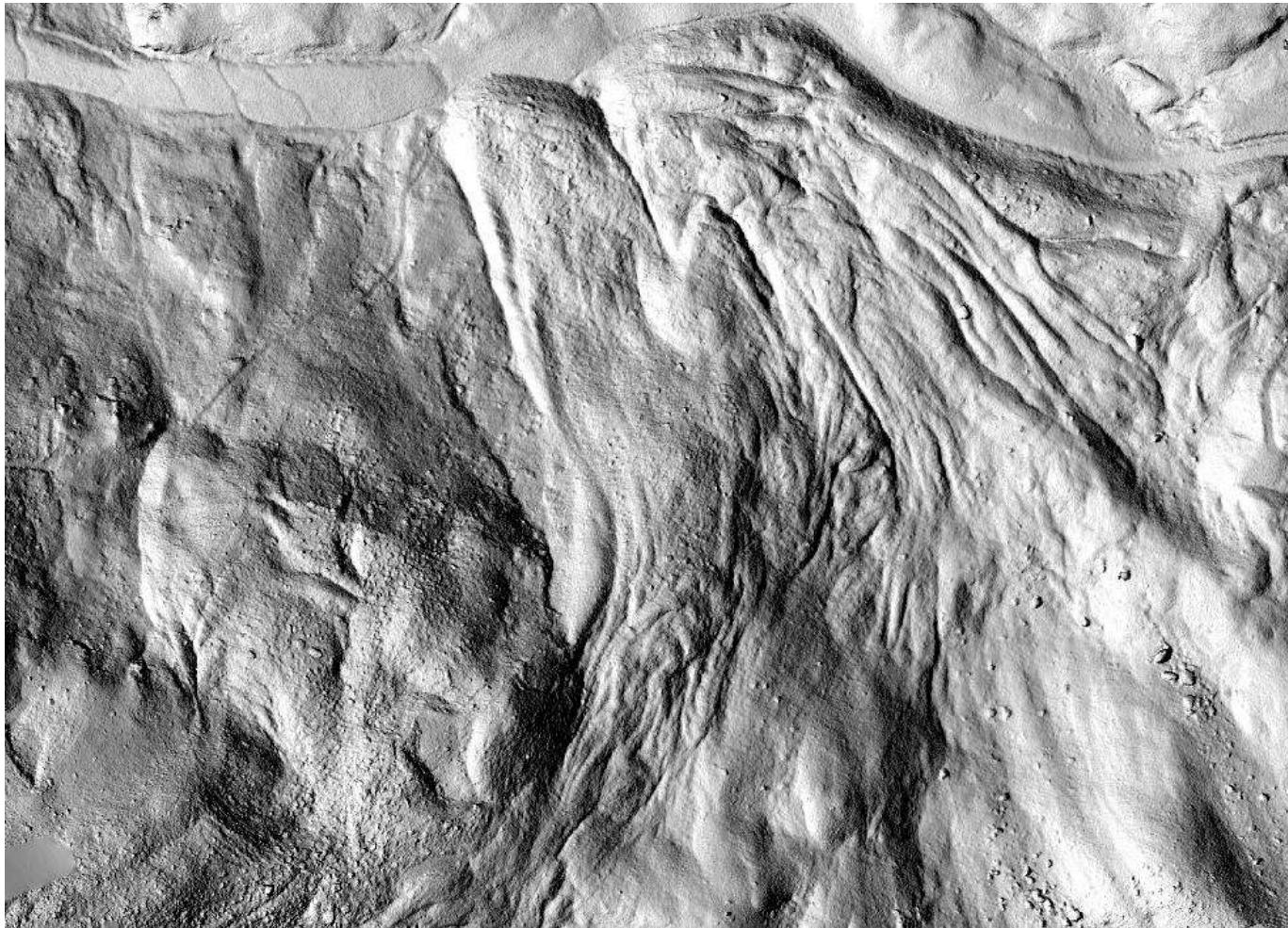
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



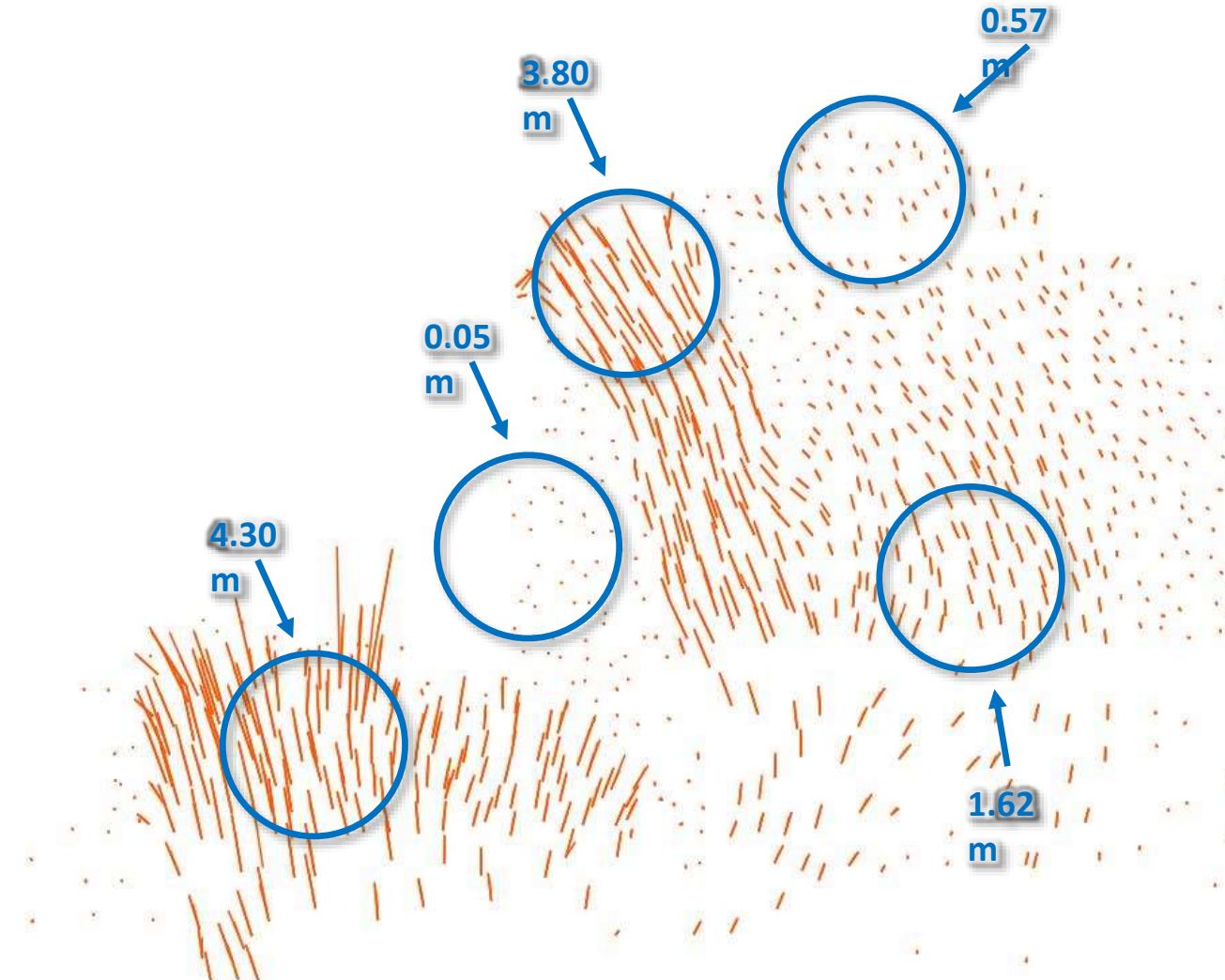
Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

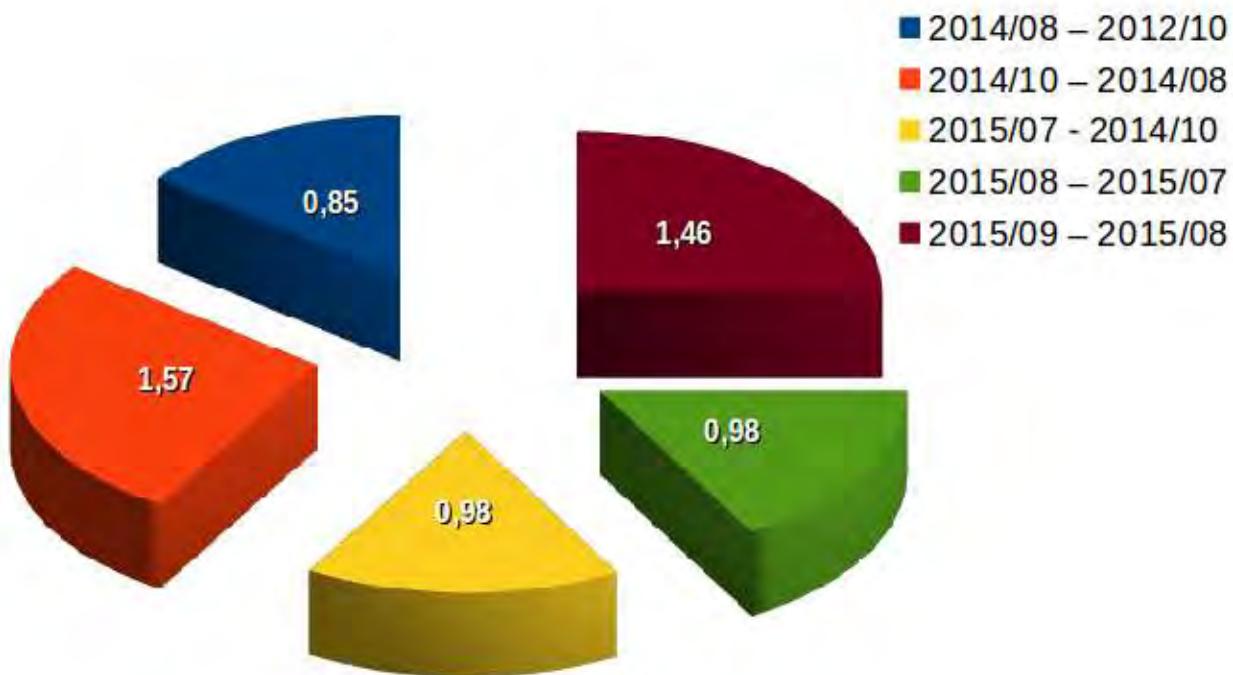
U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta







Permafrost in Valle d'Aosta: studio e monitoraggio

U. Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta



www.arpa.vda.it

