



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

Workshop di fine progetto, INRiM, Torino, 18 febbraio 2026
«Trasferimento del calore nella roccia: misure sul campo e modelli»

PRIN «Rockfall risk mitigation»: attività CNR-IRPI



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Istituto di Ricerca per la
Protezione Idrogeologica

Guido Nigrelli

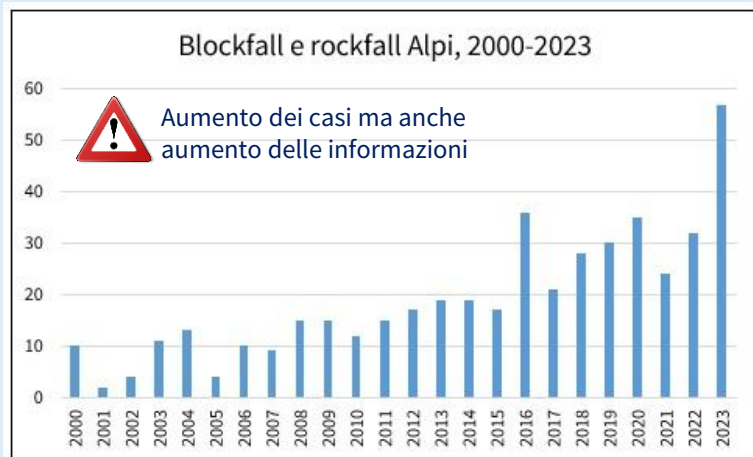
Ambiente e clima non sono più in equilibrio



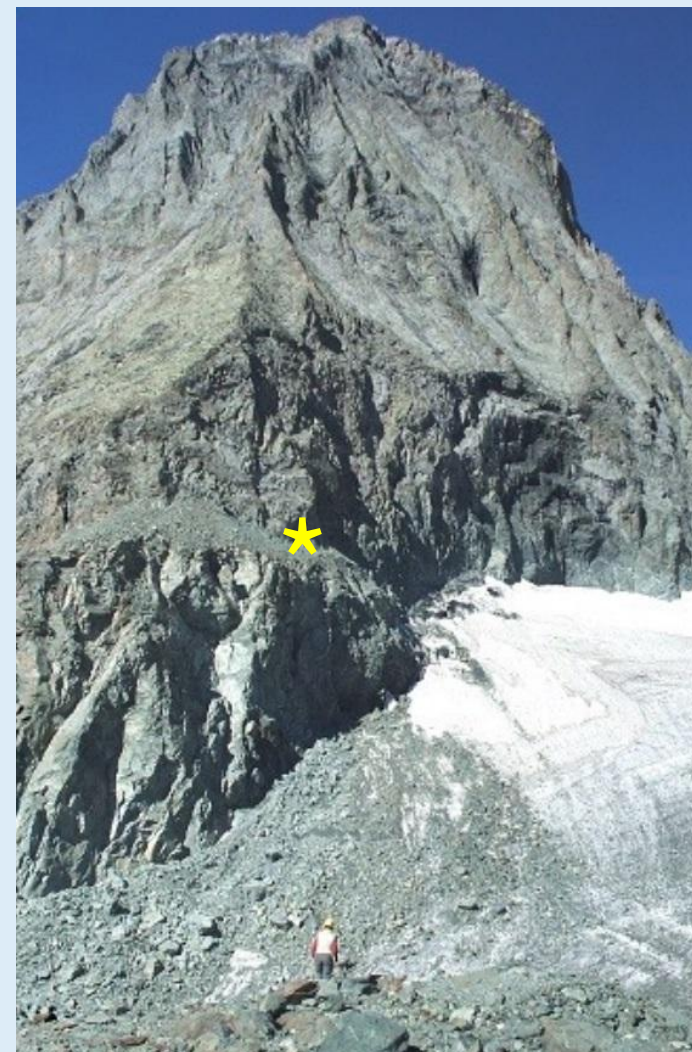
Spazio alpino (da <https://www.alpconv.org>), su immagine QGIS Bing Satellite

Problema

Uno dei principali effetti dei cambiamenti climatici sulle Alpi è l'aumento dei crolli di roccia, in gran parte causato dalla degradazione del permafrost. Questi processi rappresentano sempre di più un rischio per le infrastrutture e per le persone.



Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi
<https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>



Un esempio

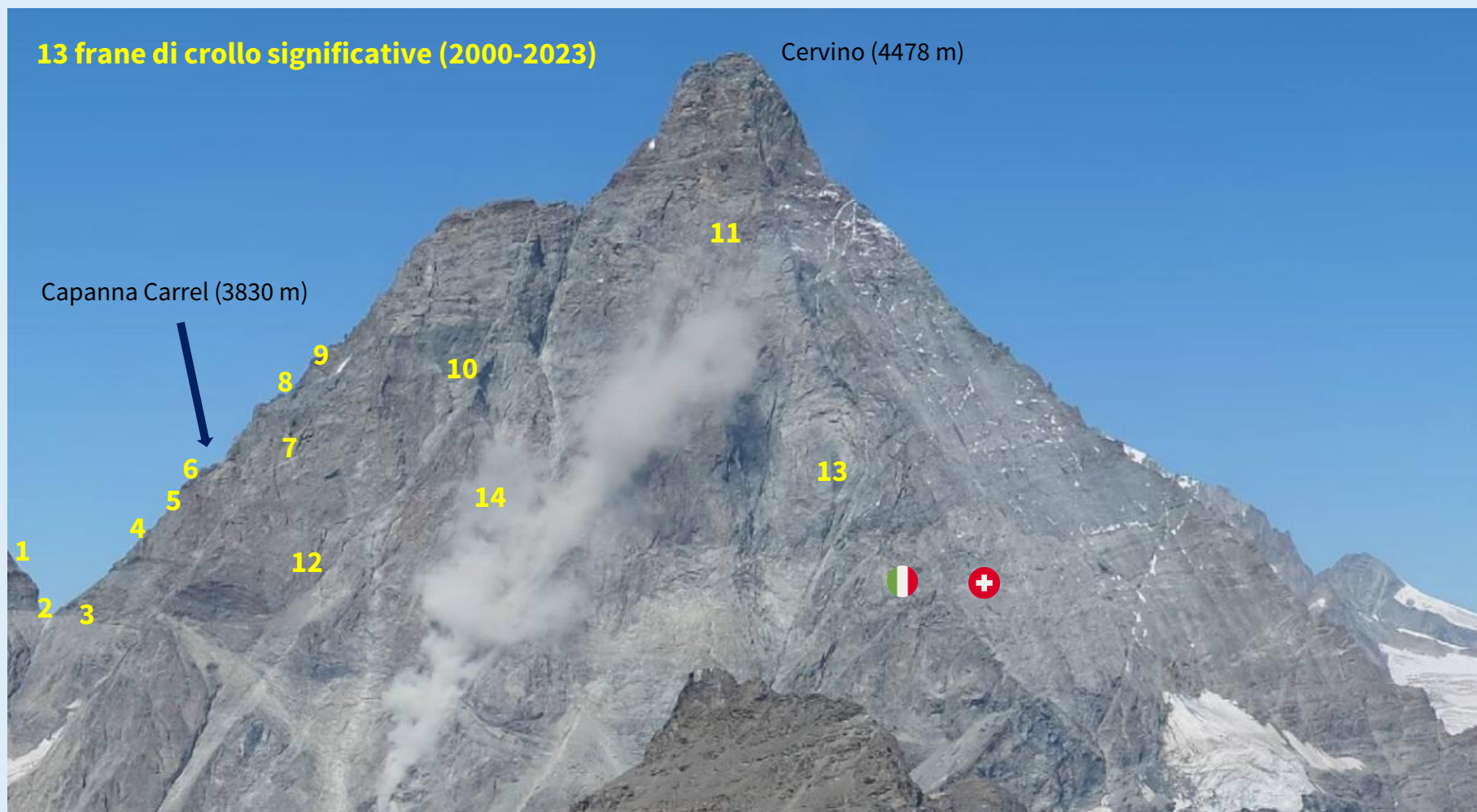


Sabato 9 settembre 2023, ore 5:20 immagine dalla webcam <https://cervinia.panomax.com/plateau-rosa>

Un esempio

Numero	Mese e anno
1	Luglio 2005
2	Agosto 2020
3	Agosto 2022
4	Luglio 2015
5	Agosto 2003
6	Luglio 2006
7	Luglio 2022
8	Agosto 2009
9	Agosto 2003
10	Luglio 2020
11	Luglio 1943
12	Agosto 2010
13	Marzo 2014
14	Settembre 2023

Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi

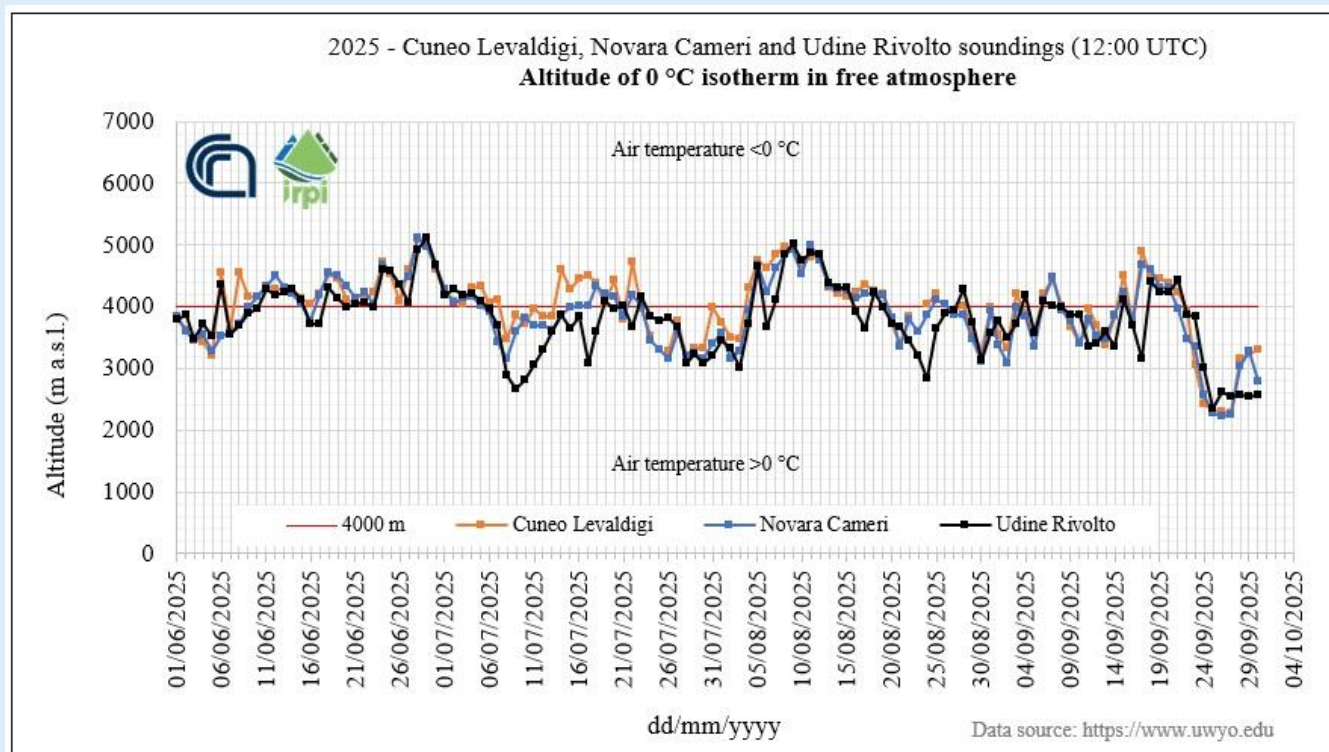


Domenica 10 settembre 2023, ore 12:20, immagine dalla webcam <https://cervinia.panomax.com/plateau-rosa>

Focus sulla temperatura

Sulle Alpi, durante il periodo 1991-2020, il trend di temperatura è stato di 0,5 °C/10 anni

Anche la quota dello zero termico è in aumento e sovente si mantiene elevata anche per diversi giorni



Numero di giorni con isoterma
0 °C > 4000 m

Cuneo: 68 giorni su 119 (57 %)

Novara: 56 giorni su 122 (46 %)

Udine: 46 giorni su 122 (38 %)



Monte Bianco: 4807 m

Monte Rosa: 4634 m

Cervino: 4478 m

Monviso: 3841 m

Uja di Bessanese: 3604 m

Perché questo PRIN

Obiettivo

Mettere a punto modelli di trasferimento del calore in roccia, litotipo-specifici ed esportabili, mediante l'utilizzo di dati di campo acquisiti con sensoristica metrologicamente validata, al fine di stimare più accurati scenari di pericolosità e di rischio da applicare nello studio di versanti instabili e potenzialmente instabili.



Due guide alpine al lavoro allo Spigolo Murari della Bessanese:
Stefano Pelissero installa una «Pera» (Foto Andrea Carelli, 06/08/2024)

8 punti e principali interazioni

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Identificazione dei Siti di Monitoraggio della Temperatura (TMS) | ARPA Piemonte |
| 2. Progettazione dei dispositivi IoT da utilizzare nei tre TMS | INRiM, POLITO, Lab3841 |
| 3. Installazione dei dispositivi IoT e catena di acquisizione | Lab3841, Panomax, ARPA Piemonte |
| 4. Raccolta di campioni di roccia rappresentativi | |
| 5. Progettazione del sito web del progetto | INRiM, POLITO, Lab3841 |
| 6. Prime elaborazioni dei dati acquisiti | INRiM, POLITO |
| 7. Identificazione di un secondo sito di alta quota per estendere la ricerca | CNR-DSSTTA |
| 8. Divulgazione dei risultati del progetto | INRiM, POLITO, Lab3841 |

Vediamoli brevemente...

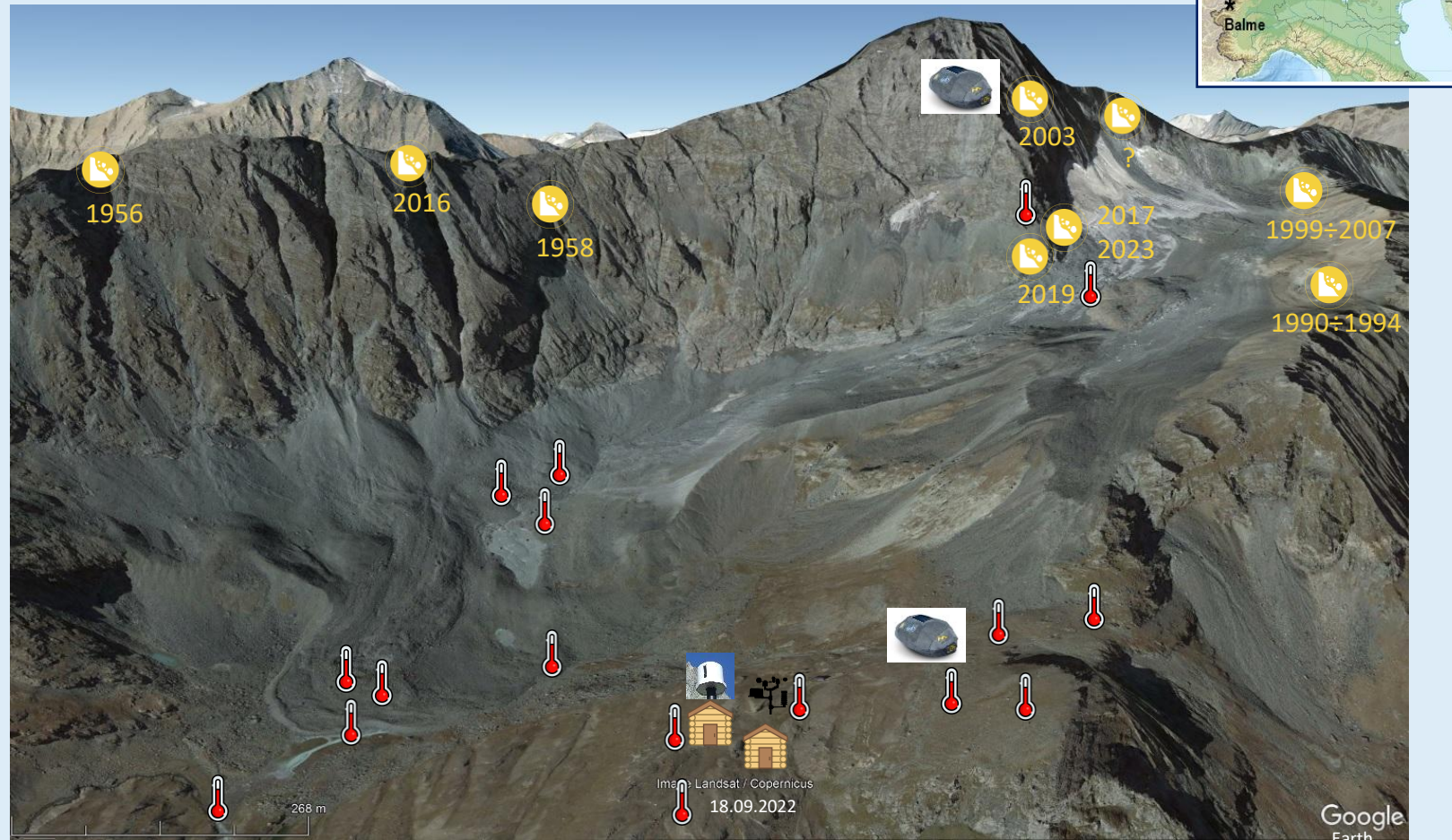
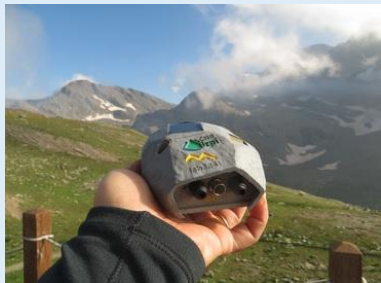
1/8. I siti di monitoraggio

Il bacino glaciale della Bessanese

Presenti dal 2014

Ambiente geomorfologicamente attivo

Ricerca, formazione, divulgazione



Crolli di roccia



Datalogger temperatura



Webcam



Sensori IoT «Pera»



AWS (ARPA P.)

2/8. I dispositivi IoT «Pera»



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



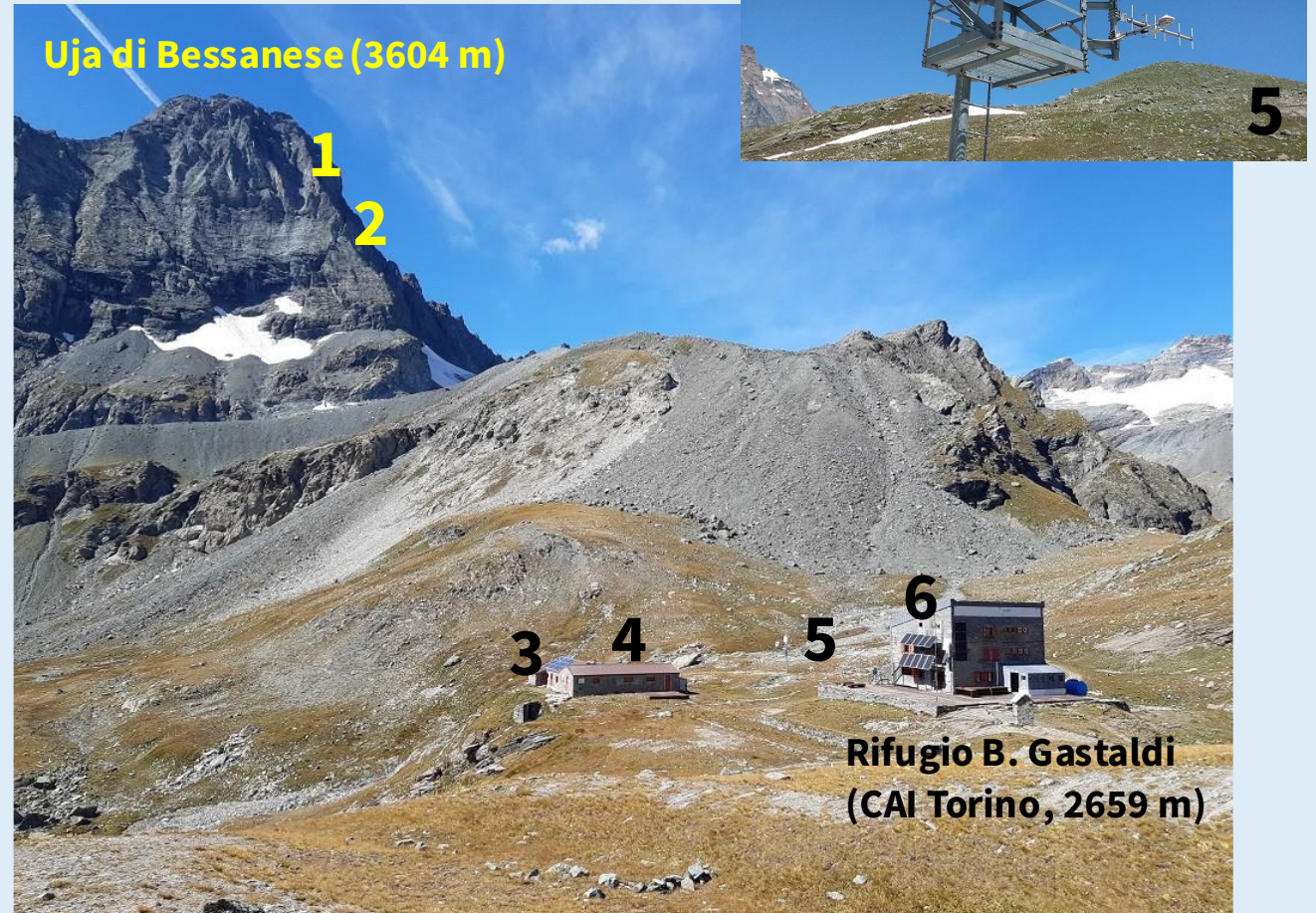
3/8. Installazione IoT

La catena di acquisizione

- 1) IoT «Pera», 3473 m, esp. S
- 2) IoT «Pera», 3285 m, esp. S-SW
- 3) 2 antenne: ricezione dati da IoT e invio al router
- 4) Webcam Panomax 360°
- 5) AWS Rifugio Gastaldi (da rete ARPA Piemonte)
- 6) Router ricezione dati dall'antenna e invio in rete

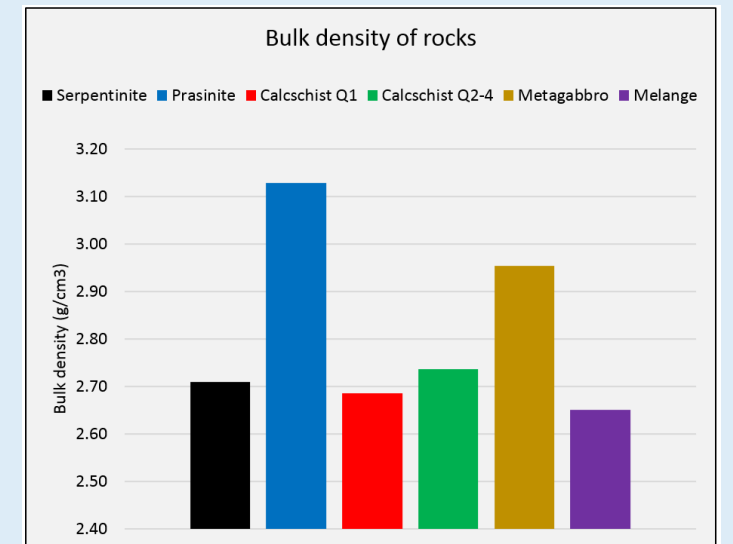


Website di progetto



4/8. Raccolta campioni roccia

Al fine di poter mettere a punto modelli di trasferimento del calore in roccia è necessario conoscere le principali caratteristiche dei litotipi interessati: da qui l'esigenza di raccogliere alcuni campioni rappresentativi di roccia.



5/8. Il sito web



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Rockfall risk mitigation in the Alps
Bessanese glacial basin,
2659 m s.l.m. (Balme, Italy)

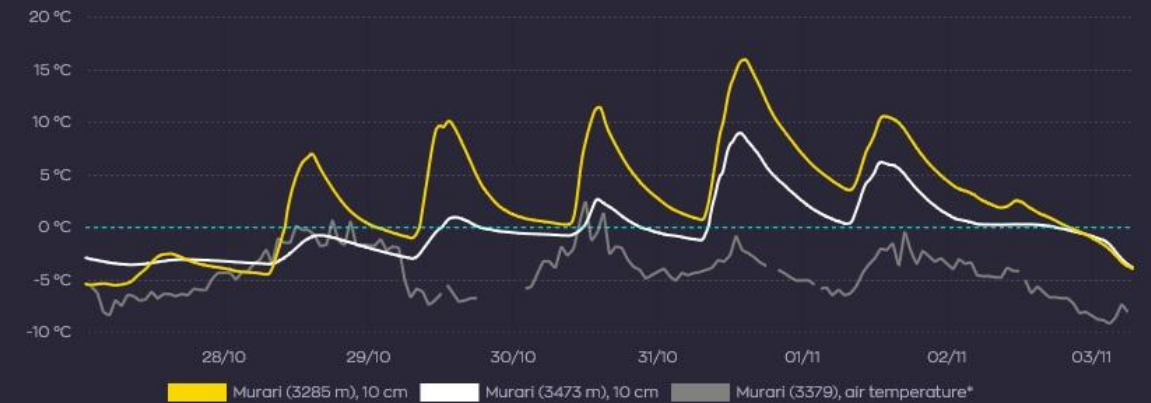
- Dashboard
- The project
- Technical data
- Charts
- Contacts
- Help

Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Rockfall risk mitigation in the Alps
Bessanese glacial basin,
2659 m s.l.m. (Balme, Italy)

- Dashboard
- The project
- Technical data
- Charts
- Contacts

Air and rock temperatures comparison



*The air temperature recorded by the ARPA station is adjusted to the average elevation of the two Pera® sensors, applying the conventional environmental lapse rate of -0.6°C per 100 m.

<https://bessanese.lab3841.it>

6/8. Prime elaborazioni



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



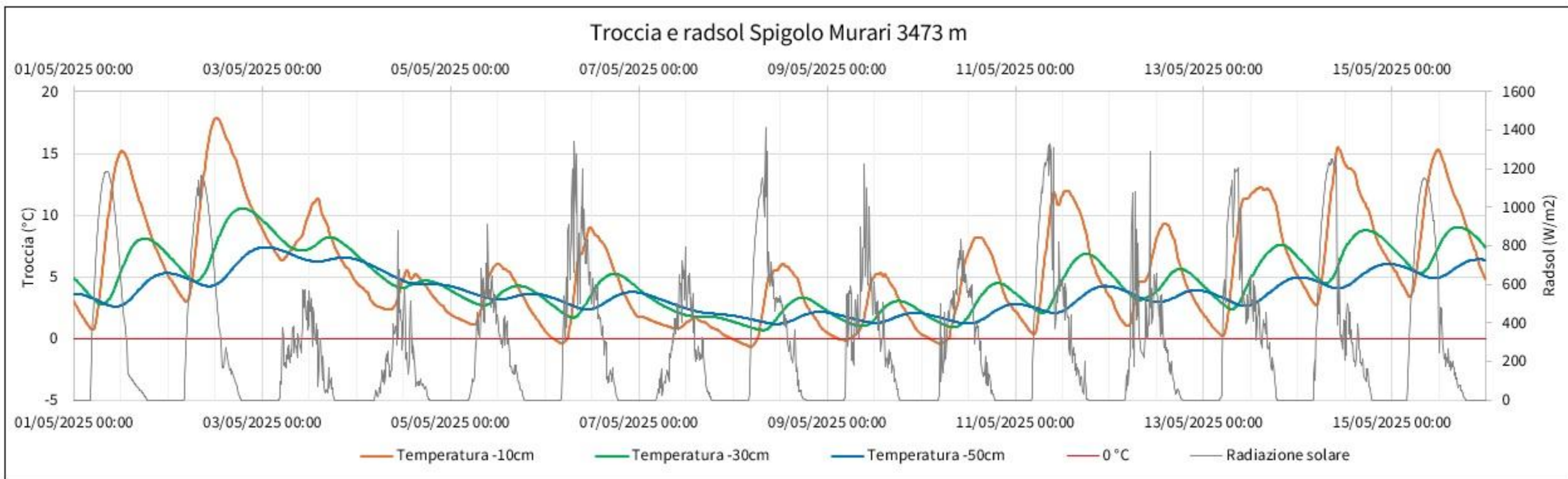
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



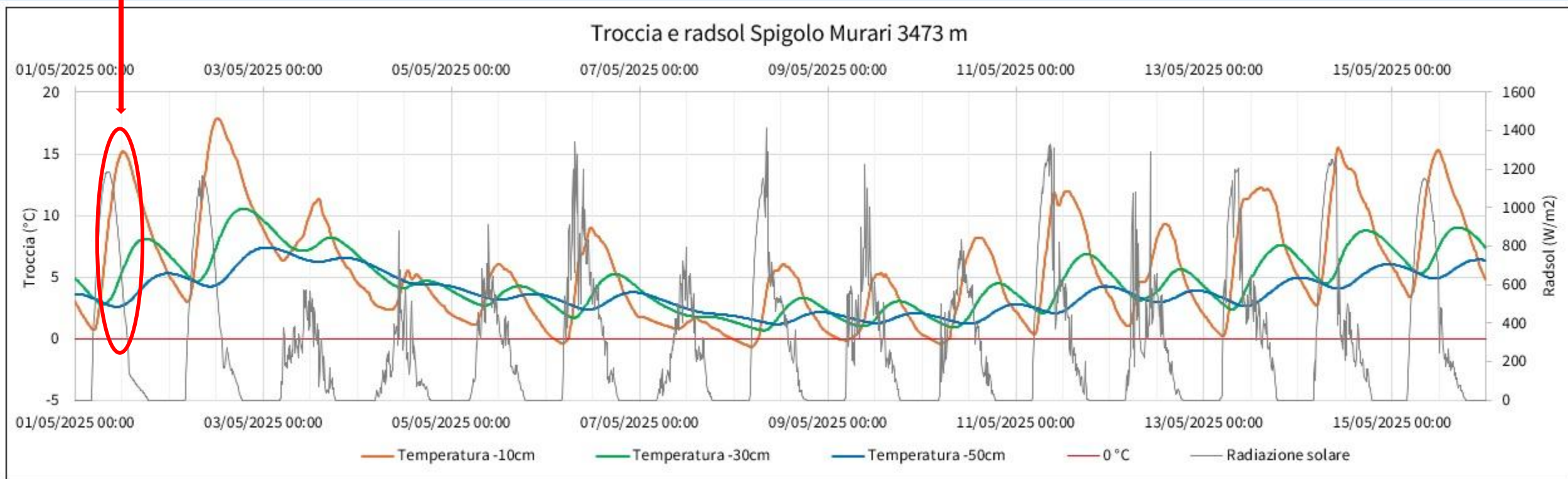
Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Ore in UTC

6/8. Prime elaborazioni

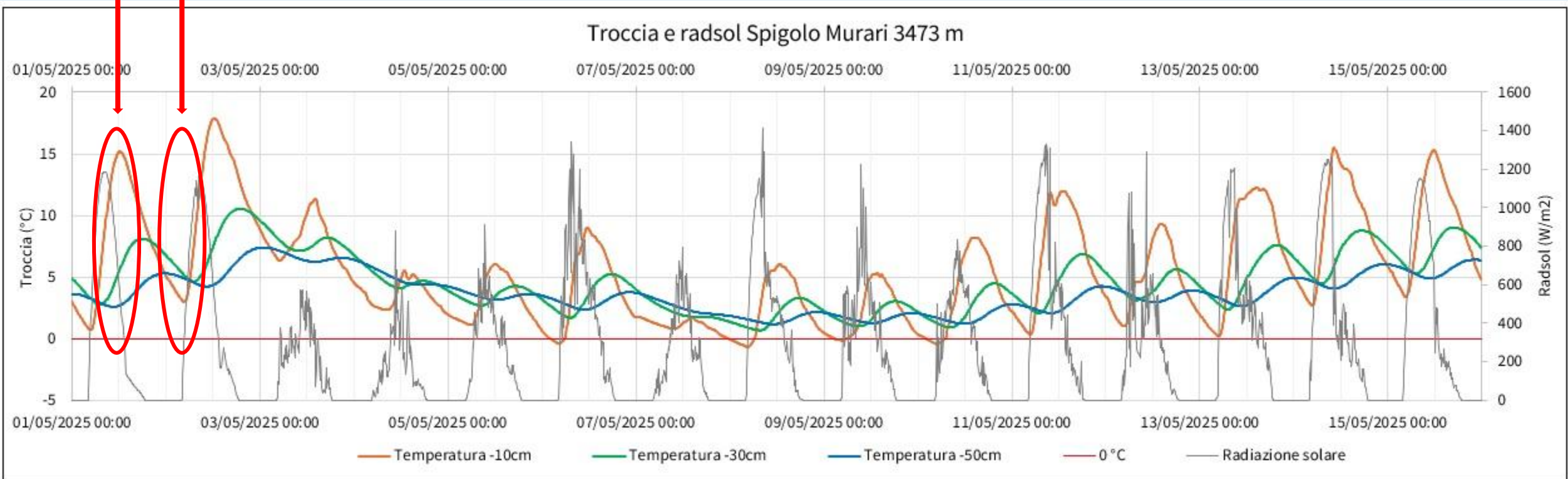
In generale lo scambio termico è un fenomeno fortemente non lineare



6/8. Prime elaborazioni

In generale lo scambio termico è un fenomeno fortemente non lineare

Il flusso di energia (calore) avviene anche verso l'esterno

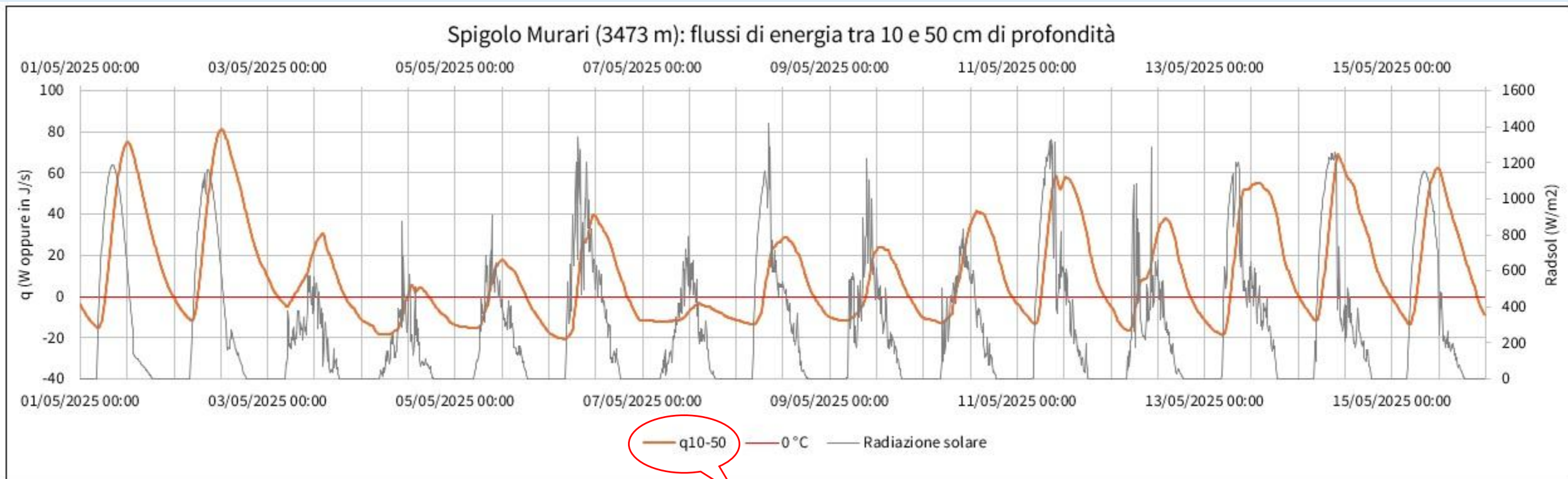


6/8. Prime elaborazioni

Ipotizzando un modello di calore 1D e con proprietà della roccia isotrope (Draebing et al. 2021 - <https://doi.org/10.1029/2021JF006163>) possiamo quantificare il flusso di energia (q) che avviene per conduzione nella roccia (metabasiti) mediante la seguente formula:

$$q = k A (\Delta T / \Delta d)$$

Dove: q , flusso di energia [W]; k , conducibilità termica della roccia [2,4 W/(m K)]; A , area [1 m²]; $\Delta T / \Delta d$, gradiente termico [K/m]

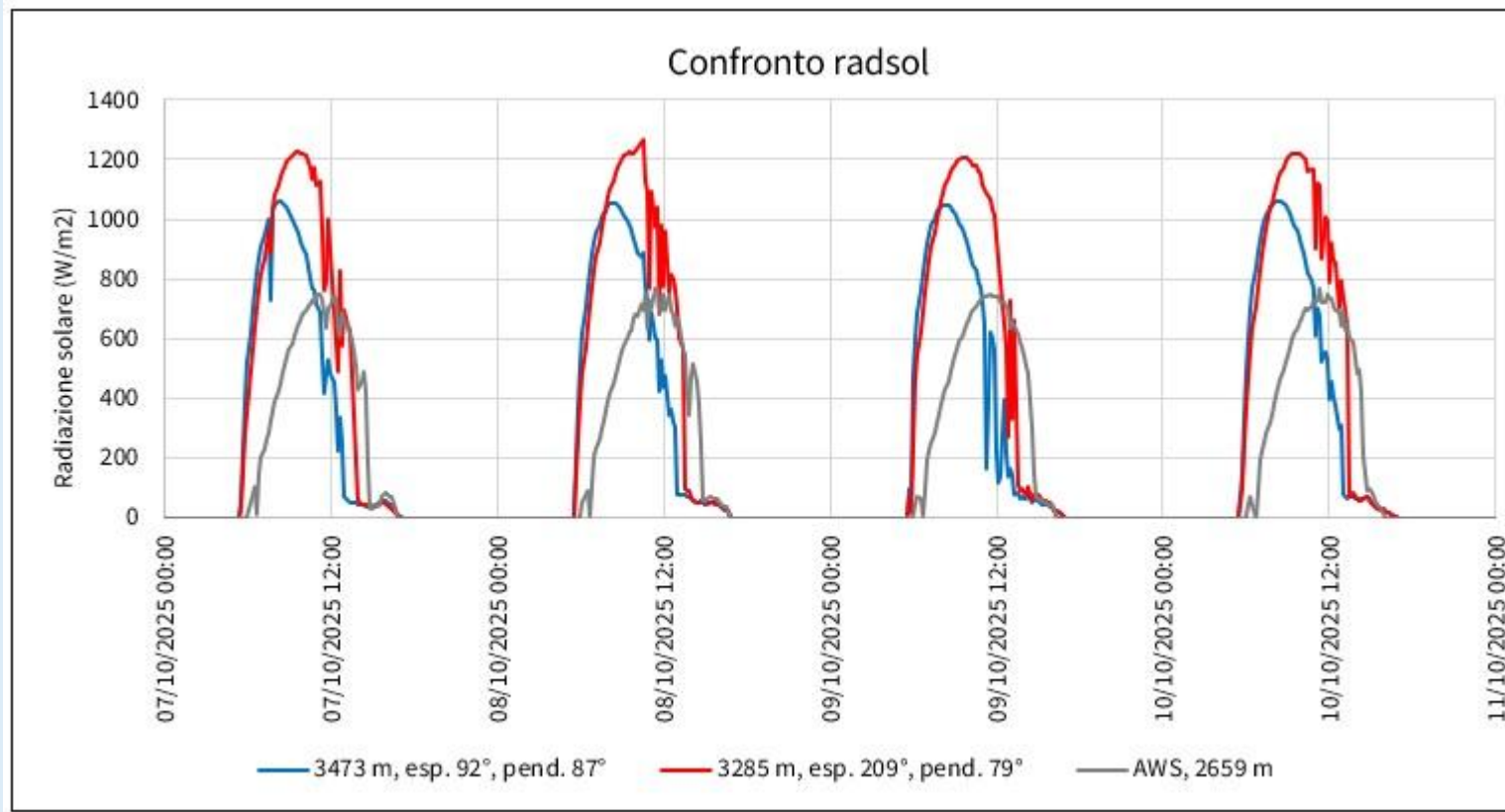


Ore in UTC

Δd

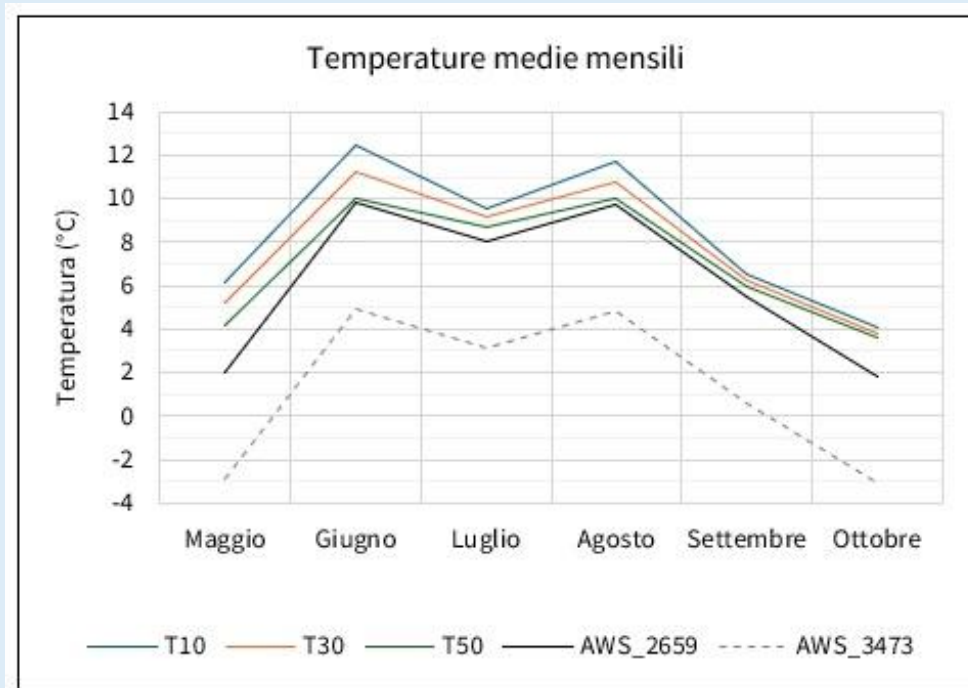
6/8. Prime elaborazioni

Un confronto sulla radiazione solare incidente ricevuta da radiometri posizionati diversamente



6/8. Prime elaborazioni

Un confronto delle temperature medie mensili (2025)



Acquisizione ed elaborazione dati in corso...

7/8. L' Osservatorio CNR «Testa Grigia»

Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

Ministero
dell'Università
e della Ricerca

Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

Consiglio Nazionale
delle Ricerche

Un possibile secondo sito: Plateau Rosà, Cervinia



<https://cervinia.panomax.com/>



8/8. Divulgazione

Attività «on-site», poster, convegni, giornate a tema, social.



Foto Marco Giardino

LA CAROVANA DEI GHIACCIAI

V EDIZIONE

VERSO IL 2025, L'ANNO INTERNAZIONALE DEI GHIACCIAI

Gli effetti della crisi climatica su ghiacciai, ambiente alpino e biodiversità



EGU26-71133

EGU General Assembly 2026

© Author(s) 2026. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Rockfall risk mitigation in the Alps

Guido Nigrelli¹, Erica Matta¹, Andrea Merlone², Graziano Coppa², Natali Aranda², Vincenzo Corrado³, Ilaria Ballarini³, Seyed Amir Afzali Fatatouei³, Mamak Tootkaboni³, Andrea Gramazio⁴, and Marta Chiarle¹

¹Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

²Istituto Nazionale di Ricerca Meteorologica

³Politecnico di Torino

⁴lab3841 s.r.l.

In the alpine cryosphere, thermo-mechanical stresses due to rock temperature fluctuations, or widening, predisposing rock faces to failure. In the last decades, as has been documented and has been attributed to air warming. However, in-reen air and rock temperature is still little known, while a comprehensive t transfer in rocks and their thermophysical properties are crucial to rockfall sue is being investigated in the Bessanese high-elevation experimental basin with the following objectives: i) Use of metrologically validated Internet of r continuous, in-situ monitoring of key parameters preconditioning rockfalls;

#IMC25



INTERNATIONAL MOUNTAIN CONFERENCE
SEPTEMBER 14 - 18 2025

>> SYNTHESIZE MOUNTAINS OF KNOWLEDGE <<

Abstract for #IMC25

Glacier and permafrost hazard management in the Italian Alps

Chiarle, Marta (1)

ID: #IMC25
Receive

Rockfall risk mitigation in the Alpine cryosphere
(20223MKEMB_PE10_PRIN2022 - PNRR M4.C2.1.1 Funded by the European Union - Next Generation EU)
Project start: October 2023 | Project end: February 2026

A short state of the art

In a context of climate change that affects mountain cryosphere, landscapes are evolving and new hazards are emerging. In particular, freeze/thaw cycles and thermo-mechanical stresses due to rock temperature fluctuations induce crack opening or widening, predisposing rock faces to failure. In the last decades, an increase in rockfalls affecting mountain cryosphere has been documented.

Main objectives

- 1 Use of metrologically validated IoT devices for continuous, in situ monitoring of key environmental parameters preconditioning rockfalls;
- 2 Develop an accurate and exportable heat transfer model in rock, that can be applied to different lithotypes, to be used for risk mitigation in high-elevation rockfall-prone areas;
- 3 Build a high-elevation monitoring site in rockfall-prone areas to validate the model and monitor rock temperature at 10 cm, 30 cm and 50 cm depth;
- 4 Create the project's web portal to display the monitoring data acquired in near-real time.

Punti di forza



- **Dati online in «near real-time»**
- **Autonomia circa 10 anni**
- **Gestione da remoto**
- **Storage dati sino a 6 mesi**
- **Bassa incertezza dei dati**
- **Sensoristica espandibile**



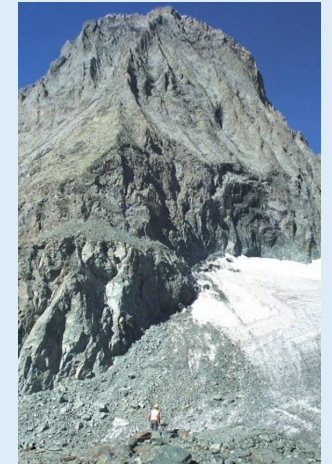
Punti di forza



- **Dati online in «near real-time»**
- **Autonomia circa 10 anni**
- **Gestione da remoto**
- **Storage dati sino a 6 mesi**
- **Bassa incertezza dei dati**
- **Sensoristica espandibile**

e di debolezza

- **Sensoristica esposta agli agenti atmosferici**
- **Perdita della sensoristica in caso di crolli**
- **Difficoltà di installazione**
- **Modello da validare, tempistica non breve**
- **Necessità di aggiungere sensoristica**
- **Tematica di ricerca di nicchia**



Il gruppo di lavoro

Amir Afzali¹, Walter Alberto², Natali Aranda³, Ilaria Ballarini¹, Marta Chiarle⁴,
Graziano Coppa³, Vincenzo Corrado¹, Andrea Gramazio⁵, Luca Lanteri², Erica Matta⁴,
Andrea Merlone³, Guido Nigrelli⁴, Mamak Pourabdollahtookaboni¹, Renato Riva⁶

¹)Polito-DENERG; ²)ARPA Piemonte; ³)INRiM; ⁴)CNR-IRPI; ⁵)Lab3841; ⁶)Panomax Italia

Con i ringraziamenti al CAI Sezione di Torino e a tutto lo staff del Rifugio Gastaldi





Grazie per l'attenzione